Avdelningen för Byggnadsfysik

Examensarbete TVBH-5082
Lund 2015

Plan- och volymteknikproducerade bostadshus i trä

- Jämförelse av stomstabilisering för två och fyra våningar

Anton Adrian

LUND
UNIVERSITY

Plan- och volymteknik-producerade bostadshus i trä

- Jämförelse av stomstabilisering för två och fyra våningar

Anton Adrian

© Anton Adrian

ISRN LUTVDG/TVBH-15/5082--SE(135)

Avdelningen för Byggnadsfysik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
22100 LUND

Förord

Examensarbetet utförs som en avslutande del i civilingenjörsutbildningen med inriktning väg och vatten vid Lunds tekniska högskola. Arbetet är genomfört på Avdelningen för Byggnadsfysik i samarbete med Byggnadsmekanik, LTH.

Ett stort tack vill jag rikta till mina handledare Olof Mundt Pedersen, LTH och Susanne Heyden, LTH för all hjälp under arbetets gång. Särskilt tack till Susanne Heyden som bidragit till slutförandet av arbetet. Att vara på plats vid produktion och montage bidrar till större förståelse. Därför vill jag även tacka Carl-Johan Sigfridsson, Myresjöhus för flertalet studiebesök, både på fabriker samt vid montage på byggarbetsplatser.

Lund, Juni 2015

Anton Adrian

Sammanfattning

Traditionellt produceras trähus högst i två våningar p.g.a. historiskt svårkontrollerade bränder. Idag är byggtekniken utvecklad och det är tillåtet att bygga trähus i flera våningar. Andel trähus som byggs med prefabricerade delar ökar idag i Sverige. Genom att producera montagefärdiga element i varierande storlek förflyttas husproduktionen från byggarbetsplats till fabrik.

Syftet med studien är att undersöka vilken byggmetod av plan- och volymteknik som är mest lämpad att utnyttja vid högre bostäder. Lättvirkeshusens låga egentyngd i samband med ökande vindlast ställer krav på byggnadens stomstabilisering. Efter en omfattande litteraturstudie inriktades studien på kontroll av skjuvväggar, knäckning av väggregel, stämpeltryck och förankring mot lyftkrafter vid plan- och volymteknikproducerade bostäder.

Byggnader uppbyggda med planteknik har lättare konstruktion än volymteknik. Lägre egentyngd är positivt vid knäckning och stämpeltryck. Däremot ökar lyftkrafter som kräver förankring eftersom mothållande egentyngd är mindre.

Bostäder producerade med planteknik är lägre jämfört med volymteknikbyggnader p.g.a. dubbla bjälklag för volymteknikproducerade byggnader. Lägre höjd bidrar till lägre horisontell last och därmed lägre laster. Studien visar att volymproducerade byggnader utsätts för större laster vid nämnda kontroller. Även förankringskrafterna är större p.g.a. höjdökningen för de tjocka bjälklagen.

Kontrollerna visar att båda byggmetoder är användbara vid två våningar. Positivt utmärkande är volymteknikens utnyttjande av kertobalkar som syll. På bottenplan klarar kertobalken stämpeltrycket, vilket planteknikens syll inte gör. Plantekniken kräver i detta fall en annan lösning, exempelvis dubbla reglar vid väggöppningar och väggslut.

Vid kontroller för fyra våningar är dimensionerande last för stor vid båda byggmetoderna. Omarbetning av respektive konstruktion är möjlig även om volymteknikbyggnadens dimensionerande laster är något större i jämförelse. Resulatet är att båda metoderna är möjliga alternativ. Vid ännu högre byggnader förenklas konstruktion med planteknik eftersom lasterna är lägre. I studiens fyra-våningsbyggnader ses dock potential att använda sig av volymteknik eftersom metoden visar positiva aspekter som inte berörts i studien som t.ex. fuktsäkerhet, kvalitet och förflyttning av arbete från byggplats till fabrik.

Nyckelord: Prefabricering, Planteknik, Volymteknik, Stomstabilisering, Knäckning, Skjuvvägg, Stämpeltryck, Förankring, Trähus.

Abstract

Traditionally, wooden houses are produced with a maximum of two floors, due to historical difficulties to control fires. Today, construction technology is developed so far that it is considered safe to build wooden houses with additional floors. The percentage of wooden houses built with prefabricated parts is increasing in Sweden today. By producing module elements in various sizes, house production is moved from the construction site to the factory.

The purpose of the study is to investigate which of the construction methods of element technology (flat elements) and volume element technology is best suited to exploit to higher housing. The low self-weight of wooden houses combined with increased wind load makes it demanding to ensure structural stability. After an extensive literature study, the work was focused on the control of shear walls, buckling of the wall stud, compression perpendicular to the grain (CPG) of the sill and anchoring against lifting forces for element and volume element technology produced housing.

Buildings constructed with element technology have lighter construction compared to the volume element technology. Lower weight is positive for buckling and CPG. In contrast, lift forces that require anchoring increase, because resisting weight is smaller. Buildings constructed by element technology are lower compared to the volume element technology buildings because of double joists. Lower buildning height results in lower horizontal load and therefore lower loads effects. The study shows that the volume element produced buildings are exposed to greater load. Also anchoring forces are larger because of the height.

Calculations showed that both construction methods are possible to use in two floors. A positive characteristic of the volume element technology is the utilization of LVL beams (Kerto) as sills. On the ground floor, the LVL beam can withstand the CPG, which element technology do not do. Element technology in this case requires a different solution, such as double studs at wall openings and wall ends.
At four stories, both construction methods fail to fulfill all the evaluated design criteria. Modifications of the respective construction method is possible, even if the volume element technology building design loads are slightly larger in comparison. The result is that both methods are possible alternatives. At even higher buildings, construction with element technology is easier because the loads are lower. In the four-storey buildings studied elements, potential is however seen, to use the volume element technology as the method shows positive aspects not addresses in the study, such as moisture, quality and movement of labor from the construction site to the factory.

Keywords: Prefabrication, Element Technology, Volume Element Technology, Structural Stability, Buckling, Shearwall, Compression Perpendicular to Grain, Anchoring, Wood.

Innehållsförteckning

1 Inledning 1
1.1 Bakgrund 1
1.2 Syfte 2
1.3 Avgränsningar 2
1.4 Metod 2
2 Litteraturöversikt 5
3 Produktion idag 13
3.1 Produktion av planelement 15
3.1.1 Planelement i industri 15
3.1.2 Planelement på byggarbetsplats 18
3.2 Produktion av volymelement 20
3.2.1 Volymelement i industri 20
3.2.2 Volymelement på byggarbetsplats 22
4 Fallstudier 25
4.1 Fallstudie av planelement 25
4.1.1 Produktion av planelement 26
4.1.2 Stomstabilisering 30
4.1.3 Förankring vid lyft 32
4.2 Fallstudie av volymelement 32
4.2.1 Produktion av volymelement 32
4.2.2 Stomstabilisering 34
4.2.3 Förankring vid lyft 36
5 Konstruktion 37
5.1 Dimensionerande laster 37
5.1.1 Egentyngd 38
5.1.2 Vindlast 39
5.1.3 Nyttig last 39
5.1.4 Snölast 39
5.1.5 Snedställningslast 40
5.2 Stomstabilisering 41
5.2.1 Dimensionerande last 43
5.2.2 Dimensionering av skjuvväggar 44
5.3 Knäckning 46
5.3.1 Dimensionerande last 46
5.3.2 Dimensionering för knäckning 47
5.4 Stämpeltryck 48
5.4.1 Dimensionerande last 48
5.4.2 Dimensionering för stämpeltryck 49
5.5 Förband mot lyftkrafter 50
5.5.1 Dimensionerande last 50
5.5.2 Dimensionering av förankring för lyftkrafter 50
6 Dimensionering och lösningar 53
6.1 Fallstudie av planelement 53
6.1.1 Dimensionering av skjuvväggar 53
6.1.2 Dimensionering för knäckning 55
6.1.3 Dimensionering för stämpeltryck 56
6.1.4 Dimensionering av förband för lyftkrafter 57
6.2 Fallstudie av volymelement 58
6.2.1 Dimensionering av skjuvväggar 58
6.2.2 Dimensionering för knäckning 59
6.2.3 Dimensionering för stämpeltryck 59
6.2.4 Dimensionering av förband för lyftkrafter 60
7 Diskussion 61

7.1 Laster 61
7.2 Skjuvväggar 61
7.3 Knäckning 62
7.4 Stämpeltryck 63
7.5 Förankring 63
7.6 Jämförelse mellan plan- och volymteknik 63
8 Slutsatser och förslag till vidareutveckling 65
9 Referenser 67
10 Bilagor 71
10.1 Egentyngder 71
10.2 Vindlast 75
10.3 Snedställning 90
10.4 Sammanlagda horisontella laster 95
10.5 Horisontell last på respektive vägg 100
10.6 Dimensionerande tryckkraft 117
10.7 Dimensionerande lyftkraft 129
10.8 Bärförmåga fästdon 135

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Sverige har god tillgång till trä med bra kvalité. En stor del av råvaran används traditionellt som byggmaterial. Landets skogsareal täcker mer än hälften av ytan och ökar sin utbredning för varje år. Ungefär 50 % av den skog som avverkas transporteras till sågverk för att bli byggmaterial i olika former. Materialet är både förnybart, miljövänligt och ett bra alternativ ur ett ekonomisk perspektiv. Tillgången har gett upphov till att en betydande del av landets byggnadsbestånd är uppfört med träkonstruktioner [1].

Byggnadstekniken med trämaterial har varierat och utvecklats under århundraderna, från att tillverka liggtimmerhus, till att producera bl.a. hus med plankstomme och på senare år träregelverkskonstruktioner [2].

Prefabricerade hus förekommer långt tillbaka i tiden. Det var dock först på 1930-talet som produktionen med denna teknik tog fart. Från 1930 till 1947 såldes 17 500 enfamiljshus i trä i Sverige. Husen finns runt om i hela landet. Största antalet trähusindustrier finns i Småland. Skälet är att ett stort antal av sågverken var placerade här. Placeringen av industrierna föll naturligt i närheten av verken för bättre tillgång till byggnadsmaterial. Flertalet träindustrier har uppkommit ur sågverksindustrierna [3].

Under ett par decennier inträffade flera svåra och omfattande bränder av trähus. En av de mest omtalade utspelade sig i Sundsvall, då nästintill hela staden brann ner. Med bakgrund av bränderna infördes 1874 den första brandstadgan i Sverige [4]. Stadgan förbjöd bl.a. tillverkning av trähus högre än två våningsplan. Först 1994 upphävdes förbudet då byggtekniken och kunskapen ansågs tillräckligt utvecklad för att bygga brandsäkra trähus i flera våningar. Sedan dess har andelen flervånings bostadshus i trä ökat med 15-20 % fram till 2012. Den snabba frammarschen visar på en stark utveckling med trähus som konkurrenskraftiga byggnader [5].

Idag tillverkas prefabricerade element i fabrik för att sedan transporteras till byggarbetsplats för montering. Hur stora delar av en byggnad som prefabriceras varierar mellan olika företag och projekt. Normalt produceras planelement, som t.ex. en väggmodul, eller volymelement, som är mer eller mindre färdiga rum [5].

Det pågår en urbanisering i Sverige, vilket medför att fler bostäder krävs i städerna. Utrymmesbristen kräver i sin tur att fler människor kan få rum på en mindre yta. Trähus- industrin ser därför möjligheten att expandera genom tillverkning av flerfamiljshus i trä, i flera våningar [5]. Lägre byggnader klarar vid normala förhållanden av den last som de utsätts för genom montageinfästningar och friktion mellan byggnadsdelarna. Vid högre byggnader krävs noggrannare kontroll av stomstabilisering. Var gränsen går gällande ett aktivt val av stomstabilisering är beroende av konstruktionens utformning [6].

Vid högre byggnader är montagetiden på plats en kritisk faktor. Lägre byggnader kan under normala förhållanden monteras till ett vädertätt klimatskal under en dag. Vid högre byggnader krävs det ett tillfälligt väderskydd mot nederbörd och fukt eftersom montaget till vädertätt klimatskal tar längre tid på byggarbetsplatsen [7].

I jämförelse med den traditionella lösvirkesprincipen ses potentialer i ekonomi, byggtid och fuktsäkerhetsperspektiv för prefabricerade byggnader. När det gäller byggtid kan flera element produceras samtidigt och på byggplatsen monteras byggnaden snabbt för minimal fuktpåverkan. Vid produktion av lösvirkesbyggnader finns det behov av väderskydd för att fuktsäkra processen p.g.a. produktionstiden på byggarbetsplatsen [7].

1.2 Syfte

Studiens syfte är att utreda och utvärdera stomstabilisering av prefabricerade byggnader producerade med plan- respektive volymteknik. Skillnader mellan byggmetoderna i två och fyra våningar studeras men även resultat inom en metod. Eftersom stomstabilisering är ett stort område att studera inriktar sig studien på fyra kontroller i konstruktionen. Kontrollerna är utvalda m.h.t. normalt dimensionerande konstruktionsdelar enligt litteraturstudien. I flertal litteraturkällor diskuteras begränsande konstruktionsdelar vid uppförande av högre trähus. Därför har studien inriktat sig på att kontrollera knäckning av väggregel, stämpel-tryck, skjuvväggar och förankring mot lyftkrafter.

Målet är att påvisa för- och nackdelar vid produktion av prefabricerade fyravånings-bostadshus i trä med plan- eller volymteknik. Vid begränsningar med högre byggnader ges även förslag på lämpliga lösningar.

1.3 Avgränsningar

Studien avgränsas till att studera plan- och volymteknikproducerade träbyggnader i två och fyra våningar. Eftersom stomstabilisering är ett stort begrepp kontrolleras endast knäckning, stämpeltryck, skjuvväggar och förankring mot lyftkrafter på bottenplan.

Studien utförs enligt Svenska byggstandarder och rekommendationer. Eurokod ligger till grund för samtliga konstruktionsberäkningar. Olycklaster, temperatur och fuktrörelser utvärderas inte i studien.

1.4 Metod

En litteraturstudie inleder studien för att dokumentera vad som tidigare är utrett inom området. Hur produktion, byggteknik och konstruktion behandlas idag beskrivs sedan. För att kunna beräkna och jämföra byggmetoder med plan- och volymelement införs sedan två referensfall i två våningar. Referensfallen utreds sedan och jämförs med vad skillnaderna är då de produceras i fyra våningar. Skillnaderna analyseras för att uppmärksamma för- och nackdelar mellan byggmetoderna. Till sist diskuteras vilken av byggmetoderna som är lämplig att använda vid uppförande av fyravånings trähus.

En inventering av relevant litteratur inom området har genomförts. Det finns många delar som redan är undersökta och slutsatser som även kan appliceras i denna studie. Litteratur som använts är bl.a. böcker, rapporter och artiklar men framförallt examensarbeten och avhandlingar. En översikt över denna litteratur finns i kapitel 2.

För att inhämta kunskap om hur prefabricerade element produceras idag har studiebesök genomförts. Steg för steg dokumenteras produktion och montering för plan- respektive volymelement. Att rent fysiskt vara på plats och se hur byggtekniken används ger en fördjupad kunskap som är svår att åstadkomma med enbart teori.

Två fall med skilda byggmetoder i form av plan- och volymteknik följs i studien. En grundlig dokumentation redovisas för att påvisa vilka begränsningar och möjligheter som finns i dagens produktion.

Studerade fall djupanalyseras och utvärderas därefter. Förändrade förutsättningar ger att vissa av de lösningar som används i studerade hus inte är applicerbara vid produktion av byggnader i fyra plan. Konstruktion, produktionsmetoder och anslutningar som används idag beskrivs och kontrolleras. En jämförelse sker sedan mot produktion av samma byggnad i fyra våningar.

Åtgärder och lösningar från beräkningskapitlet diskuteras. Skillnaderna mellan produktionsmetoderna belyses och en diskussion förs om när det är lämpligt att bygga med plan- respektive volymteknik.

2 Litteraturöversikt

Litteraturöversikten ligger till grund för de kontroller som utförs senare i studien. Tidigare kunskap om bl.a. kritiska punkter vid tillverkning av högre trähus gör att en rimlig avgränsning sker tidigt.

Handbok – för beställare och projektörer av flervånings bostadshus i trä

Handbok – för beställare och projektörer av flervånings bostadshus i trä, Anders Gustafsson, Per-Erik Eriksson, Susanne Engström, Tina Wik, Erik Serrano, Handbok, Formas, Träbyggnadskansliet och Trästad 2012, Växjö, 2012, ISBN 978-91-87017–98-8, språk – svenska [5].

Handboken är skriven som ett hjälpmedel för projektering av trähus i flera våningar. De vanligaste konstruktionslösningarna redovisas med för- respektive nackdelar. Handbokens syfte är att underlätta projektering av bostadshus i flera våningar i trä och visa vilka parametrar som är viktiga att ta hänsyn till. Befintlig kunskap och de erfarenheter som finns av genomförda projekt görs tillgänglig. Handboken visar i huvudsak vilka möjligheter det finns då flervånings bostadshus i trä produceras.

En ny väg – Trästad 2012

En ny väg – Trästad 2012, Lars Westerlund, Bok, Projektet Trästad 2012, Växjö 2012, ISBN 91–975246-8-9, språk – svenska [8].

Boken förespråkar ett större användande av trä i framtida konstruktioner. Aspekter som behandlas är bl.a. miljöpåverkan, arkitektur och hållbart byggande genom trämaterial. Framförallt belyser boken genomförda projekt som uppförts med gott resultat. Boken visar också möjligheten att bygga både stort och högt med trä. Syftet är att andelen projekt med träkonstruktion och förståelsen för hållbart byggande ska öka i framtiden. Även olika arbetsmetoder och byggprocesser presenteras för att visa vilka utvecklingsmöjligheter som finns inom branschen.

Att välja trä – En faktaskrift om trä

Att välja trä – En faktaskrift om trä, Per Bergkvist, Johan Fröbel, Bok, Svenskt trä, Stockholm, 2013, språk - svenska [9].

Boken beskriver trä, från råvara till produkt. Även förankringar, produktionssätt m.m. som utnyttjas vid brukande av träprodukter beskrivs. Först behandlar boken råvaran trä, dess olika träslag, miljöpåverkan och kvalitéer. Därefter visas vilka produkter som kan produceras av råvaran samt deras användningsområden. Till sist behandlas produktionssätt, förankringar och regelverk gällande träbyggnad. Boken ger en fördjupad förståelse om materialet trä och dess potential i konstruktioner.

Industriellt byggande – en nulägesrapport

Industriellt byggande – en nulägesrapport, Johan Kron, Ebba Goldkuhl, Rapport, Chalmers Tekniska Högskola, 2006:71, Göteborg, 2006, språl - svenska [10].

Studien behandlar industriellt byggande 2006. Genom att kartlägga begrepp och studera företag som använder sig av nämnd byggmetod ger rapporten läsaren en bild av den industriella utvecklingen.

Bygga Industrialiserat

Bygga Industrialiserat, Peter Adler, Bok, AB Svensk Byggtjänst, Stockholm, 2005, ISBN 91-7333-085-X, språk – svenska [11].

Boken utreder industrialiserat byggande ur ett tekniskt perspektiv. Målet med boken är att visa möjligheten till ett resurssnålt, miljöriktigt och funktionellt byggande. Till sist finns även genomförda projekt dokumenterade och lärdomar som kan tas från dessa.

Industrialised Timber Frame Housing – Managing customisation, change and information

Industrialised Timber Frame Housing – Managing customisation, change and information, Max Bergström, Rapport, Luleå University of Technology, Luleå, 2004, ISSN 1402-1544, språk – engelska [12].

Studien bygger på fem andra artiklar [13], [14], [15], [16], [12]. Syftet med studien är att öka kunskapen för prefabricerade element vid produktion av flervåningshus i trä. Faktorer som behandlas är flexibilitet, design, förändring och informationshantering, vilka är centrala begrepp vid fortsatt utveckling.

Bostäder byggda med volymelement, En fallstudie av svenska bostadsprojekt – verklighet och vision

Bostäder byggda med volymelement – En Fallstudie av svenska bostadsprojekt – verklighet och vision, Sonny Modig, Rapport, Boverket, Allkopia i Växjö AB, Växjö, 2006, ISBN 91-7147-940-6, språk – svenska [4].

Studien redovisar hur byggprocesser utvecklats från traditionellt byggande till att industrialiseras i form av volymelement. Begränsningar som finns vid produktion av bostäder med volymelement utreds. Några tillverkare av volymelement och deras utvecklings-möjligheter inför framtida produktion studeras. Genom studien framhävs positiva respektive negativa konsekvenser vid produktion av volymelement. Studien redovisar utvecklingen som skett inom produktion av bostäder med volymelement. Synpunkter ges även om framtida projekt och möjligheter att utveckla dagens teknik.

En jämförelse mellan två olika trästomsystem och byggmetoder – Planelement med pelar-balksystem och volymelement med regelsystem

En jämförelse mellan två olika trästomsystem och byggmetoder – Planelement med pelar-balksystem och volymelement med regelsystem, Fanny Giang, Ludmila Moroz, Examensarbete, KTH, 2013;67, Stockholm, 2013, språk - svenska [17].

Studien behandlar två fall av byggteknik med varsitt stomsystem. Ena fallet som behandlas är planelement med pelar-balksystem och det andra volymelement med regelsystem. Genom studien utreds för- och nackdelar med respektive fall. Redovisning vid vilka förhållanden det är gynnsamt att använda det ena fallet respektive det andra systemet visas även. Till följd av konstruktionens låga egentyngd påvisas komplikationer i detaljer och anslutningar. Studien belyser dessa svårigheter och visar exempel på hur det är möjligt att lösa de problem som uppstår.

Byggandet av flervåningshus i trä – Erfarenheter efter tre års observation av träbyggandets utveckling

Byggandet av flervåningshus i trä – Erfarenheter efter tre års observation av träbyggandets utveckling, Lars Stehn, Lars-Olof Rask, Ingemar Nygren, Birgit Östman, Rapport, Växjö Universitet, Växjö, 2008, ISBN 978-91-7636-642-4, språk – svenska [18].

I rapporten beskrivs 15 fallstudier av flervåningshus byggda i trä. Projekt som sammanfattas i studien har producerats med varierande byggteknik såsom pelar-balk system, skivsystem av massivträ och regelsystem. Dessutom varierar även byggmetoden mellan fallstudierna i form av platsbyggt eller prefabricerade plan-och volymelement.

För varje fallstudie sammanfattas de produktionssätt som använts. En diskussion följer sedan med erfarenheter och intressanta lösningar som använts i respektive projekt.

Genom att genomföra s.k. pilotprojekt där flervåningshus i trä produceras kan tillverkningen för efterföljande träbyggnader underlättas då erfarenhet från pilotprojekten beaktas. Enligt studien leder detta till en bättre insikt i vad som går att förbättra eller förändra med utgångspunkt från tidigare projekt.

Timber Volume Element Prefabrication – Production and market aspects

Timber Volume Element Prefabrication – Production and market aspects, Matilda Höök, Rapport, LTU, Luleå University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Luleå, 2005, ISSN 1402-1757, språk - engelska [19].

Studien är skriven med syftet att utveckla förståelse för hinder och för möjligheter till innovation i Sverige med volymproducerade byggnader i trä. Fokus ligger på produktion och marknadsperspektiv. Med utgångspunkt från tre [20], [21], [22] tidigare skrivna artiklar påvisas de hinder och möjligheter som volymbyggande i trä möter. Förslag ges till möjliga åtgärder som kan användas för att komma över de hinder som presenterats.

Prefabricerade hus – en fråga om kvalitet, ekonomi och byggtid.

Prefabricerade hus – en fråga om kvalitet, ekonomi och byggtid, Charlotta Elwing, Kristin Sjögren, Examensarbete, Växjö universitet, TD 065/2006, Växjö, 2006 [23].

Studien jämför byggmetoderna prefabricering respektive platsbyggt med hänsyn till kvalitet, ekonomi och byggtid. Genomgående framgår det att platsbyggda byggnader har en förankrad historia i den Svenska kulturen. Byggbranschen ser denna metod som ett säkert val där kunskapen är väl utvecklad. Dock medges det att prefabricerade element används i allt större utsträckning och tenderar att ta allt större marknadsandelar i framtiden.

Genom studien framgår det också att med prefabricering finns potential för de tre tidigare nämnda faktorerna att det blir bättre jämfört med det platsbyggda alternativet. Dock krävs en större insats vid projektering samt en jämn och hög tillverkningskvot. Studien visar att det vid god planering är fördelaktigt att producera hus med prefabricerade element jämfört med platsbyggt.

Design of timber structures

Design of timber structures, Robert Crocetti, Marie Johansson, Helena Johansson, Robert Kliger, Annika Mårtensson, Bert Norlin, Anna Pousette, Sven Thelandersson, Bok, Swedish Forest Industries Federation, Malmö, 2011, ISBN 978-91-637-0055-2, språk – engelska [24].

Boken är baserad på Eurocode och visar beräkningar som används då träkonstruktioner dimensioneras. Framförallt ges teori bakom detaljkonstruktion av anslutningar. Med hjälp av denna bok är det möjligt att dimensionera exempelvis skruvförband och andra träanslutningar.

Defects in offsite construction: timber module prefabrication

Defects in offsite construction: timber module prefabrication, Helena Johnsson, John Henrik Meiling, Artikel, Construction Management and Economics, Volume 27, Issue 7, Luleå University of Technology, Luleå, 2009, språk – engelska [25].

I artikeln undersöks de fel som uppkommer vid produktion av prefabricerade trähus jämfört med konventionellt platsbyggande. Tendenser till färre fel vid produktion med prefabricerade volymelement än vid platsbyggda byggnader visas. Enligt artikeln anges även en större potential med prefabricering inom effektivitet, kontroll, kvalitet och kostnad. Förbättringar kan ske genom högre projekteringsgrad, noggrannhet och kommunikation, främst i form av kunskapsöverföring. Genom ökad prefabriceringsgrad visas att antal fel vid besiktning kan minskas, vilket leder till en sänkt kostnad och högre kvalitet.

Industriellt byggande – en nulägesrapport

Industriellt byggande – en nulägesrapport, Johan Kron, Ebba Goldkuhl, Rapport, Chalmers Tekniska Högskola, 2006:71, Göteborg, 2006, språl - svenska [10].

Studien behandlar industriellt byggande 2006. Genom att kartlägga begrepp och studera företag som använder sig av nämnd byggmetod ger rapporten läsaren en bild av den industriella utvecklingen.

Prefabricerade väggelement med pelar-balkstomme

Prefabricerade väggelement med pelar-balkelement, David Andersson, Examensarbete, Luleå Tekniska Universitet, Luleå, 2005, ISSN 1402-1617, språk – svenska [26].

Målet med studien är att föreslå en produktionsprocess för ett prefabricerat flervåningshus av trä i Umeå. Studien utreder många viktiga begrepp inom byggbranschen för att slutligen komma fram till en produktionsprocess med hänsyn till flera aktörer inom försörjningskedjan.

Akustik i byggnader

Akustik i byggnader, Birgit Östman, Artikel, SP Trätek, Stockholm, Bygg och Teknik 4/08, Stockholm, 2008, språk - svenska [27].

I artikeln beskrivs de akustikrelaterande svårigheter som uppkommer då lätta konstruktioner produceras. Akustiken i en lätt konstruktion kräver en noggrannare utredning än för ett tyngre alternativ. Artikeln menar på att det finns goda modeller för beräkningar gällande akustik i tyngre konstruktioner. Många av dessa beräkningar lämpar sig dock inte på lätta träkonstruktioner, vilket medför att forskning och nya beräkningsmodeller krävs.

Transport av volymelement – Förutsättningar ur ett företags perspektiv

Transport av volymelement – Förutsättningar ur ett företags perspektiv, Paul Andersson, Igor Ladan, Examensarbete, Halmstad Högskola, Halmstad, 2010 [28].

Studien behandlar de transportregler som finns i Sverige. Främst utreds transportmöjligheter ur ekonomisk synpunkt. Dock sammanställs mått och regler som sätter begränsningar för transport av plan- och volymelement. Transport är en vital del att ta hänsyn till då transporten sätter stora begränsningar på de mått som kan användas för prefabelement.

Connecting lean construction to prefabrication complexity in Swedish volume element housing

Connecting lean construction to prefabrication complexity in Swedish volume element housing, Rapport, Matilda Höök, Lars Stehn, Proceedings of the 13th Annual Conference on Lean Construction (IGLC-13), Sydney, Australia, 2005, språk – engelska [20].

Artikelns syfte är att öka förståelsen hur bl.a. lean construction kan användas vid produktion av volymelement. Olika styrande faktorer motverkar varandra vid olika grad av prefabricering. Skiftande faktorer medverkar till en komplex lösning av lean construction om det ska vara applicerbart oavsett prefabriceringsgrad.

Trust – The missing link between innovation diffusion and adoption in timber volume element housing

Trust – The missing link between innovation diffusion and adoption in timber volume element housing, Matilda Höök, Rapport, Lars Stehn, Construction Management and Economics, Luleå University of Technology, Luleå, 2005, språk – engelska [21].

Artikeln beskriver det minskade värdet en prefabricerad byggnad tilldelas jämfört med en platsbyggd. Enligt artikeln beror denna värdeminskning dels på gamla anor med platsbyggda byggnader, men även på bristande information om prefabricerade volymelement.

Innovative and lean construction success factors for component suppliers

Innovative and lean construction success factors for component suppliers, Matilda Höök, Rapport, Lars Stehn, Luleå University of Technology, Proceedings of the 12th Annual Conference on Lean Construction (IGLC-12), Elsinore, Danmark, 2004, språk – engelska [22]**.**

Studien undersöker möjligheterna för prefableverantörer att använda sig av lean construction och agile construction. Flertalet företag undersöks för att dokumentera användning av lean construction. Därefter söktes de fördelar som respektive företag fick ut av användningen av leankonceptet. Leankonceptet handlar om hur resurser kan hanteras.

Benefits and disadvantages of ERP in industrialised timber frame housing in Sweden

Benefits and disadvantages or ERP in industrialised timber frame housing in Sweden, Max Bergström, Lars Stehn, Rapport, Luleå University of Technology, Construction Management and Economics, Luleå, 2004, språk – engelska [14].

Genom intervjuer och enkätundersökningar undersöks möjligheten att använda sig av s.k. ERP vilket är en förkortning av Enterprise Resourse Planning i industrialiserad byggproduktion. ERP är ett samlingsnamn för IT-system som tillhandahåller informations-hantering i företag eller genom försörjningskedjor. Studien undersöker positiva respektive negativa faktorer som uppkommer vid användning av ERP vid industrialiserat byggande.

Integrated design and production of multi-story timber frame houses - production effects caused by customer-oriented design

Integrated design and production of multi-story timber frame houses - production effects caused by customer-oriented design, Max Bergström, Lars Stehn, Rapport, Luleå University of Technology, International Journal of Production Economics, 2002, Luleå, språk – engelska [29].

I studien undersöks vilka faktorer som är viktigast för tillverkare respektive brukare då flervånings bostadshus i trä produceras m.h.a. volymelement. Genom enkäter och en fallstudie identifieras faktorerna och tilldelas varierande betydelse. Vidare undersöks möjligheten till att öka flexibiliteten för volymelementen och dess betydelse för produktionskostnaden.

Matching industrialised timber frame housing needs and enterprise resource planning – a change process

Matching industrialised timber frame housing needs and enterprise resource planning – a change process, Max Bergström, Lars Stehn, Rapport, Luleå University of Technology, International Journal of Production Economics, Luleå, 2004, språk – engelska [13].

I studien undersöks tillverkningsprocessen för volymelement i trä. Målet är att öka kunskapen om försörjningskedjan och framhäva de hjälpmedel som finns idag i form av bl.a. planering och införandet av IT-verktyg. Studien visar att flexibilitet och effektivitet ofta motverkar varandra men kan komma närmre varandra med hjälp av olika hjälpmedel.

Byggkonstruktion

Byggkonstruktion, Tord Isaksson, Annika Mårtensson, Sven Thelandersson, Bok, Studentlitteratur AB, 2010, Lund, ISBN 9789144070308, språk – svenska [30].

Boken behandlar konstruktionsberäkningar och är baserad på Eurocode. Lastberäkningar och grundläggande kunskaper om kontruktionsberäkningar är beskrivna i boken. Både material- och konstruktionsegenskaper är beskrivna.

ManuBuild – erfarenheter från ett EU-projekt om industriellt bostadsbyggande

ManuBuild – erfarenheter från ett EU-projekt om industriellt bostadsbyggande, Christina Claeson-Jonsson, Rapport, NCC Teknik, SBUF-projekt 12260, 2010, Göteborg, språk – svenska [31].

ManuBuild är en satsning som finansierades av EU för att utveckla industrialiseringen av byggbranschen. Områden som studeras är huvudsakligen aktörernas krav och önskemål, byggsystemkoncept, affärsmodeller samt tillverkningsmetoder. Viktiga slutsatser som framkom genom projektet var bl.a. att det i framtiden kommer att bli allt viktigare med en kundorienterad byggprocess istället för standardiserade lösningar. Enligt studien rekommenderas bl.a. standardisering av processer istället för standardisering av byggdelar. ManuBuild menar att det i framtiden är viktigt att kunden har stora valmöjligheter även med industriellt byggande.

ERP system implementation – a case study of a medium-sized industrialised housing company

ERP system implementation – a case study of a medium-sized industrialised housing company, Max Bergström, Rapport, Luleå University of Technology, International Journal of Operations & Production Management, Luleå, 2004, språk – engelska [16].

Studien behandlar problem som uppkommer vid införandet av ERP för tillverkning av volymelement i industri. En fallstudie för ett medelstort företag i Sverige ingår i studien. Vid införandet av ny teknik i företaget stötte man på flertalet motverkande faktorer men konstaterade även fördelar som är värdefulla i längden.

Industriellt bostadsbyggande – Koncept och processer

Industriellt bostadsbyggande – Koncept och processer, Boverket, Rapport, Karlskrona, 2008, ISBN 978-91-85751–99-0, språk – svenska [32].

Rapporten behandlar tillverkningsprocesser som används vid industriellt byggande. Byggbranschen ligger efter i utvecklingen industriellt jämfört med exempelvis bilbranschen. Kunskap och framgångsfaktorer om processer från biltillverkningen bör även appliceras på industriellt byggande. Studien menar att processer i genomförandet av ett projekt kan industrialiseras mot ett effektivare och mindre kostsamt byggalternativ.

Customised industrialised timber frame house manufacturing – prospects and pitfalls

Customised industrialised timber frame house manufacturing – prospects and pitfalls, Max Bergström, Mats Westerberg, Rapport, Luleå University of Technology, Construction Innovation, Luleå, 2004, språk – engelska [15].

I studien undersöks och diskuteras produktion av volymelement. Genom intervjuer och enkätundersökningar redovisas vilka hinder som begränsar tillverkningsprocessen idag. Studien hävdar att husindustrin står inför en förändring från standardiserad volymelementtillverkning till att skräddarsy tillverkningen efter kundens önskemål. Studien ger kunskap om verktyg som användas för att förändra tillverkningsprocessen mot en mer kundinriktad process.

3 Produktion idag

Prefabricering innebär att arbetsuppgifter från byggarbetsplatsen flyttas till industri. Förhållandet i industrin ger möjlighet till effektivare styrning av produktionsprocessen. Med en kontrollerad miljö kan även en del arbetsuppgifter underlättas genom hjälpmedel som informationssystem, maskiner och robotar. I inomhusmiljö utsätts konstruktionen inte för fukt. Produktionen sker fuktsäkert eftersom det är möjligt att undkomma nederbörd vid planering av montagedag. Industriell produktion verkar mot minskat spill samtidigt som återstående aktiviteter flyter utan driftstopp. Målet är att produktionen ska flyta utan stopp, väntan, mellanlagring eller bakåtflöden. Elementen måste därför vara felfria när de lämnar ett steg i produktionen för nästa. Vid ett uppmärksammat fel måste produktionen stoppas för att finna felets ursprung [33].

Plan- och volymelement produceras i industri med skild prefabriceringsgrad. Planteknik har lägre prefabriceringsgrad jämfört med volymelementen. Båda produktionssätten har både för- och nackdelar under byggprocessen. Nedan följer några positiva aspekter för prefabricerade byggnadselement [4]:

- **Upprepningseffekter**

Upprepningseffekter kan minska projekterings- och produktionstiden. Vid återkommande arbetsuppgifter i ett projekt kan tidigare erfarenheter bidra till högre effektivitet. Standardiserade komponenter och lösningar är ett sätt att applicera upprepningseffekt och på så sätt minska arbetstid och kostnad. Få sorters element, komponenter, lösningar och anslutningar ger också positivt utslag gällande tid och kostnad.

- **Byggtid**

Vid produktion av prefabricerade element är det möjligt att arbeta med flera byggnadsdelar parallellt. Produktionstiden minskas därför avsevärt jämfört med traditionellt byggande.

- **Kunskapsåterföring**

Eventuella fel eller problem som uppmärksammas under produktion eller montage kan justeras inför resterande eller kommande produktion. Även lösningar eller dylikt som inte uppfyller de krav som satts kan förbättras inför vidare produktion.

- **Kvalitet**

Möjligheten till löpande kontroller under produktionsprocessen bidrar till en hög och jämn kvalitet på prefabricerade element.

- **Logistik**

Det finns möjlighet att planera material- och informationsflöde på ett kontrollerat sätt. Lager ger upphov till kapitalbindning vilket kan minskas genom planering av materialflöde. Informationsflöde kan förenklas genom att t.ex. använda sig av samma datorprogram genom produktionen.

- **Arbetsmiljö**

Arbetsmiljön för personalen är god då produktionen sker inomhus. Hjälpmedel exempelvis för tunga lyft finns nära till hands och en större del av arbetet kan ske i bra arbetshöjd.

- **Fuktsäkerhet**

I en väderskyddad träindustri sker produktionen utan risk för fukt. Kort monteringstid minskar risken för fuktpåverkan. Förutsättningarna för att våtrum ska hålla hög kvalitét ökar p.g.a. samordningsmöjligheter mellan hantverkare, stabil temperatur och en ren industri.

- **Störningar**

Kortare produktionstid på byggarbetsplatsen medför mindre störningar av aktiviteter och boende i närheten.

- **Spill**

Med hänsyn till kunskapsåterföring och planering tenderar spillmaterial att minska vid industriell produktion.

- **Samordning mellan hantverkare**

Hantverkare inom olika områden kan samverka och bidra till en bättre slutprodukt jämfört med traditionell produktion.

- **Kostnad och kapitalbindning**

Kostnad och kapitalbindning kan minskas genom olika element och komponenter i produktion. Vid ökad kontrollmöjlighet kan även lagerhållning och produkter i arbete minskas.

- **Service och underhåll**

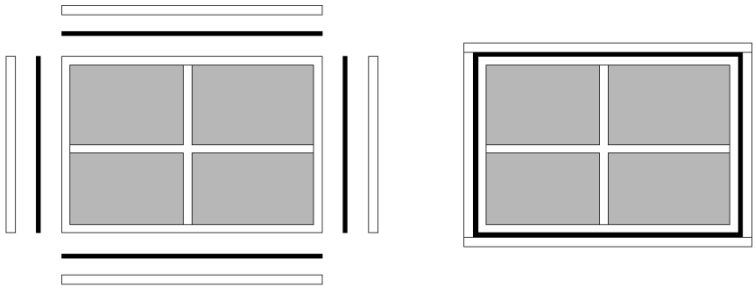
Vid standardiserade anslutningar mellan elementen ges större möjlighet att exempelvis byta ut hela volymelement. Exempelvis om en byggnad innehåller system med olika livslängd kan uppgradering lätt ske genom att vissa moduler byts ut [33].

3.1 Produktion av planelement

Planelement är en prefabricerad byggnadsdel i två dimensioner. Elementen är oftast isolerade regelverk med gips på insidan och fasadbeklädnad på utsidan. Förberedelser för installationsarbeten sker generellt i form av dragna rör eller håltagningar [18]. I industrin produceras väggar, bjälklag och tak i separata produktionslinjer [34].

3.1.1 Planelement i industri

Ytterväggsproduktionen startar många gånger initialt med påbyggnad av karm kring dörrar och fönster. Träreglar med mellanliggande gummilist pressas runt komponenten för att anslutningen ska bli tät. Figur 1 illustrerar utförandet av fönsterkarmen med tätningslister [34].



Figur 1: Inramning av fönster.

Dörr eller fönsterkomponenten monteras ihop till ett delelement, Figur 2. Delelementet sträcker sig till karmen i sidled och i höjdled till innerkant av syll och hammarband. Kompletttering av isolering sker mellan reglarna. Parallellt produceras även andra delelement som sträcker sig till underkant av syll och hammarband [34].

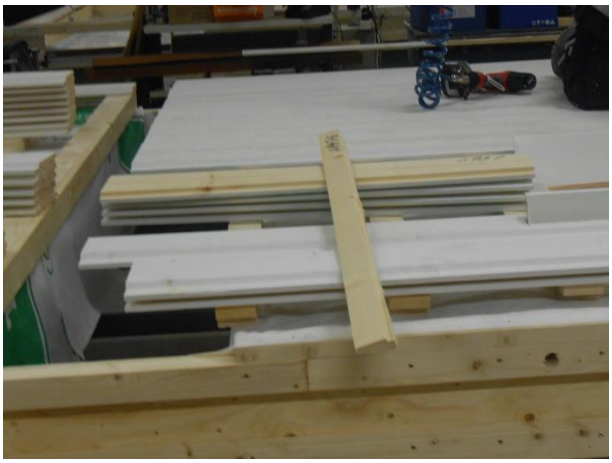
I följande station placeras delelementen mellan syll och hammarband, Figur 3. Färdigkapade reglar placeras mellan delelementen och skapar på så sätt ett regelverk. Tomrummen i regelverket kompletteras med isolering till ett färdigt skikt [34].

Figur 3: Delelement med fönsterkomponent.

Figur 2: Delelmenet utökas till väggelement.

Vindskydd rullas ut över elementet och skärs till för att sedan fästas i regelverket, Figur 4. När vindskyddet är på plats fortsätter produktionen med utplacering och spikning av läkt. Beroende på om träfasaden är liggande eller stående placeras läkten olika för att skapa en fungerande luftspalt, Figur 5 [34].

Figur 4: Vindskydd sätts på plats.

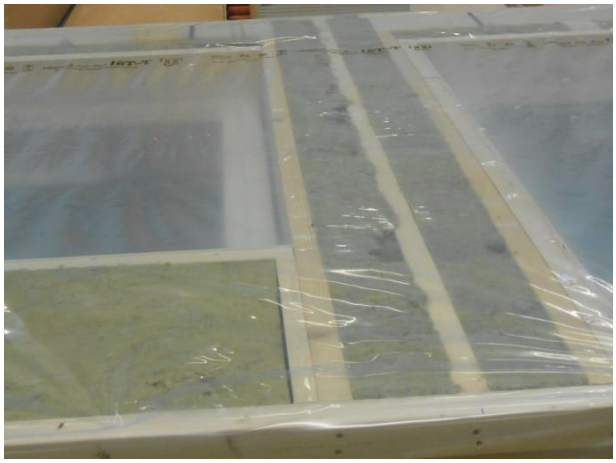


Figur 5: Väggpanel spikas.

Fasadpanelen målas med ett skikt grundfärg och ett skikt med färg, Figur 6. På läkten spikas sedan träfasaden. Fastsättning sker maskinellt med spikpistoler. I efterhand kompletteras fasaden vid detaljer. Exempelvis vid fönster och dörrar monteras bl.a. bleck och foder.

Rullborden som elementen ligger på kan resas. Då fasaden är färdig vänds elementen m.h.a. rullborden samt travers. På insidan av elementen fästs ett ångtätskikt som skärs till för fönster och dylikt, Figur 7 [34].

Figur 6: Målning av fasadpanel.



Figur 7: Ångtätt skikt insida yttervägg.

På det ångtäta skiktet sätts gips. Gipsen sätts fast i maskin på ett förutbestämt sätt för att motverka skevning. Ytterväggen har nu passerat alla produktionssteg och är färdig för leverans, Figur 8. Avstyvningar fästs under produktionens gång för att transportsäkra elementen. Elementet förs från produktionshallen till vänthallen, där det lagras tills det är dags för lastning och transport till byggarbetsplatsen [34].

Innerväggar produceras m.h.a. maskin. Prefabriceringsgraden är ofta relativt låg vilket resulterar i ett regelverk utan isolering eller andra förberedelser, Figur 9. För att förenkla transport och lyft kan flera innerväggar ingå i ett element. På byggarbetsplatsen sågas sedan elementet ner till mindre regelverk som används i byggnaden [34].

Figur 8: Färdig yttervägg.

Figur 9: Flera innerväggar i ett element.

Bjälklag produceras som kassetter vilka monteras ihop till ett sammanhängande bjälklag på byggarbetsplatsen. Vid produktion av bjälklag kapas reglarna till givna längder och regelverket spikas sedan samman maskinellt, Figur 10. Spånskivor monteras över och under regelverket. Ursparningar förbereder för senare installationer. I randen fylls bjälklaget med isolering. Innanför randisoleringen löper ett schakt för installationer. Elementen benämns som bjälklagskassetter och hakas i varandra vid montage, Figur 11 [34].

Figur 11: Bjälkar till bjälklag spikas samman.

Figur 10: Färdig bjälklagskassett.

3.1.2 Planelement på byggarbetsplats

På betonggrunden mäts det ut var väggarna skall placeras. Gummilister och ett fuktskydd placeras under styrsyllen, Figur 12. Styrsyllen fästs i betonggrunden och utgör en mall för var ytterväggarna ska placeras. Vid oaktsamt montage utan väderskydd av syllen kan det finnas risk för byggfukt vid nederbörd. Väggarna lyfts sedan på plats från lastbilen med en kran. Väggen placeras på syllen och kräver sedan endast justering i syllens längdriktning [34]. Ytterväggen stabiliseras med strävor. Strävorna skruvas i väggregel och i betongplattan. På varje väggelement används minst två strävor enligt Figur 13 [35].

Figur 12: Styrsyll och placering av väggelement.

Figur 13: Stabilisering med strävor.

Resterande väggar på bottenplan monteras på samma sätt. Väggarna passas in efter tidigare montage och utmätta markeringar. Långa skruvar fäster samman ytterväggarna enligt Figur 14. I hörnanslutning mellan väggar i samma våning finns två gummilister som tätar konstruktionen, Figur 15. Vid väggar som inte möts i hörn finns en list på yttersidan, vilken kompletteras innanför med fogmassa [35].

Figur 14: Anslutning yttervägg.

Figur 15: Hörnanslutning mellan väggelement.

Då väggarna på ett plan är färdigställda monteras bl.a. innerväggar och bärande balkar. Bottenplan färdigställs till den grad att montaget kan fortsätta, Figur 16. Material som skall användas på bottenplan bystas innan bjälklaget monteras. När väggar och kompletteringar för bottenplan är monterade väntar montage av bjälklag. Bjälklagskassetterna hakas i varandra och fästs med lim och spik, Figur 17. På bjälklagets utsida skarvas vindskyddet för att skydda konstruktionen. Skruvning sker dels mellan kassetternas bjälkar och dels ner till bärande skikt i regelväggen [35].

Figur 16: Bärande stomme på plan 1 färdigställs.

Figur 17: Limmning av bjälklagskassetter.

Bjälklagets ytterkanter kompletteras med reglar och spånskivor över kabelschaktet. Därefter sätts vindskydd och syll för andra våningens ytterväggar. Vid färdigställt bjälklag monteras nästa plans ytterväggar enligt samma princip som bottenplan, Figur 18 [35].

Figur 18: Montage av väggar på plan 2 samt list i anslutning vägg.

När övervåningens ytterväggar är monterade väntar montage av takstolar. Takstolarna fästs med vinkeljärn i ytterväggens bärande skikt. När takstolarna är på plats spikas råspont och papp. På pappen fästs läkt vilken takpannorna spikas i [35].

Därefter väntar kompletteringar på utsidan samt eventuell reparation av skador som uppkommit vid transport och montage. Skador uppstår ofta vid lyft, transportvibrationer eller under montageskedet. Inomhus krävs ett omfattande arbete med ytskikt, installationer våtrum m.m. Klimatskalet är efter montage fullgjort, vilket medför att byggnaden är fuktskyddad mot väder och vind. Fortsatt arbete kan fortskrida utan risk för byggfukt orsakat av yttre belastning [35].

3.2 Produktion av volymelement

Ett volymelement är en prefabricerad byggnadsdel i tre dimensioner. Volymelement kan vara monterade planelement. Följande kapitel beskriver tillverkning och montage av volymelement [18].

3.2.1 Volymelement i industri

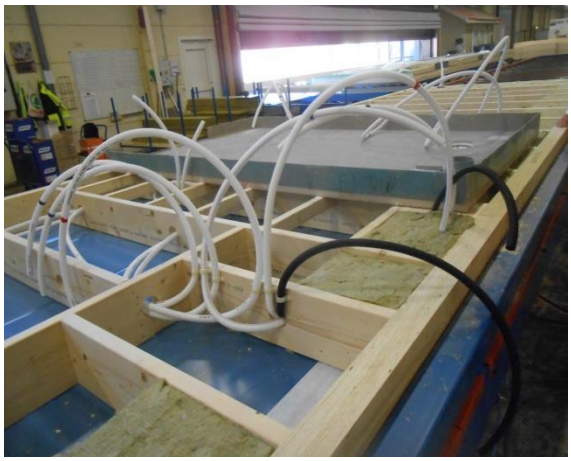
I kapitlet beskrivs ett exempel på hur volymelementproducerade byggnader kan tillverkas.

Tillverkning av volymelement sker initialt med produktion av planelement. Planelementen monteras senare ihop till ett volymelement. I industrin produceras väggar, bjälklag och tak på varsin produktionslinje. På bjälklagslinjen turas golv- och takbjälklag om att produceras varannan gång [34]. Figur 19 visar färdiga inner- och ytterväggar vilka produceras enligt kapitel 3.1.1.

Figur 19: Inner- och yttervägg.

Bjälklagen produceras på ett rullbord enligt Figur 20. Mycket arbete i fabriken sker manuellt p.g.a. komplexiteten som uppkommer vid förhöjd prefabriceringsgrad. Fler produktionssteg skapas ju större del av byggnaden som prefabriceras. Det medför att maskiner utnyttjas så mycket som möjligt, främst för enklare steg i produktionen. Installationer förbereds genom rördragningar av olika slag. En balja utgör botten till våtrummet, vilket ska öka fuktsäkerheten i rummet, Figur 21 [36].

Figur 20: Bjälklag till volymelement.



Figur 21: Installationer och våtrumsbalja.

Eftersom volymelementen kommer att utsättas för hög belastning i konstruktionen, men även vid lyft och montering, används kertobalkar i bjälklagen istället för traditionella reglar enligt Figur 22. Vid produktion av takbjälklag sätts ljuddämpande gummiklossar ut där överliggande volymelement kommer att monteras. Planelementen monteras ihop till ett volymelement. Väggarna reses och monteras fast med golvbjälklaget och med varandra. När alla väggar monterats samman sätts även takbjälklaget på plats. Volymelementen färdigställs sedan så långt som möjligt, Figur 23. Installationer, vitvaror, kök, och trappor kan nästintill färdigställas i industrin. Även ytskikt såsom golv, tapeter och våtrum färdigställs. Framförallt är det anslutningarna mellan volymelementen är ofullständiga och behöver kompletteras på byggarbetsplatsen [36].

Figur 22: Bjälklag med kertobalkar.

Figur 23: Ytskikt och inredning.

Volymelementen väderskyddas genom emballering. Elementen placeras sedan i en vänthall tills det är dags för lastning. Lastbilar transporterar volymelementen för montage till byggarbetsplatsen, Figur 24 [36].

Figur 24: Lastning av volymelement.

3.2.2 Volymelement på byggarbetsplats

På byggarbetsplatsen lossas emballaget i underkant men bevaras på sidor och takbjälklag vid behov av väderskydd. Känslighet och brister ligger framförallt i sammanfogningen på plats. Utvecklingsmöjligheter för förfining kvarstår till viss del så att det totala resultatet kan bli avsevärt bättre än traditionellt platsbyggt [4]. Efter justering monteras volymer som är i samma lägenhet samman med varandra. Det sker genom gängor och bult, där gängan löper genom takbjälkarna. Mellan volymerna bildas en luftspalt som tätas med isolerande skum. En foderbräda döljer sedan anslutningen från utsidan, Figur 25 [37].

Figur 25: Skarv mellan volymelementen.

Takstolarna monteras, varefter takkassetter läggs. Volymelementen monteras vertikalt tills alla våningar är på plats innan intilliggande element monteras. På detta sätt väderskyddas byggnaden så snabbt som möjligt. På byggnadens kortsida saknar volymerna ytterväggskonstruktion p.g.a. breddbegränsningar vid transport. Ytterväggskonstruktionen monteras därför separat efter att volymen monterats på plats [37].

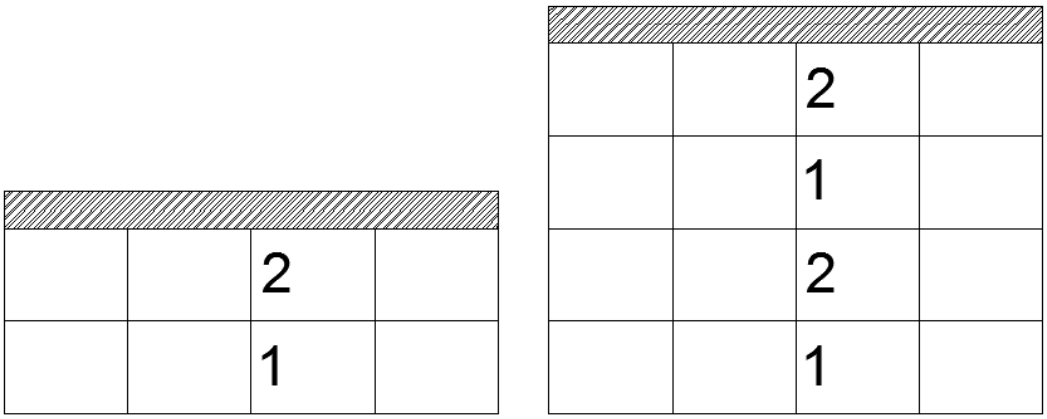
Klimatskärmen färdigställs i samband med montaget. Parallellt kan inomhusmiljön färdigställas i form av anslutningar mellan volymerna och färdigställande av ytskikt [37]. Installationer löper i schakt eller nischer som kopplas ihop med intilliggande volymelement. Potential finns för kopplingskomponenter som är smidigare och mer ekonomiska [4].

4 Fallstudier

Fallstudier i kapitel 5 specificerar två byggnader uppförda med plan- och volymteknik. Kapitlet nedan ligger till grund för beräkningar i kapitel 7. För att fallstudierna ska vara jämförbara används byggnader i liknande storlek. För båda fallstudierna antas fyra lägenheter produceras i bredd, planvy enligt Figur 26.

Figur 26: Fyra lägenheter bredvid varandra.

Fallstudierna studeras i 2 våningar och utökas sedan till 4 våningar. Våning 3 och 4 har samma uppbyggnad som våning 1 och 2 i tvåplansplanshuset, enligt Figur 27.



Figur 27: Två och fyra våningars fallstudie.

4.1 Fallstudie av planelement

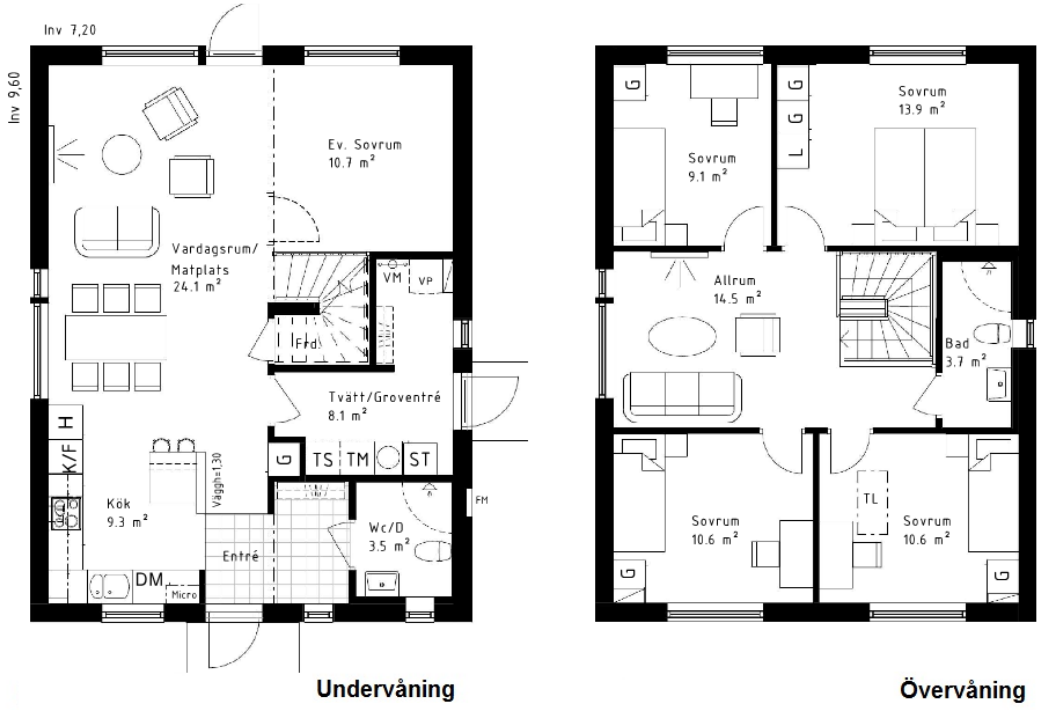
Ett flertal tvåvåningshus finns presenterade av Myresjöhus i en serie döpt till Level one. Vid anblick av serien finns flertal hus som ser lovande ut för att konstrueras som fyrvåningshus. Fallstudien för planelementbyggt hus kommer att bygga på Smart 138 som ingår i nämnd serie, enligt Figur 28 [38].

Smart 138 är ett tvåplanshus med 137,7 m^2 BOA och bruttoarean 81 m^2. I fallstudien kontrolleras en byggnad med 4 sammanbyggda hus. Huset har fått inspiration från 30-talets funkisarkitektur. Entrén är placerad på kortsidan, vilket är en fördel speciellt vid smala tomter. Bygghöjden är vid standardförhållanden 5,88 m och sadeltakets lutning 18° [38].

Figur 28: Level one serien,"Smart 138" [38].

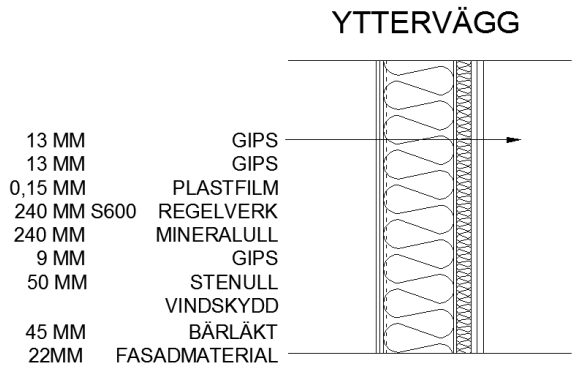
4.1.1 Produktion av planelement

I industri produceras planelementen till Smart 138 principiellt enligt kapitel 3.1. Byggnaden är ett tvåplanshus med lättvirkeskonstruktion. Planlösningen för Smart 138 visas i Figur 29. Planlösningen kan spegelvändas eller bearbetas för att passa kundens önskemål [38].



Figur 29: Planlösning för Smart 138 [38].

Väggelementen är uppbyggda av regelverk. Ytterväggskonstruktionen visas i Figur 30 och är totalt 392 mm tjock [38].



Figur 30. Ytterväggskonstruktion.

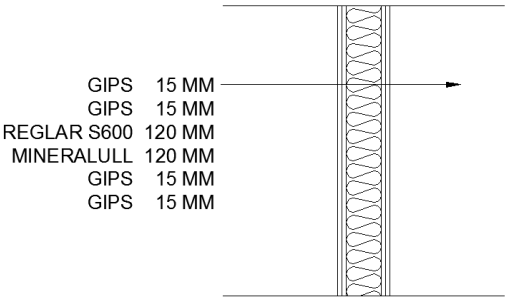
Gavelväggarna löper ut i hörnen medan långsidorna möter gavelns insida. Total längd för byggnadens gavel är 10,384 m, Figur 31. Byggnadens långsida är 30 m lång och väggarnas höjd är 2 493 mm [38].

Figur 31: Smart 138 kortsida [38].

Byggnadens långsida visas i Figur 32. Både ytter och innerväggar möter gavelns insida och är totalt 9 600 mm [38].

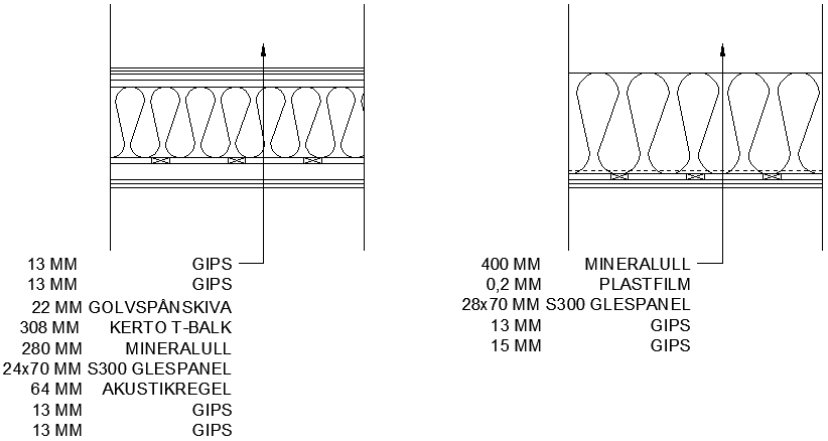
Figur 32: Smart 138 långsida [38].

Bärande innervägg är 180 mm tjock och har konstruktion enligt Figur 33.



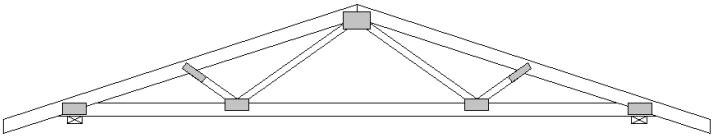
Figur 33: Bärande innerväggskonstruktion.

Bjälkarna löper från långsida till långsida inom en lägenhet. Ändarna avslutas vid utsida av ytterväggens bärande pelare. Bjälklagskassetterna är 10,132 m långa, 1 200 mm breda och har tjockleken 470 mm. S-avståndet mellan bjälkarna är 600 mm. Konstruktionen visas i Figur 34 [38].



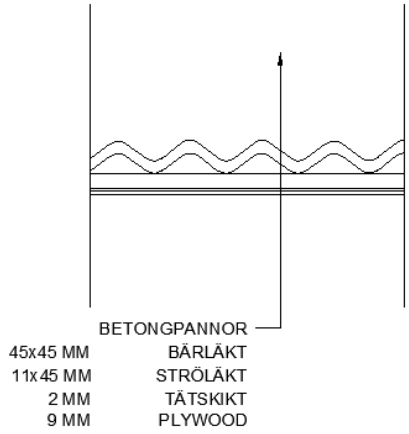
Figur 34: Konstruktion för mellanbjälklag (vänster), vindsbjälklag (höger).

W-takstol används till Smart 138, Figur 35. Takstolen är en typ av fackverkstakstol. Sadeltaket har en lutning på 18° [38]. Takstolen har tjockleken 45 mm och beroende på klimat, centrumavstånd, spännvidd och nedböjningskrav varierar höjden från 120-220 mm på ingående reglar [24]. I studien används 220 mm för virkets höjd med centrumavstånd 1 200 mm.



Figur 35: W-takstol.

Yttertaket produceras från grund på plats. Konstruktionen visas i Figur 36. Vinden är en kall vind p.g.a. placeringen av mineralull i vindsbjälklaget [38].



Figur 36: Yttertakskonstruktion.

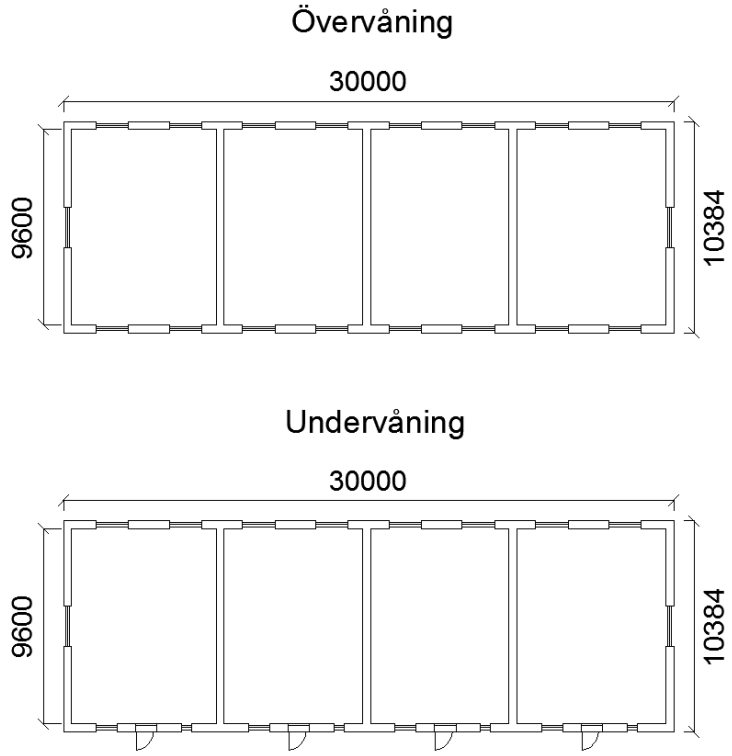
Smart 138 monteras av ett arbetslag på fyra arbetsdagar. Arbetslaget består av 3-5 hantverkare och en kranförare. Eftersom elementen har låg egentyngd kan en mindre kran användas vid montering. Efter montage krävs komplettering av fasad men även arbete invändigt. Inflyttning beräknas ske tre veckor efter montaget [37].

Ytterväggselement som möts i hörn överlappar varandra. Kortsidan löper ut i hörnet medan långsidan placeras mot kortsidans insida. På kortsidans insida placeras två gummilister som möter långsidans ände. Väggarna skruvas sedan ihop med långa skruvar mellan reglarna. Ytterväggselement som inte möter varandra i hörn monteras på likande sätt. På den ena väggens ände finns en gummilist placerad, Figur 18. Innanför listen kompletteras anslutningen med en tät massa för att därefter skruvas samman med angränsande väggelements regelverk [37].

Bjälklagskassetterna skruvas, spikas och limmas samman med varandra. I överlappning mellan spånskivorna sker spikning och limning. Bjälkarna skruvas samman med varandra i anslutning mellan kassetter. En bjälke monteras också i efterhand tvärs bjälklagskassetterna och skruvas fast vinkelrätt. Ovan randisoleringen spikas spånskivor. Vägg och bjälklag skruvas ihop med varandra med långa skruvar. Bjälklaget kompletteras med vindskydd och gummilist. Styrsyllen fästs i underliggande betonggrund. Gummilisten kläms under väggelementet som överlappar styrsyllen och medför en tätare konstruktion [37].

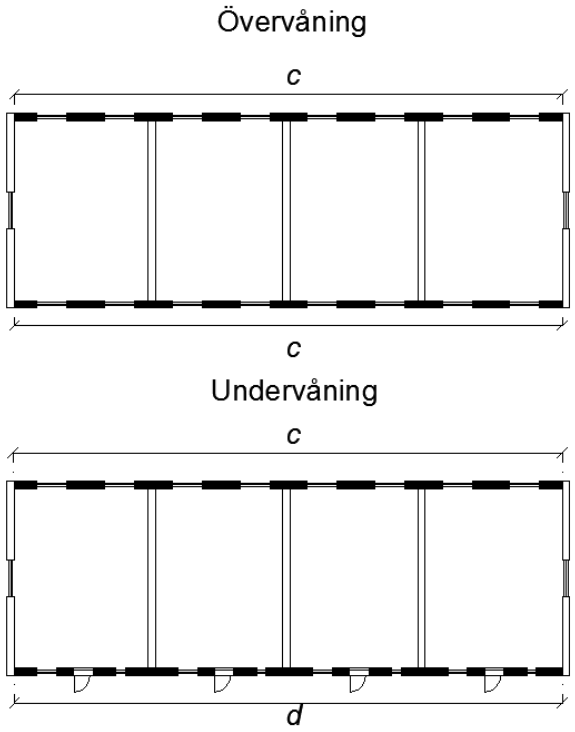
4.1.2 Stomstabilisering

Lättvirkeskonstruktioner har låg egentyngd jämfört med t.ex. betongkonstruktioner. Ur ekonomisk, hanterings- och grundläggningssynpunkt är låg egentyngd en positiv egenskap. Den låga vikten gör däremot att horisontella krafter och deformationer har större inverkan på lättare konstruktioner. Vid högre byggnader ökar de horisontella krafterna och byggnaden kan inte genom egenvikt motverka dessa krafter. Stomstabilisering är en viktig fråga vid byggnation av högre trähus [6]. Byggnadens väggar illustreras i Figur 37.



Figur 37: Väggar i Smart 138.

Vid vind mot gavel stabiliseras byggnaden genom skivverkan i de svartmarkerade väggarna i Figur 38. Väggtyperna *c* och *d* stabiliserar på undervåningen medan väggarna c och *c* stabiliserar övervåningen [38].



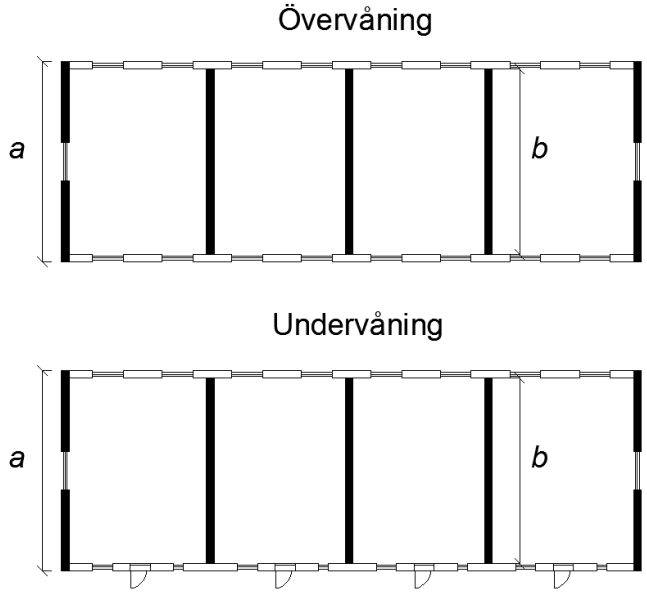
Figur 38: Stabiliserande väggar vid vind mot gavel.

Både vägg *c* och *d* är ytterväggar. Ingående delväggar i respektive vägg visas i Tabell 1.

Tabell 1: Delväggar i stabiliserande väggar.

	Längd (mm)	Antal
Vägg *c*		
Delvägg	1 200	2
Delvägg	2 002	7
Vägg *d*		
Delvägg	1 200	5
Delvägg	901	12

Vid vind mot långsidan stabiliseras byggnaden genom skivverkan i svartmarkerade väggar i Figur 39. På båda våningarna stabiliserar väggtyp *a* och *b* byggnaden. Vägg *a* är en yttervägg med längden 10,384 m och ett 2 m långt fönster. Innerväggen, *b,* är 9,6 m lång och slutar vid långsidans innerkant [38].



Figur 39: Stabiliserande väggar vid vind mot långsida.

4.1.3 Förankring vid lyft

Vid lyftkrafter mellan vägg och grund förankras väggen genom skruvar. Skruvarna löper från syllens överkant, ner i betonggrunden. Hålband löper under syll och upp på yttersida regel för att föra ner lyftkrafterna till grunden.

4.2 Fallstudie av volymelement

4.2.1 Produktion av volymelement

Fallstudien för volymteknik bygger på Start living konceptet från Myresjöhus, Figur 40. Ett radhus med lägenhetsarea 139,1m^2 presenteras som fallstudie i detta kapitel. I industrin produceras volymelementen till Start living 139 principiellt enligt kapitel 3.2.1. Byggnaden är ett tvåplanshus med lättvirkeskonstruktion [39].

Figur 40: Start living [39].

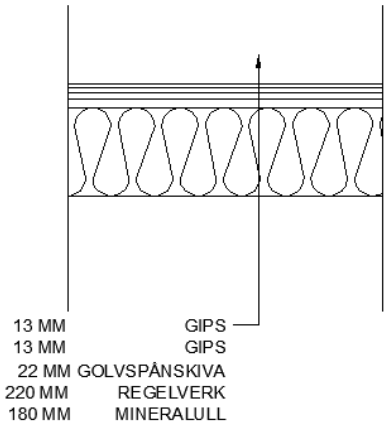
Planlösningen för Start living 139 visas i Figur 41 och kan spegelvändas för att passa kundens önskemål. En lägenhet på 139,1m^2 produceras med åtta volymelement. Elementindelningen redovisas i Figur 41 där varje våning innehåller fyra volymer med anslutning i mitten av våningsplanet [39].

Prefabriceringsgraden är hög vid produktion av volymelement. Taket produceras i kassetter som hakas i vindsbjälklaget och stöds av takstolen vid nock [4].

Volymelementens dimensioner begränsas till stor del av transportvillkoren. Ett volymelement har dimensionerna 6 700 x 3 350 x 4 150 mm^3 [28]. På ena långsidan i Figur 41 monteras fasadbeklädnaden i efterhand genom ett extra planelement p.g.a. begränsande transportkrav [35]. Innerväggens konstruktion illustreras i Figur 33. Byggnaden är totalt 7,8 m hög [39].

Figur 41: Planlösning och elementindelning [39].

Konstruktionen är liknande planelementen i kapitel 4.1.1 med skillnaden att golvbjälklagen har en yttre ram av kertobalkar p.g.a. stor egentyngd. Golvbjälklaget till fallstudien är konstruerad enligt Figur 42 [35].



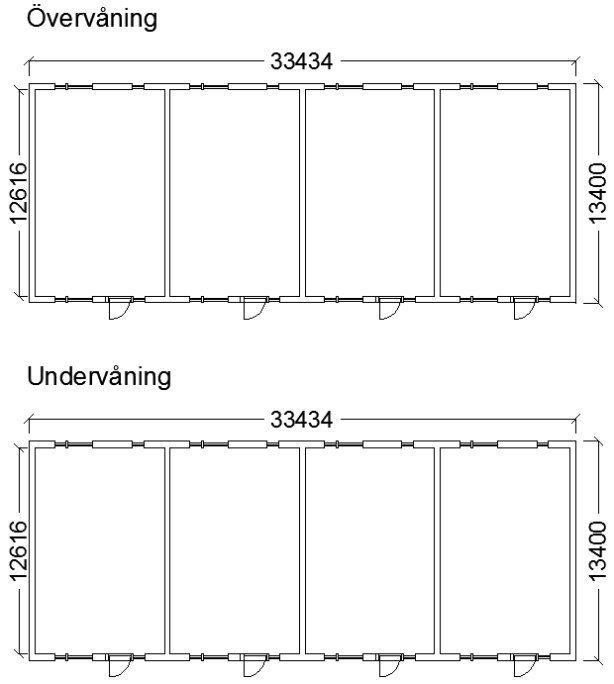
Figur 42: Golvbjäklagskonstruktion.

En extern kran krävs för att lyfta volymelementen p.g.a. stor egentyngd. Inflyttning kan ske en vecka efter montaget är slutfört [35].

Under nock löper en fackverkskonstruktion. Takkassetterna hakas i en skoinfästning vid vindsbjälklaget i linje med ytterväggen. I nock läggs takkassetterna på fackverks-konstruktionen [35].

4.2.2 Stomstabilisering

I Figur 43 illustreras fallstudiens väggar med tillhörande måttsättning. Konstruktionen är densamma på alla våningar i byggnaden. Gavelns ytterväggg löper ut i hörnen och är 13,4 m medan innerväggarna möter långsidornas insida och är 12,616 m.



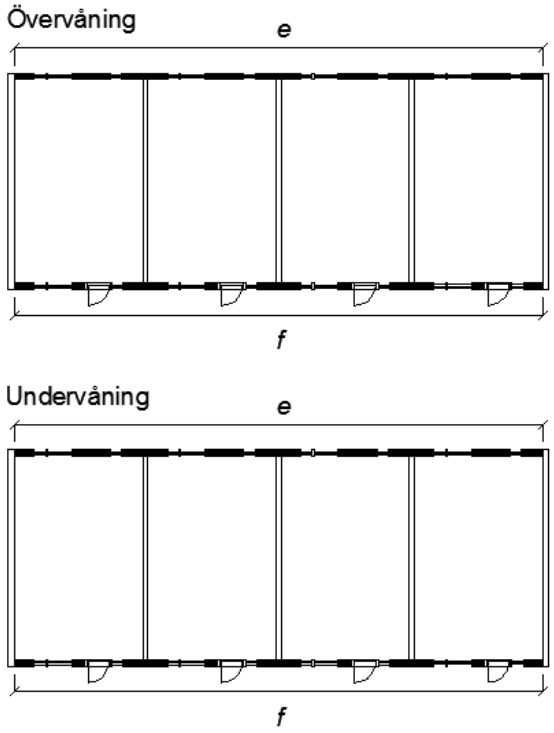
Figur 43: Väggar i Start living.

Vid vind mot gavel är de stabiliserande väggarna uppbyggda av ytterväggskonstruktion. Ingående delväggar i respektive vägg visas i Tabell 1.

Tabell 2: Delväggar i stabiliserande väggar vid vind mot gavel.

	Längd delvägg (mm)	Antal
Vägg *e*	1 200	2
	2 400	4
	2 820	3
Vägg *f*	1 200	2
	965	4
	2730	3

Vid vind mot gavel illustreras de stabiliserande väggarna i Figur 44.



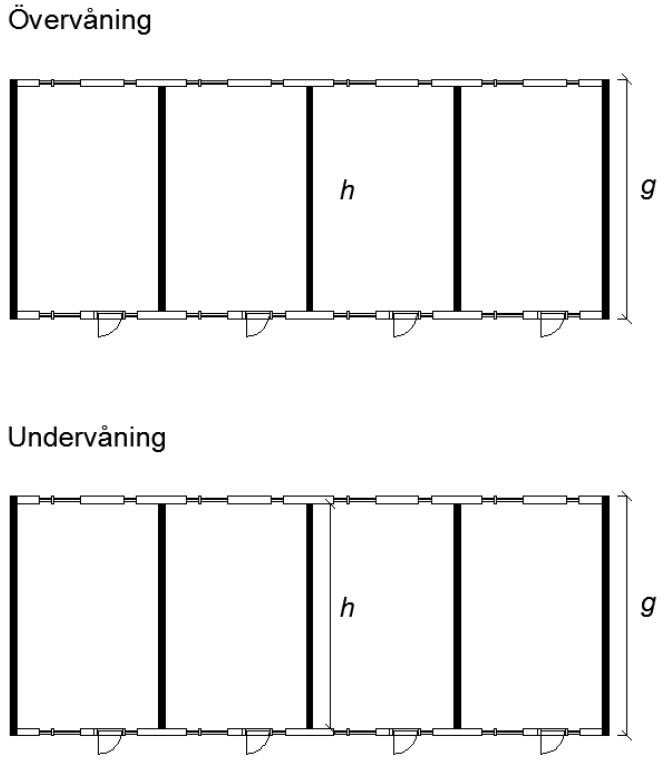
Figur 44: Stabiliserande väggar vid vind mot gavel.

Vägg *g* har ytterväggskonstruktion medan vägg *h* har innerväggskonstruktion, Figur 45. Ingående delväggar i respektive vägg visas i Tabell 1.

Tabell 3: Delväggar i stabiliserande väggar vid vind mot långsida.

	Längd delvägg (mm)	Antal (st)
Vägg *g*	13 400	1
Vägg *h*	12 616	1

Stabiliserande väggar vid vind mot långsida illustreras i Figur 45. Ytterväggarna betecknas som vägg *g* och innerväggarna som vägg *h*.



Figur 45: Stabiliserande väggar vid vind mot långsida.

4.2.3 Förankring vid lyft

Väggarna förankras till grunden enligt kapitel 4.1.3.

5 Konstruktion

5.1 Dimensionerande laster

Byggnader i Sverige dimensioneras efter de normer och föreskrifter som finns i Eurokod. Lasterna delas in i karakteristiska värden och samverkande, reducerande värden. Värdena kombineras med partialkoefficienter och dimensioneringsvärden ges. Grundprincipen är att alla möjliga lastkombinationer undersöks [40]. Elementen tar upp last i den färdiga byggnaden men även under produktion, transport och lyft. Bostadshus tar last från följande källor [30]:

- **Egentyngd**
- **Snölast**
- **Nyttig last**
- **Vindlast**
- **Olyckslast**
- **Temperaturrörelser**
- **Fuktrörelser**

Vid dimensionering av en byggnad beaktas både vertikal- och horisontallast. Horisontella laster i Sverige är normalt vindlast och snedställningslast. Utomlands förekommer även flodvågor och jordbävningar [30]. Vid horisontell last är det oftast vindlasten som är dimensionerande och sätts som huvudlast. För dimensionering i brottgränstillståndet utnyttjas lastkombinationen EQU och STR 6.10b, Tabell 4.

Tabell 4: Lastkombinationer [30].

	EQU	**STR 6.10b**
Permanent last		
Ogynnsam	$\gamma_d 1{,}1 G_k$	$\gamma_d 1{,}2 G_k$
Gynnsam	$\gamma_d 0{,}9 G_k$	$\gamma_d 0{,}9 G_k$
Variabel last		
Huvudlast	$\gamma_d 1{,}5 Q_k$	$\gamma_d 1{,}5 Q_k$
Övriga variabla laster	$\gamma_d 1{,}5 \psi_0 Q_k$	$\gamma_d 1{,}5 \psi_0 Q_k$

Där:

$G_k -$ Permanent last.

$Q_k -$ Variabel last.

$\psi_0 -$ Reduktionsfaktor för respektive last.

$\gamma_d -$ Säkerhetsklass vid dimensionering i brottgränstillståndet enligt Tabell 5.

Tabell 5: Säkerhetsklasser [30].

Säkerhetsklass	Konsekvens av brott	γ_d
3	(hög), stor risk för allvarliga personskador	1,0
2	(normal), någon risk för allvarliga personskador	0,91
1	(låg), liten risk för allvarliga personskador	0,83

Fyra lastfall enligt nedan analyseras i studien.

- **Lastfall 1 – Gynnsam egentyngd med vind som huvudlast.**

  Fallet används endast vid kontroll av lyftkrafter där egentyngden är gynnsam. Snölast och nyttig last är gynnsam och medverkar därför inte i lastfall 1.

$$q_{d1} = \gamma_d 0{,}9 G_k + \gamma_d 1{,}5 Q_k + \gamma_d 1{,}5 \psi_0 Q_k \quad \textbf{(5.1)}$$

  Lastfall 2-4 kontrolleras samtliga vid kontroll av skjuvväggar, knäckning och stämpeltryck för att bestämma dimensionerande last för respektive fall.

- **Lastfall 2 – Ogynnsam egentyngd med vind som huvudlast.**

$$q_{d2} = \gamma_d 1{,}2 G_k + \gamma_d 1{,}5 Q_{vind} + \gamma_d 1{,}5 \psi_{0,snö} Q_{snö} + \gamma_d 1{,}5 \psi_{0,nyttig\ last} Q_{nyttig\ last} \quad \textbf{(5.2)}$$

- **Lastfall 3 – Ogynnsam egentyngd med nyttig last som huvudlast.**

$$q_{d3} = \gamma_d 1{,}2 G_k + \gamma_d 1{,}5 Q_{nyttig\ last} + \gamma_d 1{,}5 \psi_{0,vind} Q_{vind} + \gamma_d 1{,}5 \psi_{0,snö} Q_{nyttig\ last} \quad \textbf{(5.3)}$$

- **Lastfall 4 – Ogynnsam egentyngd med snö som huvudlast.**

$$q_{d3} = \gamma_d 1{,}2 G_k + \gamma_d 1{,}5 Q_{snö} + \gamma_d 1{,}5 \psi_{0,vind} Q_{vind} + \gamma_d 1{,}5 \psi_{0,nyttig\ last} Q_{nyttig\ last} \quad \textbf{(5.4)}$$

5.1.1 Egentyngd

Egentyngd verkar som en permanent och bunden last. Beräkningar sker genom summering av konstruktionens tyngd på en byggnadsdel. Tyngden beräknas genom volym och specifik tunghet av respektive material i konstruktionen.

5.1.2 Vindlast

Vindlast är en variabel och bunden last. Lasten bestäms av terrängtyp, höjd, utformning och geografiskt läge för byggnaden. I Sverige utgår beräkningar för vindlast från Eurokod 1 [40]. Karakteristiskt vindtryck, q_p, bestäms genom referensvindhastighet, v_b, byggnadshöjd och terrängtyp. v_b, definieras som medelvindhastigheten under en 10-minutersperiod, på höjden 10 m i en öppen terräng, som i genomsnitt överskrids en gång på 50 år. Terrängtyp beror på områdets topografi. Utvändig vindlast beräknas enligt följande samband [30]:

$$Q_{vind} = q_p(Z_e)(c_{pe} \pm c_{pi}) \qquad [kN/m^2] \qquad \textbf{(5.5)}$$

q_p – Karakteristiskt värde på vindens hastighetstryck.

Z_e – Referenshöjd för utvändig vindlast.

c_{pe} – Formfaktor för utvändig vindlast.

c_{pi} – Formfaktor för invändig vindlast.

Reduktionsfaktorer för vindlast visas i Tabell 6 och används i samband med lastfall 1-4.

Tabell 6: Reduktionsfaktorer för vindlast [30].

Vindlast	ψ_0	ψ_1	ψ_2
ψ_i	0,3	0,2	-

5.1.3 Nyttig last

Laster från inredning och personer är vanlig nyttig last i byggnader. Nyttig last är fri last, vilket betyder att lasten kan förflytta sig i byggnaden under dess livstid. Lasten kan också variera i tiden på olika sätt exempelvis beroende på brukande. Nyttig last anses verka på del av konstruktionen om detta är ett ogynnsamt fall. Främst bjälklag, trappor och balkonger utsätts för nyttig last, men den kan även verka på tak beroende på hur byggnaden används. Nyttig last beräknas vid normala förhållanden som en utbredd last över aktuell byggnadsdel. Reduktionsfaktorer för nyttig last i bostäder visas i Tabell 7 [30].

Tabell 7: Reduktionsfaktorer för nyttig last [30].

Nyttig last	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Bostäder	0,7	0,5	0,3

5.1.4 Snölast

Snölast är en bunden och variabel last. Vid bestämning av snölast krävs kunskap om geografisk placering, utformning och omgivningens topografi. Föreskriven snölast på mark, s_k, bestäms geografiskt läge av byggnaden. Sverige delas in i snözoner där s_k varierar från 1,0–5,5 kN/m^2. Topografin har betydelse för hur mycket snö som hamnar på taket vid exempelvis vindutsatta, eller skyddade förhållanden. Snölast beräknas enligt sambandet [30]:

$$Q_{snö} = \mu_i C_e C_t s_k \qquad [kN/m^2] \qquad \textbf{(5.6)}$$

μ_i – Formfaktor som beror på takytans form och av risk för snöanhopning till följd av vind, ras och glidning.

C_e – Exponeringsfaktor för olika topografier.

C_t – Termisk koefficient som berör energiförluster genom taket. Normalt 1,0.

s_k – Föreskriven snölast på mark.

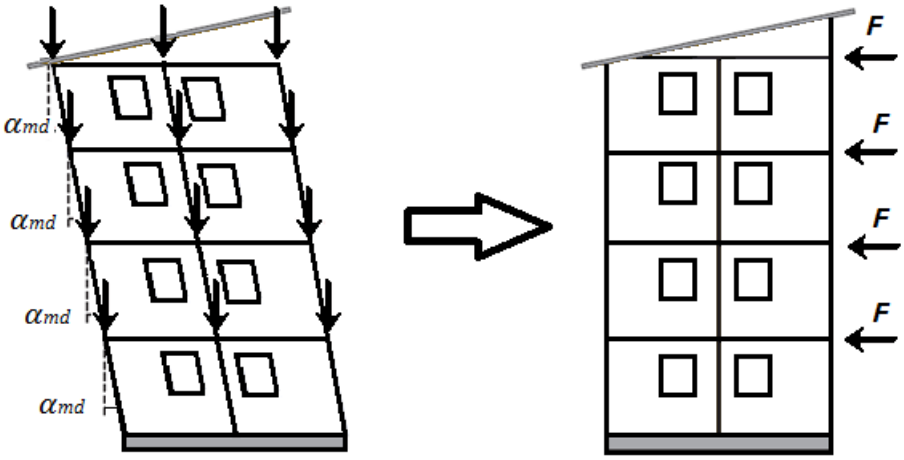
Reduktionsfaktorer för snölast visas i Tabell 8.

Tabell 8: Reduktionsfaktorer för snölast [30].

Snölast (kN/m^2)	ψ_0	ψ_1	ψ_2
$S_k \geq 3{,}0$	0,8	0,6	0,2
$2{,}0 \leq S_k \leq 3{,}0$	0,7	0,4	0,2
$1{,}0 \leq S_k \leq 3{,}0$	0,6	0,3	0,1

5.1.5 Snedställningslast

Med snedställning menas oavsiktlig lutning av pelare och väggar. Lutningen kan bero på t.ex. monteringsfel eller liknande. En lutning på en konstruktionsdel medför horisontella krafter på bjälklaget som det stomstabiliserande systemet måste dimensioneras för. Vid systematiskt lutande konstruktionsdelar i samma riktning adderas krafterna på bjälklaget, Figur 46. I motsatt fall då olika delar lutar i olika riktning tar de horisontella krafterna i viss utsträckning ut varandra [30].



Figur 46: Systematisk snedställning.

Genomsnittlig snedställning beräknas enligt [41]:

$$\alpha_{md} = \alpha_0 + \frac{\alpha_\delta}{\sqrt{n}} = 0{,}003 + \frac{0{,}012}{\sqrt{n}} \quad \textbf{(5.7)}$$

$\alpha_0 -$ Systematisk snedställning.

$\alpha_\delta -$ Slumpmässig snedställning.

$n -$ antal pelare/väggar.

Ekvivalent horisontalkraft p.g.a. snedställning som angriper varje våningsplan beräknas enligt [41]:

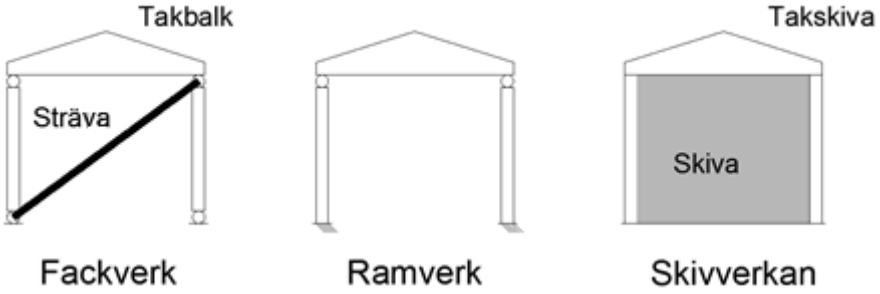
$$F_{hi,ekv} = V_{di} \cdot \alpha_{md} \cdot n \quad \textbf{(5.8)}$$

$V_{di} -$ Dimensioneringsvärdet på genomsnittlig vertikalkraft per våningsplan på underliggande snedställda väggar.

5.2 Stomstabilisering

Stomstabilisering utformas normalt med en av följande tre metoder, Figur 47 [30]:

- **Fackverk**
- **Ramverkan – momentstyva knutpunkter**
- **Skivverkan – skjuvväggar**



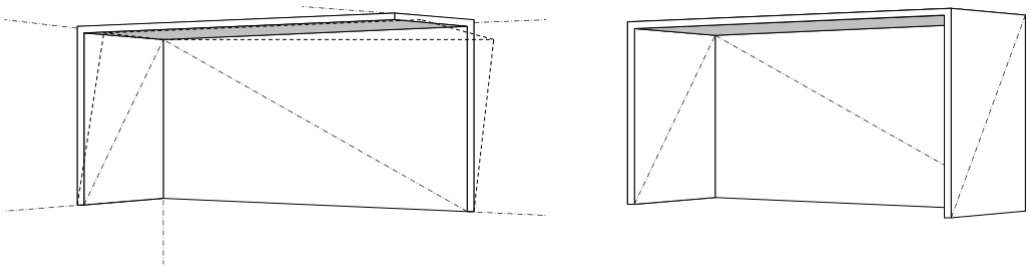
Figur 47: Stomstabiliseringsprinciper.

Vid stomstabilisering med fackverk används diagonalsträvor mellan t.ex. två pelare. Horisontalkraften förs ned vid diagonalen som tryck- eller dragkrafter beroende på exempelvis materialval. Vid användning av dragsträvor sätts de ofta i kryss mellan pelare för att kunna ta hand om dragkrafter från två håll. Ett dragstag tar i teorin endast upp drag-krafter i konstruktionen vilket medför att en diagonalsträva krävs för varje vindriktning. Diagonalsträvan kan också användas som tryckträva eller kombinerad drag- och tryckträva. I detta fall krävs ett konstruktionselement som kan hantera både drag- och tryckkrafter [30].

Enligt samma princip används fackverk i takkonstruktioner för att föra ut horisontallaster till väggkonstruktionen. Stomstabilisering med ramverkan är att horisontella laster på en byggnad tas upp genom moment i stommens knutpunkter. Normalt utnyttjas styva knutpunkter i anslutning mellan vägg och tak, alternativt pelarnas infästning i grunden. Stomstabilisering med ramverkan är en dyr lösning som är svår att utföra med trä som konstruktionsmaterial [30].

Skivverkan utnyttjas oftast i lättvirkeskonstruktioner i form av skjuvväggar. Skivor har låg styvhet i vinkelrätt sitt eget plan men mycket hög styvhet i sitt eget plan. Vindlasterna överförs via bjälklagen till skjuvväggarna. Fördelning av last mellan väggar och bjälklag är beroende på elementens styvhet. Skivor med större styvhet tar mer last är skivor med lägre styvhet [41].

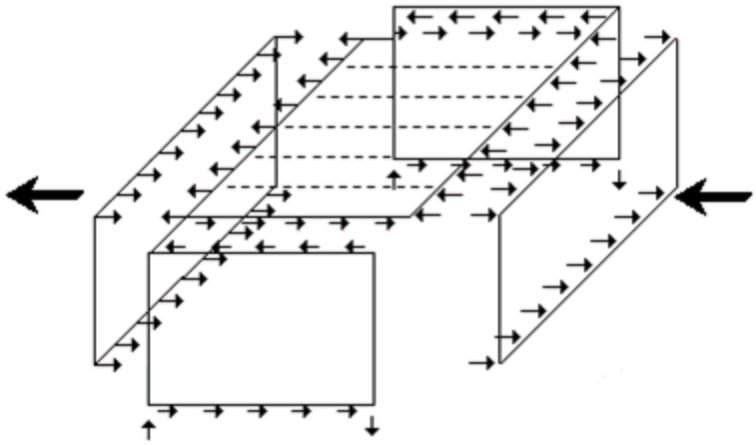
För att stomstabiliseringen ska kunna verka krävs minst tre stabiliserande väggskivor. Skjuvväggarna ska gärna vara placerade långt ifrån rotationscentrum och får inte korsa varandra i samma punkt i sin förlängning. Korsar alla skivor varandra i sin förlängning är byggnaden inte stabil, Figur 48 [30].



Figur 48: Stabiliserande skivor, instabil (vänster), Stabil (höger).

För att den horisontella lasten ska kunna föras ner till grunden krävs att stabiliserande element och infästningar dimensioneras för den last som de utsätts för. Bjälklagen ingår i det stabiliserande systemet eftersom de leder vidare lasterna. Principskiss för en byggnad som stabiliseras med skivverkan visas i Figur 49. Stabiliserande skivor och strävor används för att ta upp horisontella krafter i bruksskedet och under montage [41].

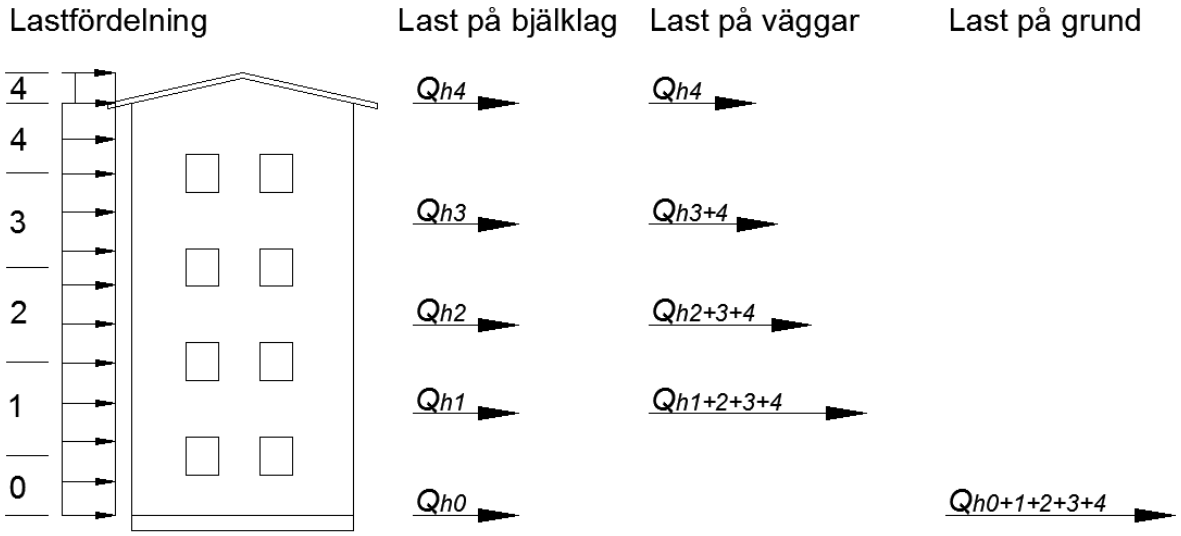
Vid låg höjd utsätts byggnaden för låg horisontell last. Egentyngden för konstruktionen är oftast tillräckligt stor för att ta upp de horisontella laster som byggnaden utsätts för. En aktiv åtgärd för stomstabilisering krävs oftast inte vid montage av byggnader i två plan [37]. Vid träbyggnader i flera våningar kräver stomstabiliseringen särskild uppmärksamhet eftersom det inte är självklart att stomsystemet kan ta hand om de horisontella laster som det utsätts för. För att förbättra stomstabilisering i en byggnad krävs t.ex. styvare skivmaterial och bättre infästningar [41].



Figur 49: Princip för lastöverföring med skivverkan.

5.2.1 Dimensionerande last

Bjälklagen utsätts för horisontell last från halva väggen ovanför respektive halva väggen nedanför. Tvärkraften i skjuvväggarna ökar längre ner i byggnaden eftersom den horisontella lasten adderas enligt Figur 50. Vid beräkning av horisontell last adderas även snedställningslasten som överförs i anslutning till bjälklagen. För hustyper enligt studien betraktas bjälklagen som styva då kassetterna är limmade och spikade i elementgränserna [41].



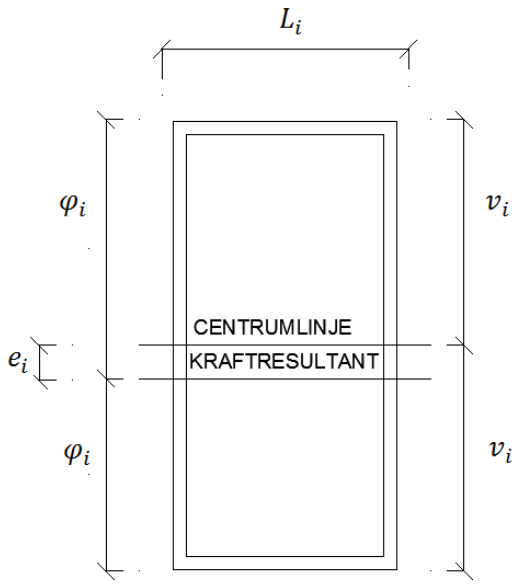
Figur 50: Fördelning av horisontallast.

Vid jämnt utbredd horisontell last och symmetriska väggar med samma konstruktion verkar resultanten av krafterna i de stabiliserande väggarna i centrumlinjen. I det fall då de stabiliserande väggarna har olika konstruktion och läge fördelas horisontallasten ojämnt mellan väggarna. Resultanten ligger inte i centrumlinjen [42]. Excentriciteten mellan centrumlinjen och krafresultantens läge vid vind mot väggen betecknas som, e_i, Figur 51 och beräknas enligt nedan. Nedre vänstra hörnet sätts som origo vid beräkningar [43].

$$e_i = \frac{\sum(L_i \cdot v_i)}{\sum(L_i)} \quad \text{[m]} \quad \textbf{(5.9)}$$

$v_i -$ Avstånd från centrumlinjen till stabiliserande vägg, $(x_i - \frac{L_{hus}}{2})$.

$L_i -$ Vägglängd för respektive vägg. För väggar med stabiliserande skiva på ena sidan gällar att L_i =verklig längd. För väggar med skiva på båda sidor gäller, $L_i =$ 2 · verklig längd.



Figur 51. Beteckningar vid fördelning av horisontallast.

Horisontell last på respektive vägg beräknas sedan enligt [43]:

$$h_i = \frac{(Q \cdot L_i)}{\sum L_i} - \frac{(Q \cdot e \cdot \varphi_i \cdot L_i)}{\sum(\varphi_i^2 \cdot L_i)} \quad \text{[kN]} \quad \textbf{(5.10)}$$

$Q -$ Vindlast som angriper våningsplanet.

$\varphi_i -$ Avstånd från lastresultantens läge till respektive vägg.

Om excentricitet p.g.a. skilda förhållanden mellan de bärande väggarna uppstår hamnar inte lastresultanten i centrumlinjen för underliggande våning. Lastresultantens utgångsläge för våningen beräknas i detta fall med momentjämvikt.

5.2.2 Dimensionering av skjuvväggar

Skjuvväggarnas bärförmåga kontrolleras enligt motoden som anges i Gyproc Handbok [43]. Dimensionering av skjuvväggar sker genom att beräkna kapaciteten per väggenhet. En enhet består av tre stående reglar med en skiva, Figur 52 [43].

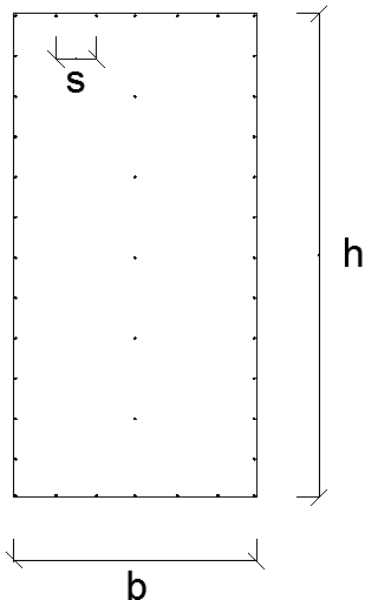
Väggens totala längd divideras med längden för en väggenhet, vilket resulterar i antalet väggenheter som ingår i den totala väggen. Väggdelar med hål för dörr eller fönster anses overksamma. Väggdelar som är mindre än en halv väggenhet anses overksamma. Väggdelar med bredd på minst 0,5x1,2 m räknas som 0,25 väggenheter [43].

Exempelvis enligt beräkningen nedan innehåller en 6 meter lång vägg med en skiva på båda sidorna om regelverket och s-avståndet 600 mm, 10 väggenheter. Skivorna är 1,2 m breda. [43].

$$\text{Väggenheter} = 2 \cdot \frac{6}{1{,}2} = 10$$

En 4,5 meter lång vägg med 2 skivor och s-avståndet 600 mm, består enligt beräkningen nedan 6,5 av väggenheter, eftersom decimalerna är större än +0,5 [43].

$$\text{Väggenheter} = \frac{4{,}5}{1{,}2} = 3{,}75 \rightarrow 3{,}25 \rightarrow 2 \cdot 3{,}25 = 6{,}5$$



Figur 52: Väggenhet.

En väggenhets hållfasthet med 1 200 mm breda skivor och regelverk s600, beräknas enligt nedan [43].

$$H_{d,tot} = \frac{(F_d \cdot b)}{s} \qquad \textbf{(5.11)}$$

Där F_d är ett förbands tvärkraftskapacitet enligt Tabell 9.

Tabell 9: Tvärkraftskapacitet för fästdon i klimatklass 1, säkerhetsklass 2 [43].

Skivtyp	Tjocklek (mm)	Skivlag (position)	Skruv (typ)	Dimension (mm^2)	F_d (N)
Gips (hård)	13	Inre	QTR 29	29x3,9	380
Gips (hård)	13	Yttre	QTR 41	41x3,9	240
Gips (brand)	15	Inre	QT 41	41x3,9	320
Gips (brand)	15	Yttre	QT 57	57x3,9	240
Vindskydd	15	Inre	QSTW 32	32x3,5	175

En vägg kan ta upp last från flera skivlag på både in och utsidan av regelverket i maximalt två lager per sida. Väggens lastupptagande förmåga mot horisontalkraft beräknas enligt nedan [43].

$$H_{d,tot} = H_{d,lag1sid1} + H_{d,lag2sid1} + H_{dlag1sid2} + H_{d,lag2sid2} \quad \textbf{(5.12)}$$

För att hållfastheten i väggenheten ska bli hög krävs att minsta tillåtna fästdonsavstånd inte underskrids. Vid 2 skivlag kommer fästdonen i det yttre laget även perforera det inre skivlaget. Minsta skruvavstånd för 1 200 mm breda skivor och två skivlag visas i Tabell 10 [43].

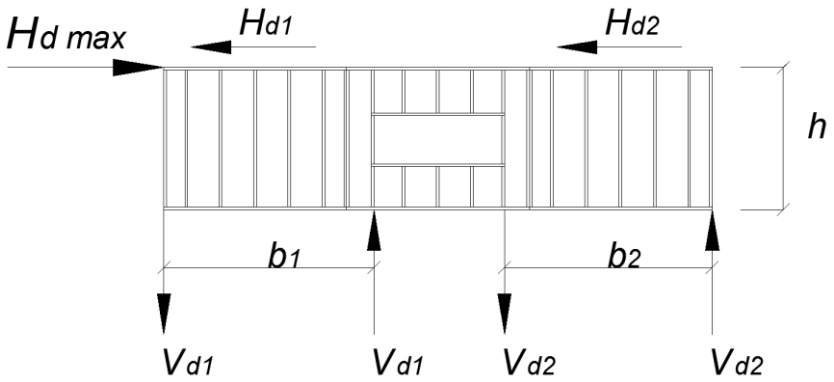
Tabell 10: Minsta s-avstånd mellan fästdon [43].

s-avstånd inre skivlag (mm)	Skruvar inre (st)	Skruvar yttre(st)	s-avstånd yttre skivlag (mm)
90	14	7	200
100	13	8	170
110	12	9	150
150	9	12	110
170	8	13	100
200	7	14	90
300	5	16	80
600	3	18	70

5.3 Knäckning

5.3.1 Dimensionerande last

Upplagskraft på en vägg illustreras i Figur 53. Vid väggstart uppkommer en lyftkraft och vid väggslut en tryckkraft, V_{d2}. Intill öppningar i väggen uppkommer också en lyft- och en tryckkraft. Vid flera våningar summeras horisontella laster på väggarna ovanför genom att hävarmen, *h,* är större [43]. På kortsidans väggar medräknas egentyngden från halva s-avståndet för bjälklagen. Vid vind mot gavel medräknas halva delväggens egentyngd som mothållande för långsidornas väggar [43].



Figur 53: Upplagskraft på väggelemenet.

Upplagskrafterna beräknas enligt nedan [43].

$$V_{di} = \frac{H_{di} \cdot h_i}{b_i} \quad \text{[kN]} \quad \textbf{(5.13)}$$

Motverkande horisontalkrafter till den yttre lasten, $H_{d\,max}$, fördelas på hela väggelemenet enligt nedan [43].

$$H_{d,max} = H_{d1} + H_{d2} \quad \text{[kN]} \quad \textbf{(5.14)}$$

där:

$$H_{d1} = \frac{b_1 \cdot H_{d\,max}}{b_1 + b_2} \quad \text{[kN]} \quad \textbf{(5.15)}$$

$$H_{d2} = \frac{b_2 \cdot H_{d\,max}}{b_1 + b_2} \quad \text{[kN]} \quad \textbf{(5.16)}$$

5.3.2 Dimensionering för knäckning

Tryckkraftskapacitet för trä beräknas enligt [44]:

$$N_{c,Rd} = f_{cd} \cdot A \cdot k_c \quad \text{[kN]} \quad \textbf{(5.17)}$$

$$f_{cd} = \frac{k_{mod} \cdot f_{ck}}{\gamma_M} \quad \text{[MPa]} \quad \textbf{(5.18)}$$

f_{cd} – Dimensionerande tryckhållfasthet parallellt fiberriktningen.

k_{mod} – Omräkningsfaktor för olika klimatklasser, inverkan av fukt och långtidseffekter.

f_{ck} – Karakteristiskt värde för tryckhållfasthet parallellt fiberriktningen.

γ_M – Partialkoefficient för material.

A – Tvärsnittsarea.

k_c – Reduktionsfaktor m.h.t. knäckning.

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 + \lambda_{rel}^2}} \text{ för } \lambda_{rel} > 0{,}3 \quad \textbf{(5.19)}$$

$$k = 0{,}5(1 + \beta_c(\lambda_{rel} - 0{,}3) + \lambda_{rel}^2) \quad \textbf{(5.20)}$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}} \quad \textbf{(5.21)}$$

$E_{0,05} -$ Karakteristisk elasticitetsmodul för trä.

$\lambda = \frac{\beta \cdot L}{i} -$ Pelarens slankhetstal. **(5.22)**

$$i = \frac{h}{\sqrt{12}} \quad \textbf{(5.23)}$$

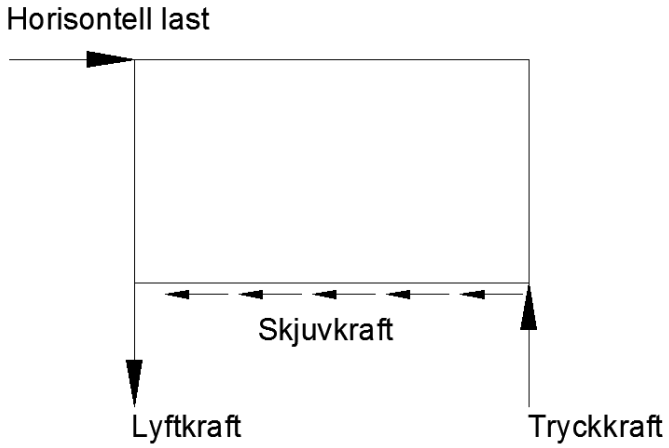
$h -$ Tvärsnittsmått i knäckningsriktning.

$\beta_c = 0{,}2$ för konstruktionsvirke och 0,1 för limträ.

5.4 Stämpeltryck

5.4.1 Dimensionerande last

Vid horisontell last kombinerat med vertikala laster kan relativt stora lokala belastningar uppträda i syll eller bjälklag. Trä har lägre hållfasthet vinkelrätt fibrerna, varför stämpeltryck kan vara en dimensionerande faktor i konstruktionen [41].



Figur 54: Förankringskrafter.

Regelverket utsätts för vertikal last. Lasten ska föras ner till syll och hammarband i konstruktionen. Anslutningen mellan väggregeln och syll eller hammarband bör kontrolleras mot lokalt tryck vinkelrätt fiberriktning.

5.4.2 Dimensionering för stämpeltryck

Följande samband ska uppfyllas [44]:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90,d} f_{c,90,d} \quad \text{[MPa]} \quad \textbf{(5.24)}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \quad \text{[MPa]} \quad \textbf{(5.25)}$$

$\sigma_{c,90,d}$ – Dimensionerande tryckspänning i den effektiva kontaktytan vinkelrät fiberriktningen.

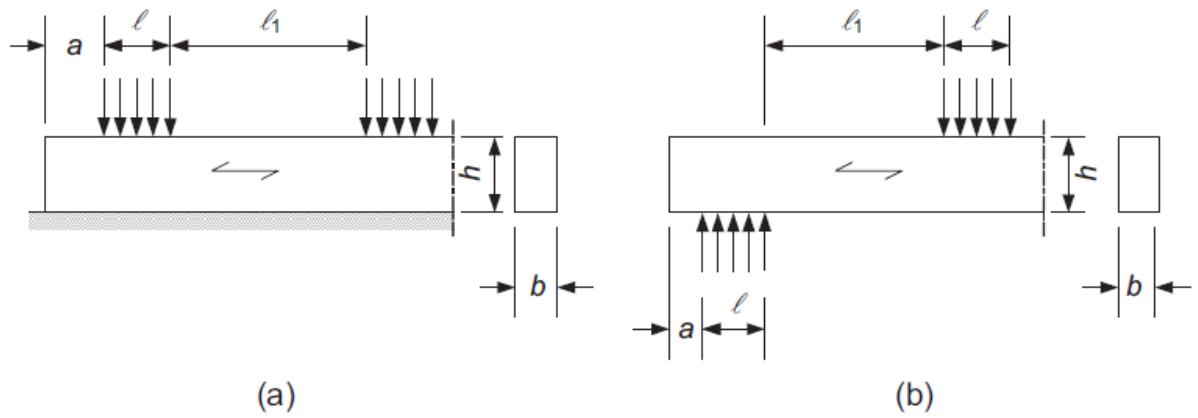
$F_{c,90,d}$ – Dimensionerande tryckkraft vinkelrätt fiberriktningen.

A_{ef} – Effektiv kontaktarea för tryck vinkelrätt fiberriktningen.

$f_{c,90,d}$ – Dimensionerande tryckhållfasthet vinkelrätt fiberriktningen.

$k_{c,90,d}$ – Faktor som tar hänsyn till hur lasten angriper, risken för spräckning och graden av sammantryckning [44].

Den effektiva kontaktytan vid tryck vinkelrätt mot fiberriktningen, A_{ef}, bör bestämmas med hänsyn till den effektiva kontaktlängden parallellt med fiberriktningen, där den verkliga kontaktlängden, ℓ, på varje sida ökas med 30 mm, dock inte mer än a, ℓ eller ℓ_1, i Figur 55. För helt understödd bärverksdel där $\ell_1 \geq 2h$, bör $k_{,90}$ sättas till 1,25 för massivt virke av barrträ och 1,5 för limträ av barrträ. *h* är bärverkets höjd och ℓ är kontaktlängden. För bärverksdelar på upplag där $\ell_1 \geq 2h$ bör $k_{,90}$ sättas till 1,5 för massivt virke av barrträ och 1,75 för limträ $\ell \leq 400$ mm [44].

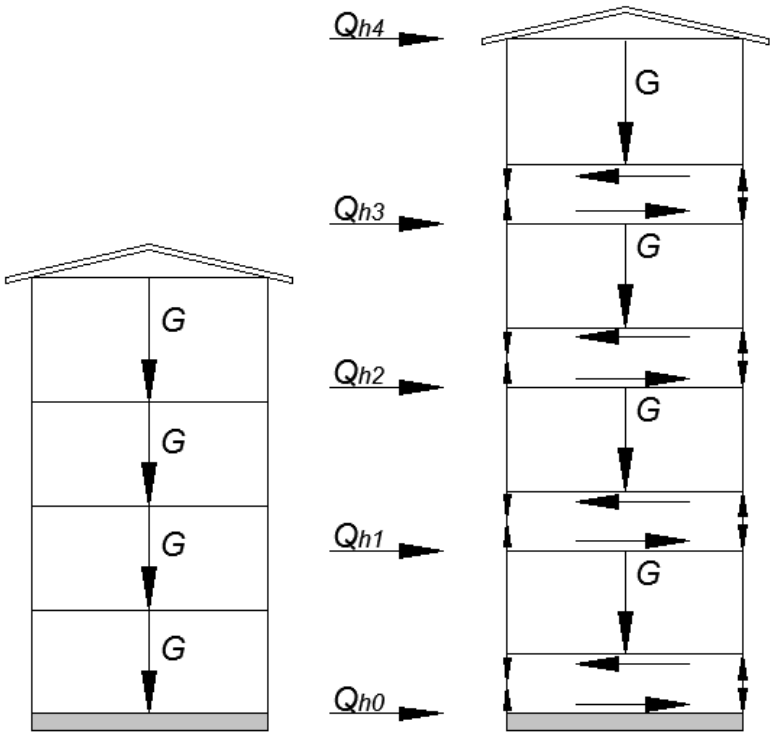


Figur 55: Bärverksdel som är, understödd (a), på upplag (b) [40].

5.5 Förband mot lyftkrafter

5.5.1 Dimensionerande last

Vid flervåningshus kommer de vertikala lasterna att påverka behovet eller dimensionering av vertikala förankringar. Lyftkrafter från ovanförliggande väggar förs ner genom byggnaden, vilket ger ökande lyftkrafter och tryck längre ner i byggnaden. Kraftförhållandena illustreras i Figur 56 [41].



Figur 56: Kraftjämvikt i flervåningshus.

Stomstabilisering beräknas normalt i byggnadens två huvudriktningar. Ju högre en byggnad är ju större horisontell last utsätts den för. Installationsschakt och trapphus krävs också vid högre byggnader vilka normalt ökar stabiliteten. Vid stomstabilisering av högre byggnader placeras våningarnas skjuvväggarna med fördel ovanför varandra. Horisontella laster förs på så sätt ner till grunden på ett enkelt sätt [30].

5.5.2 Dimensionering av förankring för lyftkrafter

Mothållande kraft som verkar på byggnaden är egentyngden. Snö och nyttig last är variabla laster och medverkar därför inte till mothåll mot lyftkrafter.

Väggelement påverkade av lyftkrafter antas ha en mothållande kraft av halva vägens egentyngd. Mothållande egentyngd från upplagda bjälklag verkar med halva egentyngden på respektive bärande vägg. De väggar som bjälklagen inte är upplagda på få ett tillskott från egentyngd från halva bjälklagets s-avstånd [43].

Hålband används i denna studie vid förankring mellan stående regelverk och syll. Förbandet ska utföras sträckt så att det inte slackar när virket krymper. Det är också viktigt att virkeskanter är avrundade för att inte belasta hålbanden [45].

Förbandets bärförmåga bestäms som det minsta av spikarnas tvärkraftskapacitet och hålbandens dragkraftskapacitet. Dimensionerande bärförmåga för ankarspik är beroende av förbandets tjocklek. För förband med hålband anses plåttjockleken vara tunn enligt följande [45].

$t < 1{,}5$ mm för ankarspik 3,1x40 mm

$t < 2{,}0$ mm för ankarspik 4,0x40 mm

Vid tjock plåt är dimensionerande tvärkraftskapacitet för en spik vid lastklass s, 0,81 kN respektive 1,2 kN för nämnda dimensioner [45].

Hålbandens bärförmåga visas i Tabell 11.

Tabell 11. Dragkraftskapacitet för hålband [45].

Hålbandsdimension (mm)	**1,0x20**	**1,5x20**	**2,0x20**
Dragkraftskapacitet (kN)	3,25	4,88	10

Hålbandet överför lyftkraften till syllen. Syllen är fäst till betonggrunden genom säkerhetsexpander under utsatt regel. Utdraghållfastheten för en expander varierar beroende av storlek och funktion. Exempel på utdraghållfasthet för Fischer FAZ II säkerhetsexpander visas i Tabell 12 [46].

Tabell 12. Utdraghållfasthet för Fischer FAZ II.

Betong C20/25	**FAZ II M8**	**FAZ II M10**	**FAZ II M12**	**FAZ II M16**
Icke sprucken betong (kN)	4,3	4,6	11,9	18,8

6 Dimensionering och lösningar

6.1 Fallstudie av planelement

6.1.1 Dimensionering av skjuvväggar

Fästdonens tvärkraftskapacitet i Tabell 9 beräknas om till säkerhetsklass 3 genom division av F_{vd} med $\gamma_d = 0{,}91$, enligt Tabell 13. Lasttyp *s* förutsätts i beräkningen [43].

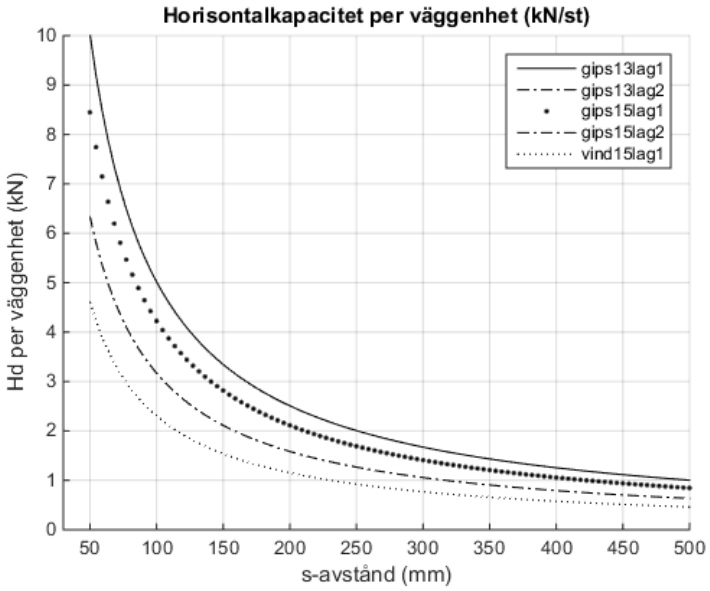
Tabell 13: Dimensioneringsvärden per förband [43].

Skivtyp	Tjocklek (mm)	Skivlager (position)	F_{vd} (N)
Gips (hård)	13	Inre	418
Gips (hård)	13	Yttre	264
Gips (brand)	15	Inre	352
Gips (brand)	15	Yttre	264
Vindskydd	15	Inre	192

I Figur 57 visas beräknad horisontalkraftskapacitet per väggenhet vid olika s-avstånd på fästdonen (5.11), enligt nedan. Skivlagren i Tabell 13 multipliceras med väggskivans bredd, 1 200 mm. s-avståndet varieras i Figur 57 för att visa horisontalkapacitet per väggenhet och skivlager.

$$H_{d,tot} = \frac{F_d \cdot b}{s}$$

Bakgrundsdata till figuren nedan visas i bilaga 10.8.



Figur 57: Horisontalkraftskapacitet per väggenhet.

Vid dimensionering av skjuvväggarna utnyttjas Figur 57, Tabell 10 och ekvation 5.12 för att beräkna horisontalkraftskapacitet för bärande inner och yttervägg. Horisontalkraftskapacitet per väggenhet visas i Tabell 14.

Tabell 14: Horisontalkraftskapacitet vid minsta skruvavstånd.

s-avstånd lag 1/ lag 2 (mm)	Innervägg (kN/enhet)	Yttervägg (kN/enhet)
90/200	15,4	10,4
100/170	15,1	10
110/150	14,8	9,7
150/110	13,9	8,7
170/200	13,6	8,3
200/90	13,2	8
300/80	12,6	7,3
600/70	12,0	6,6

Beräkningsexempel innervägg 90/200:

$$\mathrm{H_{Rd}} = 2 \cdot f_{vd,lag1} \cdot Antal fästdon + 2 \cdot f_{vd,lag2} \cdot \ Antal \ fästdon$$

$$\mathrm{H_{Rd,90/200}} = 2 \cdot 0{,}418 \cdot 14 + 2 \cdot 0{,}264 \cdot 7 = 15{,}4 \text{ kN/väggenhet}$$

Väggarna i fallstudien innehåller öppningar för fönster och dörrar. Delväggarna mellan öppningarna räknas om till väggenheter i Tabell 15.

Tabell 15: Väggenheter för respektive vägg.

Vägg	Delväggar (mm)	Antal (st)	Antal väggenheter (st)
a	4 192	2	**6**
b	9 600	1	**8**
c	1 200	2	2
c	2 002	7	8,75
Summa			**10,75**
d	1 200	5	5
d	901	12	3
Summa			**8**

Beräkningsexempel:

Vägg *a* innehåller 2 delväggar med längden 4 192 mm och regelverk s600. Skivorna som omsluter regelverket är 1 200 mm breda. Eftersom decimalerna inte är ≥+0,5 beräknas en delvägg innehålla 3 väggenheter enligt kapitel 5.2.2.

$$\frac{4\,192}{1\,200} = 3{,}493 \rightarrow 2 \cdot 3 = 6 \text{ väggenheter}$$

Sammanställning av bilaga 10.5 visar dimensionerande laster för respektive vägg enligt Tabell 16. Vägg *b* är en innervägg medan resterande är ytterväggar. Vägg *a* belastas mest i förhållande till antal väggenheter.

Tabell 16: Dimensionerande last planteknikväggar.

Vägg	Enheter (st)	H_{Ed} 2 våningar (kN)	H_{Ed}/enhet (kN)	H_{Rd}/enhet (kN)	s-avstånd
a	6	53,45	8,91	9,7	**110/150**
b	8	49,41	6,18	12	**600/70**
c	10,75	34,01	3,16	6,6	**600/70**
d	8	34,01	4,25	6,6	**600/70**

Vid fyra våningar krävs att konstruktionen ändras eftersom endas vägg *c* klarar av belastningen enligt Tabell 17. Fler väggenheter alternativt mindre last krävs för resterande väggar.

Tabell 17: Dimensionerande last planteknikväggar.

Vägg	Enheter (st)	H_{Ed} 4 våningar (kN)	H_{Ed}/enhet	H_{Rd}/enhet (kN)	s-avstånd
a	6	166,21	**27,70**	**10,4**	90/200
b	8	153,66	**19,21**	**15,4**	90/200
c	10,75	98,64	**9,18**	10,4	90/200
d	8	98,64	**12,33**	**10,4**	90/200

6.1.2 Dimensionering för knäckning

Lyftande vindlast på taket är gynnsamt och räknas inte motverka knäckning i kontrollen nedan.

Dimensionering mot knäckning sker m.h.t. följande lastfall.

- Lastfall 2 – Ogynnsam egentyngd med vind som huvudlast, Ekvation 7.2.
- Lastfall 3 – Ogynnsam egentyngd med nyttig last som huvudlast, Ekvation 7.3.
- Lastfall 4 – Ogynnsam egentyngd med snö som huvudlast, Ekvation 7.4.

Antaganden:

- Virkeskvalité C24
- Lasttyp S
- Klimatklass 2
- $K_{mod} = 0{,}9$

Tryckkraftskapacitet för trä beräknas enligt kapitel 5.3.2.

$$N_{c,Rd} = f_{cd} \cdot A \cdot k_c = 14{,}54 \cdot 10^6 \cdot 0{,}0108 \cdot 0{,}552 = 86{,}68 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = \frac{k_{mod} \cdot f_{ck}}{\gamma_M} = \frac{0{,}9 \cdot 21}{1{,}3} = 14{,}54 \text{ MPa}$$

$$A = 0{,}24 \cdot 0{,}045 = 0{,}0108 \text{ m}^2$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 + \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{0{,}815 + \sqrt{0{,}815^2 + 0{,}737^2}} = 0{,}522 \text{ för } \lambda_{rel} > 0{,}3$$

$$k = 0{,}5(1 + \beta_c(\lambda_{rel} - 0{,}3) + \lambda_{rel}^2) = 0{,}5(1 + 0{,}2(0{,}737 - 0{,}3) + 0{,}737^2) = 0{,}815$$

$\beta_c = 0{,}2$ för konstruktionsvirke

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{34{,}64}{\pi} \sqrt{\frac{21}{4700}} = 0{,}737$$

$$\lambda = \frac{\beta \cdot L}{i} = \frac{1 \cdot 2{,}4}{0{,}069} = 34{,}64$$

$$i = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{0{,}24}{\sqrt{12}} = 0{,}069 \text{ m}$$

Sammanställning av bilaga 10.6 visar dimensionerande tyckkraft. Vid fallstudie av två våningar är dimensionerande tryckkraft 45,66 kN, lastfall 4. Eftersom en regel har tryckkapacitet 86,68 kN klarar konstruktionen två våningar med utnyttjandegraden ca 50 %.

Störst dimensionerande tryckkraft ges vid lastfall 2 och är 106,82 kN. För fallstudie i fyra våningar överstiger dimensionerande last tryckkraftskapaciteten för en regel. Sätts två reglar bredvid varandra dubblas tryckkapaciteten för konstruktionsdelen. Vid ändar och öppningar på bottenvåningen kan dubbla reglar användas för att klara av belastningen.

6.1.3 Dimensionering för stämpeltryck

Dimensionerande last beräknas bilaga 10.6. Beräkning av tryckkraftskapacitet vinkelrätt träfibrerna beräknas enligt nedan.

$$N_{Rc90d} = k_{c90} \cdot f_{c90} \cdot A_{ef} = 1{,}25 \cdot 1{,}73 \cdot 10^6 \cdot 0{,}018 = 38{,}93 \text{ kN}$$

$k_{c,90}$ sätts till 1,25 eftersom bärverksdelen är understödd av betonggrund.

$$f_{c,90d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90k}}{\gamma_M} = \frac{(0{,}9 \cdot 2{,}5)}{1{,}3} = 1{,}73 \text{ MPa}$$

$A_{ef} = h \cdot (b + 0{,}003) = 0{,}24 \cdot (0{,}045 + 0{,}03) = 0{,}018$ m^2

A_{ef}, beräknas med tillägg 30 mm i bredd.

Vid två våningars fallstudie är den dimensionerande tryckkraften enligt bilaga 10.6, 45,66 kN. Dimensionerande tryckkraft överstiger tryckkraftskapaciteten redan vid två våningar. Används dubbla reglar vid öppningar och väggslut ökar kapaciteten p.g.a. större area till 62,28 kN.

I fyra våningar är dimensionerande tryckkraft 106,82 kN. För att reglarna ska klara belastningen krävs att uttrycket nedan tillgodoses. Om *n* väljs till 4 uppgår stämpeltryckskapaciteten till 108,99 kN.

$F_d = 106{,}82 \cdot 10^3 \leq k_{c90} \cdot f_{c,90d} \cdot A_{ef} = 1{,}25 \cdot 1{,}73 \cdot 10^6 \cdot (n \cdot 0{,}045 + 0{,}03) \cdot 0{,}24$ kN

6.1.4 Dimensionering av förband för lyftkrafter

Vid dimensionering av förband utnyttjas lastfall 1 eftersom egentyngden är gynnsam och vindlasten bidrar till lyft. Mothållande last är egentyngd i bilaga 10.1. Lyftande kraft uppstår från horisontalbelastning på vägg samt vindsug på taket. I Tabell 112 visas lyftkrafter för samtliga väggar.

Enligt bilaga 10.7 är dimenisonerande lyftkraft -1,76 kN för fallstudie i två våningar och -63,9 kN för fyra våningar.

Vid tjockt hålband har ankarspik med dimensionen 4x40 mm^2 tvärkraftskapaciteten 1,2 kN [45]. Enligt beräkningen nedan krävs 3 spikar för att klara belastningen. Förbandet utförs med fördel med 2 spikar på var sida om den stående regeln.

$\frac{1{,}76}{1{,}2} = 1{,}47$ st ankarspik.

För spikar i en rad parallellt med fiberriktningen minskar bärförmågan enligt nedan [44].

$n_{ef} = n^{k_{ef}} = 2^{0{,}7} = 1{,}62$ effektivt antal spik per sida.

$n_{ef} -$ Effektiva antalet spikar i en rad.

$k_{ef} -$ Visas i Tabell 8.1 i Eurokod [44].

$F_{Rd} = n_{ef} \cdot f_{vd,spik} = 2 \cdot 1{,}62 \cdot 1{,}2 = 3{,}9$ kN

Avståndet mellan spikarna måste vara minst 7*d* för att effektivta antal spikar ska vara tillräckligt. Hålband med dimension 1,0x20 mm^2 väljs för 2 våningar fallstudie. Dragkraftskapaciteten för vald dimension är 3,9 kN, vilket är större än lyftkraften, 1,76 kN. Fischer FAZ II M8, säkerhetsexpander med utdragshållfasthet på 4,3 kN i osprucken betong klarar att föra ner lyftkraften till betonggrunden. Expandern fäster syllen under regeln för att undvika excentricitet.

Antag att grundens kantbalk har dimensionen 300x300 mm^2 och betongens tunghet är 25 kN/m^3. Armering i balken krävs för att betongen ska kunna hålla emot de lyftkrafter som uppstår. Mothållande egentyngd från 0,78 m kantbalk är tillräcklig för att motverka lyftkrafterna enligt beräkningen nedan.

$$1{,}76 \cdot 10^3 \leq 25 \cdot 10^3 \cdot 0{,}3^2 \cdot x \rightarrow x = 0{,}78 \text{ m}$$

Vid 4 våningar krävs minst 58 ankarspikar av dimensionen ovan i hålbandet. Största hålbandsdimension kan belastas med maximalt 10 kN. Förbandet har för låg kapacitet eftersom dimensionerande last är mycket större, 63,9 kN. Vid beräkning av mothållande egentyngd från kantbalken krävs ca 30 m, enligt nedan. Ett större fundament krävs för att motverka lyftkraften.

$$68{,}91 \cdot 10^3 \leq 25 \cdot 10^3 \cdot 0{,}3^2 \cdot x \rightarrow x = 30{,}6 \text{ m}$$

6.2 Fallstudie av volymelement

6.2.1 Dimensionering av skjuvväggar

Fästdonens tvärkraftskapacitet och en väggenhets horisontalkraftskapacitet beräknas och redovisas i kapitel 6.1.1. Delväggarna i stabiliserade väggar räknas om till väggenheter i Tabell 15.

Tabell 18: Väggenheter i stabiliserande väggar.

	Längd delvägg (mm)	Antal (st)	Antal väggenheter (st)
Vägg *e*	1 200	2	2
	2 400	4	8
	2 820	3	6
Summa			**16**
Vägg *f*	1 200	2	2
	965	4	1
	2 730	3	6
Summa			**9**
Vägg *g*	13 400	1	**11**
Vägg *h*	12 616	1	**10,25**

Sammanställning av bilaga 10.5 visar dimensionerande laster för respektive vägg. Vägg *h* är en innervägg medan resterande är ytterväggar. Enligt tabellen nedan kan lägsta föreskrivna s-avstånd i den inre skivan användas i konstruktionen.

Tabell 19: Dimensionerande last volymelementväggar.

Vägg	Enheter (st)	H_{Ed} 2 våningar (kN)	H_{Ed}/enhet (kN)	H_{Rd}/enhet (kN)	s-avstånd
e	16	66,81	4,18	6,6	600/70
f	9	47,18	5,24	6,6	600/70
g	11	81,17	7,38	8	200/90
h	10,25	76,41	7,45	12	600/70

Vid 4 våningar krävs att konstruktionen ändras eftersom väggarnas skjuvkapacitet inte är tillräcklig. Endast vägg *f,* enligt Tabell 17 kan dimensioneras mot horisontallasten. Fler väggenheter alternativt mindre last krävs för resterande väggar.

Tabell 20: Dimensionerande last volymelementväggar.

Vägg	Enheter (st)	H_{Ed} 4 våningar (kN)	H_{Ed}/enhet	H_{Rd}/enhet (kN)	s-avstånd
e	16	187,81	**11,74**	**10,4**	90/200
f	9	132,65	**14,74**	**10,4**	90/200
g	11	232,43	**21,13**	**10,4**	90/200
h	10,25	218,83	**21,34**	**15,4**	90/200

6.2.2 Dimensionering för knäckning

Förutsättningar enligt kapitel 6.1.2 gäller. En regel har tryckkraftskapacitet 86,68 kN. Enligt dimensionerande laster i kapitel 10.6 utsätts vägg *e* för störst last vid 2 våningar. Tryckkraften är 37,46 kN, vilket endast är ca 50 % av träregelns tryckkapacitet.

Vid 4 våningars fallstudie överstiger dimensionerande last tryckkraftskapaciteten för en regel. Tryckkrafter över 86,68 kN beräknas i samtligt väggar på bottenplan enligt Tabell 98. Eftersom ingen av de dimensionerande lasterna är större än 132,62 kN, kan dubbla reglar användas vid väggöppningar och väggslut på bottenplan för att klara av belastningen.

6.2.3 Dimensionering för stämpeltryck

Dimensionerande last, N_d, beräknas i bilaga 10.6 till 37,46 kN för 2 våningar och 130,66 kN för 4 våningar. Beräkning av tryckkraftskapacitet vinkelrätt träfibrerna beräknas enligt nedan.

$$N_{Rc90d} = k_{c90} \cdot f_{c90} \cdot A_{ef} = 1{,}25 \cdot 2{,}08 \cdot 10^6 \cdot 0{,}018 = 46{,}73 \text{ kN}$$

$k_{c,90}$, sätts till 1,25 eftersom bärverksdelen är understödd av betonggrund.

$$f_{c,90d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90k}}{\gamma_M} = \frac{(0{,}9 \cdot 3)}{1{,}3} = 2{,}078 \text{ MPa}$$

Antag att syllen är av limträ, GL 32c.

Karakteristisk tryckhållfasthet vinkelrätt fiberriktning, $f_{,90k} = 3$ MPa.

$$A_{ef} = h \cdot (b + 0{,}003) = 0{,}24 \cdot (0{,}045 + 0{,}03) = 0{,}018 \text{ m2}$$

A_{ef}, beräknas med tillägg 30 mm i bredd.

Vid 2 våningars fallstudie utnyttjas ca 80 % av syllens tryckkapacitet vinkelrätt träfibrerna. Vid 4 våningars volymteknikbyggnad överstiger dimensionerande last stämpeltrycket i samtliga väggar på bottenplan. Utnyttjas dubbla reglar på bottenplan ökar tryckkapaciteten vinkelrätt fibrerna enligt beräkningen nedan. Eftersom syllen belastas med ca 130 kN krävs 2 reglar i bredd för att fördela ut tryckkraften på tillräckligt stor area.

$$F_d = k_{c90} \cdot f_{c,90d} \cdot A_{ef} = 1{,}25 \cdot 2{,}08 \cdot 10^6 \cdot (n \cdot 0{,}045 + 0{,}03) \cdot 0{,}24 = 74{,}77 \text{ kN}$$

6.2.4 Dimensionering av förband för lyftkrafter

Enligt bilaga 10.7 är dimenisonerande lyftkraft -4,96 kN för fallstudie i 2 våningar och -81,93 kN för 4 våningar. Enligt beräkningen nedan krävs 5 spikar för att klara lasten för 2 våningars fallstudie. Förbandet utförs med fördel med 3 spikar på var sida om den stående regeln.

$$\frac{4{,}96}{1{,}2} = 4{,}13 \text{ st ankarspik.}$$

För spikar i en rad parallellt med fiberriktningen minskar bärförmågan enligt nedan [44].

$$n_{ef} = n^{k_{ef}} = 3^{0{,}85} = 2{,}54 \text{ effektivt antal spik.}$$

$$F_{Rd} = n_{ef} \cdot f_{vd,spik} = 2 \cdot 2{,}54 \cdot 1{,}2 = 6{,}1 \text{ kN}$$

Avståndet mellan spikarna måste vara minst 10*d* för att effektivta antal spikar ska vara tillräckligt. Hålband med dimension 2,0x25 mm^2 väljs vid 2 våningar. Dragkraftskapaciteten för vald dimension är 10 kN, vilket är större än dimensionerande lyftkraft, 4,96 kN. Fischer FAZ II M12, säkerhetsexpander med utdragshållfasthet på 11,9 kN i osprucken betong klarar att föra ner lyftkraften till betonggrunden.

Kantbalken kräver armering i underkant som motverkar lyftkraften. Mothållande egentyngd från 2,2 m kantbalk är tillräcklig för att motverka lyftkrafterna enligt beräkningen nedan.

$$4{,}96 \cdot 10^3 \leq 25 \cdot 10^3 \cdot 0{,}3^2 \cdot x \rightarrow x = 2{,}2 \text{ m}$$

Vid 4 våningar krävs minst 69 ankarspik. Störst hålbandsdimension, 2,0x25 mm^2 har dragkraftskapacitet 10 kN, vilket är mycket mindre än dimensionerande lyftkraft, 81,93 kN. Förbandets kapacitet är för låg eftersom dimensionerande last är mycket större. Vid beräkning av mothållande egentyngd från kantbalken krävs 36,4 m, enligt nedan. Ett större fundament krävs för att motverka lyftkraften.

$$81{,}93 \cdot 10^3 \leq 25 \cdot 10^3 \cdot 0{,}3^2 \cdot x \rightarrow x = 36{,}4 \text{ m}$$

7 Diskussion

7.1 Laster

Dimensionerande vindlast i studien antas till värsta möjliga referensvindhastighet, 26 m/s och terrängtyp 0. För byggnader med mer skyddad placering är inverkan av horisontell last mindre. Exempelvis för en byggnad med referensvindhastighet 21 m/s och terrängtyp IV är det karakeristiska vindtrycket 25 % av studiens antagande. Det kan vara möjligt att producera fyravåningsbyggnaderna i studien med en mer skyddad placering.

Vindriktning vid de olika fallstudierna i studien var inte av större betydelse. De stabiliserande väggarna är placerade så att horisontallasten på respektive vägg är i samma storleksordning.

Horisontell nettovindlast på tak vid vind mot långsida beräknas i studien. Lasttillskottet är litet i förhållande till övriga horisontella laster och borde kunna bortses från. Vid högre byggnader kan nettotillskottet vara betydande eftersom hävarmen från grunden till lastens angreppspunkt ökar.

På samma sätt som vindlasten antas den karakteristiska snölasten till strax över medelvärdet i Sverige. I södra delarna av landet kan beräkningarna ske med lägre snölast än vad som gjorts i studien. Vid beräkning av lastfall är lastfall 4, med snö som huvudlast, inte dimensionerande men snölasten inverkar ändå med reducerat värde i lastfall 2, vind som huvudlast med ogynnsam egentyngd, snö och nyttig last och 3, nyttig last som huvudlast.

Horisontell last p.g.a. snedställning beräknades I studien. Vid vind mot gavel är snedställningslasten en mindre del av den totala horisontella lasten. Det beror på att bjälklagen är upplagda på långsidornas väggar och påverkar den totala horisontella lasten mer än vid vind mot långsidorna. Vid vind mot långsida är snedställninglasten betydligt större än vid vid mot gavel. Vid vind mot gavel är det motiverat att botse från snedställnings-lasten eftersom inverkan på den hosisontella lasten är en mindre del av den totala lasten. Vid vind mot långsidan är snedställningslasten större i förhållande till den totala horisontella lasten jämfört med vind mot gavel. I litteraturstudien beskrivs att horisontell snedställningslast kan bortses från. Antagandet är enligt denna studie inte sant eftersom snedställningslasten är en relativt stor andel av den totala horisontella lasten vid överslagsberäkning och vind mot långsida.

7.2 Skjuvväggar

Dimensionerande last vid kontroll av skjuvväggarnas horisontalkraftskapacitet sker vid lastfall 2, vind som huvudlast med snö och nyttiglast. Eftersom störst horisontell last uppkommer då vindlast sätts som huvudlast kan lastfallet alltid användas vid kontroll av skjvväggarnas horisontalkapacitet. Lastfall 1 har även vindlast som huvudlast men i lastfallet är tillskottet av horisontell last p.g.a. snedställning mindre eftersom egentyngden beräknas som gynnsam.

Total horisontell last som verkar på byggnaderna är beräknad med relativ stor säkerhet. Vid fördelning av den horisontella lasten på respektive vägg finns däremot vissa osäkerheter. Beräkningsmodellen i studien fördelar horisontell last på väggarna m.h.t. placering och väggängd utan öppningar. Öppningarna utnyttjas inte i studien men har även de en styvhet som inverkar på fördelning av horisontell last mellan väggarna. Vid nogrannare beräkningsmetod

kan fördelningen av horisontell last på respektive vägg skilja sig från studien. Dessutom kan skjuvväggarnas horisontalkraftskapacitet öka eftersom öppningarna till viss del också bidrar till stabilitet i väggarna.

Vid två våningars fallstudie klarar båda byggmetoderna den dimensionerande last som skjuvväggarna belastas med. Skruvavstånden avgör horisontalkapaciteten för väggarna och kan väljas stora för samtliga väggar. För byggnader i två våningar är väggarnas horisontalkraftskapacitet betydligt större än den dimensionerande kraft som de utsätts för.

Vid fyra våningar klarar endast en skjuvvägg horisontallasten som den utsätts för. Beräkningsmodellen i studien är grov och kan förfinas för att öka horisontalkraftskapaciteten för väggarna. Väggenheter som inte är fullständiga bidrar knappt till ökad kapacitet enligt beräkningsmodellen i studien. Vid en noggrannare beräkningsmodell är det möjligt att tillgodoräkna fler väggenheter som stabiliserande. Även väggöppningar tillför viss stabilitet och kan öka horisontalkraftskapaciteten vid en finare beräkningsmodell. Ett sätt att öka skjuvväggarnas horisontalkraftskapacitet är att minska avståndet mellan väggarna. För planteknik kan konstruktionen på detta sätt ändras relativt enkelt för att fördela vindlast mot väggen. Planlösningen krymper vid mindre avstånd mellan väggarna. Vid förändring av fallstudien med volymteknik är detta alternativ sämre eftersom bl.a. transportutnyttjandets mått försämmras. Ett annat alternativ är att fördela horisontallasten på fler innerväggar som inte är medräknade i denna studie [47].

Byggnaderna kräver utvändig hiss och trapphus, vilka kan användas som stabiliserande element. Exempelvis loftgångar med trapphus kan konstrueras så att stabiliserande väggar tar upp mindre last. Krav på förankringar ställs i samverkan med hög styvhet i trapphusen

7.3 Knäckning

Dimensionerande last vid knäckning av väggregel sker är vid lastfall 2, vind som huvudlast med snö och nyttig last, eller 4, med snö som huvudlast i denna studie. Lastfall 2-4 bör kontrolleras vid knäckning eftersom det är osäkert vilket lastfall som är dimensionerande. Vid två våningar är lastfall 4, snö som huvudlast dimensionerade. För fyra våningars fallstudie är lastfall 2, med vind som huvudlast dimensionerande eftersom vindlasten ökar med byggnadens höjd. Lastfall 3, med nyttig last som huvudlast skulle kunna vara dimensionerande eftersom lasterna är i samma storleksordning som lastfall 2 och 4.

Vid knäckning av regel klarar båda byggmetoder belastningen vid två våningar. Utnyttjandegraden uppgår endast till ca 50-80 % av tryckkapaciteten.

När kontrollen sker för fyra våningar är den dimensionerade tryckkraften mer än det dubbla för båda byggmetoderna jämfört med två våningar. Regelns tryckkapacitet räcker inte till i dessa fall. En enkel lösning är att använda dubbla reglar där belastningen är för hög i konstruktionen eftersom reglarnas tryckkapacitet då är tillräcklig.

Några större skillnad mellan byggmetoderna visar sig inte vid fyra våningar eftersom båda har för låg kapacitet mot knäckning men klarar sig med dubbla reglar även om lasten är större för volymteknik.

7.4 Stämpeltryck

Stämpeltryck har samma dimensionerande last och förutsättningar som vid knäckning.

Vid kontroll av stämpeltryck klarar planteknikbyggnaden i två våningar inte belastningen. En lösning är att använda dubbla reglar för att öka stämpelarean. Ett annat sätt är att använda kertobalkar som i volymteknikbyggnaden.

Volymteknikbyggnaden klarar stämpeltrycket i två våningar p.g.a. högre tryckhållfasthet för syllens kertomaterial jämfört med planteknikbyggnaden.

I fyra våningar är tryckkraften så stor vid båda byggmetoder att fyra reglar krävs för att fördela lasten på tillräckligt stor area. Alternativt kan syll och eventuellt hammarband bytas ut mot ett material med högre hållfasthet i aktuell riktning. Ett annat val är att fördela lasten på större area i form av massivträväggar.

Tryckhållfastheten vinkelrätt fibrerna har sänkts jämfört med före införandet av Eurokod. Sänkningen av hållfastheten är ca 65 % av tidigare värde. Den sänkta hållfastheten kan enligt SP inte motiveras varken av kända skadefall eller andra besvär som t.e.x. stora deformationer. Det kan vara motiverat att använda större tryckkapacitet vinkelrätt fiberna eftersom skillnaden är så stor jämfört med tidigare [48].

7.5 Förankring

Dimensionerande förankringslast uppkommer vid lastfall 1, vind som huvudlast utan inverkan av snö och nyttig last. Lastfallet är alltid dimensionerande vid kontroll av lyftkrafter eftersom när vindlasten sätts som huvudlast uppstår störst lyftkraft. Snölast och nyttig last medräknas inte eftersom de motverkar lyftkraften. Även egentyngden är gynnsam och reduceras maximalt enligt lastfall 1, för att få största dimensionerande lyftkraft.

Vid kontroll av förankringskrafter mellan vägg och grund konstaterades ett behov i att förankra konstruktionen både för två och fyra våningar. Volymteknikens större egentyngd motverkar inte den högre höjden, som har stor inverkan på lyftkraften. Vid två våningar är förankringskrafterna i liknande storleksordning. Förankringen konstrueras på ett relativt enkelt sätt med hålband och skruvar.

Vid fyra våningar visas att volymteknikens höjd ger större lyftkraft i förhållande till planteknikken. Förankringen som används vid två våningar har dock för låg kapacitet för att klara belastningen för något av fallen i fyra våningar. Både förankringar med större kapacitet och tyngre grundläggning krävs. Alternativ från litteraturstudien är t.ex. linor eller dragstag som används för att förankra byggnaderna. Ur förankringssynpunkt visas att byggnadens höjd har stor betydelse även fast egentyngden är större.

7.6 Jämförelse mellan plan- och volymteknik

Vid jämförelse av plan- och volymteknik är byggmetoderna relativt lika vid kontroll av stomstabilisering. Dimensionerande laster är av samma storleksordning i alla kontroller. Båda metoderna faller på samma kontroller med undantag för stämpeltryck i två våningar

för volymtekniken. För att öka tryckkapaciteten mot stämpeltryck är det möjligt att använda kerto även i planteknikbyggnaderna.

För- och nackdelar med större inverkan på val av byggmetod verkar finnas inom andra områden. För plantekniken antyder t.ex. lägre egentyngd och flexibilitet positiva egenskaper i förhållande till volymteknik. Däremot visar litteraturstudien på goda erfarenheter för volymteknikens fuktsäkerhet. Både att större del av produktionen sker i skyddad fabrikmiljö och att montagetid på plats till helt klimatskal går snabbt.

8 Slutsatser och förslag till vidareutveckling

Generellt är skillnaderna inte så stora mellan byggmetoderna i studien. Båda byggmetoderna faller på samma kontroller vid övergång från två till fyra våningar.

Planteknikens styrka ligger i lägre egentyngd och lägre bygghöjd, vilket resulterar i lägre laster. Vid högre byggnader än fyra våningar kan byggmetoden vara ett självklart val eftersom bygghöjden har stor inverkan på dimensionerande laster.

Positivt med volymteknikbyggnaden är kertobalkens större hållfasthet vid stämpeltryck i förhållande till konstruktionsvirke. Plantekniken borde även de använda kertobalkar som syllmaterial för att öka tryckkraftskapaciteten.

Den större egentyngd för volymtekniken är inte avgörande i val av byggmetod eftersom planteknikbyggnaden inte heller klarade belastningarna vid kontrollerna. Byggnadshöjden påverkar de horisontella lasterna avsevärt. Vid ännu högre byggnader är det mer problematiskt att konstruera volymteknikbyggnader jämfört med planteknik p.g.a. byggnadshöjden ökar mer per våning. Är det möjligt att minska volymteknikens bjälklagstjocklek så att bygghöjden inte ökar mer än nödvändigt har metoden många fördelar jämfört med plantekniken.

För vidareutveckling kan det vara intressant att studera skillnader mellan plan- och volymproducerade byggnader inom följande områden.

- **Arbetsmiljö**
- **Byggtid**
- **Fuktsäkerhet**
- **Kostnad och kapitalbindning**
- **Kunskapsåterföring**
- **Kvalitet**
- **Logistik**
- **Samordning mellan hantverkare**
- **Service och underhåll**
- **Spill**
- **Störningar**

9 Referenser

[1] Sterner B, 2004. *Att välja trä.* Skogsindustrierna, 91-631-3348-2, Stockholm.

[2] Reppen L, Kallstenius P och Björk C, 2013. *Så byggdes husen 1880-2000.* Svensk Byggtjänst, 97-891-7333-6185, Stockholm

[3] Edlund R, Andersson T, Börjesgård B M, Jonsson L, Eklund P, Franzén A, Knutsson U och Rosengren A, 2004. *Kataloghuset, Det egna hemmet i byggsats.* Byggförlaget, 91-7988-25-60, Stockholm.

[4] Boverket, 2006. *Bostäder byggda med volymelement: En fallstudie av svenska bostadsprojekt - verklighet och vision*. Boverket, 91-7174-940-6, Växjö.

[5] Gustafsson A, Eriksson P E, Engström S, Wik T och Serrano E, 2012. *Handbok för beställare och projektörer av flervåningshus i trä*. Formas, Träbyggnadskansliet och Trästad 2012, 978-91-78017-98-8, Växjö.

[6] Tlustochowicz G, 2011. *Stabilising System for Multi-Storey Beam and Post Timber Buildings*. Luleå Universitet, 978-91-7439-339-2, Luleå.

[7] Olsson L, 2011*. Laboratoriestudie av syllar och reglar som utsätts för regn*. SP Sveriges Tekniska Forskningsnstitut, 978-91-8662-49-7, Borås.

[8] Westerlund L, 2012. *En ny väg - Trästad 2012*. Projekt trästad 2012, 91-975246-8-9, Växjö.

[9] Bergkvist P och Fröbel J, 2013*. Att välja trä - En faktaskrift om trä.* Svenskt Trä, Stockholm.

[10] Adler P, 2005. *Bygga Industrialiserat*. AB Svensk Byggtjänst, 91-7333-085-X, Stockholm.

[11] Giang F och Moroz L, 2013 *En jämförelse mellan två olika trästomsystem och byggmetoder - Planelement med pelar-balksystem och volymelement med regelsystem*. Kungliga Tekniska Högskolan, 2013;67, Stockholm.

[12] Stehn L, Rask L O, Nygren I och Östman B, 2008. *Byggandet av flervåningshus i trä - Erfarenheter efter två års observation av träbyggandets utveckling*. Växjö Universitet, 978-91-7636-642-4, Växjö.

[13] Elwing C och Sjögren K*,* 2006. *Prefabricerade hus - en fråga om kvalitet, ekonomi och byggtid*. Växjö Universitet, TD 065/2006, Växjö.

[14] Kron J och Goldkuhl E, 2006. *Industriellt bygande - En nulägesrapport*. Chalmers Tekniska Högskola, 2006:71, Göteborg.

[15] Crocetti R, Johansson M, Johansson H, Kliger R, Mårtensson A, Norlin B, Pousette A och Thelandersson S, 2001. *Design of timber structures*. Swedish Forest Industries Federation, 978-91-637-2255-2, Malmö.

[16] Johnsson H och Meiling J H, 2009. *Defects in offsite construction: timber module prefabrication*. *Construction, Management and Economics*, Luleå University of Technology, Volume 27, Issue 7, Luleå.

[17] Andersson D, 2005. *Prefabricerade väggelement med pelar-balkstomme*. Luleå Tekniska Universitet, 1402-1617, Luleå.

[18] Östman B, 2008. *Akustik i byggnader*. Bygg och Teknik, Vol. 4/08, Stockholm.

[19] Andersson P, Ladan I, 2010. *Transport av volymelement - Förutsättningar ur ett företags perspektiv*. Halmstad Högskola, Halmstad.

[20] Höök M, 2005. *Timber Volume Element Prefabrication - Production and market aspects*. Luleå University of Technology, 1402-1757, Luleå.

[21] Höök M och Stehn L, 2005. *Connection lean construction to prefabricaion compexity in swedish volume housing*. 13th Annual Conference on Lean Construction, IGLC-13, Sydney.

[22] Höök M och Stehn L, 2005. *Trust - The missing link between innovation diffusion and adoption in timber volume housing*. Construction management and Economics, Luleå.

[23] Höök M och Stehn L, 2004. *Innovative and lean construcion success factors for component suppliers*. 12th Conference on Lean Consruction, IGLC-12, Elsinore.

[24] Bergström M och Stehn L, 2004. *Benefits and disadvantages of ERP in industrialised timber frame housing in Sweden*. Construction Management and Economics, Luleå.

[25] Bergström M och Stehn L, 2002. *Integrated design and production of multy-story timber frame houses - production effects caused by customer-orientated design*. Internal Journal of Production Economics, Luleå.

[26] Bergström M och Stehn L, 2004. *Matching industrialised timber frame housing needs and enterprise resourse planning - a change process*. International Journal of Production Economict, Vol. 2004, Luleå.

[27] Isaksson T, Mårtensson A och Thelandersson S, 2010. *Byggkonstruktion*. Studentlitteratur, 97-8914-407-0308, Lund.

[28] Claeson-Jonsson C, 2010. *ManuBuild - erfarenheter från ett EU-projekt om industriellt bostadsbyggande*. NCC Teknik, Göteborg.

[29] Bergström M, Westerberg M, 2004. *Customised industrialised timber frame house manufacturing - prospect and pitfalls*. Construction Innovation, Luleå.

[30] Bergström M, 2004. *ERP system implementation - a case study of a medium-sized industrialised housing company*. International Journal of Operations & Production Management, Luleå.

[31] Bergström M, 2004. *Industrialised Timber Frame Housing*. Luleå University of Technology, 1402-1544, Luleå.

[32] Boverket, 2008. *Industriellt bostadbyggande - Koncept och processer*. Boverket, 978-91-85751-99-0, Karlskrona.

[33] Skerfving N, 1998. *Industriellt monteringsbyggande och modulsystematik - process, organisation och byggnadsutformning*. Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.

[34] Sigfridsson C J, 2014. *Studiebesök industri*, Myresjöhus. Myresjö.

[35] Sigfridsson C J, 2014. *Studiebesök montage*. Smålandsvillan, Borås.

[36] Sigfridsson C J, 2014. Studiebesök *industri*. Smålandsvillan, Vrigstad.

[37] Sigfridsson C J, 2014. *Studiebesök montage*. Myresjöhus, Växjö.

[38] Myresjöhus, 2014. *Level One - steget in i eget hus*. Myresjöhus, Vetlanda.

[39] Myresjöhus, 2014. *Start living - kostnadseffektiva bostäder*. Myresjöhus, Vetlanda.

[40] Swedish Standards Institute, 2010. *Eurokod 1*. Sis förlag AB, Stockholm.

[41] Martinssons trä, 2006. *Massivträ Handboken*. Martinssons trä, Bygdsiljum.

[42] Degerman T och Åkerlund S, 1979. *Stabilisering av småhus - Beräkningsmodeller för horisontella bärverk*. LTH, TVBK:3006, Lund.

[43] Gyproc Teknik, 2015. *Gyproc Handbok 7*. www.gyproc.se/teknik/statik?print=1. www.gyproc.se. [Online] [Citat: den 25 02 2015.]

[44] Swedish Standards Institute, 2009. *Eurokod 5: Design of timber structures*. SIS Förlag AB, Stockholm.

[45] Gustavsson P, 2012. *JOMA Beräkningshandbok*. JOMA byggbeslag.

[46] Fischer AB, 2015. *Handbok I infästning*. Fischer Sverige AB, Norrköping.

[47] Källsner B, Girhammar U A, 2008. *Horisontalstabilisering av väggar med träbaserade skivor.* SP, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.

[48] Johansson CJ, 2014. *Tryck vinkelrätt fiberriktningen – en interimistisk lösning*. SP, SverigesTekniska Forskningsinstitut, Borås.

[49] Bodén P, 2009. *Stabilisering av trähus*. Luleå Tekniska Universitet, 1402-1617, Luleå.

10 Bilagor

10.1 Egentyngder

Material

Densitet för material som ingår i konstruktionerna i studien sammanställs i Tabell 21.

Tabell 21: Densitet för ingående material.

Material	Densitet (kg/m^3)
Gips	800
Mineralull	70
Plywood	500
Spånskiva	620
Stenull	80
Trä	420
Betongpannor	800
Kerto	500

Egentyngd för olika konstruktioner redovisas i Tabell 23-Tabell 31. För inhomogena skikt i element används en procentsats för att beräkna egentyngden, Tabell 22. Exempelvis för skikt med s600 träreglar och mineralull beräknas andelen trä i skiktet i Tabell 22, genom beräkningen:

$$\frac{0{,}05+0{,}11}{0{,}05+0{,}11+1{,}3} = 9{,}95\ \%.$$

I skikt med träreglar avrundas procentsatsen med fördel trä m.h.t. kortlingar och materialets större egentyngd.

Tabell 22: Andel material vid s600.

s600	Area	Andel	Avrundning
Hammarband/syll	0,05		
Stående regel	0,11	0,11	**0,1**
Mineralull	1,34	0,89	**0,9**

Beräkningsexempel:

Hammarband/syllarea $= \ 0{,}045 \cdot 0{,}6 \cdot 2 = 0{,}05$

Yttervägg

Tabell 23: Ytterväggskonstruktion.

Yttervägg	c/c (mm)	Tjocklek (mm)	Vikt (kg/m^2)	Last (kN/m^2)
Gipsskiva	-	13	10,4	0,10
Gipsskiva	-	13	10,4	0,10
Plastfilm	-	-	-	-
Regelverk	600	240	10,1	0,10
Mineralull	-	240	15,1	0,15
Gipsskiva	-	9	7,2	0,07
Stenull	-	50	4	0,04
Luftspalt	-	20	-	-
Fasadpanel	-	22	9,2	0,09
∑		607		0,65

Lägenhetsskiljande vägg för volymteknik

Tabell 24: Lägenhetsskiljande vägg.

Lägenhetsskiljande vägg	c/c (m)	Tjocklek (mm)	Vikt (kg/m^2)	Tunghet (kN/m^2)
Gips		15	12	0,12
Gips		13	10	0,10
Regelverk	600	120	5	0,05
Mineralull		120	8	0,08
Luftspalt		34	-	-
Regelverk	600	120	5	0,05
Mineralull		120	8	0,08
Gips		13	10	0,10
Gips		15	12	0,12
∑		330		0,69

Lägenhetsskiljande vägg för planteknik

Tabell 25: Lägenhetsskiljande vägg för planteknik.

Bärande innervägg	c/c (m)	Tjocklek (mm)	Vikt (kg/m^2)	Tunghet (kN/m^2)
Gips		15	12	0,12
Gips		15	12	0,12
Regelverk	300	120	10	0,10
Mineralull		120	7	0,07
Gips		15	12	0,12
Gips		15	12	0,12
∑		300		0,64

Ej bärande innervägg

Tabell 26: Innerväggskonstruktion.

Ej bärande innervägg	c/c (m)	Tjocklek (mm)	Vikt (kg/m^2)	Last (kN/m^2)
Gips	-	13	10,4	0,10
Regelverk	450	70	5,6	0,03
Gips	-	13	10,4	0,10
∑		96		0,23

Vindsbjälklag för planteknik

Tabell 27: Vindsbjälklagskonstruktion.

Vindsbjälklag	c/c (m)	Tjocklek (mm)	Vikt (kg/m^2)	Last (kN/m^2)
Gips	-	15	12	0,12
Gips	-	13	10,4	0,10
Glespanel	300	28	3,5	0,03
Plastfilm	-	0,2	-	-
Mineralull	-	400	28	0,27
∑		456		0,53

Vindsbjälklag för volymteknik

Tabell 28: Takbjälklagskonstruktion för volymteknik.

Mellanbjälklag	c/c (m)	Tjocklek (mm)	Vikt (kg/m^2)	Last (kN/m^2)
Kerto/regel	600	308	9,8	0,15
Mineralull	-	280	19,6	0,17
Gips	-	13	10,4	0,10
Gips	-	13	10,4	0,10
∑		382		0,53

Golvbjälklag för volymteknik

Tabell 29: Golvbjälklagskontruktion för volymteknik.

Golvbjälklag	c/c (m)	Tjocklek (mm)	Vikt (kg/m^2)	Last (kN/m^2)
Gips		13	10,4	0,10
Gips		13	10,4	0,10
Spånskiva		22	1,5	0,13
Kerto		220	110	0,11
Bjälkar	600	220	92,4	0,09
Mineralull		220	3,5	0,14
∑		268		0,67

Mellanbjälklag för planteknik

Tabell 30: Mellanbjälklagskonstruktion för planteknik.

Mellanbjälklag	c/c (m)	Tjocklek (mm)	Vikt (kg/m^2)	Last (kN/m^2)
Gips	-	13	10,4	0,10
Gips	-	13	10,4	0,10
Spånskiva	-	22	13,6	0,13
Kerto T-balk	600	308	9,8	0,15
Mineralull	-	280	19,6	0,17
Glespanel	300	24	3	0,03
Akustikregel	-	64	-	-
Gips	-	13	10,4	0,10
Gips	-	13	10,4	0,10
∑		750		0,90

Yttertak

Tabell 31: Yttertakskonstruktion.

Yttertak	Tjocklek (mm)	Vikt (kg/m^2)	Tunghet (kN/m^2)
Betongpannor	-	35,6	0,35
Bärläkt	45	-	-
Ströläkt	11	-	-
Plywood	9	0,04	0,04
∑	65		0,39

10.2 Vindlast

Vindlast mot vägg

Resultaten för vindlast på vägg visas i Tabell 32. Ett beräkningsexempel som visar hur resultaten tagits fram presenteras därefter. Detta upplägg används även i följande avsnitt.

Tabell 32: Vindlast mot vägg.

Fallstudie	Vind mot	h (m)	b (m)	d (m)	h/d	q_p (kN/m^2)	Zon D ($c_{pe,10}$)	Zon E ($c_{pe,10}$)	Vindlast (kN/m^2)
Planteknik 2 våningar	Gavel	5,88	10,384	30	0,196	1,051	0,7	-0,3	1,051
Planteknik 2 våningar	Långsida	5,88	30	10,384	0,566	1,051	0,742	-0,384	1,184
Planteknik 4 våningar	Gavel	11,63	10,384	30	0,388	1,212	0,718	-0,337	1,279
Planteknik 4 våningar	Långsida	11,63	30	10,384	1,120	1,212	0,8	-0,557	1,644
Volymteknik 2 våningar	Gavel	7,8	13,4	33,434	0,233	1,123	0,7	-0,3	1,123
Volymteknik 2 våningar	Långsida	7,8	33,434	13	0,582	1,123	0,744	-0,389	1,272
Volymteknik 4 våningar	Gavel	14,5	13,4	33,434	0,434	1,264	0,724	-0,349	1,357
Volymteknik 4 våningar	Långsida	14,5	33,434	13	1,082	1,264	0,8	-0,522	1,671

Fallstudie	Vindriktning	Influenshöjd grund/tak (m)		Influenshöjd bjälklag (m)		
		q_{h0} (kN/m)	q_{h1} (kN/m)	q_{h2} (kN/m)	q_{h3} (kN/m)	q_{h4} (kN/m)
Planteknik 2 våningar	Gavel	1,345	3,022	1,345	-	-
Planteknik 2 våningar	Långsida	1,476	3,404	1,476	-	-
Planteknik 4 våningar	Gavel	1,637	3,676	3,676	3,676	1,637
Planteknik 4 våningar	Långsida	2,050	4,727	4,727	4,727	2,050
Volymteknik 2 våningar	Gavel	1,909	3,762	1,909	-	-
Volymteknik 2 våningar	Långsida	2,131	4,262	2,131	-	-
Volymteknik 4 våningar	Gavel	2,307	4,546	4,546	4,546	2,307
Volymteknik 4 våningar	Långsida	2,799	5,597	5,597	5,597	2,799

Beräkningsexempel - Vindlast mot vägg

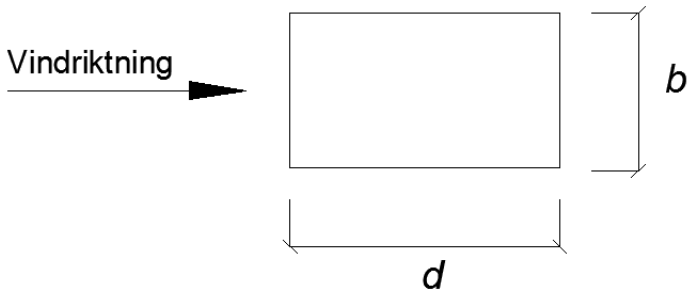
Förutsättningar:

- Byggnaden är i fyra våningar och 11,63 m hög.
- Planteknikbyggnad
- Lutning på taket är 18°.
- Terrängtyp väljs till 0 för att få största möjliga vindlast som kan uppstå i Sverige, Tabell 33.

Tabell 33: Definition av Terrängtyper [30].

Terrängtyp	Beskrivning
0	Havs- eller kustområde exponerat för öppet hav
I	Sjö eller plant och horisontellt område med försumbar vegetation och utan hinder
II	Område med låg vegetation som gräs och enstaka hinder (träd, byggnader) med minsta inbördes avstånd lika med 20 gånger hindrens höjd
IIII	Område täckt med vegetation eller byggnader eller med enstaka hinder med största inbördes avstånd lika med 20 gånger hindrens höjd (t.ex. broar, förorter och skogsmark)
IV	Område där minst 15 % av arean är bebyggt och där byggnadernas medelhöjd är > 15 m

Vid vind mot gavel är bredden, *b,* vinkelrät vindriktningen 10,384 m och byggnadens sida, *d,* i vindriktningen 30 m enligt Figur 58.



Figur 58: Mått vid vind mot gavel.

Karakteristiskt vindtryck, q_p, är ett karakteristiskt värde på vindens hastighetstryck vid given terrängtyp och byggnadshöjd. q_p, då, v_b, är 26 m/s visas i Tabell 34.

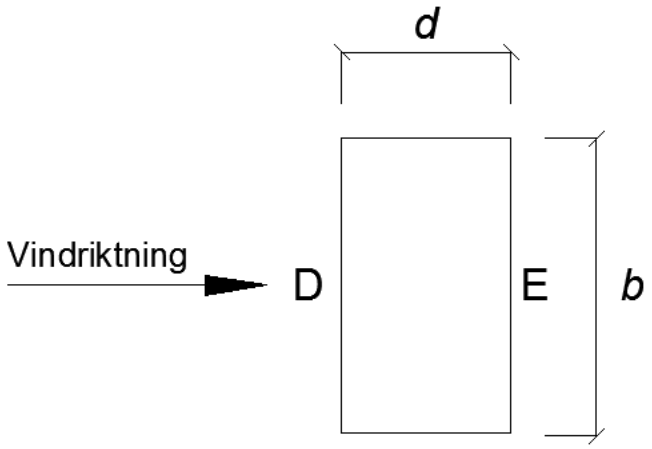
Tabell 34: Karakteristiskt vindtryck, q_p, då v_b är 26 m/s [30].

Höjd	Terrängtyp				
(m)	**0**	**I**	**II**	**III**	**IV**
2	0,84	0,73	0,55	0,49	0,44
4	0,98	0,87	0,69	0,49	0,44
8	**1,13**	1,03	0,86	0,60	0,44
12	**1,22**	1,13	0,96	0,70	0,49
16	1,29	1,20	1,04	0,78	0,56
20	1,34	1,26	1,10	0,84	0,63
25	1,40	1,32	1,16	0,90	0,69
30	1,44	1,37	1,21	0,96	0,74

Genom interpolering med given terrängtyp och byggnadshöjd ges q_p enligt nedan.

$$q_p = 1{,}13 + \frac{1{,}22-1{,}13}{4} \cdot (11{,}63 - 8) = 1{,}212 \text{ kN/m}^2.$$

Byggnaden delas in i zoner med olika formfaktorer eftersom vinden påverkar byggnadsdelar olika mycket. Väggarna på lovartsidan betecknas zon D medan väggarna på läsidan zon E, enligt Figur 59.



Figur 59: Zonindelning av vägg vid vind mot gavel.

Yttre formfaktorer, c_{pe}, för vind mot vägg visas i Tabell 35. Relationen mellan byggnadens höjd och bredd beräknas för att interpolera fram de yttre formfaktorerna för zonerna D och E.

$$\frac{h}{d} = \frac{11{,}63}{30} = 0{,}39$$

Tabell 35: Yttre formfaktorer för väggar [30].

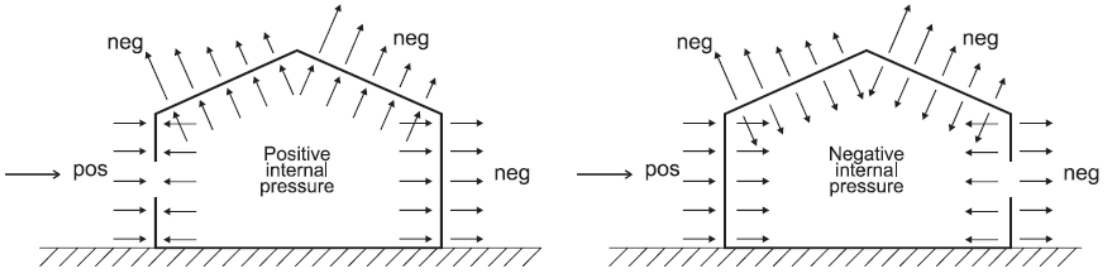
Zon	A		B		C		D		E	
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		**+0,8**	+1,0	**-0,5**	
≤0,25	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		**+0,7**	+1,0	**-0,3**	

Yttre formfaktorer för väggarna interpoleras fram ur Tabell 35. Beräkning för formfaktor D och E genom interpolering visas nedan.

$$\text{Zon D} = 0{,}7 + \frac{(0{,}8-0{,}7)}{0{,}75} \cdot (0{,}39 - 0{,}25) = 0{,}72$$

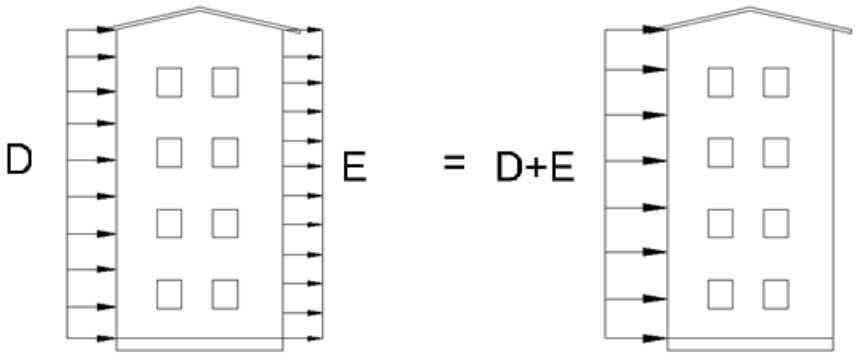
$$\text{Zon E} = -0{,}3 - \frac{(-0{,}5-(-0{,}3))}{0{,}75} \cdot (0{,}39 - 0{,}25) = -0{,}34$$

Inre formfaktorer, c_{pi}, väljs som det mest ogynnsamma av +0,2 och -0,3. I den vänstra byggnaden i Figur 60 illustreras vind mot vägg med invändigt tryck, +0,2 och i den högra med invändigt sug, -0,3. Vid beräkning används den formfaktor som samverkar med den utvändiga formfaktorn. Vid global stabilisering av byggnaden tar de invändiga horisontella vindlasterna dock ut varandra.



Figur 60: Inre formfaktorer, c_{pi} [40].

Formfaktorerna från zon D och E adderas till en total vindlast som angriper byggnaden, Figur 61.

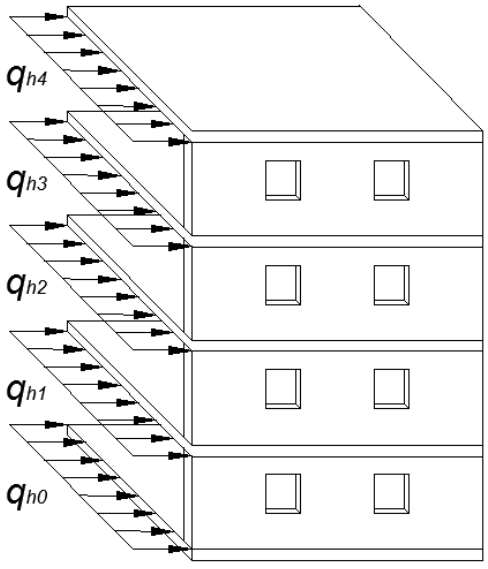


Figur 61: Samverkan mellan vindlaster i zon D och E.

Sammanlagd vindlast för zon D och E i Figur 61 beräknas nedan.

$$q_{väggP4,\ gavel} = 1{,}212 \cdot \big(0{,}72 - (-0{,}34)\big) = 1{,}279 \text{ kN/m}^2$$

För vidare beräkningar fördelas vindlasten ut till linjelaster som angriper i nivå med bjälklagen enligt Figur 62.



Figur 62: Vind mot vägg som linjelast i nivå med bjälklagen.

Linjelasterna från Figur 62 redovisas i Tabell 36 med influenshöjd. q_{h4} tar last från halva väggen på plan 4. $Q_{h3\text{-}1}$ har influenshöjd från halva väggen från våningen ovan, halva väggen från våningen under, samt bjälklagets tjocklek. Vid vind mot gavel tillkommer gavelspetsens area för 4:e våningen.

Tabell 36: Linjelast från vind mot vägg med influenshöjd.

Last	Influenshöjd (m)	Linjelast (kN/m)
q_{h4}	1,247	1,637
q_{h3}	2,875	3,676
q_{h2}	2,875	3,676
q_{h1}	2,875	3,676
q_{h0}	1,247	1,637

Vindlast på tak

Tabell 37. Vindlast på tak.

Fallstudie	Vind mot	q_p (kN/m^2)	Zon F ($c_{pe,10}$)	Zon G ($c_{pe,10}$)	Zon H ($c_{pe,10}$)	Zon J ($c_{pe,10}$)	Zon I ($c_{pe,10}$)	Invändigt (cp_i)
Planteknik 2 våningar	Gavel	1,051	-1,26	-1,32	-0,64	-	-0,5	0,2
Planteknik 2 våningar	Långsida	1,051	-0,82	-0,74	-0,28	-0,9	-0,4	0,2
Planteknik 4 våningar	Gavel	1,212	-1,26	-1,32	-0,64	-	-0,5	0,2
Planteknik 4 våningar	Långsida	1,212	-0,82	-0,74	-0,28	-0,9	-0,4	0,2
Volymteknik 2 våningar	Gavel	1,123	-1,26	-1,32	-0,64	-	-0,5	0,2
Volymteknik 2 våningar	Långsida	1,123	-0,82	-0,74	-0,28	-0,9	-0,4	0,2
Volymteknik 4 våningar	Gavel	1,264	-1,26	-1,32	-0,64	-	-0,5	0,2
Volymteknik 4 våningar	Långsida	1,264	-0,82	-0,74	-0,28	-0,9	-0,4	0,2

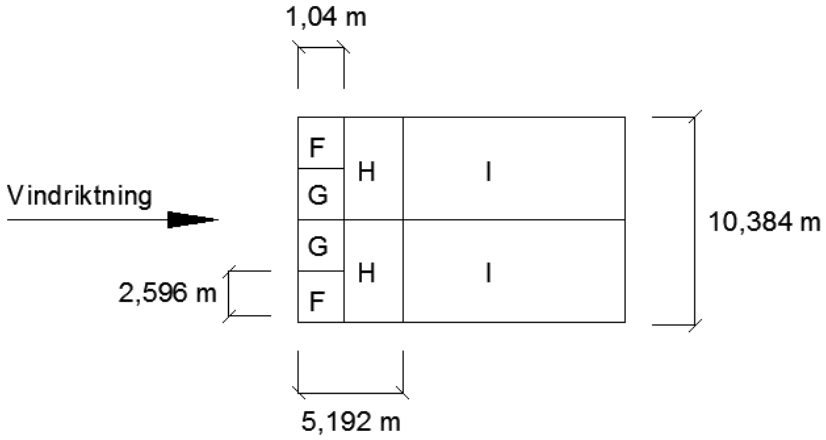
Fallstudie	Vind mot	F (kN)	G (kN)	H (kN)	J (kN)	I (kN)	Summa Area (m^2)
Planteknik 2 våningar	Gavel	-8,273	-8,613	-38,078	-	-189,521	311,520
Planteknik 2 våningar	Långsida	-7,413	-28,023	-60,780	-40,787	-75,975	311,520
Planteknik 4 våningar	Gavel	-9,540	-9,932	-43,911	-	-218,553	311,520
Planteknik 4 våningar	Långsida	-8,548	-32,316	-70,090	-47,035	-87,613	311,520
Volymteknik 2 våningar	Gavel	-14,720	-15,325	-67,753	-	-281,609	448,016
Volymteknik 2 våningar	Långsida	-13,938	-42,213	-92,634	-64,430	-115,793	448,016
Volymteknik 4 våningar	Gavel	-16,568	-17,249	-76,260	-	-316,967	448,016
Volymteknik 4 våningar	Långsida	-15,688	-47,513	-104,265	-72,519	-130,332	448,016

Fallstudie	Vind mot	Last vinkelrätt tak (kN/m^2)	Horisontell last (kN/m^2)	Horisontell Nettolast (kN/m)	Vertikal Last (kN/m^2)
Planteknik 2 våningar	Gavel	-0,785	-	-	-0,746
Planteknik 2 våningar	Långsida	-0,684	-0,211	0,212	-0,650
Planteknik 4 våningar	Gavel	-0,905	-	-	-0,861
Planteknik 4 våningar	Långsida	-0,788	-0,244	0,244	-0,750
Volymteknik 2 våningar	Gavel	-0,847	-	-	-0,805
Volymteknik 2 våningar	Långsida	-0,734	-0,227	0,291	-0,698
Volymteknik 4 våningar	Gavel	-0,953	-	-	-0,907
Volymteknik 4 våningar	Långsida	-0,827	-0,255	0,327	-0,786

Beräkningsexempel – Vindlast på tak vid vind mot gavel

Vid vind mot gavel delas taket in i zoner enligt Figur 63. I vindriktning är zon F $e/10$ m lång och vinkelrätt vinden $e/4$ m. e beräknas enligt nedan och zonernas mått visas i Figur 63.

$$e = \min\begin{cases} b = 10{,}384 \text{ m} \\ 2h = 23{,}26 \text{ m} \end{cases} \rightarrow e = 10{,}384 \text{ m}$$



Figur 63: Indelning av zoner och avstånd.

Varje zon har en specifik yttre formfaktor för tak vid anblåst gavel. De yttre formfaktorerna hämtas och interpoleras från Tabell 38.

Tabell 38: Yttre formfaktorer för vindlast vid vind mot gavel.

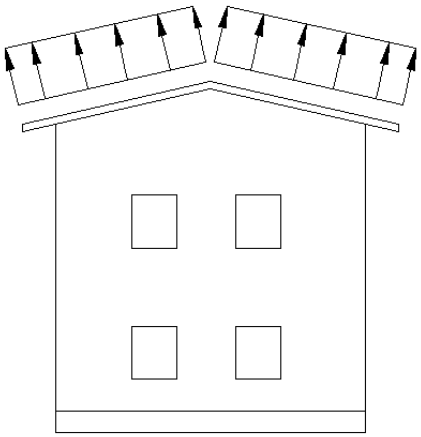
	Zon för vindriktning ϑ=0°							
α	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	**-1,3**	-2,0	**-1,3**	-2,0	**-0,6**	-1,2	**-0,5**	
30°	**-1,1**	-1,5	**-1,4**	-2,0	**-0,8**	-1,2	**-0,5**	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

Ett exempel på interpolering av yttre formfaktorer från Tabell 38 visas nedan.

$$\text{Zon F} = -1{,}3 + \frac{(1{,}3-1{,}1)}{15} \cdot (18-15) = -1{,}260$$

Inre formfaktor för taket väljs som det mest ogynnsamma av +0,2 och – 0,3 vid samverkan med den yttre formfaktorn i respektive zon enligt Figur 60. Eftersom alla de yttre formfaktorerna på taket är sugkrafter med negativa värden samverkar de med invändigt tryck och den invändiga formfaktorn +0,2. Formfaktorer på taket vid anblåst gavel visas i Tabell 39.

Vindlasten på taket angriper vinkelrätt takets lutning enligt Figur 64. För varje zon beräknas vindlasten, q_{tak}, på taken enligt nedan.



Figur 64: Vindlast vinkelrätt takets lutning.

$$q_{tak} = q_p \cdot (c_{pe} \pm c_{pi})$$

Ett exempel på beräkning av vindlast i zon F visas nedan.

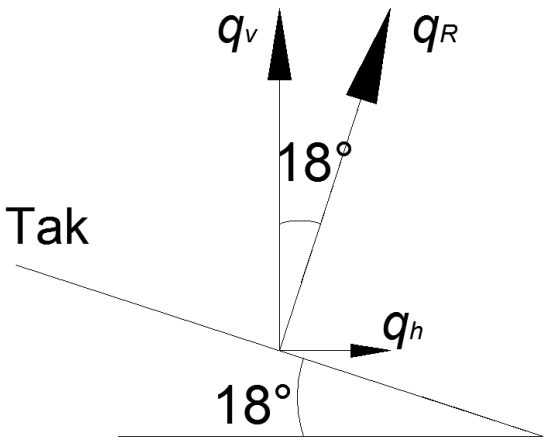
$$q_F = 1{,}212 \cdot (-1{,}26 - 0{,}2) = -1{,}770 \text{ kN/m}^2$$

Samtliga vindlaster i zonerna redovisas i Tabell 39.

Tabell 39: Beräknade formfaktorer för tak vid vind mot gavel.

Zon tak	$C_{pe,10}$	C_{pi}	Vindlast (kN/m^2)
F	-1,26	0,20	-1,770
G	-1,32	0,20	-1,842
H	-0,64	0,20	-1,018
I	-0,50	0,20	-0,848

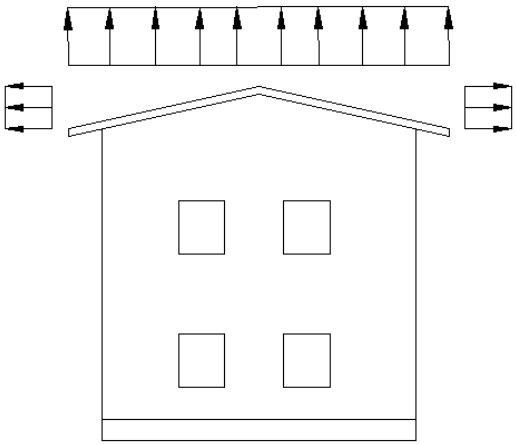
Vindlasten komposantuppdelas genom trigonometri, Figur 65. q_R är vindlasten beräknad ovan vinkelrätt takets lutning som delas upp till en vertikal last, q_v och en horisontell last, q_h. De horisontella lasterna som uppkommer vid komposantuppdelningen är av samma storlek på båda sidor av nocken. De tar därmed ut varandra och kommer inte att utvärderas vidare i denna studie. Ett beräkningsexempel visas nedan för komposantuppdelningen.



Figur 65: Komposantuppdelning.

Komposantuppdelning för vertikal vindlast i zon F:

$$q_{Fv} = 1{,}212 \cdot (-1{,}26 - 0{,}2) \cdot \cos(18°) \ = 1{,}683 \text{ kN/m}^2$$



Figur 66: Komposantuppdelning av vindlast på tak.

Den vertikala komposanten i respektive zon på taket sammanställs i Tabell 40.

Tabell 40: Sammanställning av vindlaster.

Zon	Last vinkelrätt tak (kN/m^2)	Last vertikal tak (kN/m^2)
F	-1,770	-1,683
G	-1,842	-1,752
H	-1,018	-0,968
I	-0,848	-0,807

För att enklare hantera vindlasten på taket beräknas en lastresultant för varje zon beroende av lastens storlek och area i zonen. Resultanterna för respektive zon summeras sedan för att divideras med hela takarean till en jämnt utbredd last. Resultant för respektive zon beräknas enligt nedan.

$$F_F = -1{,}683 \cdot 2 \cdot (2{,}569 \cdot 1{,}04) = -9{,}074 \text{ kN}$$

$$F_G = -1{,}752 \cdot (10{,}384 - 2 \cdot 2{,}569) \cdot 1{,}04 = -9{,}460 \text{ kN}$$

$$F_H = -0{,}968 \cdot (5{,}192 - 1{,}04) \cdot 10{,}384 = -41{,}751 \text{ kN}$$

$$F_I = -0{,}807 \cdot (30 - 5{,}192) \cdot 10{,}384 = -207{,}888 \text{ kN}$$

Resultanterna för respektive zon summeras och divideras sedan med hela takytan för att få en jämnt utbredd last.

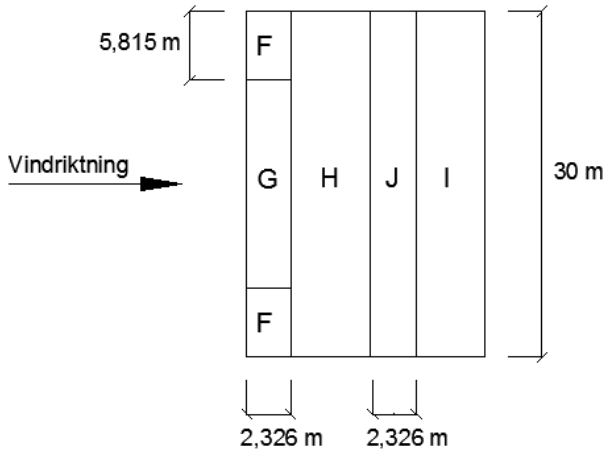
$$\sum F_{F-I} = -9{,}074 - 9{,}460 - 41{,}751 - 201{,}117 = -268{,}173 \text{ kN}$$

$$q_{tak} = \left(\frac{-268{,}173}{10{,}384 \cdot 30}\right) = -0{,}861 \text{ kN/m}^2$$

Beräkningsexempel – Vindlast tak vid vind mot långsida

Grundläggande förutsättningar och beräkningexempel av vind mot väggar redovisas ovan i kapitlet. Zonindelning och avstånd på taket vid vind mot långsida illustreras i Figur 67. Zon F och G är $e/4$ m vinkelrätt vindriktningen och $e/10$ i vindriktning. Zon J är $e/10$ m vinkelrätt vindriktningen. e beräknas enligt nedan.

$$e = \min\begin{cases} b = 30 \text{ m} \\ 2h = 23{,}26 \text{ m} \end{cases} \rightarrow e = 23{,}26$$



Figur 67: Zonindelning på tak vid vind mot långsida.

Vid vind mot långsidan ges formfaktorer på tak genom interpolering m.h.a. Tabell 41.

Tabell 41: Yttre formfaktorer för vind mot långsida tak [30].

	Zon för vindriktning ϑ=0°									
α	**F**		**G**		**H**		**I**		**J**	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0				+0,0				-0,6	
15	**-0,9**	-2,0	**-0,8**	-1,5	**-0,3**		**-0,4**		**-1,0**	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	
30	**-0,5**	-1,5	**-0,5**	-1,5	**-0,2**		**-0,4**		**-0,5**	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
60	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

Varje zon har en yttre formfaktor för tak vid anblåst långsida. Yttre formfaktorer hämtas och interpoleras från Tabell 41. Ett exempel på interpolering av yttre formfaktorer visas nedan.

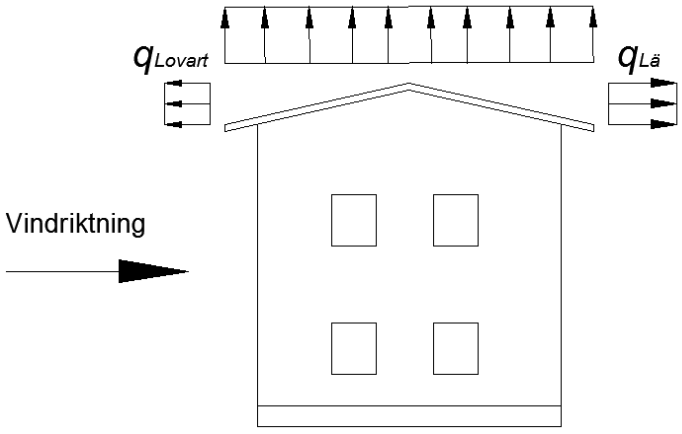
$$\text{Zon F} = -0{,}9 + \frac{(0{,}9-0{,}5)}{15} \cdot (18-15) = -0{,}82$$

Inre formfaktor i respektive zon väljs enligt kapitel 5.1.2 och Figur 60 till invändigt tryck och formfaktor +0,2. Formfaktorer för taket vid anblåst långsida visas i Tabell 42.

Tabell 42: Beräknade formfaktorer och vindlast på tak vid vind mot långsida.

Zon	(c_{pe})	(c_{pi})	Vindlast (kN/m^2)
F	-0,82	0,20	-1,236
G	-0,74	0,20	-1,139
H	-0,28	0,20	-0,582
J	-0,90	0,20	-1,333
I	-0,40	0,20	-0,727

Takets vindlast komposantuppdelas enligt Figur 65 och Figur 68. På lovart- och läsidan om nocken uppstår horisontella laster p.g.a. komposantuppdelningen. Nettotillskottet av lasterna, q_{Lovart} och $q_{Lä}$ kontrolleras nedan. I det fall då tillskottet är motriktat vindriktningen antas det på säkra sidan att bortse från den horisontella lasten på taket. Om beräkning visar att nettotillskottet av de horisontella lasterna är i vindriktningen bör den medräknas i vidare beräkningar.



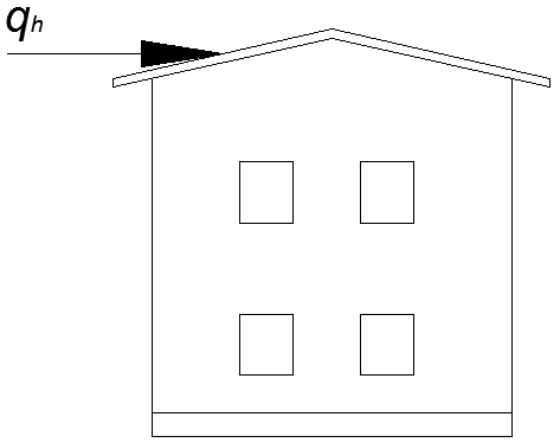
Figur 68: Nettotillskott för horisontell vindlast på tak.

Influensareor från respektive zon framgår enligt Figur 67 . Horisontell lastkomposant från vind på tak beräknas i Tabell 43 genom kompostanuppdelning av vindlasten vinkelrät mot taklutningen enligt Tabell 42.

Tabell 43: Beräknad horisontell last på tak.

Zon	Horisontell last (kN/m^2)	Area (m^2)	F_{Lovart} (kN)	$F_{Lä}$ (kN)
F	-0,381	6,915	-8,273	-
G	-0,352	27,415	-31,233	-
H	-0,180	117,235	-68,203	-
J	-0,412	34,330	-	-45,768
I	-0,225	117,235	-	-85,253
∑		303,130	-107,984	-131,022

Nettotillskottet från den horisontella vindlasten på taket är enligt Tabell 43, $131{,}022 - 107{,}984 = 23{,}038$ kN, medriktat vindriktningen. Ett lasttillskott på $23{,}038$ kN i vindriktningen bör för detta fall tillgodoräknas. Eftersom formfatorerna för zon F, G och I är störst och är placerade på nedre delen av takets höjd kommer angreppspunkten för nettolasten att vara undre delen av takets halva höjd, Figur 69. Vidare antas därför att lasten angriper på halva takets höjd, vilket är på säkra sidan.



Figur 69: Horisontell vindlast på tak.

Den vertikala vindlasten på taket beräknas från Figur 65 och Figur 68 genom komposantuppdelning av lasten vinkelrätt takets lutning, Tabell 43. Beräkning av vertikal last på taket visas i Tabell 44.

Tabell 44: Beräkning av vertikal vindlast på tak.

Zon	Last vinkelrätt tak (kN/m^2)	Last vertikalt tak (kN/m^2)
F	-1,236	-1,176
G	-1,139	-1,084
H	-0,582	-0,553
J	-1,333	-1,268
I	-0,727	-0,692

Lasterna summeras och en resultant för respektive zon beräknas. Därefter räknas resultanterna om till en jämnt utbredd last på taket.

$$F_F = 2 \cdot \left(-1{,}176 \cdot \left(\frac{11{,}76}{4} \cdot \frac{11{,}76}{10}\right)\right) = -8{,}132 \text{ kN}$$

$$F_G = -1{,}084 \cdot \left(\frac{11{,}76}{10} \cdot (30 - 2 \cdot \frac{11{,}76}{4}\right) = -30{,}748 \text{ kN}$$

$$F_H = -0{,}553 \cdot \left(\frac{10{,}384}{2} - \frac{11{,}76}{10}\right) \cdot 30 = 66{,}625 \text{kN}$$

$$F_J = -1{,}268 \cdot \frac{11{,}76}{10} \cdot 30 = 44{,}735 \text{ kN}$$

$$F_I = -0{,}692 \cdot \left(\frac{10{,}384}{2} - \frac{11{,}76}{10}\right) \cdot 30 = 83{,}372 \text{ kN}$$

$$\sum F_{F-J} = -8{,}132 - 30{,}748 - 66{,}625 - 44{,}735 - 83{,}372 = 233{,}612 \text{ kN}$$

$$q_{tak} = \left(\frac{233{,}612}{10{,}384 \cdot 30}\right) = 0{,}750 \text{ kN/m}^2$$

10.3 Snedställning

Vertikal last ger upphov till horisontell snedställningslast. De vertikala lasterna redovisas i Tabell 47 och Tabell 48. Resultatet av snedställning för fallstudierna sammanställs i Tabell 45 och Tabell 46.

Tabell 45: Snedställningslast planteknik.

	Lastfall 1		**Lastfall 2**	
Last	**2 våningar (kN)**	**4 våningar (kN)**	**2 våningar (kN)**	**4 våningar (kN)**
V_{d1}	383,90	383,90	1113,13	1133,13
V_{d2}	259,29	383,90	1130,75	1133,13
V_{d3}	-	383,90	-	1133,13
V_{d4}	-	259,29	-	1130,75
V_{Fh1}	4,41	4,41	13,01	13,01
V_{Fh2}	2,98	4,41	12,99	13,01
V_{Fh3}	-	4,41	-	13,01
V_{Fh4}	-	2,98	-	12,99
	Lastfall 3		**Lastfall 4**	
Last	**2 våningar (kN)**	**4 våningar (kN)**	**2 våningar (kN)**	**4 våningar (kN)**
V_{d1}	1399,39	1399,39	1133,13	1133,13
V_{d2}	1130,75	1399,39	1467,19	1133,13
V_{d3}	-	1399,39	-	1133,13
V_{d4}	-	1130,75	-	1467,19
V_{Fh1}	16,07	16,07	13,01	13,01
V_{Fh2}	12,99	16,07	16,85	13,01
V_{Fh3}	-	16,07	-	13,01
V_{Fh4}	-	12,99	-	16,85

Tabell 46: Snedställningslast volymteknik.

	Lastfall 1		Lastfall 2	
Last	**2 våningar (kN)**	**4 våningar (kN)**	**2 våningar (kN)**	**4 våningar (kN)**
V_{d1}	810,17	810,17	2010,15	2010,15
V_{d2}	650,30	810,17	2029,83	2010,15
V_{d3}	-	810,17	-	2010,15
V_{d4}	-	650,30	-	2029,83
V_{Fh1}	9,31	9,31	23,09	23,09
V_{Fh2}	7,47	9,31	23,31	23,09
V_{Fh3}	-	9,31	-	23,09
V_{Fh4}	-	7,47	-	23,31
	Lastfall 3		**Lastfall 4**	
Last	**2 våningar (kN)**	**4 våningar (kN)**	**2 våningar (kN)**	**4 våningar (kN)**
V_{d1}	2408,69	2408,69	2010,15	2010,15
V_{d2}	2029,83	2408,69	2528,16	2010,15
V_{d3}	-	2408,69	-	2010,15
V_{d4}	-	2029,83	-	2528,16
V_{Fh1}	27,66	27,66	23,09	23,09
V_{Fh2}	23,31	27,66	29,04	23,09
V_{Fh3}	-	27,66	-	23,09
V_{Fh4}	-	23,31	-	29,04

Vertikal snedställningslast - Planteknik

Tabell 47: Snedställningslast planteknik.

Plan 2 / 4	Antal (st)	Längd (mm)	Höjd (mm)	Tjocklek (mm)	Area (m^2)	Egt (kN/m^2)	Egt (kN)
Yttertak	1	30 000	10 132	20	304	0,39	118,54
Takstol	4	7 367	10 132	45	-	0,09	0,36
Vindsbjälklag	4	7 367	10 132	456	299	0,53	158,24
Gavelspets	2	10 384	1 622	392	17	0,65	10,95
Summa							**288,10**
Snölast	1	10 384	30 000	-	311,52	2,4	**747,648**
Plan 1 / 1-3							
Vägg *a*	2	10 384	2 493	392	52	0,65	33,65
Vägg *b*	3	9 600	2 493	180	72	0,64	45,95
Vägg *c*	1	29 216	2 493	392	73	0,65	47,34
Vägg *d*	1	29 216	2 493	392	73	0,65	47,34
Innerväggar	1	30 000	2 493	96	75	0,23	17,20
Mellanbjälklag	4	7 367	10 132	382	299	0,90	268,71
Summa							**426,55**
Nyttig last	1	9992	29608	-	295,8431	2	**591,69**

Vertikal snedställningslast - Volymteknik

Tabell 48: Snedställningslast volymteknik.

Plan 2 / 4	Antal (st)	Längd (mm)	Höjd (mm)	Tjocklek (mm)	Area (m^2)	Egt (kN/m^2)	Egt (kN)
Yttertak	1	34 434	13 400	20	461	0,39	179,95
Takstol	1	34 434	13 400	45	-	-	1,22
Gavelspets	2	7 592	1 233	392	9	0,65	6,08
Lösull	8	4 150	13 216	400	439	0,32	140,41
Mellanbjälklag	8	4 150	13 216	382	439	0,9	394,89
Summa							**722,55**
Snölast	1	34 434	13 400	-	461,42	2,4	**1107,40**
Plan 1 / 1-3							
Vägg *e*	1	34 434	2 498	392	86	0,65	55,91
Vägg *f*	1	34 434	2 498	392	86	0,65	55,91
Vägg *g*	1	13 400	2 498	392	33	0,65	21,76
Vägg *h*	3	12 616	2 498	330	95	0,64	60,51
Innerväggar	-	60 000	2 498	96	150	0,23	34,47
Mellanbjälklag	8	4 150	13 216	382	439	0,9	394,89
Golvbjälklag	8	4 150	13 216	268	439	0,67	293,98
Summa							**917,43**
Nyttig last	1	34 042	13 008	-	442,82	2	**885,64**

Beräkningsexempel – Snedställning planteknik i 2 våningar

Vindlast räknas som huvudlast och nyttig last som övrig last eftersom bidraget från den horisontella lasten p.g.a. snedställning bedöms vara litet i förhållande till vindlasten. Byggnaden är symmetrisk. Därför beräknas snedställningslasten genom att studera lasterna inom varje lägenhet. Förutsättningar:

- All vertikal last antas bäras via väggarna. Egentyngden av stabiliserande väggar i vindriktningen antas föras ner till grunden utan att belasta de snedställda väggarna.
- Vindlasten på taket är uppåtriktad och försummas i denna beräkning för förenklade beräkningar, på säkra sidan.

$$\alpha_{md} = \alpha_0 + \frac{\alpha_\delta}{\sqrt{n}} = 0{,}003 + \frac{0{,}012}{\sqrt{2}} = 0{,}0115$$

Ekvivalent horisontalkraft, $F_{hi,kv}$, p.g.a. snedställning räknas om till en utbredd last $q_{hi,ekv}$ som angriper i nivå med bjälklaget. Eftersom byggnadens egentyngd är gynnsam då lyftkrafter uppstår men ogynnsam vid exempelvis tryck beräknas fler fall av snedställningslaster. På säkra sidan beräknas snedställningslasten med inverkan av gavlarnas egentyngd. Eftersom bjälklag och tak är upplagt på lånsidornas väggar bortses snedställningslasten på gavelväggarna.

$$F_{hi,ekv} = V_{di} \cdot \alpha_{md}$$

Då egentyngden är gynnsam beräknas dimensionerande vertikalkraft enligt nedan.

$$V_{d1} = (0{,}9 \cdot \left(G_{bjälklag} + G_{ytterväggar} + G_{innerväggar}\right)$$

$$V_{d1} = (0{,}9 \cdot (268{,}71 + 174{,}29 + 17{,}2) = 383{,}9 \text{ kN}$$

$$V_{d2} = (0{,}9 \cdot \left(G_{vindsbjälklag} + G_{takstol} + G_{yttertak} + G_{gavelspets}\right)$$

$$V_{d2} = (0{,}9 \cdot (158{,}24 + 0{,}36 + 118{,}54 + 10{,}95) = 259{,}29 \text{ kN}$$

Vilket ger horisontallasterna:

$$F_{h1} = 383{,}9 \cdot 0{,}0115 = 4{,}41 \text{ kN}$$

$$F_{h2} = 259{,}29 \cdot 0{,}0115 = 2{,}98 \text{ kN}$$

10.4 Sammanlagda horisontella laster

I bilagan sammanställs horisontella laster från vind och snedställning till linjelaster som angriper i nivå med bjälklagen. Lasterna beräknas i brottgränstillståndet enligt lastfallen i kapitel 5.

Planelement – 2 våningar

Tabell 49: Horisontell last vid lastfall 1.

Vind mot gavel		
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2
Vind på vägg	4,53	2,02
∑	**4,53**	**2,02**

Vind mot långsida			
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Nettolast tak
Snedställning	0,15	0,1	-
Vind på vägg	5,11	2,21	-
∑	**5,25**	**2,31**	**0,32**

Tabell 50: Horisontell last vid lastfall 2.

Vind mot gavel		
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2
Vind på vägg	4,53	2,02
∑	**4,53**	**2,02**

Vind mot långsida			
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Nettolast tak
Snedställning	0,43	0,43	-
Vind på vägg	5,11	2,21	-
∑	**5,54**	**2,65**	**0,32**

Tabell 51: Horisontell last vid lastfall 3.

Vind mot gavel		
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2
Vind på vägg	0,91	0,40
∑	**0,91**	**0,4**

Vind mot långsida			
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Nettolast tak
Snedställning	0,54	0,43	-
Vind på vägg	1,02	0,44	-
∑	**1,56**	**0,88**	**0,07**

Tabell 52: Horisontell last vid lastfall 4.

Vind mot gavel		
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2
Vind på vägg	0,91	0,40
∑	**0,91**	**0,4**

Vind mot långsida			
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Nettolast tak
Snedställning	0,43	0,56	-
Vind på vägg	1,02	0,44	-
∑	**1,45**	**1,00**	**0,07**

Planelement - 4 våningar

Tabell 53: Horisontell last vid lastfall 1.

Vind mot gavel				
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Våning 3	Våning 4
Vind på vägg	5,51	5,51	5,51	2,46
∑	**5,51**	**5,51**	**5,51**	**2,46**

Vind mot långsida					
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Våning 3	Våning 4	Nettolast tak
Snedställning	0,15	0,15	0,15	0,10	-
Vind på vägg	7,09	7,09	7,09	3,08	-
∑	**7,24**	**7,24**	**7,24**	**7,17**	**0,37**

Tabell 54: Horisontell last vid lastfall 2.

Vind mot gavel				
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Våning 3	Våning 4
Vind på vägg	5,51	5,51	5,51	2,46
∑	**5,51**	**5,51**	**5,51**	**5,51**

Vind mot långsida					
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Våning 3	Våning 4	Nettolast tak
Snedställning	0,43	0,43	0,43	0,43	-
Vind på vägg	7,09	7,09	7,09	3,08	-
∑	**7,52**	**7,52**	**7,52**	**3,51**	**0,37**

Tabell 55: Horisontell last vid lastfall 3.

Vind mot gavel				
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Våning 3	Våning 4
Vind på vägg	1,1	1,1	1,1	0,49
∑	**1,1**	**1,1**	**1,1**	**1,1**

Vind mot långsida					
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Våning 3	Våning 4	Nettolast tak
Snedställning	0,54	0,54	0,54	0,43	-
Vind på vägg	1,42	1,42	1,42	1,62	-
∑	**1,95**	**1,95**	**1,95**	**1,05**	**0,07**

Tabell 56: Horisontell last vid lastfall 4.

Vind mot gavel				
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Våning 3	Våning 4
Vind på vägg	1,1	1,1	1,1	0,49
∑	**1,1**	**1,1**	**1,1**	**0,49**

Vind mot långsida					
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Våning 3	Våning 4	Nettolast tak
Snedställning	0,43	0,43	0,43	0,56	-
Vind på vägg	1,42	1,42	1,42	0,62	-
∑	**1,85**	**1,85**	**1,85**	**1,18**	**0,07**

Volymelement – 2 våningar

Tabell 57: Horisontell last vid lastfall 1.

Vind mot gavel		
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2
Vind på vägg	5,64	2,86
∑	**5,64**	**2,86**

Vind mot långsida			
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Nettolast tak
Snedställning	0,27	0,22	-
Vind på vägg	6,39	3,20	-
∑	**6,66**	**3,41**	**0,44**

Tabell 58: Horisontell last vid lastfall 2.

Vind mot gavel		
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2
Vind på vägg	5,64	2,86
∑	**5,64**	**5,64**

Vind mot långsida			
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Nettolast tak
Snedställning	0,67	0,68	-
Vind på vägg	6,39	3,20	-
∑	**7,06**	**3,87**	**0,44**

Tabell 59: Horisontell last vid lastfall 3.

Vind mot gavel		
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2
Vind på vägg	1,13	0,57
∑	**1,13**	**0,57**

Vind mot långsida			
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Nettolast tak
Snedställning	0,8	0,68	-
Vind på vägg	1,28	0,64	-
∑	**2,08**	**1,32**	**0,09**

Tabell 60: Horisontell last vid lastfall 4.

Vind mot gavel		
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2
Vind på vägg	1,13	0,57
∑	**1,13**	**0,57**

Vind mot långsida			
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Nettolast tak
Snedställning	0,67	0,84	-
Vind på vägg	1,28	0,64	-
∑	**1,95**	**1,48**	**0,09**

Volymelement – 4 våningar

Tabell 61: Horisontell last vid lastfall 1.

Vind mot gavel				
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Våning 3	Våning 4
Vind på vägg	6,82	6,82	6,82	3,46
∑	**6,82**	**6,82**	**6,82**	**3,46**

Vind mot långsida					
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Våning 3	Våning 4	Nettolast tak
Snedställning	0,27	0,27	0,27	0,22	-
Vind på vägg	8,40	8,40	8,40	4,20	-
∑	**8,67**	**8,67**	**8,67**	**4,41**	**0,49**

Tabell 62: Horisontell last vid lastfall 2.

Vind mot gavel				
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Våning 3	Våning 4
Vind på vägg	6,82	6,82	6,82	3,46
∑	**6,82**	**6,82**	**6,82**	**3,46**

Vind mot långsida					
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Våning 3	Våning 4	Nettolast tak
Snedställning	0,67	0,67	0,67	0,68	-
Vind på vägg	8,40	8,40	8,40	8,40	-
∑	**9,07**	**9,07**	**9,07**	**4,88**	**0,49**

Tabell 63: Horisontell last vid lastfall 3.

Vind mot gavel				
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Våning 3	Våning 4
Vind på vägg	1,36	1,36	1,36	0,69
∑	**1,36**	**1,36**	**1,36**	**0,69**

Vind mot långsida					
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Våning 3	Våning 4	Nettolast tak
Snedställning	0,80	0,80	0,80	0,68	-
Vind på vägg	1,68	1,68	1,68	1,68	-
∑	**2,48**	**2,48**	**2,48**	**1,52**	**0,10**

Tabell 64: Horisontell last vid lastfall 4.

Vind mot gavel				
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Våning 3	Våning 4
Vind på vägg	1,36	1,36	1,36	0,69
∑	**1,36**	**1,36**	**1,36**	**0,69**

Vind mot långsida					
Last (kN/m)	Våning 1	Våning 2	Våning 3	Våning 4	Nettolast tak
Snedställning	0,67	0,67	0,67	0,84	-
Vind på vägg	1,68	1,68	1,68	0,84	-
∑	**2,35**	**2,35**	**2,35**	**1,68**	**0,10**

10.5 Horisontell last på respektive vägg

H_i enligt Tabell 65- Tabell 83 används vid beräkning av tryck- och lyftkrafter för väggarna. Till skillnad från $H_{i,tot}$ är horisontellt nettotillskott på taket inte medräknat i följande tabeller. Lasten adderas istället i bilaga 10.6 med inverkan av hävarm. $H_{i,tot}$, vid vind mot långsida räknas med nettotillskott från Tabell 49 i Tabell 65. Exempelvis är, Q_{tot}, på våning 2 för, H_i, 2,31 kN/m medan för, $H_{i,tot}$, är lasten, $2{,}31 + 0{,}32 = 2{,}63$ kN/m.

Planteknik i 2 våningar – lastfall 1

Tabell 65. Last på väggar vid lastfall 1.

Planteknik i 2 våningar - vind mot gavel - Lastfall 1											
Våning 1	Q_{tot} **(kN/m)**	**Resultant (kN)**	L_i **(m)**	X_i **(m)**	v_i **(m)**	$L_i \cdot v_i$ **(m^2)**	e **(m)**	ρ_i **(m)**	$\rho_i^2 \cdot L_i$ **(m^3)**	H_i **(kN)**	$H_{i,tot}$ **(kN)**
c	4,53	68,02	32,83	10,38	5,19	170,44	-0,06	5,25	906,27	23,53	34,01
d	4,53	68,02	33,62	0	-5,19	-174,58	-0,06	-5,13	884,81	23,53	34,01
Summa			66,45			-4,13			1791,08	47,06	68,02
Våning 2											
c	2,02	20,95	32,83	10,38	5,19	170,44	0	5,19	884,94	10,48	10,48
c	2,02	20,95	32,83	0	-5,19	-170,44	0	-5,19	884,94	10,48	10,48
Summa			65,66						1769,88	20,95	20,95
Planteknik i 2 våningar - vind mot långsida - Lastfall 1											
Våning 1	Q_{tot} **(kN/m)**	**Resultant (kN)**	L_i **(m)**	X_i **(m)**	v_i **(m)**	$L_i \cdot v_i$ **(m^2)**	e **(m)**	ρ_i **(m)**	$\rho_i^2 \cdot L_i$ **(m^3)**	H_i **(kN)**	$H_{i,tot}$ **(kN)**
a	5,25	227	20,77	0	-15	-312	0	-15	4673	33,01	49,57
b	5,25	227	19,20	7,5	-7,5	-144		-7,5	1080	30,52	45,82
b	5,25	227	19,20	15	0	0		0	0	30,52	45,82
b	5,25	227	19,20	22,5	7,5	144		7,5	1080	30,52	45,82
a	5,25	227	20,77	30	15	312		15	4673	33,01	49,57
Summa			99,14			0			11506	157,58	236,6
Våning 2											
a	2,31	69,42	20,77	0	-15	-312	0	-15	4673	14,54	16,55
b	2,31	69,42	19,20	7,5	-7,5	-144		-7,5	1080	13,44	15,3
b	2,31	69,42	19,20	15	0	0		0	0	13,44	15,3
b	2,31	69,42	19,20	22,5	7,5	144		7,5	1080	13,44	15,3
a	2,31	69,42	20,77	30	15	312		15	4673	14,54	16,55
Summa			99,14			0			11506	69,42	79,02

Planteknik i 2 våningar – lastfall 2

Tabell 66. Last på väggar vid lastfall 2.

Planteknik i 2 våningar - vind mot gavel - Lastfall 2											
Våning 1	Q_{tot} (kN/m)	**Resultant (kN)**	L_i (m)	X_i (m)	v_i (m)	$L_i \cdot v_i$ (m^2)	**e** (m)	ρ_i (m)	$\rho_i^2 \cdot L_i$ (m^3)	H_i (kN)	$H_{i,tot}$ (kN)
c	4,53	68,02	32,83	10,38	5,19	170,44	-0,06	5,25	906	23,53	34,01
d	4,53	68,02	33,62	0	-5,19	-174,58	-0,06	-5,13	885	23,53	34,01
Summa			66,45			-4,13			1791	47,06	68,02
Våning 2											
c	2,02	32,83	32,83	10,38	5,192	170,44	0	5,19	885	10,48	10,48
c	2,02	32,83	32,83	0	-5,192	-170,44	0	-5,19	885	10,48	10,48
Summa			65,66			0			1770	20,95	20,95
Planteknik i 2 våningar - vind mot långsida - Lastfall 2											
Våning 1	Q_{tot} (kN/m)	**Resultant (kN)**	L_i (m)	X_i (m)	v_i (m)	$L_i \cdot v_i$ (m^2)	**e** (m)	ρ_i (m)	$\rho_i^2 \cdot L_i$ (m^3)	H_i (kN)	$H_{i,tot}$ (kN)
a	5,54	255,14	20,77	0	-15	-312	0	-15	4673	34,81	53,45
b	5,54	255,14	19,20	7,5	-7,5	-144		-7,5	1080	32,19	49,41
b	5,54	255,14	19,20	15	0	0		0	0	32,19	49,41
b	5,54	255,14	19,20	22,5	7,5	144		7,5	1080	32,19	49,41
a	5,54	255,14	20,77	30	15	312		15	4673	34,81	53,45
Summa			99,14			0			11506	166,19	255,14
Våning 2											
a	2,65	79,42	20,77	0	-15	-312	0	-15	4673	16,64	18,63
b	2,65	79,42	19,20	7,5	-7,5	-144		-7,5	1080	15,38	17,23
b	2,65	79,42	19,20	15	0	0		0	0	15,38	17,23
b	2,65	79,42	19,20	22,5	7,5	144		7,5	1080	15,38	17,23
a	2,65	79,42	20,77	30	15	312		15	4673	16,64	18,63
Summa			99,14			0			11506	88,95	88,95

Planteknik i 2 våningar – lastfall 3

Tabell 67. Last på väggar vid lastfall 3.

Planteknik i 2 våningar - vind mot gavel - Lastfall 3											
Våning 1	**Q_{tot} (kN/m)**	**Resultant (kN)**	**L_i (m)**	**X_i (m)**	**v_i (m)**	**$L_i \cdot v_i$ (m^2)**	**e (m)**	**ρ_i (m)**	**$\rho_i^2 \cdot L_i$ (m^3)**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**
c	0,91	13,6	32,83	10,38	5,19	170,44	-0,06	5,25	906	4,71	6,8
d	0,91	13,6	33,62	0	-5,19	-174,58	-0,06	-5,13	885	4,71	6,8
Summa			66,45			-4,13			1791	9,41	13,6
Våning 2											
c	0,4	4,19	32,83	10,38	5,192	170,44	0	5,19	885	2,1	2,1
c	0,4	4,19	32,83	0	-5,192	-170,44		-5,19	885	2,1	2,1
Summa			65,66						1770	4,19	4,19
Planteknik i 2 våningar - vind mot långsida - Lastfall 3											
Våning 1	**Q_{tot} (kN/m)**	**Resultant (kN)**	**L_i (m)**	**X_i (m)**	**v_i (m)**	**$L_i \cdot v_i$ (m^2)**	**e (m)**	**ρ_i (m)**	**$\rho_i^2 \cdot L_i$ (m^3)**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**
a	1,56	72,98	20,77	0	-15	-312	0	-15	4673	9,78	15,69
b	1,56	72,98	19,2	7,5	-7,5	-144		-7,5	1080	9,05	14,50
b	1,56	72,98	19,2	15	0	0		0	0	9,05	14,50
b	1,56	72,98	19,2	22,5	7,5	144		7,5	1080	9,05	14,50
a	1,56	72,98	20,77	30	15	312		15	4673	9,78	15,69
Summa			99,14			0			11506	46,71	74,88
Våning 2											
a	0,88	26,27	20,77	0	-15	-312	0	-15	4673	5,53	5,90
b	0,88	26,27	19,2	7,5	-7,5	-144		-7,5	1080	5,11	5,46
b	0,88	26,27	19,2	15	0	0		0	0	5,11	5,46
b	0,88	26,27	19,2	22,5	7,5	144		7,5	1080	5,11	5,46
a	0,88	26,27	20,77	30	15	312		15	4673	5,53	5,90
Summa			99,14			0			11506	26,4	28,18

Planteknik i 2 våningar – lastfall 4

Tabell 68. Last på väggar vid lastfall 4.

Planteknik i 2 våningar - vind mot gavel - Lastfall 4											
Våning 1	**Q_{tot} (kN/m)**	**Resultant (kN)**	**L_i (m)**	**X_i (m)**	**v_i (m)**	**$L_i \cdot v_i$ (m^2)**	**e (m)**	**ρ_i (m)**	**$\rho_i^2 \cdot L_i$ (m^3)**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**
c	0,91	13,6	32,83	10,38	5,19	170,44	-0,06	5,25	906,27	4,71	6,8
d	0,91	13,6	33,62	0,00	-5,19	-174,58	-0,06	-5,13	884,81	4,71	6,8
Summa			66,45			-4,13			1791,08	9,41	13,6
Våning 2											
c	0,4	4,19	32,828	10,38	5,192	170,44	0	5,19	884,94	2,1	2,1
c	0,4	4,19	32,828	0,00	-5,192	-170,44	0	-5,19	884,94	2,1	2,1
Summa			65,656			0					
Planteknik i 2 våningar - vind mot långsida - Lastfall 4											
Våning 1	**Q_{tot} (kN/m)**	**Resultant (kN)**	**L_i (m)**	**X_i (m)**	**v_i (m)**	**$L_i \cdot v_i$ (m^2)**	**e (m)**	**ρ_i (m)**	**$\rho_i^2 \cdot L_i$ (m^3)**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**
a	1,45	73,79	20,77	0	-15	-312	0	-15	4673	9,14	15,86
b	1,45	73,79	19,20	7,5	-7,5	-144		-7,5	1080	8,45	14,66
b	1,45	73,79	19,20	15	0	0		0	0	8,45	14,66
b	1,45	73,79	19,20	22,5	7,5	144		7,5	1080	8,45	14,66
a	1,45	73,79	20,77	30	15	312		15	4673	9,14	15,86
Summa			99,14			0			11506	43,65	75,69
Våning 2											
a	1	30,14	20,77	0	-15	-312	0	-15	4673	6,31	6,71
b	1	30,14	19,20	7,5	-7,5	-144		-7,5	1080	5,84	6,21
b	1	30,14	19,20	15	0	0		0	0	5,84	6,21
b	1	30,14	19,20	22,5	7,5	144		7,5	1080	5,84	6,21
a	1	30,14	20,77	30	15	312		15	4673	6,31	6,71
Summa			99,14			0			11506	30,14	32,04

Planteknik i 4 våningar – lastfall 1

Tabell 69: Last på väggar vid lastfall 1.

Planteknik i 4 våningar – lastfall 1								
Vind mot gavel			**Vind mot långsida**					
Våning 1	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**	**Våning 1**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**	**Våning 3**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**
c	28,63	106,74	*a*	45,48	158,70	*a*	45,48	67,74
d	28,63	106,74	*b*	42,05	146,72	*b*	42,05	62,62
Summa	57,26	213,49	*b*	42,05	146,72	*b*	42,05	62,62
Våning 2			*b*	42,05	146,72	*b*	42,05	62,62
c	28,63	75,91	*a*	45,48	158,70	*a*	45,48	67,74
c	28,63	75,91	**Summa**	217,12	757,57	**Summa**	217,12	323,34
Summa	57,26	151,82	**Våning 2**			**Våning 4**		
Våning 3			*a*	45,48	113,22	*a*	19,95	22,25
c	28,63	45,07	*b*	42,05	104,67	*b*	18,45	20,57
d	28,63	45,07	*b*	42,05	104,67	*b*	18,45	20,57
Summa	57,26	90,15	*b*	42,05	104,67	*b*	18,45	20,57
Våning 4			*a*	45,48	113,22	*a*	19,45	22,25
c	12,75	12,75	**Summa**	217,12	540,45	**Summa**	95,24	106,22
c	12,75	12,75						
Summa	25,49	25,49						

Planteknik i 4 våningar – lastfall 2

Tabell 70: Last på väggar vid lastfall 2.

Planelement i 4 våningar – lastfall 2								
Vind mot gavel			**Vind mot långsida**					
Våning 1	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**	**Våning 1**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**	**Våning 3**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**
c	28,63	98,64	*a*	47,29	166,21	*a*	47,29	71,64
d	28,63	98,64	*b*	43,72	153,66	*b*	43,72	66,23
Summa	57,26	197,28	*b*	43,72	153,66	*b*	43,72	66,23
Våning 2			*b*	43,72	153,66	*b*	43,72	66,23
c	28,63	70,01	*a*	47,29	166,21	*a*	47,29	71,64
c	28,63	70,01	**Summa**	225,72	793,40	**Summa**	225,72	341,95
Summa	57,26	140,02	**Våning 2**			**Våning 4**		
Våning 3			*a*	47,29	118,92	*a*	22,05	24,35
c	28,63	41,38	*b*	43,72	109,94	*b*	20,38	22,51
d	28,63	41,38	*b*	43,72	109,94	*b*	20,38	22,51
Summa	57,26	82,76	*b*	43,72	109,94	*b*	20,38	22,51
Våning 4			*a*	47,29	118,92	*a*	22,05	24,35
c	12,75	12,75	**Summa**	225,72	567,67	**Summa**	105,25	116,23
c	12,75	12,75						
Summa	25,49	25,49						

Planteknik i 4 våningar – lastfall 3

Tabell 71: Last på väggar vid lastfall 3.

Planelement i 4 våningar – lastfall 3								
Vind mot gavel			**Vind mot långsida**					
Våning 1	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**	**Våning 1**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**	**Våning 3**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**
c	5,73	19,73	*a*	12,28	43,88	*a*	12,28	19,33
d	5,73	19,73	*b*	11,35	40,57	*b*	11,35	17,87
Summa	11,45	39,46	*b*	11,35	40,57	*b*	11,35	17,87
Våning 2			*b*	11,35	40,57	*b*	11,35	17,87
c	5,73	14	*a*	12,28	43,88	*a*	12,28	19,33
c	5,73	14	**Summa**	58,61	209,48	**Summa**	58,61	92,25
Summa	11,45	28	**Våning 2**			**Våning 4**		
Våning 3			*a*	12,28	31,60	*a*	6,59	7,05
c	5,73	8,28	*b*	11,35	29,22	*b*	6,09	6,51
d	5,73	8,28	*b*	11,35	29,22	*b*	6,09	6,51
Summa	11,45	16,55	*b*	11,35	29,22	*b*	6,09	6,51
Våning 4			*a*	12,28	31,60	*a*	6,59	7,05
c	2,55	2,55	**Summa**	58,61	150,86	**Summa**	31,44	33,64
c	2,55	2,55						
Summa	5,1	5,1						

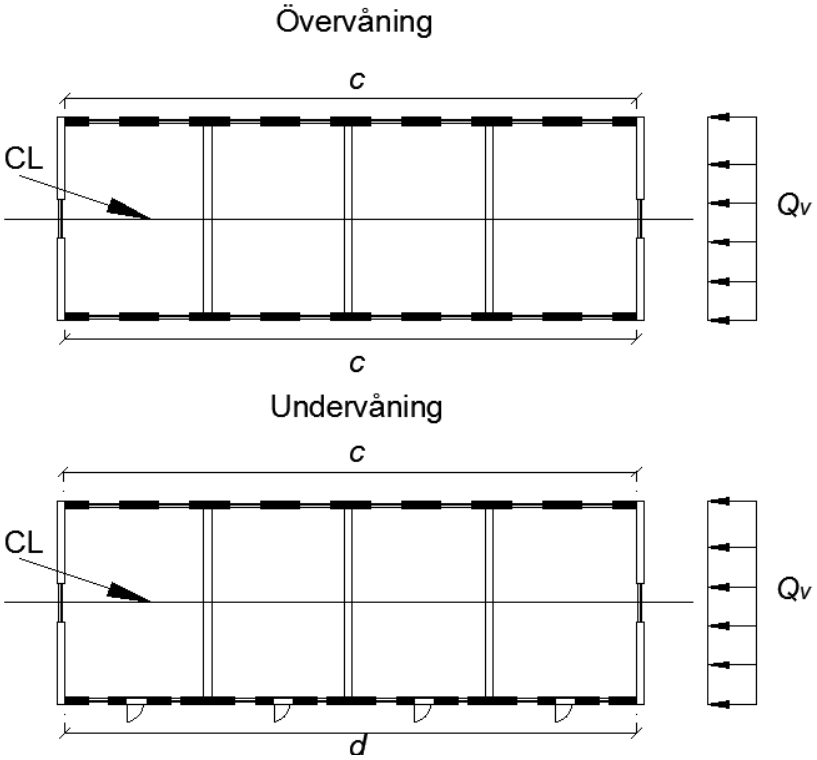
Planteknik i 4 våningar – lastfall 4

Tabell 72: Last på väggar vid lastfall 4.

Planelement i 4 våningar – lastfall 4								
Vind mot gavel			**Vind mot långsida**					
Våning 1	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**	**Våning 1**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**	**Våning 3**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**
c	5,73	19,73	*a*	11,64	42,77	*a*	11,64	19,49
d	5,73	19,73	*b*	10,76	39,54	*b*	10,76	18,02
Summa	11,45	39,46	*b*	10,76	39,54	*b*	10,76	18,02
Våning 2			*b*	10,76	39,54	*b*	10,76	18,02
c	5,73	14	*a*	11,64	42,77	*a*	11,64	19,49
c	5,73	14	**Summa**	55,56	204,17	**Summa**	55,56	93,06
Summa	11,45	28	**Våning 2**			**Våning 4**		
Våning 3			*a*	11,64	31,13	*a*	7,4	7,86
c	5,73	8,28	*b*	10,76	28,78	*b*	6,84	7,26
d	5,73	8,28	*b*	10,76	28,78	*b*	6,84	7,26
Summa	11,45	16,55	*b*	10,76	28,78	*b*	6,84	7,26
Våning 4			*a*	11,64	31,13	*a*	7,4	7,86
c	2,55	2,55	**Summa**	55,56	148,61	**Summa**	35,3	37,50
c	2,55	2,55						
Summa	5,1	5,1						

Beräkningsexempel – Planelement 2 våningar vind mot gavel

Stabiliserande väggar vid vind mot gavel illustreras i Figur 70. Centrumlinjen, CL representerar gavelns mittsnitt. Beräkningen sker med gynnsam egentyngd och vind som huvudlast.



Figur 70: Centrumlinje vid vind mot gavel.

Väggarna är symmetriskt placerade men p.g.a. längdskillnad i vindriktning och skillnad i styvhet förs olika mycket last till respektive väggar. Den resulterande lasten angriper därför med en excentricitet, *e* från CL. Excentriciteten beräknas enligt nedan.

$$\boldsymbol{e_i} = \frac{\sum(\boldsymbol{L_i} \cdot \boldsymbol{v_i})}{\sum(\boldsymbol{L_i})} \quad \text{[m]} \quad \textbf{(5.9)}$$

Eftersom väggarna på övervåningen har samma egenskaper på respektive sida om CL kommer den horisontella lasten att fördelas jämnt mellan väggarna. Lasten på våning 2 är 2,64 kN/m enligt bilaga 10.4, vilket ger följande kraft på väggarna.

$$\frac{2{,}64 \cdot 10{,}384}{2} = 13{,}71 \text{ kN}$$

På undervåningen har de stabiliserande väggarna olika egenskaper. Avståndet från CL till väggarnas mittsnitt, v_i, är lika långt men med skilda tecken. Antag att undre sidan av CL, enligt Figur 70 är negativ. Avstånden beräknas då enligt nedan.

$$v_c = 10{,}384 - \frac{10{,}384}{2} = 5{,}19 \text{ m}$$

$$v_d = 0 - \frac{10{,}384}{2} = -5{,}19 \text{ m}$$

Vägg *c* är enligt fallstudien 16,414 m lång och vägg *d* 16,812 m utan öppningar. Excentriciteten beräknas enligt nedan.

$$e = \frac{5{,}19 \cdot 16{,}414 - 519 \cdot 16{,}812}{16{,}414 + 16{,}812} = -0{,}06$$

Lastresultanens läge förflyttas 60 mm mot vägg *d*. Horisontell last på respektive vägg beräknas sedan genom (**5.6)** Lasten på väggarna beräknas nedan med tillägg från lasten som angriper våning 1, $(4{,}9 \cdot 10{,}384) = 50{,}88$ kN.

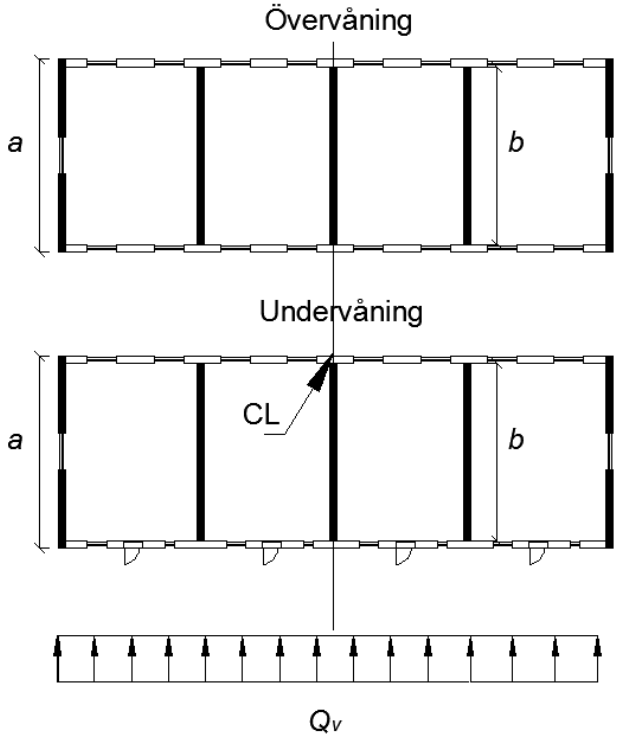
$$h_c = \frac{((27{,}42 + 50{,}88) \cdot 16{,}414)}{16{,}414 + 16{,}812} - \frac{\left((27{,}42 + 50{,}88) \cdot -0{,}06 \cdot (5{,}19 + 0{,}06) \cdot 16{,}414\right)}{(5{,}19 + 0{,}06)^2 + (-5{,}19 + 0{,}06)^2} = 39{,}15 \text{ kN}$$

$$h_d = \frac{((27{,}42 + 50{,}487) \cdot 16{,}812)}{16{,}414 + 16{,}812} - \frac{\left((27{,}42 + 50{,}487) \cdot -0{,}06 \cdot (-5{,}19 + 0{,}06) \cdot 16{,}812\right)}{(5{,}19 + 0{,}06)^2 + (-5{,}19 + 0{,}06)^2} = 39{,}15 \text{ kN}$$

Eftersom väggarna hade nästintill samma längd utan öppningar utsätts de för lika mycket last enligt beräkningen ovan.

Beräkningsexempel - Planelement i 2 våningar vind mot långsida

På vänster sida om CL beräknas v_i som negativ medan på höger sida som positiv enligt Figur 71. Stabiliserande väggar vid vind mot långsidan är svartmarkerade i Figur 71 och origo sätts i nedre vänstra hörnet. I exemplet visas beräkningar med lastfall 1.



Figur 71: Stabiliserande väggar vid vind mot långsida.

Tabell 73: Avstånd från CL till väggcentrum.

v_i	Längd vid gavel (m)
v_a	±15
v_b	±7,5

Två beräkningsexempel för, v_i, visas nedan. Beräkningen sker för de två väggarna *a* och *b* längst till höger i Figur 71.

$$v_a = \frac{30}{2} = 15 \text{ m}$$

$$v_b = \frac{\frac{30}{2}}{2} = 7{,}5 \text{ m}$$

Väggarnas längd utan öppningar visas i Tabell 74.

Tabell 74: Väggarnas längd utan öppningar.

Vägg	L_i(m)
a	10,384
b	9,6

Horisontell last, Q_{tot} i brottgränstillståndet för vind mot långsida enligt snedställning och vindlast sammanställs i Tabell 75. I beräkningsexemplet används horisontell last vid gynnsam egentyngd. Vid vind mot långsida tillkommer även ett horisontellt nettotillskott från vindlast på tak för den översta våningen, bilaga 10.4.

Tabell 75: Total horisontell last vid vind mot långsida i 2 våningar.

Horisontell last vid gynnsam egentyngd			
Last (kN/m)	**Våning 1**	**Våning 2**	**Nettolast tak**
Snedställning	0,15	0,1	-
Vindlast	5,11	2,21	-
$\sum Q_{tot,i}$	**5,25**	**2,31**	**0,32**

Total last som angriper en vägg beräknas från linjelaster i bilaga 10.4. Lasten på övervåningen multipliceras med långsidans längd till punktlast enligt nedan.

$$Q_2 = Q_{tot} \cdot bredd = (2{,}31 + 0{,}34) \cdot 30 = 69{,}3 \text{ kN}$$

Eftersom väggarna är symmetriskt placerade uppstår ingen excentricitet och lastresultanten angriper i centrumlinjen. Horisontell last på respektive vägg är enligt ekvationen nedan beroende av väggarnas längd. Beräkningsexempel för vägg *a* och *b* visas nedan.

$$h_a = \frac{(69{,}3 \cdot 10{,}384)}{(2 \cdot 10{,}384 + 3 \cdot 9{,}6)} = 14{,}54 \text{ kN}$$

$$h_b = \frac{(69{,}3 \cdot 9{,}6)}{(2 \cdot 10{,}384 + 3 \cdot 9{,}6)} = 13{,}44 \text{ kN}$$

$$h_a + h_b = 27{,}98 \text{ kN}$$

På undervåningen ackumuleras lasterna från våningen ovan.

$$Q_1 = Q_{tot,\ 1} \cdot bredd + Q_2 = 5{,}25 \cdot 30 + 27{,}98 = 185{,}48 \text{ kN}$$

Volymteknik i 2 våningar – lastfall 1

Tabell 76. Last på väggar vid lastfall 1.

Volymteknik i 2 våningar - vind mot gavel - Lastfall 1												
Våning 1	Q_{tot} (kN/m)	**Resultant (kN)**	L_i (m)	X_i (m)	v_i (m)	$L_i \cdot v_i$ (m^2)	e (m)	ρ_i (m)	$\rho_i^2 \cdot L_i$ (m^3)	H_i (kN)	$H_{i,tot}$ (kN)
e	5,64	75,62	40,92	13,40	6,70	274,16	1,15	7,73	2443,90	44,32	66,81
f	5,64	75,62	28,90	0	-6,70	-193,63		-7,73	1726,02	31,3	47,18
Summa			69,82			80,53			4169,93	75,62	113,99
Våning 2											
e	2,86	38,37	40,92	13,40	6,70	274,16	1,15	5,55	1258,87	22,49	22,49
f	2,86	38,37	28,90	0	-6,70	-193,63		-7,85	1782,46	15,88	15,88
Summa			69,82						3041,33	38,37	38,37
Volymteknik i 2 våningar - vind mot långsida - Lastfall 1											
Våning 1	Q_{tot} (kN/m)	**Resultant (kN)**	L_i (m)	X_i (m)	v_i (m)	$L_i \cdot v_i$ (m^2)	e (m)	ρ_i (m)	$\rho_i^2 \cdot L_i$ (m^3)	H_i (kN)	$H_{i,tot}$ (kN)
g	6,66	346,96	26,80	34	17	461	0	17	7944	47,56	75,03
h	6,66	346,96	25,23	25,8	8,6	217		8,6	1870	44,77	70,64
h	6,66	346,96	25,23	17	0	0		0	0	44,77	70,64
h	6,66	346,96	25,23	8,6	-8,6	-217		-8,6	1870	44,77	70,64
g	6,66	346,96	26,80	0	-17	-461		-17	7944	47,56	75,03
Summa			129,30			0			19628	229,43	362
Våning 2											
g	3,41	117,53	26,80	34	17	461	0	17	7944	24,36	27,48
h	3,41	117,53	25,23	25,8	8,6	217		8,6	1870	22,94	25,87
h	3,41	117,53	25,23	17	0	0		0	0	22,94	25,87
h	3,41	117,53	25,23	8,6	-8,6	-217		-8,6	1870	22,94	25,87
g	3,41	117,53	26,80	0	-17	-461		-17	7944	24,36	27,48
Summa			129,30			0			19628	117,53	132,57

Volymteknik i 2 våningar – lastfall 2

Tabell 77. Last på väggar vid lastfall 2.

Volymteknik i 2 våningar - vind mot gavel - Lastfall 2												
Våning 1	Q_{tot} (kN/m)	**Resultant (kN)**	L_i (m)	X_i (m)	v_i (m)	$L_i \cdot v_i$ (m^2)	e (m)	ρ_i (m)	$\rho_i^2 \cdot L_i$ (m^3)	H_i (kN)	$H_{i,tot}$ (kN)
e	5,64	75,62	40,92	13,40	6,70	274,16	1,15	7,73	2443,90	44,32	66,81
f	5,64	75,62	28,90	0	-6,70	-193,63		-7,73	1726,02	31,3	47,18
Summa			69,82			80,53			4169,93	75,62	113,99
Våning 2											
e	2,86	38,37	40,92	13,40	6,70	274,16	1,15	5,55	1258,87	22,49	22,498
f	2,86	38,37	28,90	0	-6,70	-193,63		-7,85	1782,46	15,88	15,88
Summa			69,82						3041,33	38,37	38,37
Volymteknik i 2 våningar - vind mot långsida - Lastfall 2											
Våning 1	Q_{tot} (kN/m)	**Resultant (kN)**	L_i (m)	X_i (m)	v_i (m)	$L_i \cdot v_i$ (m^2)	e (m)	ρ_i (m)	$\rho_i^2 \cdot L_i$ (m^3)	H_i (kN)	$H_{i,tot}$ (kN)
g	7,06	376,59	26,80	34	17	461	0	17	7944	50,41	81,17
h	7,06	376,59	25,23	25,8	8,6	217		8,6	1870	47,46	76,42
h	7,06	376,59	25,23	17	0	0		0	0	47,46	76,42
h	7,06	376,59	25,23	8,6	-8,6	-217		-8,6	1870	47,46	76,42
g	7,06	376,59	26,80	0	-17	-461		-17	7944	50,41	81,17
Summa			129,30			0			19628	243,21	391,62
Våning 2											
g	3,87	133,38	26,80	34	17	461	0	17	7944	27,65	30,76
h	3,87	133,38	25,23	25,8	8,6	217		8,6	1870	26,03	28,96
h	3,87	133,38	25,23	17	0	0		0	0	26,03	28,96
h	3,87	133,38	25,23	8,6	-8,6	-217		-8,6	1870	26,03	28,96
g	3,87	133,38	26,80	0	-17	-461		-17	7944	27,65	30,76
Summa			129,30			0			19628	133,38	148,41

Volymteknik i 2 våningar – lastfall 3

Tabell 78. Last på väggar vid lastfall 3.

Volymteknik i 2 våningar - vind mot gavel - Lastfall 3											
Våning 1	**Q_{tot} (kN/m)**	**Resultant (kN)**	**L_i (m)**	**X_i (m)**	**v_i (m)**	**$L_i \cdot v_i$ (m^2)**	**e (m)**	**ρ_i (m)**	**$\rho_i^2 \cdot L_i$ (m^3)**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**
e	1,13	15,12	40,92	13,40	6,70	274,16	1,15	7,73	2443,90	8,86	13,36
f	1,13	15,12	28,90	0	-6,70	-193,63		-7,73	1726,02	6,26	9,44
Summa			69,82			80,53			4169,93	15,12	22,8
Våning 2											
e	0,57	7,67	40,92	13,40	6,70	274,16	1,15	6,70	1836,90	4,5	4,5
f	0,57	7,67	28,90	0	-6,70	-193,63		-6,70	1297,32	3,18	3,18
Summa			69,82						3134,22	7,67	7,67
Volymteknik i 2 våningar - vind mot långsida - Lastfall 3											
Våning 1	**Q_{tot} (kN/m)**	**Resultant (kN)**	**L_i (m)**	**X_i (m)**	**v_i (m)**	**$L_i \cdot v_i$ (m^2)**	**e (m)**	**ρ_i (m)**	**$\rho_i^2 \cdot L_i$ (m^3)**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**
g	2,08	117,02	26,80	34	17	461	0	17	7944	14,86	24,92
h	2,08	117,02	25,23	25,8	8,6	217		8,6	1870	13,99	23,47
h	2,08	117,02	25,23	17	0	0		0	0	13,99	23,47
h	2,08	117,02	25,23	8,6	-8,6	-217		-8,6	1870	13,99	23,47
g	2,08	117,02	26,80	0	-17	-461		-17	7944	14,86	24,92
Summa			129,30			0			19628	71,69	120,24
Våning 2											
g	1,32	45,33	26,80	34	17	461	0	17	7944	9,39	10,06
h	1,32	45,33	25,23	25,8	8,6	217		8,6	1870	8,85	9,47
h	1,32	45,33	25,23	17	0	0		0	0	8,85	9,47
h	1,32	45,33	25,23	8,6	-8,6	-217		-8,6	1870	8,85	9,47
g	1,32	45,33	26,80	0	-17	-461		-17	7944	9,39	10,06
Summa			129,30			0			19628	45,33	48,55

Volymteknik i 2 våningar – lastfall 4

Tabell 79. Last på väggar vid lastfall 4.

Volymteknik i 2 våningar - vind mot gavel - Lastfall 4											
Våning 1	Q_{tot} (kN/m)	Resultant (kN)	L_i (m)	X_i (m)	v_i (m)	$L_i \cdot v_i$ (m^2)	e (m)	ρ_i (m)	$\rho_i^2 \cdot L_i$ (m^3)	H_i (kN)	$H_{i,tot}$ (kN)
e	1,13	15,12	40,92	13,40	6,70	274,16	1,15	7,73	2443,90	8,86	13,36
f	1,13	15,12	28,90	0	-6,70	-193,63		-7,73	1726,02	6,26	9,44
Summa			69,82			80,53			4169,93	15,12	22,8
Våning 2											
e	0,57	7,67	40,92	13,40	6,70	274,16	1,15	5,55	1258,87	4,5	4,5
f	0,57	7,67	28,90	0	-6,70	-193,63		-7,85	1782,46	3,18	3,18
Summa			69,82						3041,33	7,67	7,67
Volymteknik i 2 våningar - vind mot långsida - Lastfall 4											
Våning 1	Q_{tot} (kN/m)	Resultant (kN)	L_i (m)	X_i (m)	v_i (m)	$L_i \cdot v_i$ (m^2)	e (m)	ρ_i (m)	$\rho_i^2 \cdot L_i$ (m^3)	H_i (kN)	$H_{i,tot}$ (kN)
g	1,95	118,16	26,80	34	17	461	0	17	7944	13,91	25,12
h	1,95	118,16	25,23	25,8	8,6	217		8,6	1870	13,10	23,65
h	1,95	118,16	25,23	17	0	0		0	0	13,10	23,65
h	1,95	118,16	25,23	8,6	-8,6	-217		-8,6	1870	13,10	23,65
g	1,95	118,16	26,80	0	-17	-461		-17	7944	13,91	25,12
Summa			129,30			0			19628	67,11	121,17
Våning 2											
g	1,48	51,05	26,80	34	17	461	0	17	7944	10,58	11,21
h	1,48	51,05	25,23	25,8	8,6	217		8,6	1870	9,96	10,55
h	1,48	51,05	25,23	17	0	0		0	0	9,96	10,55
h	1,48	51,05	25,23	8,6	-8,6	-217		-8,6	1870	9,96	10,55
g	1,48	51,05	26,80	0	-17	-461		-17	7944	10,58	11,21
Summa			129,30			0			19628	51,05	51,06

Volymteknik i 4 våningar – lastfall 1

Tabell 80: Last på väggar vid lastfall 1.

Volymteknik i 4 våningar - Lastfall 1								
Vind mot gavel			**Vind mot långsida**					
Våning 1	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**	**Våning 1**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**	**Våning 3**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**
e	53,55	187,81	*g*	61,85	220,57	*g*	61,85	96,86
f	37,82	132,65	*h*	58,24	207,67	*h*	58,24	91,2
Summa	91,37	320,46	*h*	58,24	207,67	*h*	58,24	91,2
Våning 2			*h*	58,24	207,67	*h*	58,24	91,2
e	53,55	134,27	*g*	61,85	220,57	*g*	61,85	96,86
f	37,82	94,83	**Summa**	298,42	1064,15	**Summa**	298,42	467,31
Summa	91,37	229,09	**Våning 2**			**Våning 4**		
Våning 3			*g*	61,85	158,72	*g*	31,51	35,01
e	53,55	80,72	*h*	58,24	149,43	*h*	29,67	32,96
f	37,82	57,01	*h*	58,24	149,43	*h*	29,67	32,96
Summa	91,37	137,73	*h*	58,24	149,43	*h*	29,67	32,96
Våning 4			*g*	61,85	158,72	*g*	31,51	35,01
e	27,17	27,17	**Summa**	298,42	765,73	**Summa**	152,02	169,9
f	19,19	19,19						
Summa	46,36	46,36						

Volymteknik i 4 våningar – lastfall 2

Tabell 81: Last på väggar vid lastfall 2.

Volymteknik i 4 våningar - Lastfall 2								
Vind mot gavel			**Vind mot långsida**					
Våning 1	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**	**Våning 1**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**	**Våning 3**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**
e	53,55	187,81	*g*	64,71	232,43	*g*	64,71	103
f	37,82	132,65	*h*	60,93	218,83	*h*	60,93	96,98
Summa	9137	320,46	*h*	60,93	218,83	*h*	60,93	96,98
Våning 2			*h*	60,93	218,43	*h*	60,93	96,98
e	53,55	134,27	*g*	64,71	232,43	*g*	64,71	103
f	37,82	94,83	**Summa**	312,20	1121,34	**Summa**	312,20	496,94
Summa	91,37	229,09	**Våning 2**			**Våning 4**		
Våning 3			*g*	64,71	167,72	*g*	34,8	38,29
e	53,55	80,72	*h*	60,93	157,9	*h*	32,76	36,05
f	37,82	57,01	*h*	60,93	157,9	*h*	32,76	36,05
Summa	91,37	137,73	*h*	60,93	157,9	*h*	32,76	36,05
Våning 4			*g*	64,71	167,72	*g*	34,8	38,29
e	27,17	27,17	**Summa**	312,20	809,14	**Summa**	167,87	184,74
f	19,19	19,19						
Summa	46,36	46,36						

Volymteknik i 4 våningar – lastfall 3

Tabell 82: Last på väggar vid lastfall 3.

Volymteknik i 4 våningar - Lastfall 3								
Vind mot gavel			**Vind mot långsida**					
Våning 1	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**	**Våning 1**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**	**Våning 3**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**
e	10,71	37,56	*g*	17,72	64,7	*g*	17,72	29,26
f	7,56	26,53	*h*	16,68	60,91	*h*	16,68	27,55
Summa	18,27	64,09	*h*	16,68	60,91	*h*	16,68	27,55
Våning 2			*h*	16,68	60,91	*h*	16,68	27,55
e	10,71	26,85	*g*	17,72	64,7	*g*	17,72	29,26
f	7,56	18,97	**Summa**	85,49	312,13	**Summa**	85,49	141,15
Summa	18,27	45,82	**Våning 2**			**Våning 4**		
Våning 3			*g*	17,72	46,98	*g*	10,82	11,54
e	10,71	46,14	*h*	16,68	44,23	*h*	10,19	10,86
f	7,56	11,4	*h*	16,68	44,23	*h*	10,19	10,86
Summa	18,27	27,55	*h*	16,68	44,23	*h*	10,19	10,86
Våning 4			*g*	17,72	46,98	*g*	10,82	11,54
e	5,43	5,43	**Summa**	85,49	226,64	**Summa**	52,22	55,67
f	3,84	3,84						
Summa	9,27	9,27						

Volymteknik i 4 våningar – lastfall 4

Tabell 83: Last på väggar vid lastfall 4.

Volymteknik i 4 våningar - Lastfall 4								
Vind mot gavel			**Vind mot långsida**					
Våning 1	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**	**Våning 1**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**	**Våning 3**	**H_i (kN)**	**$H_{i,tot}$ (kN)**
e	10,71	37,56	*g*	16,77	63,04	*g*	16,77	29,5
f	7,56	26,53	*h*	15,79	59,35	*h*	15,79	27,77
Summa	18,27	64,09	*h*	15,79	59,35	*h*	15,79	27,77
Våning 2			*h*	15,79	59,35	*h*	15,79	27,77
e	10,71	26,85	*g*	16,77	63,04	*g*	16,77	29,5
f	7,56	18,97	**Summa**	80,91	304,12	**Summa**	80,91	142,3
Summa	18,27	45,82	**Våning 2**			**Våning 4**		
Våning 3			*g*	16,77	46,27	*g*	12,01	12,72
e	10,71	16,14	*h*	15,79	43,56	*h*	11,31	11,98
f	7,56	11,14	*h*	15,79	43,56	*h*	11,31	11,98
Summa	18,27	27,55	*h*	15,79	43,56	*h*	11,31	11,98
Våning 4			*g*	16,77	46,27	*g*	12,01	12,72
e	5,43	5,43	**Summa**	80,91	223,21	**Summa**	57,95	61,39
f	3,84	3,84						
Summa	9,27	9,27						

10.6 Dimensionerande tryckkraft

Planteknik

Konstruktionens egentyngd, snö- och nyttig last är beräknad i bilaga 10.1. Lasterna på reglarna beräknas i Tabell 85-Tabell 89. Yttre reglar vid väggslut belastas av mindre egentyngd eftersom influensbredden är kortare. I tabellerna nedan visas influensbredden för inre respektive yttre regel i kolumnen bredd. Sammanställs Tabell 85 och Tabell 95-Tabell 97 ges tryck och lyftkrafterna i fallstudien enligt Tabell 84.

Tabell 84: Tryckkraft vid inre regel samt väggslut.

	Lastfall 1 (kN)	Lastfall 2 (kN)	Lastfall 3 (kN)	Lastfall 4 (kN)
		Vägg *a*		
		2 våningar		
Inre	18,34	21,89	9,63	10,11
Yttre	17,39	19,98	7,64	8
		4 våningar		
Inre	98,87	106,82	33,93	34,02
Yttre	96,54	103,39	30,42	30,39
		Vägg *b*		
		2 våningar		
Inre	15,46	17,71	6,82	6,92
Yttre	15,5	17,38	6,33	6,59
		4 våningar		
Inre	97,57	105,95	33,87	32,77
Yttre	96,17	102,95	30,39	29,77
		Vägg *c* och *d*		
		2 våningar		
Inre	17,28	44,19	41,33	45,66
Yttre	13,05	23,5	19,23	19,92
		4 våningar		
Inre	56,49	104,76	84,43	82,52
Yttre	48,81	72,93	48,4	45,65

Eftersom bjälklagen och takstolen är upplagda på långsidorna belastas gavelns väggar med mindre vertikal last. Tryckkraft från egentyngd, snölast och nyttig last på inre och yttre reglar i brottgränstillståndet beräknas från Tabell 86-Tabell 91. Resultatet visas i Tabell 85.

Tabell 85: Tryckkraft på reglar från egentyngd, snö och nyttig last.

	Lastfall 1 (kN)		**Lastfall 2 (kN)**		**Lastfall 3 (kN)**		**Lastfall 4 (kN)**	
				2 våningar				
	Inre	**Yttre**	**Inre**	**Yttre**	**Inre**	**Yttre**	**Inre**	**Yttre**
vägg *a*	2,02	1,07	3,98	2,07	4,14	2,15	4,37	2,26
vägg *b*	1,10	1,14	2,22	1,89	2,55	2,06	2,22	1,89
vägg *c/d*	8,46	4,23	33,53	12,84	36,33	14,24	40,26	14,52
				4 våningar				
vägg *a*	4,65	2,32	6,86	3,43	7,02	3,51	7,25	3,62
vägg *b*	2,80	1,40	6,00	3,00	6,97	3,48	6,00	3,00
vägg *c/d*	15,36	7,68	55,81	23,98	64,22	28,18	62,54	25,66

Beräkningsexempel, inre regel i 2 våningar, vägg *a*, lastfall 2.

$$1{,}2 \cdot 2{,}25 + 1{,}5 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}36 + 1{,}5 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}86 = 3{,}98 \text{ kN}$$

Tabell 86: 2 våningar, vertikal last på regel i vägg a.

	Höjd (m)	**Bredd (m)**	**Egt (kN/m^2)**	**Egt inre (kN)**	**Egt yttre (kN)**
Yttertak	0,6	0,6/0,3	0,39	0,14	0,07
Takstol	0,6	0,6/0,3	0,09	0,03	0,02
Vindsbjälklag	0,3	0,3/0,3	0,53	0,05	0,19
Yttervägg	4,99	0,6/0,3	0,65	1,95	0,97
Mellanbjälklag	0,3	0,3/0,3	0,9	0,08	0,08
∑				**2,25**	**1,19**
Snölast	0,6	0,6/0,6	2,4	**0,86**	**0,43**
Nyttig last	0,3	06/0,3	2	**0,36**	**0,18**

Tabell 87: 2 våningar, vertikal last på regel i vägg b.

	Höjd (m)	**Bredd (m)**	**Egt (kN/m^2)**	**Egt inre (kN)**	**Egt yttre (kN)**
Vindsbjälklag	0,6	0,6/0,3	0,53	0,19	0,10
Innervägg	4,99	0,6/0,3	0,64	1,92	0,96
Mellanbjälklag	0,6	0,6/0,3	0,9	0,32	0,16
∑				**2,43**	**1,22**
Nyttig last	0,6	0,6/0,3	2	**0,72**	**0,36**

Tabell 88: 2 våningar, vertikal last på regel i vägg c och d.

	Höjd (m)	Bredd (m)	Egt (kN/m^2)	Egt inre (kN)	Egt yttre (kN)
Yttertak	5,46	1,2/0,6	0,39	2,56	1,28
Takstol	5,19	1,2/0,6	0,09	0,56	0,28
Vindsbjälklag	5,19	0,6/0,3	0,53	1,65	0,83
Yttervägg	4,99	0,6/0,3	0,65	1,94	0,97
Mellanbjälklag	4,99	0,6/0,3	0,9	2,69	1,35
∑				**9,41**	**4,70**
Snölast	5,19	1,2/0,6	2,4	**14,95**	**3,74**
Nyttig last	5,19	06/0,3	2	**6,23**	**3,12**

Tabell 89: 4 våningar, vertikal last på regel i vägg a.

	Höjd (m)	Bredd (m)	Egt (kN/m^2)	Egt inre (kN)	Egt yttre (kN)
Yttertak	0,6	0,6/0,3	0,39	0,14	0,07
Takstol	0,6	0,6/0,3	0,09	0,03	0,02
Vindsbjälklag	0,3	0,6/0,3	2,06	0,10	0,05
Yttervägg	9,98	0,6/0,3	0,65	3,89	1,94
Mellanbjälklag	0,9	0,6/0,3	0,9	0,49	0,24
∑				**4,65**	**2,32**
Snölast	0,6	0,6/0,3	2,4	**0,86**	**0,43**
Nyttig last	0,3	0,6/0,3	2	**0,36**	**0,18**

Tabell 90: 4 våningar, vertikal last på regel i vägg b.

	Höjd (m)	Bredd (m)	Egt (kN/m^2)	Egt inre (kN)	Egt yttre (kN)
Vindsbjälklag	0,6	0,6/0,3	0,53	0,19	0,10
Innervägg	9,97	0,6/0,3	0,64	3,83	1,94
Mellanbjälklag	1,8	0,6/0,3	0,9	0,97	0,49
∑				**5,05**	**2,53**
Nyttig last	1,8	0,6/0,3	2	**2,16**	**1,8**

Tabell 91: 4 våningar, vertikal last på regel i vägg c och d.

	Höjd (m)	Bredd (m)	Egt (kN/m^2)	Egt inre (kN)	Egt yttre (kN)
Yttertak	5,46	1,2/0,6	0,39	2,55	1,28
Takstol	5,19	0,6/0,6	0,09	0,56	0,28
Vindsbjälklag	5,19	0,6/0,3	2,06	1,65	0,83
Yttervägg	9,97	0,6/0,3	0,65	3,89	1,94
Mellanbjälklag	15,58	0,6/0,3	0,9	8,41	4,21
∑				**17,07**	**8,53**
Snölast	5,19	1,2/0,6	2,4	**14,95**	**3,74**
Nyttig last	15,58	0,6/0,3	2	**18,69**	**9,35**

Vindlast och snedställning beräknas i bilaga 10.2-10.4. I Tabell 92-Tabell 94 visas maximal horisontell last på respektive vägg.

Tabell 92: Horisontell last på vägg a.

	Lastfall 1 (kN)	Lastfall 2 (kN)	Lastfall 3 (kN)	Lastfall 4 (kN)
		2 våningar		
Våning 2	14,54	16,64	5,53	6,31
Våning 1	33,01	34,81	9,78	9,14
		4 våningar		
Våning 4	19,45	22,06	6,6	7,42
Våning 3	45,48	47,29	12,28	11,64
Våning 2	45,48	47,27	12,28	11,64
Våning 1	45,48	47,27	12,28	11,64

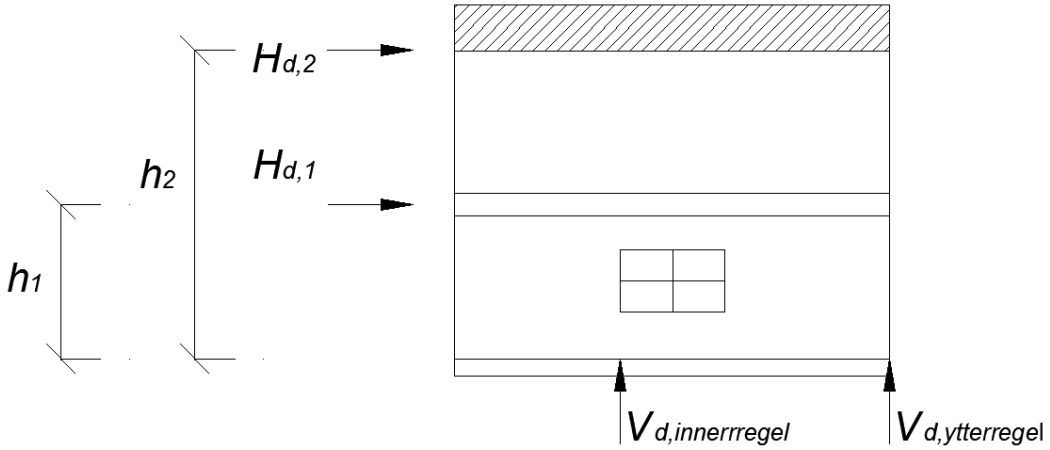
Tabell 93: Horisontell last på vägg b.

	Lastfall 1 (kN)	Lastfall 2 (kN)	Lastfall 3 (kN)	Lastfall 4 (kN)
		2 våningar		
Våning 2	13,44	15,38	5,11	5,84
Våning 1	30,52	32,19	9,05	8,45
		4 våningar		
Våning 4	18,45	20,39	6,1	6,86
Våning 3	42,05	43,72	11,35	10,76
Våning 2	42,05	43,72	11,35	10,76
Våning 1	42,05	43,72	11,35	10,76

Tabell 94: Horisontell last på vägg c och d.

	Lastfall 1 (kN)	Lastfall 2 (kN)	Lastfall 3 (kN)	Lastfall 4 (kN)
		2 våningar		
Våning 2	10,48	10,48	2,1	2,1
Våning 1	23,53	23,53	4,71	4,71
		4 våningar		
Våning 4	12,75	12,75	2,55	2,55
Våning 3	28,63	28,63	8,28	8,28
Våning 2	28,63	28,63	8,28	8,28
Våning 1	28,63	28,63	8,28	8,28

Vertikal upplagskraft från horisontell last, Figur 72 på reglarna beräknas enligt kapitel 5.3.1.



Figur 72: Vertikal upplagskraft p.g.a. horisontalkraft.

I Tabell 95-Tabell 97 beräknas upplagskrafter vid öppningar och väggslut p.g.a. horisontell last.

Tabell 95: Upplagskrafter pga horisontell last på vägg a.

Vägg *a*					
	Hävarm (m)	**Lastfall 1 (kN)**	**Lastfall 2 (kN)**	**Lastfall 3 (kN)**	**Lastfall 4 (kN)**
2 våningar					
$H_{d,\ Netto\ tak}$		0,14	0,14	0,03	0,03
$V_{d,\ Netto\ tak}$	5,72	0,68	0,68	0,01	0,01
$H_{d2,väggdel}$		1,68	1,92	0,64	0,73
V_{d2}	5,56	7,79	8,91	2,96	3,38
$H_{d1,väggdel}$		3,81	4,02	1,13	1,06
V_{d1}	2,68	8,53	9	2,53	2,36
Summa V_d		**16,32**	**17,91**	**5,49**	**5,74**
4 våningar					
$H_{d,\ Netto\ tak}$		0,16	0,16	0,31	0,31
$V_{d,\ Netto\ tak}$	11,47	1,57	1,57	0,3	0,3
$H_{d4,väggdel}$		2,25	2,55	0,76	0,86
V_{d4}	11,31	21,18	24,03	7,19	8,08
$H_{d3,väggdel}$		5,26	5,46	1,42	1,34
V_{d3}	8,43	36,92	38,39	9,97	9,45
$H_{d2,väggdel}$		5,26	5,46	1,42	1,34
V_{d2}	5,56	24,35	25,32	6,57	6,23
$H_{d1,väggdel}$		5,26	5,46	1,42	1,34
V_{d1}	2,68	11,76	12,22	3,17	3,01
Summa V_d		**94,22**	**99,96**	**26,91**	**26,77**

Beräkningsexempel för andra våningen, lastfall 1:

$$H_{d2,väggdel} = \frac{b_{väggdel} \cdot H_{d,max}}{\sum b_i} = \frac{1{,}2 \cdot 14{,}54}{10{,}384} = 1{,}68 \text{ kN}$$

$$V_{d2} = \frac{H_{d,väggdel} \cdot h_i}{b_i} = \frac{1{,}68 \cdot 5{,}56}{1{,}2} = 7{,}79 \text{ kN}$$

Tabell 96: Upplagskrafter p.g.a. horisontell last på vägg b.

Vägg *b*					
	Hävarm (m)	**Lastfall 1 (kN)**	**Lastfall 2 (kN)**	**Lastfall 3 (kN)**	**Lastfall 4 (kN)**
2 våningar					
$H_{d,\ Netto\ tak}$		0,14	0,14	0,03	0,03
$V_{d,\ Netto\ tak}$	5,72	0,68	0,68	0,01	0,01
$H_{d2,väggdel}$		1,68	1,92	0,64	0,73
V_{d2}	5,56	7,79	8,91	2,96	3,38
$H_{d1,väggdel}$		2,94	2,94	1,32	1,32
V_{d1}	2,68	6,58	6,58	1,32	1,32
Summa V_d		**14,36**	**15,49**	**4,28**	**4,7**
4 våningar					
$H_{d,\ Netto\ tak}$		0,16	0,16	0,31	0,31
$V_{d,\ Netto\ tak}$	11,47	1,57	1,57	0,3	0,3
$H_{d4,väggdel}$		2,31	2,55	0,76	0,86
V_{d4}	11,31	21,74	24,02	7,19	8,08
$H_{d3,väggdel}$		5,26	5,46	1,42	1,34
V_{d3}	8,43	36,92	38,39	9,97	9,45
$H_{d2,väggdel}$		5,26	5,46	1,42	1,34
V_{d2}	5,56	24,35	25,32	6,57	6,23
$H_{d1,väggdel}$		5,26	5,46	1,42	1,34
V_{d1}	2,68	11,73	12,22	3,17	3,01
Summa V_d		**94,77**	**99,95**	**26,9**	**26,77**

Tabell 97: Upplagskrafter p.g.a. horisontell last på vägg c och d.

Vägg *c/d*					
	Hävarm (m)	**Lastfall 1 (kN)**	**Lastfall 2 (kN)**	**Lastfall 3 (kN)**	**Lastfall 4 (kN)**
2 våningar					
$H_{d2,väggdel}$		1,00	1,24	0,63	0,77
V_{d2}	5,56	4,61	5,75	2,91	3,56
$H_{d1,väggdel}$		1,88	2,2	0,93	0,82
V_{d1}	2,68	4,21	4,91	2,08	1,83
Summa V_d		**8,82**	**10,66**	**4,99**	**5,4**
4 våningar					
$H_{d4,väggdel}$		1,04	1,41	0,66	0,80
V_{d4}	11,31	9,81	13,26	6,23	7,56
$H_{d3,väggdel}$		2,25	2,57	1,01	0,89
V_{d3}	8,43	15,84	18,05	7,07	6,28
$H_{d2,väggdel}$		2,25	2,57	1,01	0,89
V_{d2}	5,56	10,45	11,9	4,66	4,14
$H_{d1,väggdel}$		2,25	2,57	1,01	0,89
V_{d1}	2,68	5,04	5,75	2,25	2
Summa V_d		**41,13**	**48,95**	**20,21**	**19,99**

Tabell 98: Tryckkraft vid inre regel samt väggslut.

	Lastfall 1 (kN)	Lastfall 2 (kN)	Lastfall 3 (kN)	Lastfall 4 (kN)
2 våningar				
Vägg *e*				
Inre	17,51	18,87	28,94	37,46
Yttre	15,46	16,14	15,81	20,07
Vägg *f*				
Inre	17,51	18,87	28,94	37,46
Yttre	15,46	16,14	15,81	20,07
Vägg *g*				
Inre	25,17	28,06	12,27	12,81
Yttre	24,07	26,6	10,08	10,52
Vägg *h*				
Inre	25,15	28,03	16,82	15,36
Yttre	26,23	26,59	12,36	11,78
4 våningar				
Vägg *e*				
Inre	71,36	73,44	44,22	51,42
Yttre	68,24	67,85	28,12	32,22
Vägg *f*				
Inre	71,36	73,44	44,22	51,42
Yttre	68,24	67,85	28,12	32,22
Vägg *g*				
Inre	121,27	129,72	43,3	42,99
Yttre	119,11	126,83	37,15	38,88
Vägg *h*				
Inre	123,45	132,62	49,71	47,68
Yttre	120,2	128,28	42,36	41,23

Tabell 99: Vertikal last på regel från egentyngd, snö och nyttig last.

	Lastfall 1 (kN)		Lastfall 2 (kN)		Lastfall 3 (kN)		Lastfall 4 (kN)	
2 våningar								
	Inre	**Yttre**	**Inre**	**Yttre**	**Inre**	**Yttre**	**Inre**	**Yttre**
vägg *e*	4,10	2,05	5,46	2,73	26,26	13,13	34,78	17,39
Vägg *f*	4,10	2,05	5,46	2,73	26,26	13,13	34,78	17,39
Vägg *g*	2,19	1,09	2,92	1,46	4,37	2,18	4,59	2,30
Vägg *h*	2,17	1,09	2,89	1,45	8,92	4,46	7,12	3,56
4 våningar								
vägg *e*	6,24	3,12	8,32	4,16	30,20	15,10	38,40	19,20
Vägg *f*	6,24	3,12	8,32	4,16	30,20	15,10	38,40	19,20
Vägg *g*	4,33	2,17	5,78	2,89	8,30	4,15	8,21	4,10
Vägg *h*	6,51	3,26	8,68	4,34	14,71	7,36	12,90	6,45

Tabell 100: 2 våningar, vertikal last på regel i vägg e.

	Höjd (m)	Bredd (m)	Egt (kN/m^2)	Egt inner (kN)	Egt ytter (kN)
Yttertak	6,7	0,6/0,3	0,39	1,57	0,78
Takstol	6,7	1,2/0,6	0,09	0,72	0,36
Takbjälklag	0,6	0,6/0,3	0,53	0,19	0,10
Yttervägg	5	0,6/0,3	0,65	1,95	0,97
Golvbjälklag	0,3	0,6/0,3	0,67	0,12	0,06
∑				**4,55**	**2,28**
Snölast	6,7	1,2/0,6	2,40	**19,30**	**9,65**
Nyttig last	0,3	0,6/0,3	2	**0,36**	**0,18**

Tabell 101: 2 våningar, vertikal last på regel i vägg f.

	Höjd (m)	Bredd (m)	Egt (kN/m^2)	Egt inner (kN)	Egt ytter (kN)
Yttertak	6,7	0,6/0,3	0,39	1,57	0,78
Takstol	6,7	1,20,6	0,09	0,72	0,36
Takbjälklag	0,6	0,6/0,3	0,53	0,19	0,10
Yttervägg	5	0,6/0,3	0,65	1,95	0,97
Golvbjälklag	0,3	0,6/0,3	0,67	0,12	0,06
∑				**4,55**	**2,28**
Snölast	6,7	1,2/0,6	2,4	**19,30**	**9,65**
Nyttig last	0,3	0,6/0,3	2	**0,36**	**0,18**

Tabell 102: 2 våningar, vertikal last på vägg g.

	Höjd (m)	Bredd ytter (m)	Egt (kN/m^2)	Egt inner (kN)	Egt ytter (kN)
Yttertak	0,6	0,6/0,3	0,39	0,14	0,07
Takstol	0,6	0,6/0,3	0,09	0,03	0,02
Takbjälklag	0,6	0,6/0,3	0,53	0,19	0,10
Yttervägg	5	0,6/0,3	0,65	1,95	0,97
Golvbjälklag	0,3	0,6/0,3	0,67	0,12	0,06
∑				**2,43**	**1,22**
Snölast	0,6	0,6/0,3	2,40	**0,86**	**0,43**
Nyttig last	0,3	0,6/0,3	2,00	**0,36**	**0,18**

Tabell 103: 2 våningar, vertikal last på vägg h.

	Höjd (m)	Bredd ytter (m)	Egt (kN/m^2)	Egt inner (kN)	Egt ytter (kN)
Takbjälklag	3,35	0,6/0,3	0,53	1,07	0,53
Golvbjälklag	3,35	0,6/0,3	0,67	1,35	0,67
∑				**2,41**	**1,21**
Nyttig last	3,35	0,6/0,3	2	**4,02**	**2,01**

Tabell 104: 4 våningar, vertikl last på vägg e.

	Höjd (m)	Bredd ytter (m)	Egt (kN/m^2)	Egt inner (kN)	Egt ytter (kN)
Yttertak	6,7	0,6/0,3	0,39	1,57	0,78
Takstol	6,7	1,2/0,6	0,09	0,72	0,36
Takbjälklag	1,2	0,6/0,3	0,53	0,38	0,19
Yttervägg	9,99	0,6/0,3	0,65	3,90	1,95
Golvbjälklag	0,9	0,6/0,3	0,67	0,36	0,18
∑				**6,93**	**3,47**
Snölast	6,7	1,2/0,6	2,4	**19,30**	**9,65**
Nyttig last	0,9	0,6/0,3	2	**1,08**	**0,54**

Tabell 105: 4 våningar, vertikal last på vägg f.

	Höjd (m)	Bredd ytter (m)	Egt (kN/m^2)	Egt inner (kN)	Egt ytter (kN)
Yttertak	6,7	0,6/0,3	0,39	1,57	0,78
Takstol	6,7	1,2/0,6	0,09	0,72	0,36
Takbjälklag	1,2	0,6/0,3	0,53	0,38	0,19
Yttervägg	9,99	0,6/0,3	0,65	3,90	1,95
Golvbjälklag	0,9	0,6/0,3	0,67	0,36	0,18
∑				**6,93**	**3,47**
Snölast	6,70	1,2/0,6	2,4	**19,30**	**9,65**
Nyttig last	0,9	0,6/0,3	2	**1,08**	**0,54**

Tabell 106: 4 våningar, vertikal last på vägg g.

	Höjd (m)	Bredd ytter (m)	Egt (kN/m^2)	Egt inner (kN)	Egt ytter (kN)
Yttertak	0,60	0,6/0,30	0,39	0,14	0,07
Takstol	0,60	0,6/0,30	0,09	0,03	0,02
Takbjälklag	1,20	0,6/0,30	0,53	0,38	0,19
Yttervägg	9,99	0,6/0,30	0,65	3,90	1,95
Golvbjälklag	0,90	0,6/0,30	0,67	0,36	0,18
∑				**4,81**	**2,41**
Snölast	0,60	0,6/0,30	2,40	**0,86**	**0,43**
Nyttig last	0,90	0,6/0,30	2,00	**1,08**	**0,54**

Tabell 107: 4 våningar last på vägg h.

	Höjd (m)	Bredd ytter (m)	Egt (kN/m^2)	Egt inner (kN)	Egt ytter (kN)
Takbjälklag	10,05	0,6/0,30	0,53	3,20	1,60
Golvbjälklag	10,05	0,6/0,30	0,67	4,04	2,02
∑				7,24	3,62
Nyttig last	3,35	0,6/0,30	2,00	4,02	2,01

Tabell 108: Upplagskrafter p.g.a. horisontell last på vägg e.

Vägg *e*					
	Hävarm (m)	**Lastfall 1 (kN)**	**Lastfall 2 (kN)**	**Lastfall 3 (kN)**	**Lastfall 4 (kN)**
2 våningar					
$H_{d2,väggdel}$		1,32	1,32	0,26	0,26
V_{d2}	6,11	6,72	6,72	1,34	1,34
$H_{d1,väggdel}$		2,6	2,6	0,52	0,52
V_{d1}	3,09	6,69	6,69	1,34	1,34
Summa V_d		**13,41**	**13,41**	**2,68**	**2,68**
4 våningar					
$H_{d4,väggdel}$		1,59	1,59	0,32	0,32
V_{d4}	12,4	16,47	16,47	3,29	3,29
$H_{d3,väggdel}$		3,14	3,14	0,63	0,63
V_{d3}	9,39	24,58	24,58	4,92	4,92
$H_{d2,väggdel}$		3,14	3,14	0,63	0,63
V_{d2}	6,11	15,99	15,99	3,2	3,2
$H_{d1,väggdel}$		3,14	3,14	0,63	0,63
V_{d1}	3,09	8,09	8,09	1,62	1,62
Summa V_d		**65,12**	**65,12**	**13,02**	**13,02**

Tabell 109: Upplagskrafter p.g.a. horisontell last på vägg f.

Vägg *f*					
	Hävarm (m)	**Lastfall 1 (kN)**	**Lastfall 2 (kN)**	**Lastfall 3 (kN)**	**Lastfall 4 (kN)**
2 våningar					
$H_{d2,väggdel}$		1,32	1,32	0,26	0,26
V_{d2}	6,11	6,72	6,72	1,34	1,34
$H_{d1,väggdel}$		2,6	2,6	0,52	0,52
V_{d1}	3,09	6,69	6,69	1,34	1,34
Summa V_d		**13,41**	**13,41**	**2,68**	**2,68**
4 våningar					
$H_{d4,väggdel}$		1,59	1,59	0,32	0,32
V_{d4}	12,4	16,47	16,47	3,29	3,29
$H_{d3,väggdel}$		3,14	3,14	0,63	0,63
V_{d3}	9,39	24,58	24,58	4,92	4,92
$H_{d2,väggdel}$		3,14	3,14	0,63	0,63
V_{d2}	6,11	15,99	15,99	3,2	3,2
$H_{d1,väggdel}$		3,14	3,14	0,63	0,63
V_{d1}	3,09	8,09	8,09	1,62	1,62
Summa V_d		**65,12**	**65,12**	**13,02**	**13,02**

Tabell 110: Upplagskrafter p.g.a. horisontell last på vägg g.

Vägg *g*					
	Hävarm (m)	**Lastfall 1 (kN)**	**Lastfall 2 (kN)**	**Lastfall 3 (kN)**	**Lastfall 4 (kN)**
2 våningar					
$H_{d,\ Netto\ tak}$		0,16	0,16	0,03	0,03
$V_{d,\ Netto\ tak}$	6,96	0,91	0,91	0,19	0,19
$H_{d2,väggdel}$		2,18	2,48	0,84	0,95
V_{d2}	6,11	1,11	12,61	4,28	4,82
$H_{d1,väggdel}$		4,26	4,51	1,33	1,25
V_{d1}	3,09	10,97	11,62	3,43	3,21
Summa V_d		**22,98**	**25,14**	**7,9**	**8,22**
4 våningar					
$H_{d,\ Netto\ tak}$		1,18	1,18	0,04	0,04
$V_{d,\ Netto\ tak}$	13,45	1,97	1,97	0,4	0,4
$H_{d4,väggdel}$		2,82	3,12	0,97	1,08
V_{d4}	12,4	29,16	32,2	10,02	11,11
$H_{d3,väggdel}$		5,54	5,8	1,59	1,5
V_{d3}	9,39	43,34	45,35	12,42	11,75
$H_{d2,väggdel}$		5,54	5,8	1,59	1,5
V_{d2}	6,11	28,2	29,51	8,08	7,65
$H_{d1,väggdel}$		5,54	5,8	1,59	1,5
V_{d1}	3,09	14,26	14,92	4,09	3,87
Summa V_d		**116,94**	**123,94**	**35**	**34,78**

Tabell 111: Upplagskrafter p.g.a. horisontell last på vägg h.

Vägg *h*					
	Hävarm (m)	**Lastfall 1 (kN)**	**Lastfall 2 (kN)**	**Lastfall 3 (kN)**	**Lastfall 4 (kN)**
2 våningar					
$H_{d,\ Netto\ tak}$		0,16	0,16	0,03	0,03
$V_{d,\ Netto\ tak}$	6,96	0,91	0,91	0,19	0,19
$H_{d2,väggdel}$		2,18	2,48	0,84	0,95
V_{d2}	6,11	11,11	12,61	4,28	4,82
$H_{d1,väggdel}$		4,26	4,51	1,33	1,25
V_{d1}	3,09	10,97	11,62	3,43	3,21
Summa V_d		**22,98**	**25,14**	**7,9**	**8,22**
4 våningar					
$H_{d,\ Netto\ tak}$		1,18	1,18	0,04	0,04
$V_{d,\ Netto\ tak}$	13,45	1,97	1,97	0,4	0,4
$H_{d4,väggdel}$		2,82	3,12	0,97	1,08
V_{d4}	12,4	29,16	32,20	10,02	11,11
$H_{d3,väggdel}$		5,54	5,80	1,59	1,5
V_{d3}	9,39	43,34	45,35	12,42	11,75
$H_{d2,väggdel}$		5,54	5,80	1,59	1,5
V_{d2}	6,11	28,20	29,51	8,08	7,65
$H_{d1,väggdel}$		5,54	5,80	1,59	1,5
V_{d1}	3,09	14,26	14,92	4,09	3,87
Summa V_d		**116,94**	**123,94**	**35**	**34,78**

10.7 Dimensionerande lyftkraft

Planteknik

Beräkning sker av lyftkraft från horisontell last sker i bilaga 10.6. Mothållande egentyngd visas i Tabell 115-Tabell 120 som subtraherat med Tabell 95-Tabell 97, Tabell 113 ger lyftkrafterna för väggarna i Tabell 112. Egentyngderna räknas om till lastfall 1 genom multiplikation med faktorn 0,9.

Tabell 112: Lyftkrafter planteknik.

Lastfall 1 (kN)	
2 våningar	
Vägg *a*	+0,7
Vägg *b*	-1,76
Vägg *c/d*	+102,88
4 våningar	
Vägg *a*	-59,8
Vägg *b*	-63,9
Vägg *c/d*	+37,3

I Tabell 113 räknas vindsug på tak. Vindsug hämtas från bilaga 10.2 och omvandlas till brott-gränstillståndet genom multiplikation med 1,5 för lastfall 1.

Tabell 113: 2 våningar, vindsug på tak

	Influenshöjd (m)	Influensbredd (m)	Vindsug (kN/m^2)	Lyftkraft (kN)
Vägg *a*	0,3	5,19	-0,975	-1,52
Vägg *b*	0,6	5,19	-0,975	-3,04
Vägg *c/d*	5,19	15	-1,12	-87,19

Tabell 114: 4 våningar, vindsug på tak

	Influenshöjd (m)	Influensbredd (m)	Vindsug (kN/m^2)	Lyftkraft (kN)
Vägg *a*	0,3	5,19	-1,13	-1,76
Vägg *b*	0,6	5,19	-1,13	-3,52
Vägg *c/d*	5,19	15	-1,29	-100,54

Tabell 115: 2 våningar, vertikal last på regel i vägg a.

	Höjd (m)	Bredd (m)	Egentyngd (kN/m^2)	Egentyngd (kN)
Yttertak	0,6	5,19	0,39	1,21
Takstol	0,6	5,19	0,09	0,28
Vindsbjälklag	0,3	5,19	0,53	0,83
Yttervägg	4,99	5,19	0,65	16,83
Mellanbjälklag	0,3	5,19	0,9	1,4
∑				**20,55**

Tabell 116: 2 våningar, vertikal last på regel i vägg b.

	Höjd (m)	Bredd (m)	Egentyngd (kN/m^2)	Egentyngd (kN)
Vindsbjälklag	0,3	4,8	0,53	0,76
Innervägg	4,99	4,8	0,64	15,32
Mellanbjälklag	0,3	4,8	0,9	1,3
∑				**17,38**

Tabell 117: 2 våningar, vertikal last på regel i vägg c och d.

	Höjd (m)	Bredd (m)	Egentyngd (kN/m^2)	Egentyngd (kN)
Yttertak	5,46	15	0,39	31,94
Takstol	5,19	15	0,09	7,01
Vindsbjälklag	5,19	15	0,53	41,26
Yttervägg	4,99	15	0,65	48,61
Mellanbjälklag	5,19	15	0,9	70,07
∑				**198,89**

Tabell 118: 4 våningar, vertikal last på regel i vägg a.

	Höjd (m)	Bredd (m)	Egentyngd (kN/m^2)	Egentyngd (kN)
Yttertak	0,6	5,46	0,39	1,28
Takstol	0,6	5,19	0,09	0,28
Vindsbjälklag	0,3	5,19	0,53	0,83
Yttervägg	9,97	5,19	0,65	33,64
Mellanbjälklag	0,3	5,19	0,9	4,21
∑				**40,23**

Tabell 119: 4 våningar, vertikal last på regel i vägg b.

	Höjd (m)	Bredd (m)	Egentyngd (kN/m^2)	Egentyngd (kN)
Vindsbjälklag	0,3	5,19	0,53	0,83
Innervägg	9,97	5,19	0,64	33,14
Mellanbjälklag	0,3	5,19	0,9	4,21
∑				**38,17**

Tabell 120: 4 våningar, vertikal last på regel i vägg c och d.

	Höjd (m)	Bredd (m)	Egentyngd (kN/m^2)	Egentyngd (kN)
Yttertak	5,46	15	0,39	31,94
Takstol	5,19	15	0,09	7,01
Vindsbjälklag	5,19	15	0,53	41,28
Yttervägg	9,97	15	0,65	97,23
Mellanbjälklag	5,19	15	0,9	210,28
∑				**387,72**

Volymteknik

Tabell 121: Lyftkrafter volymteknik.

Lastfall 1 (kN)	
2 våningar	
Vägg *e*	+192,23
Vägg *f*	+192,23
Vägg *g*	-2,44
Vägg *h*	-4,96
4 våningar	
Vägg *e*	+404,48
Vägg *f*	+404,48
Vägg *g*	-72,1
Vägg *h*	-81,93

Tabell 122: 2 våningar, vindsug på tak

	Influenshöjd (m)	Influensbredd (m)	Vindsug (kN/m^2)	Lyftkraft (kN)
Vägg *e*	6,7	16,72	-1,21	-135,55
Vägg *f*	6,7	16,72	-1,21	-135,55
Vägg g	0,6	6,7	-1,05	-4,22
Vägg *h*	0,6	6,7	-1,05	-4,22

Tabell 123: 4 våningar, vindsug på tak

	Influenshöjd (m)	Influensbredd (m)	Vindsug (kN/m^2)	Lyftkraft (kN)
Vägg *e*	6,7	16,72	-1,36	-152,35
Vägg *f*	6,7	16,72	-1,36	-152,35
Vägg g	0,6	6,7	-1,18	-4,74
Vägg *h*	0,6	6,7	-1,18	-4,74

Tabell 124: 2 våningar, vertikal last på regel i vägg e.

	Höjd (m)	Bredd (m)	Egentyngd (kN/m^2)	Egentyngd (kN)
Yttertak	7,04	16,72	0,39	45,92
Takstol	6,7	16,72	0,09	10,08
Takbjälklag	6,7	16,72	0,53	118,72
Yttervägg	5	16,72	0,65	54,29
Golvbjälklag	6,7	16,72	0,67	150,09
∑				**379,1**

Tabell 125: 2 våningar, vertikal last på regel i vägg f.

	Höjd (m)	Bredd (m)	Egentyngd (kN/m^2)	Egentyngd (kN)
Yttertak	7,04	16,72	0,39	45,92
Takstol	6,7	16,72	0,09	10,08
Takbjälklag	6,7	16,72	0,53	118,72
Yttervägg	5	16,72	0,65	54,29
Golvbjälklag	6,7	16,72	0,67	150,09
∑				**379,1**

Tabell 126: 2 våningar, vertikal last på vägg g.

	Höjd (m)	Bredd ytter (m)	Egentyngd (kN/m^2)	Egentyngd (kN)
Yttertak	0,6	6,7	0,39	1,57
Takstol	0,6	6,7	0,09	0,36
Takbjälklag	0,3	6,7	0,53	2,13
Yttervägg	5	6,7	0,65	21,76
Golvbjälklag	0,3	6,7	0,67	2,69
∑				**27,51**

Tabell 127: 2 våningar, vertikal last på vägg h.

	Höjd (m)	Bredd ytter (m)	Egentyngd (kN/m^2)	Egentyngd (kN)
Takbjälklag	0,3	6,31	0,53	2,01
Innervägg	5	6,31	0,64	20,17
Golvbjälklag	0,3	6,13	0,67	2,54
∑				**24,71**

Tabell 128: 4 våningar, vertikl last på vägg e.

	Höjd (m)	Bredd ytter (m)	Egentyngd (kN/m^2)	Egentyngd (kN)
Yttertak	7,04	16,72	0,39	45,9
Takstol	6,7	16,72	0,09	10,08
Takbjälklag	6,7	16,72	0,53	237,45
Yttervägg	9,99	16,72	0,65	108,57
Golvbjälklag	6,7	16,72	0,67	300,17
∑				**702,17**

Tabell 129: 4 våningar, vertikal last på vägg f.

	Höjd (m)	Bredd ytter (m)	Egentyngd (kN/m^2)	Egentyngd (kN)
Yttertak	7,04	16,72	0,39	45,9
Takstol	6,7	16,72	0,09	10,08
Takbjälklag	67	16,72	0,53	237,45
Yttervägg	9,99	16,72	0,65	108,57
Golvbjälklag	6,7	16,72	0,67	300,17
∑				**702,17**

Tabell 130: 4 våningar, vertikal last på vägg g.

	Höjd (m)	Bredd ytter (m)	Egentyngd (kN/m^2)	Egentyngd (kN)
Yttertak	0,60	6,7	0,39	1,57
Takstol	0,60	6,7	0,09	0,36
Takbjälklag	0,3	6,7	0,53	4,26
Yttervägg	9,99	6,7	0,65	43,52
Golvbjälklag	0,3	6,7	0,67	5,39
∑				**55,09**

Tabell 131: 4 våningar last på vägg h.

	Höjd (m)	Bredd ytter (m)	Egentyngd (kN/m^2)	Egentyngd (kN)
Takbjälklag	0,3	6,7	0,53	1,07
Innervägg	9,99	6,7	0,64	42,85
Golvbjälklag	0,3	6,7	0,67	1,35
∑				**45,26**

10.8 Bärförmåga fästdon

```
sk=1;
s=1200;
fvdgips13lag1=418/1000;
fvdgips13lag2=264/1000;
fvdgips15lag1=352/1000;
fvdgips15lag2=264/1000;
fvdvindlag1=192/1000;

xvec=linspace(50,500,1000);

gips13lag1=(s./xvec)*(fvdgips13lag1);
gips13lag2=(s./xvec)*(fvdgips13lag2);
gips15lag1=(s./xvec)*(fvdgips15lag1);
gips15lag2=(s./xvec)*(fvdgips15lag2);
vind15lag1=(s./xvec)*(fvdvindlag1);

figure(1)
title('Horisontalkapacitet per väggenhet (kN/st)')
axis([30 500 0 10])
xlabel('s-avstånd (mm)')
ylabel('Hd per väggenhet (kN)')
grid on
hold on
plot(xvec,gips13lag1,'k-')
plot(xvec,gips13lag2,'k-.')
plot(xvec,gips15lag1,'k.')
plot(xvec,gips15lag2,'k-.')
plot(xvec,vind15lag1,'k:')
legend('gips13lag1','gips13lag2','gips15lag1','gips15lag2','vind15lag1')
```