

Vindstabilisering av småhus

En jämförelse av olika beräkningsmetoder

Fredrik Törnqvist

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet, 2012

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Box 118
221 00 LUND

Department of Structural Engineering
Lund Institute of Technology
Box 118
S-221 00 LUND
Sweden

Vindstabilisering av småhus – En jämförelse av olika beräkningsmetoder

Wind stabilization of houses –
A comparison between different calculation methods

Fredrik Törnqvist

2012

Rapport TVBK-5207
ISSN 0349-4969
ISRN: LUTVDG/TVBK-12/5207+103p

Examensarbete
Handledare: Tord Isaksson
Juni 2012

Sammanfattning

”Vindstabilisering av småhus – En jämförelse av olika beräkningsmetoder”

Vid nyetablering av bostadsområden byggs ofta långsmala hus tätt intill varandra. Placering av fönster är då i princip samlad till gavlarna och öppna planlösningar används för att få in ljuset i huset. Vid dimensionering för horisontell vindlast måste två fall undersökas för en byggnad. Det första fallet beaktar statisk jämvikt för systemet, dvs. stjälpning, och det andra fallet beaktar inre brott och stora deformationer på grund av skjuvning. Då husen ofta har en lätt stomme måste man använda tunga betongsulor för att motverka eventuell lyftning. För att klara horisontalstabilisering används väggar som genom skivverkan tar upp de horisontella lasterna. När planlösningarna är öppna och man har många fönster i fasaderna minskar antalet stabiliserande väggar och de som kvarstår måste ta mer last. Skivverkan i dessa väggar medför stora vertikala dragande och tryckande krafter som ska förankras till grunden.

Detta examensarbete fokuserar på att jämföra olika beräkningsmetoder för de stabiliserande väggarna. I metoderna undersöks olika förankringsprinciper samt hur utnyttjandet av bjälklag och tak kan påverka den slutgiltiga lastfördelningen och den horisontella bärförmågan. En tvåvåningsvilla har valts ut som jämförelseobjekt så att förutsättningarna för metoderna är samma. För de olika kombinationerna av förankringar, utnyttjande av egentygder och beräkningsmetoder jämförs sedan de dimensionerande bärförmågorna mot horisontell vindlast för att se vilken metod som genererar den största bärförmågan i förhållande till storlek på förankringskraften. De olika metoderna baseras på elastisk eller plastisk skivteori samt görs även en 3D-modellering med FEM (Finita Element Metoden).

Den metod som ger störst dimensionerande bärförmåga mot horisontella laster är den plastiska metoden. Detta på grund av att denna metod kan utnyttja skivor som har en bredd mindre än 25 % av skivans höjd samt att skivor under öppningar kan användas som stabiliserande mot horisontella laster. Den FEM-baserade 3D-modellen ger något lägre bärförmåga jämfört med den plastiska metoden, men har ett mer gynnsamt förhållande mellan erhållen horisontell bärförmåga och den förankringskraft som behövs.

Abstract

“Wind stabilization of houses – A comparison between different calculation methods”

When constructing new residential areas, long and narrow houses are often built close together. Due to this, most windows are placed on the gable and to make the houses brighter indoors, large open spaces are used. When wind blows on these buildings, two cases need to be examined. The first is if the house can tip over and the second case is if the house would collapse due to shearing. To counter lifting of the house heavier concrete foundations are used, and to counter shearing of a house stiff stabilizing walls are needed. Due to the open indoor spaces and large areas of windows on the gables the number of stabilizing walls is reduced. Therefore the remaining walls are built with rigid panels to counter the horizontal forces. Due to diaphragm action in the stabilizing walls, high tension and compression forces occur which needs to be anchored to the grounding.

This thesis will focus on the comparison of different methods for calculating the stabilizing walls. The methods will be examined on how different anchor forces and usage of self weights may affect the final capacity of horizontal forces. A specific two story house has been selected for analysis so that the conditions for the different methods are equal. For various compositions of anchor forces, self weights and methods a comparison is made between the designed horizontal forces and anchoring forces needed. The various methods to be examined are based on elastic or plastic theories; also a 3D-modeling with FEM (Finite Element Method).

The method that can counter the largest horizontal forces is the plastic method. This due to those boards smaller than $h/4$ and beneath windows can be used as stabilizing elements as well. The FEM-based 3D-model results in slightly lower capacity of horizontal forces, though this method has a more favorable ratio between the capacity and the anchoring force required.

Förord

Ett stort tack till mina handledare Tord Isaksson på konstruktionsteknik vid Lunds Tekniska Högskola och Camilla Lidgren vid Skanska Teknik i Malmö för att Ni har haft ett stort tålamod och tack för all hjälp med uppsatsen under den lite utdragna tiden.

Tack till Strusoft AB för tillhandahållande av programvara.

Tack till mina vänner för stöd, hjälp och uppmuntran.

Lund, 2012-06-23

Fredrik Törnqvist

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	13
1.1	Bakgrund	13
1.2	Problembeskrivning.....	13
1.3	Syfte.....	13
1.4	Avgränsningar	13
1.5	Examensarbetets disposition.....	14
1.6	Studerat objekt.....	14
1.6.1	Ritningar	14
1.6.2	Material	17
2	Teori	19
2.1	Laster	19
2.1.1	Vindlast	19
2.1.2	Snölast.....	20
2.1.3	Nyttig last.....	20
2.1.4	Permanent last.....	20
2.2	Lastkombinationer	20
2.2.1	Brottgränstillstånd.....	20
2.2.2	Bruksgränstillstånd	21
2.3	Horisontalstabilisering enligt den elastiska metoden	24
2.3.1	Förutsättningar	24
2.3.2	Beräkningsmodell för horisontalkraftskapacitet för en vägg enhet	24
2.4	Horisontalstabilisering enligt den plastiska metoden	24
2.4.1	Förutsättningar	25
2.4.2	Horisontal lastupptagning i vägg utan öppningar	25
2.4.3	Väggar med öppningar.....	27
2.4.4	Tvärväggar	31
2.4.5	Tvåplanshus	31
2.5	Eurokods dimensioneringsmetoder	32
2.5.1	Metod A	32
2.5.2	Metod B	33
2.6	Vertikala krafter.....	35
2.7	Metod för fördelning av horisontella krafter till stabiliserande väggar.....	36

2.7.1	Fördelning endast till väggar parallella med vindriktningen	36
2.7.2	Fördelning till väggar parallella och vinkelräta mot vindens riktning.....	38
3	Metod	39
3.1	Husbeskrivning.....	39
3.1.1	Ritningar	39
3.1.2	Egenvikter	43
3.1.3	Skivor och förbindare	45
3.1.4	Tak- och bjälklagsorienteringar	46
3.1.5	Gynnsamma laster.....	47
3.1.6	Förankringskrafter.....	47
3.2	Vindlast.....	48
3.3	Dimensioneringsmetoder.....	49
3.3.1	Elastisk dimensioneringsmetod.....	49
3.3.2	Plastisk dimensioneringsmetod.....	50
3.3.3	Eurokod - Metod A	52
3.3.4	Eurokod - Metod B	52
3.3.5	Modellering med FEM i 3D.....	53
3.4	Summering av bärförmågor.....	57
3.4.1	Fördelning av vind till de stabiliserande väggarna parallellt med vinden	57
3.4.2	Fördelning av vind till de stabiliserande tvärväggarna	58
3.5	Jämförelse av resultat	58
4	Resultat och diskussion	59
4.1	Val av kombinationer	59
4.2	Resultat	59
4.2.1	Horisontell bärförmåga	59
4.2.2	Förankringskrafter.....	62
4.3	Ändring av bärlinornas orientering.....	65
4.4	Beräkningsmässiga skillnader mellan metoderna.....	66
4.5	Eurokod och dess inverkan på horisontell bärförmåga	66
5	Slutsats	69
6	Referenser.....	71
	Bilaga A – Gynnsamma laster.....	73
	Bilaga B – Sammanställning från beräkningar.....	75

Bilaga C – Elastisk dimensioneringsmetod för väggar	79
Bilaga D – Eurokod 5 Metod A	85
Bilaga E – Eurokod 5 Metod B	87
Bilaga F – Plastisk dimensioneringsmetod	91
Bilaga G – Bjälklagskontroll.....	101
Bilaga H – Förändring av förankringskraft vid ändring av bärriktning	103

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Vid kontroll av den horisontella bärförmågan av en byggnad undersöks främst två fall. Det första fallet betraktar byggnaden som en stel kropp och kontrollerar förlorad statisk jämvikt. Det andra fallet kontrollerar byggnaden mot brott där materialhållfastheten är avgörande. För att klara det första fallet kan det finnas behov av att öka de mothållande lasterna i form av exempelvis mer betong i grunden. I det andra fallet kontrolleras väggar parallellt med vindens riktning som genom skivverkan kan stabilisera mot skjuvning. Vid nyetablering av bostadsområden byggs ofta långsmala hus. För att få husen ljusare invändigt används öppna planlösningar och många fönster i gavlarna. Genom att bygga hus med detta utförande minskar antalet stabiliserande väggar som kan användas för att ta hand om horisontell vindlast på långsidorna. Resultatet blir att färre och starkare väggar behövs och därigenom större krafter som skall överföras via anslutningar till grunden.

1.2 Problembeskrivning

Med ett mindre antal stabiliserande väggar måste de som kvarstår dimensioneras för att klara större horisontella laster. Lösningarna på detta är ofta komplicerade med kraftiga förankringar och stora betongsulor som följd. Frågeställningen är således: *Hur kan man utnyttja bjälklag, väggar samt olika dimensioneringsmetoder för att undvika komplicerade lösningar? Samt Vilken beräkningsmetod ger störst dimensionerande horisontell bärförmåga mot horisontella laster?*

1.3 Syfte

Rapportens syfte är att genom beräkningar visa på skillnaderna för hur olika utformningar på en villa kan öka bärförmågan mot horisontella laster. Studien bygger på att undersöka olika dimensioneringsmetoder, samt hur utnyttjande av bjälklag, tak, bärande innerväggar och eventuellt tvärväggar kan påverka den slutgiltiga horisontella bärförmågan. I rapporten presenteras en jämförelse mellan de olika metoderna inklusive en 3D-modellering.

1.4 Avgränsningar

Rapporten kommer

- att behandla ett fristående tvåvåningshus med en lätt stomme av gipsskivor på träreglar.
- att inkludera två alternativ på fasader och tak där det ena är ett lätt alternativ med papptak och träpanel på ytterväggarna och det andra är ett tungt alternativ med tak av betongpannor och tegelfasad.
- att utvärdera två olika orienteringar på bjälklagets och takets bärriktningar.
- att beräkna husets horisontella bärförmåga enligt de olika metoderna.
- inte att dimensionera förankringarna av väggarna.
- inte att undersöka bruksgränstillståndet för den horisontella lasten.
- endast undersöka 3D-modelleringen för fullt förankrade reglar.

1.5 Examensarbetets disposition

För att få en uppfattning om vad teorin ska tillämpas på inleds rapporten med en kort beskrivning av huset där planlösningar, fasader etc. presenteras. Därefter redovisas en teoridel som redogör för de olika dimensioneringsmetoderna samt två olika metoder för att fördela den horisontella vindlasten till de stabiliserande väggarna på. I teoridelen redovisas även vilka laster och lastkombinationer som behövs för dimensioneringen. I metodavsnittet beskrivs sedan husets uppbyggnad i detalj, hur metoderna har använts samt antaganden och förenklingar som gjorts. I resultatet presenteras sedan följande:

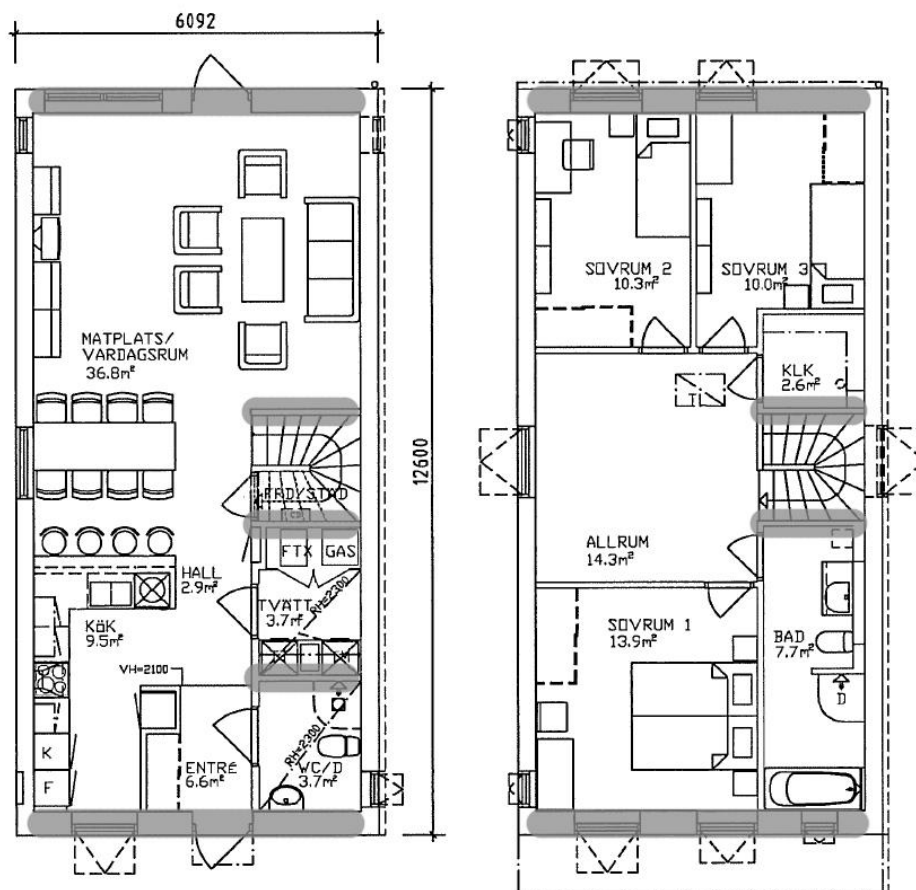
1. Horisontell bärförmåga för varje vägg och hela huset för alla beräkningsmetoder.
2. Jämförelser mellan de två orienteringarna av bjälklag och tak samt två olika tunga alternativ för fasader och tak.
3. Jämförelse mellan de två olika metoderna att fördela horisontella laster.
4. Jämförelse av förankringskrafter som behövs för de två metoder som genererar högst dimensionerande bärförmåga mot horisontell vindlast

1.6 Studerat objekt

I detta kapitel kommer en kort presentation av huset att göras där även enkla beskrivningar inkluderas. Detta för att ge en uppfattning om konstruktionen.

1.6.1 Ritningar

En tvåvåningsvilla med en mått enligt Figur 1 och en höjd på ca 8,3 m kommer att användas som underlag för beräkningarna. I figuren är även de väggar som behandlas som stabiliserande mot horisontella laster markerade med grått.

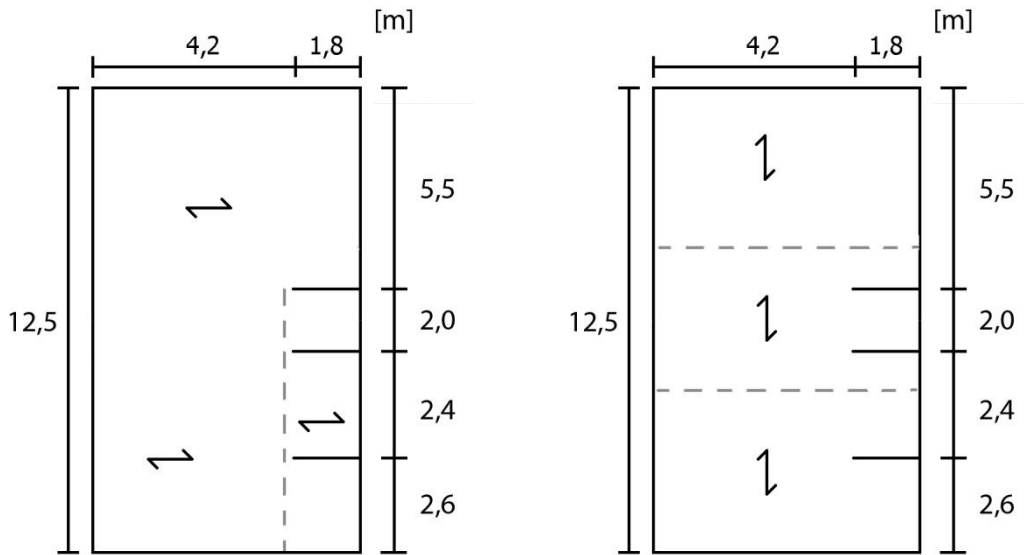


Figur 1 - Planlösningar. Till vänster bottenvåning och till höger ovanvåning. De gråmarkerade väggarna utnyttjas som stabiliserande.

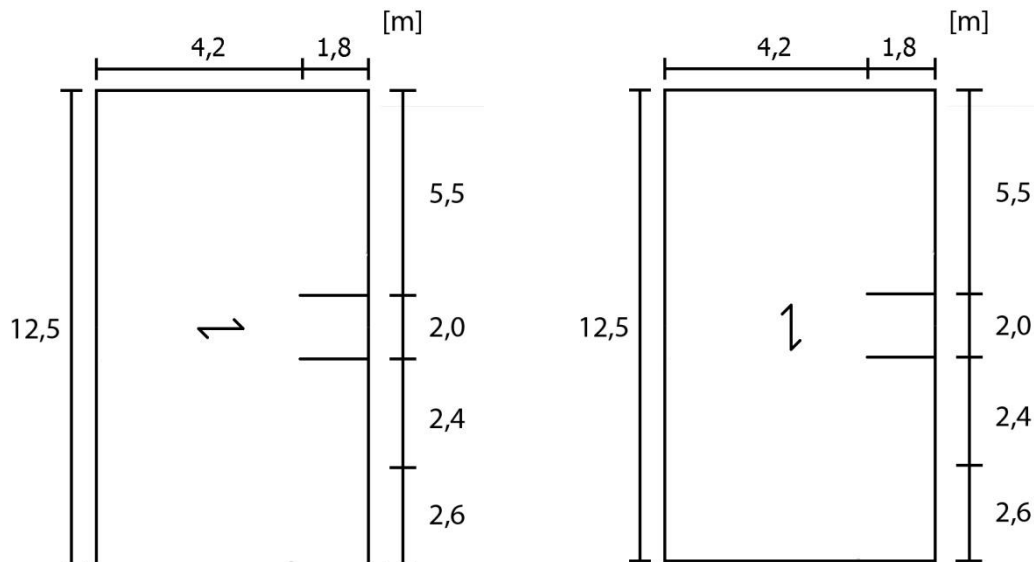
Detta är ett fristående gavelhus som placeras i början och slutet av huslängor, och har därför fönster på långsidorna. För mellanliggande hus finns generellt inga fönster på långsidorna. Gavelhuset väljs att undersökas då det har flest öppningar i långsidorna och därigenom är det värsta fallet.

Det är idag vanligt att bygga hus med utförande enligt Figur 1. För samma typ av hus kan planlösningarna variera genom att innerväggar kan ha olika placeringar eller inte finnas alls. Genomgående är dock att väggarna vid trappan alltid finns på både botten- och ovanvåning samt att väggen mellan bad- och tvätttrum alltid finns på bottenvåningen. Då badrums- och trappväggar tillsammans med gavlarna alltid finns där är det lämpligt att använda dessa som stabiliserande väggar mot horisontella laster.

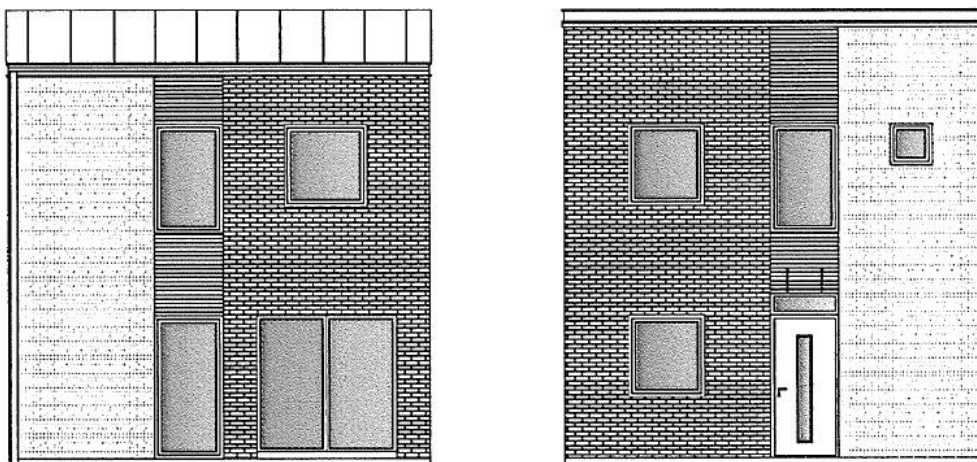
Bjälklag och tak är idag orienterade så att de har sina upplag på långsidorna. Ett alternativ till denna orientering är att rotera bärriktningen 90° så att bjälklag och tak istället har sina upplag på gavlarna. En sådan ändring är av intresse då egentygden från dessa konstruktioner kan utnyttjas för att minska behovet av vertikala förankringar vid dimensionering mot horisontella laster. I Figur 2 visas till vänster hur bjälklaget idag har sina upplag på långsidorna och i den högra delen av figuren visas förslaget där bärriktningen är ändrad. På samma sätt visas i Figur 3 takets orientering idag med upplag på långsidorna och ett förslag där takbalkar istället skulle ha upplag på gavlarna.



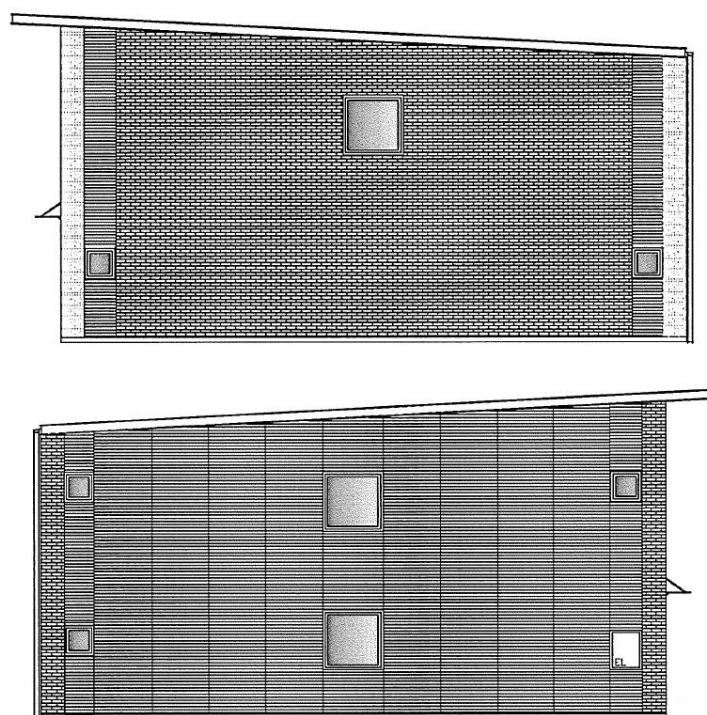
Figur 2 - Bjälklagets orientering. Till vänster visas ursprunglig orientering och till höger med ändrad orientering.



Figur 3 - Takets orientering. Till vänster visas ursprunglig orientering och till höger med ändrad orientering.



Figur 4 - Gavlar



Figur 5 - Långsidor

1.6.2 Material

Fasad- och takmaterial kan variera mellan ett par olika alternativ. I denna rapport kommer två alternativ på utförande att undersökas. Uppdelningen är baserad på materialens vikt, där det lätta alternativet består av panel på fasaden och ett papptak och det tunga alternativet har en tegelfasad och betongpannor som yttersta skikt på taket.

Stommen i huset består av träreglar varpå gipsskivor fästs. Generellt kan olika typer av förbindare som skruv, spik eller klammer användas för att fästa en skiva mot träreglar där det för gipsskivor är vanligaste med en speciell gipsskruv.

2 Teori

2.1 Laster

En konstruktion är generellt påverkad av flera olika laster samtidigt. Dessa laster kan vara egentyngher, nyttiga laster, vind och snö. Då det är osannolikt att ett hus samtidigt är utsatt för en stor samling av människor, kraftig vind och har stora mängder snö på taket, sätts lasterna samman i olika kombinationer. Lastkombinationerna delas in i två kategorier, en som är kritisk för att byggnadsdelar inte ska gå till brott vid extrema laster (brottgränstillstånd) samt en för normalt användande av en konstruktion (bruksgränstillstånd).

I detta kapitel redogörs i korthet för olika laster och lastkombinationer. Då snö och nyttig last motverkar lyftningar i skivväggar är dessa gynnsamma och får därför inte utnyttjas. På grund av detta presenteras dessa laster endast översiktligt.

2.1.1 Vindlast

Vind kan påverka en konstruktion genom statiskt tryck och sug, men kan även åstadkomma dynamiska effekter. Tryck och sug på en konstruktion varierar beroende på en rad olika faktorer så som byggnadens höjd och bredd, var i landet huset står, vindhastighet och landskapets topografi. Dessa måste på förhand undersökas och bestämmas innan värden för vindlast kan anges. Enligt [3] kan en förenklad metod användas där vindlasten bestäms utifrån terrängtyp, referensvindhastighet v_b och byggnadens höjd. Terrängtypen kategoriseras i fem olika områden, se Tabell 1.

Tabell 1 - Definition av terrängtyper, [3].

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.
III	Område täckt med vegetation eller byggnader eller med enstaka hinder med största inbördes avstånd lika med 20 gånger hindrens höjd (t.ex. byar, förorter och skogsmark).
IV	Område där minst 15% av arean är bebyggd och där byggnadernas medelhöjd > 15m.

Sverige är uppdelat i ett flertal områden vilka är tilldelade unika referenshastigheter. Dessa har bestämts utifrån en medelvindhastighet 10 meter över markytan under 10 minuters tid med en upprepningstid på 50 år.

Eftersom en byggnad aldrig är helt tät skapar vindlasten även en invändig last. Detta måste undersökas då man exempelvis endast analyserar en vägg. Den ger dock normalt sett inte något tillskott till de stabiliserande elementen. Den slutgiltiga vindlasten w_e som verkar på en byggnad beror även på byggnadens form. Hänsyn till detta tas genom formfaktorn c_{pe} som varierar beroende på vägg, taktyp, lutning samt förhållandet mellan byggnadens bredd och

längd. Den slutgiltiga vindlasten kan beräknas enligt ekvation 2.1 där $q_p(z_e)$ är vindlasten per kvadratmeter för en byggnad med höjden z_e , [3].

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (2.1)$$

Formfaktorn ges av ett värde för tryck och ett värde för sug på lovart- respektive läsidan. Den finns tabellerad för en rad olika konstruktioner där man även beaktar om det är en lokal eller global formfaktor [4].

2.1.2 Snölast

Utifrån statistik har olika områden i Sverige erhållit värden på vilken snölast som ska användas. Denna varierar generellt från högre värden i norr mot lägre i söder. Snölasten som belastar en konstruktion modifieras av faktorer som beror på takets lutning och utformning, snöfickor och topografi.

2.1.3 Nyttig last

Nyttig last delas in i olika kategorier beroende på hur en byggnad används. Exempel på kategorier är bostäder, kontor och samlingslokaler såsom sjukhus och arenor, [3]. Nyttiga laster delas in i bundna laster som inredning och mellanväggar, och fria laster som människor, djur och bilar.

2.1.4 Permanent last

Den permanenta lasten består av egenvikter för olika komponenter i byggnaden. Dessa erhålls av leverantörer eller som standardiserade värden för t.ex. trä, gips, tegel, stål eller betong.

2.2 Lastkombinationer

2.2.1 Brottgränstillstånd

Vid undersökning av en konstruktion används lastkombinationerna 2.2a eller b där den kombination som ger störst last är den dimensionerande. Då det förekommer risk för lyftning vid beräkningar av vindlast på en byggnad eller konstruktionsdel ska ekvation 2.2c användas. Där tas särskild hänsyn till de gynnsamma lasterna som motverkar lyftningen.

$$q = \gamma_d \cdot 1,35 \cdot G_{kj,sup} + 1,0 \cdot G_{kj,inf} + \gamma_d \cdot 1,5 \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (2.2a)$$

$$q = \gamma_d \cdot 1,2 \cdot G_{kj,sup} + 1,0 \cdot G_{kj,inf} + \gamma_d \cdot 1,5 \cdot Q_{k,1} + \gamma_d \cdot 1,5 \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (2.2b)$$

$$q = \gamma_d \cdot 1,1 \cdot G_{kj,sup} + 0,9 \cdot G_{kj,inf} + \gamma_d \cdot 1,5 \cdot Q_{k,1} + \gamma_d \cdot 1,5 \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (2.2c)$$

Där

$G_{kj,sup}$ är ogynnsam permanent last

$G_{kj,inf}$ är gynnsam permanent last

$Q_{k,1}$ är variabel huvudlast

$Q_{k,i}$ är övriga variabla laster

γ_d är en faktor för säkerhetsklass (SK1 = 0,83; SK2 = 0,91; SK3 = 1,0)

$\psi_{0,i}$ är reduceringsfaktor för icke huvudlaster

2.2.2 Bruksgränstillstånd

Vid dimensionering i bruksgränstillståndet sker en kontroll mot deformationer, vibrationer och svikt. I denna rapport undersöks detta endast för bjälklag, och då för att kunna beräkna vilken spännvidd som kan användas.

Det förekommer även horisontella deformationer av de stabiliserande väggarna på grund av skjuvning. Enligt [1] kan dessa deformationer antas vara små för tvåplans hus. Det är först vid fler våningar en undersökning om horisontella deformationer bör genomföras.

2.2.2.1 Lastkombination i bruksgränstillstånd

Vid kontroll av ett bjälklag i bruksgränstillstånd tas hänsyn till permanenta och nyttiga laster. Det finns tre dimensionerande kombinationer som tar hänsyn till om det vid användande av konstruktionen kan leda till permanent skada (karakteristisk, 2.3b), tillfälliga olägenheter (frekvent, 6.15b) eller deformationer på grund långtidslast (kvasi-permanent, 2.3b).

$$q = 1,0 \cdot G_{kj} + 1,0 \cdot Q_{k,1} + \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (2.3a)$$

$$q = 1,0 \cdot G_{kj} + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (2.3b)$$

$$q = 1,0 \cdot G_{kj} + \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (2.3c)$$

2.2.2.2 Svikt

Svikt är en faktor som bjälklag ska dimensioneras för i bruksgränstillståndet. Detta beror på att bjälklag, som klarar krav i utböjning, kan upplevas som obehagliga på grund av svikt.

Vid dimensionering mot svikt för bjälklag i bostäder bör, enligt [5], en särskild utredning göras då bjälklagets egenfrekvens f_1 är mindre än 8Hz. För egenfrekvenser över 8Hz ska följande villkor uppfyllas

$$\frac{w}{F} \leq a \quad mm/kN \quad (2.4)$$

och

$$v \leq k \quad m/(Ns^2) \quad (2.5)$$

där

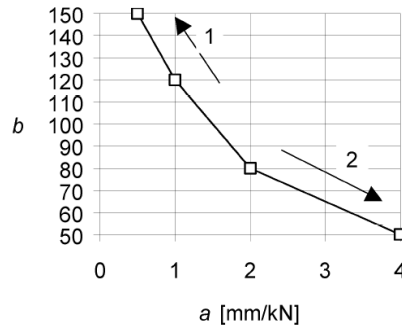
w är den direkta vertikala utböjningen av en vertikal statisk kraft F angripande var som helst på bjälklaget.

v är bjälklagets impulshastighetsrespons, dvs. den maximala vertikala initialhastigheten i m/s till följd av en ideal stöt av storlek 1Ns anbringad där den ger störst verkan. Vibrationskomponenter över 40 Hz får bortses.

k är $b^{(f_1 \cdot \zeta - 1)}$ (2.6)

ζ är relativ dämpning vilken, om inget annat anges, kan sättas till 1 % ($\zeta = 0,01$).

a och b är gränsvärden enligt [5] med förhållande enligt Figur 6.



Figur 6 - Samband mellan a och b, [5]

I Figur 6 redovisas förhållandet mellan a och b, där rekommendationen enligt svensk standard [8] är att $a = 1,5$ och $b = 100$. Väljs däremot värden i riktning 1 erhålls bättre funktion medan värden i riktning 2 ger sämre funktion för bjälklaget.

Beräkningarna ovan utförs då bjälklaget är obelastat, dvs. då endast permanenta laster är aktiva.

För rektangulära bjälklag av trä, med spännvidden l och bredden b , som är fritt upplagda längs alla sidor kan egenfrekvensen f_1 approximeras med

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{\langle EI \rangle_l}{m}} \quad (2.7)$$

där:

- m är bjälklagets massa per ytenhet
- l är bjälklagets spännvidd
- $\langle EI \rangle_l$ är bjälklagets ekvivalenta plattböjstyvhets vid böjning kring en axel vinkelrätt mot bjälkarnas riktning

För ett rektangulärt bjälklag med måtten $l \times b$ med fritt upplagda sidor kan v uppskattas till:

$$v = \frac{4 \cdot \langle 0,4 + 0,6 \cdot n_{40} \rangle}{m \cdot b \cdot l + 200} \quad (2.8)$$

där:

- v är impulshastighetsresponsen, i $m/(Ns^2)$
- n_{40} är antalet första ordningens moder av egenfrekvenser upp till 40Hz
- b är bredden på bjälklaget
- l är bjälklagets spännvidd
- m är bjälklagets massa per ytenhet

Värdet på n_{40} erhålls ur:

$$n_{40} = \left\{ \left\langle \left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right\rangle \cdot \left\langle \frac{b}{l} \right\rangle^4 \cdot \frac{\langle EI \rangle_l}{\langle EI \rangle_b} \right\}^{0,25} \quad (2.9)$$

där $(EI)_b$ är bjälklagets plattbøjstivhet vid bøjning parallellt med bjälkarnas. Det är krav på att $(EI)_b < (EI)_l$.

För att bestämma plattbøjstivheten i ett bjälklag måste det sammansatta tvärsnittet i ett bjälklag identifieras. Eftersom bjälklag ofta består av olika ingående material med olika elasticitetsmoduler måste dessa vägas samman till ett gemensamt värde. Detta kan enligt [6] för träfiberskivor eller spånskivor göras på följande sätt.

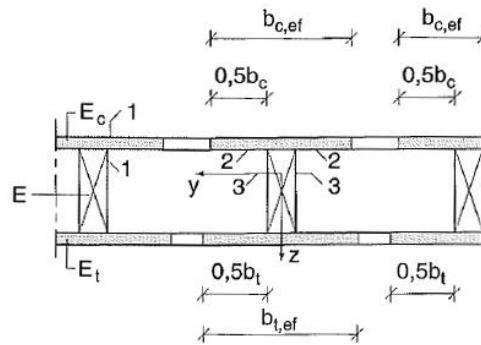
En tryckt fläns av spån- eller träfiberskivor får maximalt utnyttja den effektiva bredden

$$b_{ef} = \min \begin{cases} 0,2 \cdot l & \text{m. h. t. skjuvdeformation} \\ 30 \cdot h_f & \text{m. h. t. skivbuckling} \end{cases} \quad (2.10)$$

där

l är spännvidden på bjälklaget

h_f är flänsens höjd



Figur 7 - Sammansatt tvärsnitt. [6]

Om ingen kontroll av buckling av flänsen mellan liven görs, bör inte flänsbredden vara större än den dubbla effektiva flänsbredden.

För enkelsymmetriska tvärsnitt bestående av olika material kan de fiktiva tvärsnittsstorheterna bestämmas enligt [6].

Tvärsnittsarean bestäms som

$$A_t = b_w \cdot h_w + \frac{E_c \cdot t_c \cdot b_{ef,c} + E_t \cdot t_t \cdot b_{ef,t}}{E} \quad (2.11)$$

Neutrala lagrets höjd kring livets mitt erhålls genom

$$e = \frac{E_c \cdot t_c \cdot b_{ef,c} \cdot (h_w + t_c) - E_t \cdot t_t \cdot b_{ef,t} \cdot (h_w + t_t)}{2 \cdot E \cdot A_t} \quad (2.12)$$

Yttröghetsmomentet I_t fås därefter genom

$$I_t = \frac{b_w \cdot h_w^3}{12} + \frac{E_c \cdot t_c}{4 \cdot E} \cdot b_{ef,c} \cdot (h_w + t_c)^2 + \frac{E_t \cdot t_t}{4 \cdot E} \cdot b_{ef,t} \cdot (h_w + t_t)^2 - A_t \cdot e^2 \quad (2.13)$$

För de fall då det inte finns en dragen fläns får b_c sättas till 0.

2.3 Horisontalstabilisering enligt den elastiska metoden

2.3.1 Förutsättningar

Den elastiska skivteorin ligger till grund för den metod som exempelvis Gyproc beskriver i sin handbok [2], och är vanligtvis den som används vid dimensionering för horisontell vindlast. För att kunna använda metoden måste följande förutsättningar vara uppfyllda:

- Bjälklagen måste kunna överföra horisontella krafter till de stabiliserande väggarna.
- Hammarbanden måste utföras så att horisontella krafter kan överföras i längdled.
- Vertikala reglar bör kontrolleras mot knäckning och lyftning.
- Syllen bör kontrolleras för tryck vinkelrätt mot fibrerna.
- Krav för fästdonens inbördes avstånd och kantavstånd ska uppfyllas.
- Skivor med en bredd mindre än 25 % av skivhöjden får inte utnyttjas

2.3.2 Beräkningsmodell för horisontalkraftskapacitet för en vägg

När hus stomkompletteras på arbetsplatsen, får gipsskivornas bredd inte överstiga 900 mm på grund av arbetsmiljökrav. Med skivor på 900 mm ska de stående reglarna vara placerade på ca 450 mm där skruvarna mellan skivan och mittregeln får ha ett största centrumavstånd på 300 mm. För varje skiva beräknas den horisontella bärförmågan, beroende på skivbredd, enligt följande ekvationer. Därefter summeras skivornas bärförmågor till en gemensam för hela väggen.

$$H_{Rd,i} = F_d \cdot b/s \quad \text{om } b = 900 \text{ mm} \quad (2.14)$$

$$H_{Rd,i} = 0,25 \cdot F_d \cdot b/s \quad \text{om } 450 < b < 900 \text{ mm} \quad (2.15)$$

$$H_{Rd,i} = 0 \quad \text{om } b < 450 \text{ mm} \quad (2.16)$$

där

$H_{Rd,i}$ är den dimensionerande horisontalkraften per skivlag

b är skivans bredd

s är det inbördes avståndet mellan förbindare

F_d är den dimensionerande kapaciteten för förbindaren

2.4 Horisontalstabilisering enligt den plastiska metoden

Den plastiska dimensioneringsmetoden framtagen av Källsner och Girhammar, [1], ger konstruktören möjlighet att i större grad själv välja hur det stabiliserande systemet ska utformas. Detta uppnås genom att kraftflödet i konstruktionen kan ändras för att maximera utnyttjandegraden av olika konstruktionsmaterial. Vid en dimensionering enligt den plastiska metoden tillåts större horisontella förskjutningar vilka bör undersökas för. Vid deformationer kan problem som sprickor i tapeter eller andra väggytor uppkomma samt nedfördelning av vertikala laster.

Den plastiska dimensioneringsmetoden omfattar två metoder, en generell och en förenklad. Den förenklade metoden är utformad så att den dimensionerande horisontella bärförmågan alltid är mindre än eller lika med den generella. Eftersom den generella metoden alltid ger

högre eller samma horisontella bärförmåga som den förenklade är det av större intresse att jämföra den generella varianten med de övriga metoderna i denna rapport.

Förklaringar nedan beskriver dimensioneringsgången för en vägg när den horisontella lasten verkar från vänster. För detta fall börjar beräkningarna av skivan längst till vänster och fortsätter sedan åt höger i väggkombinationen. Då en horisontell last belastar en vägg från andra hållet börjar även dimensioneringen från det hållet.

Beskrivningen av den plastiska metoden inleds det med att för en enkel vägg utan öppningar tydliggöra hur metoden är uppbyggd. Därefter behandlas väggar med öppningar.

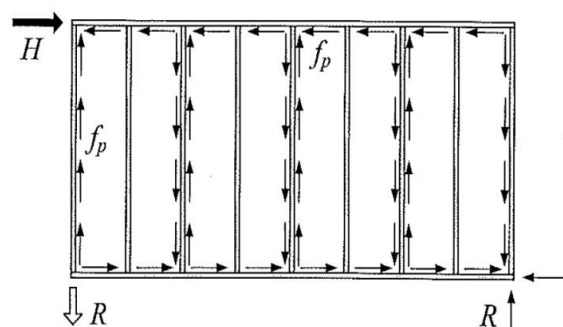
2.4.1 Förutsättningar

Den plastiska metoden är baserad på horisontalstabilisering av träbyggnader där förbindarna mellan skivor och träreglarna har plastiska egenskaper. Således måste skiv-regelväggens kraft-förskjutningskurva uppvisa ett plastiskt förhållande mellan kraft och förskjutning. För att försäkra sig om detta bör spröda brott såsom genomstansning (spikhuvudet dras genom skivan), sprickbildning i virket eller utstansningsbrott vid skivkanter (vid för låga kantavstånd till skivkanten) undvikas. För att undvika dessa brott och istället låta brottet vara plastiskt, bör spik eller skruv och dess dimensioner anpassas så att ett förankringsbrott uppstår, dvs. att förbindaren dras ur virket.

2.4.2 Horisontal lastupptagning i vägg utan öppningar

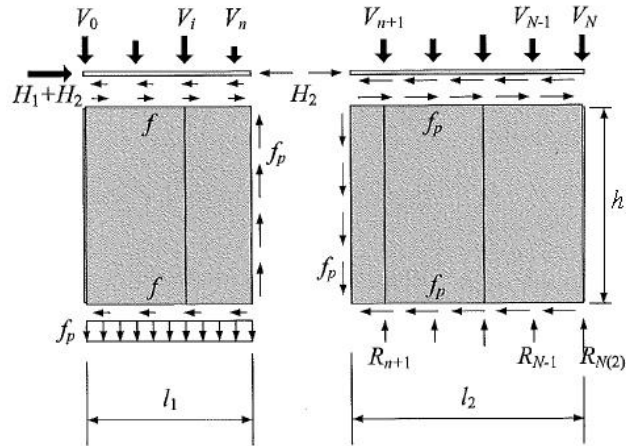
En vägg som belastas med en horisontell kraft H har det inre kraftflödet enligt Figur 8. Om den plastiska bärförmågan för en förbindare beskrivs med F_p och förbindarnas inbördes avstånd betecknas s ges det plastiska skjuvflödet f_p längs skivkanterna av

$$f_p = \frac{F_p}{s} \quad (2.17)$$



Figur 8 - Skjuvkraftsflödet i regelvägg. [1]

En vägg med längden l utan öppningar kan antas bestå av de två längderna l_1 och l_2 så att $l = l_1 + l_2$, se Figur 9.



Figur 9 – Kraftfördelning. [1]

Längden l_1 's huvuduppgift är att förankra väggen mot lyftning från syllen, ytterligare kan en liten horisontell skjuvkraft överföras till syllen. Argumentet för att här kunna överföra skjuvkrafter är att spikförbanden mellan regler och sylla har en liten överföringskapacitet. Längden av l_1 definieras av att den plastiska tvärkraftskapacitet $f_p h$ ska uppnås inom längden och bestäms genom en vertikal jämvikt

$$l_1 = h \cdot \left(1 - \frac{\sum V_i}{f_p \cdot h} \right) \quad (2.18)$$

Antalet yttre vertikala laster V_0 till V_n som ingår i ekvation 2.18 bestäms utifrån hur många som finns inom längden l_1 . Varje vertikallast bidrar till att minska längden l_1 genom att öka vertikalkraften mot syllen och då även bidra som förankringskraft. Det enklaste sättet att bestämma antalet vertikalkrafter V_i är att betrakta ett tvärkraftsdiagram för väggen som redovisar summan av förankrande krafter längs syllen. När de vertikala krafterna uppgår till $f_p h$ är syllen förankrad mot lyftning. Om $V_0 \geq f_p h$ ges specialfallet att $l_1 = 0$, vilket är det samma som om att den första regeln i väggen är fullständigt förankrad. Det är inte alltid att tvärkraftskapaciteten uppnås inom väggens längd l , detta kan till exempel ske för korta väggdelar vilket ger att $l_1 = l$.

När längden l_1 är bestämd är resterande längd av väggen automatiskt l_2 . Då väggen förankras mot lyftning i den vänstra delen l_1 kvarstår det för högra delen l_2 att endast överföra de horisontella skjuvkrafterna till syllen. Den dimensionerande horisontella bärförmågan för den sammansatta väggen ges av

$$H = f_p \cdot l_{eff} \quad (2.19)$$

där den effektiva längden l_{eff} är en sammansättning av l_1 och l_2 enligt

$$l_{eff} = \left(\frac{l_1}{2 \cdot h} + \frac{V_{ekv}}{f_p \cdot h} \right) \cdot l_1 + l_2 \quad (2.20)$$

Den vänstra delen i ekvation 2.20 är längden l_1 's bidrag till den horisontella bärförmågan. Den ekvivalenta vertikallasten V_{ekv} som här bidrar till bärförmågan är placerad över den första

regeln i delementet, och är en resulterande ekvivalent last från de vertikala lasterna V_i som finns inom område l_1 med avståndet x_i från den första regeln. V_{ekv} bestäms enligt

$$V_{ekv} = \sum_{i=0}^n \left(\frac{l_1 - x_i}{l_1} \cdot V_i \right) \quad (2.21)$$

Alternativt kan man låta V_0 , verkande på frontregeln, vara den enda vertikala kraften verkande på första regeln. Ekvationerna 2.20 och 2.21 ovan kan då ersättas med

$$l_1 = h \cdot \left(1 - \frac{V_0}{f_p \cdot h} \right) \quad (2.22)$$

$$l_{eff} = \left(\frac{l_1}{2 \cdot h} + \frac{V_0}{f_p \cdot h} \right) \cdot l_1 + l_2 \quad (2.23)$$

Inom längden l_1 befinner sig väggen i det elastiska stadiet, vilket betyder att förbandsförskjutningarna små. De vertikala lasterna överförs här från regelstommen till skivorna. Däremot har den plastiska kapaciteten uppnåtts till längden l_2 där de vertikala lasterna istället överförs genom reglarna ner till syllen, se Figur 9. För reglarna i det plastiska området blir reaktionskrafterna

$$R_i = V_i \quad (2.24)$$

Upplagskraften R_N för den sista regeln i väggen består av både den vertikallasten V_N och den vertikala kapaciteten $f_p h$.

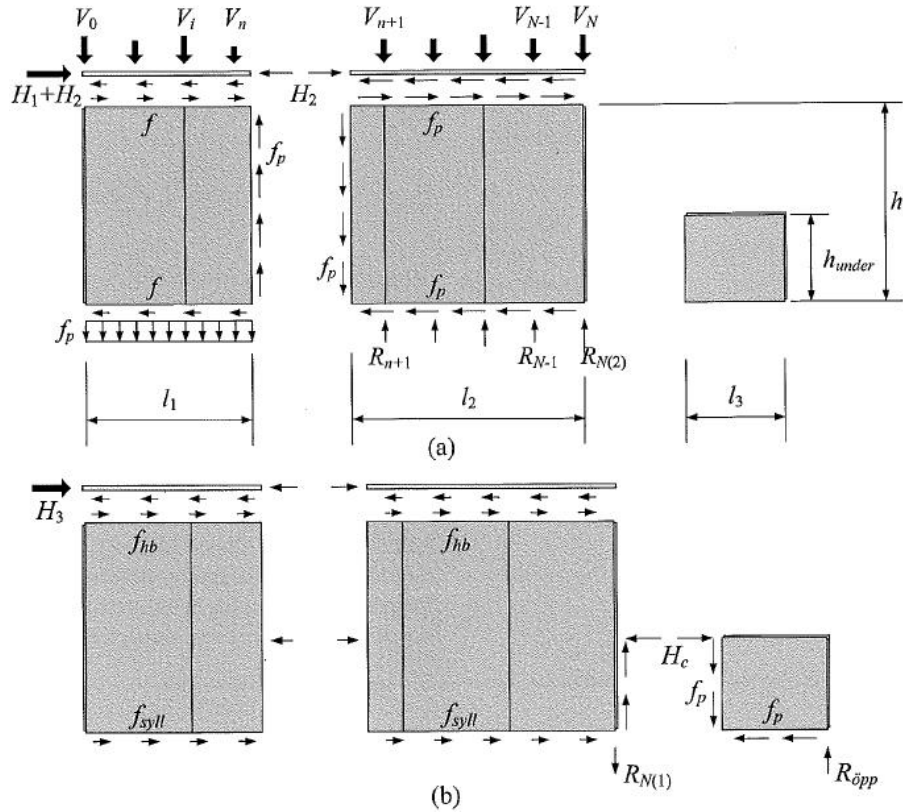
$$R_N = f_p \cdot h + V_N \quad (2.25)$$

2.4.3 Väggar med öppningar

Fortsättningsvis används begreppet delement till vänster och till höger om en öppning. Skivor under öppningar tillhör delement till vänster om öppningen medan skivor över öppningar tillhör delementet till höger om öppningen. Som exempel är det oftast skivor både över och under öppningar runt fönster medan det vid öppningar för dörrar endast finns skivor ovanför öppningen. Då skivor över och under öppningar har olika funktioner i en vägg, delas beräkningarna upp i två fall.

2.4.3.1 Väggedel till vänster om öppning

I väggar med öppningar för fönster antas att skivorna under öppningarna kan bidra till den horisontella bärförmågan på grund av att de kan överföra horisontella laster till syllen. I Figur 10a visas samma kraftfördelning för längderna l_1 och l_2 i en vägg utan öppningar medan Figur 10b visar kraftfördelningen i väggen för tillskottet av skivan under öppningen med längden l_3 . För beräkning av skiva l_3 's bidrag till bärförmågan behandlas två huvudfall. Uppdelningen görs för då den plastiska skjuvkapaciteten antingen har eller inte har uppnåtts innan skivan under öppninge.



Figur 10a och 10b – Kraftfördelning i vägg med öppning. [1]

Huvudfall ett

Första huvudfallet förutsätter att den plastiska skjuvkapaciteten uppnåtts innan öppningen, det vill säga att $l_2 > 0$. Detta tillåter att en fullständig skjuvkraftöverföring kan ske för skivan under öppningen i proportion till sin höjd. Eftersom skivan bidrar till bärförmågan görs ett tillägg i ekvation 2.20 för längden l_3 där hänsyn tas till förhållandet mellan skivans höjd h_{under} och väggens höjd h .

$$l_{eff} = \left(\frac{l_1}{2 \cdot h} + \frac{V_{ekv}}{f_p \cdot h} \right) \cdot l_1 + l_2 + \frac{h_{under}}{h} \cdot \lambda \cdot l_3 \quad (2.26)$$

Kontaktkraft H_c , se Figur 10b, som uppstår mellan väggen till vänster och den underliggande skivan ska fördelas som skjuvkrafter på hammarbandet f_{hb} och syllan f_{syll} så att momentjämvikt uppfylls. Om kontaktkraften blir för stor finns risk för krossning av skivor eller att hammarband och/eller syll inte kan överföra kraften. För att undvika dessa bör kraften H_c i dessa fall reduceras med en reduktionsfaktor λ enligt

$$\lambda = \min \begin{cases} \frac{h}{l_3 h_{under}} \left[\left(1 - \frac{l_1}{2h} - \frac{V_{ekv}}{f_p h} \right) l_1 + \frac{n_{knut} F_{knut}}{f_p} \right] & \text{Fall 1} \\ \frac{h}{l_3 (h - h_{under})} \left[\left(\frac{l_1}{2h} + \frac{V_{ekv}}{f_p h} \right) l_1 + l_2 \right] & \text{Fall 2} \\ \frac{b_{full}}{l_3} & \text{Fall 3} \\ 1 & \text{Fall 4} \end{cases} \quad (2.27)$$

där

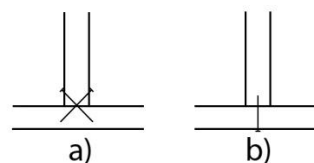
fall 1 gäller om kontaktkraften överförs för stora skjuvkrafter till hammarbandet.

fall 2 gäller om kontaktkraften överförs för stora skjuvkrafter till sylLEN.

fall 3 gäller om kontaktkraften är för stor med hänsyn till krossning av skivorna.

fall 4 gäller om det inte föreligger någon risk för att de övriga tre fallen inträffar.

I ”fall 1” utnyttjas även att knutpunkterna mellan regler och hammarband har en viss överföringskapacitet av skjuvkrafter. Faktorn n_{knut} anger antalet knutpunkter som bidrar och F_{knut} anger förbandets kapacitet. Enligt [1] kan man använda 2 kN för skråspikning och 0,97 kN för vinkelrät spikning, se Figur 11.



Figur 11 - a) skråspikning
b) vinkelrät spikning

Upplagsreaktionen R_N till vänster om öppningen, Figur 10, beror på om den plastiska skjuvkraftskapaciteten har uppnåtts innan öppningen eller inte. För första huvudfallet kan upplagsreaktionen R_N bestämmas enligt

$$R_N = \begin{cases} f_p(l_1 - \lambda h_u) + \sum V_i & \text{för } l_2 = 0 \\ f_p(h - \lambda h_u) + V_N & \text{för } l_2 > 0 \end{cases} \quad (2.28)$$

För regeln till höger om öppningen är upplagskraften $R_{öpp}$

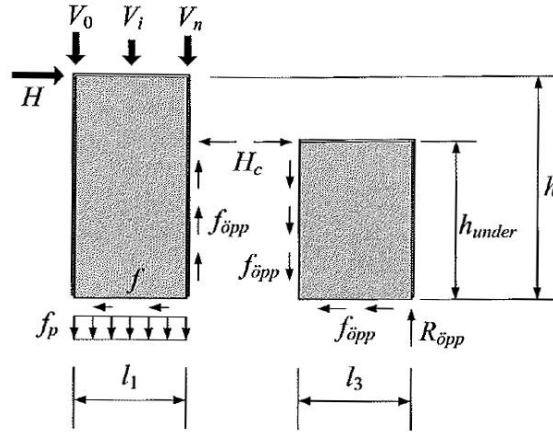
$$R_{öpp} = f_p \lambda h_{under} \quad (2.29)$$

$R_{öpp}$ kan sedan utnyttjas som en förankringskraft för skivan till höger.

Huvudfall två

Det andra huvudfallet är när den plastiska skjuvkapaciteten uppnås en bit in på skivan under öppningen. Det fulla plastiska skjuvflödet f_p kan i detta huvudfall inte utnyttjas för skivan under öppning utan måste reduceras. Det reducerade skjuvflödet $f_{öpp}$ som kan utnyttjas beräknas vid öppningens vänstra kant genom en vertikal jämvikt

$$f_{öpp} = \frac{f_p l_1 + \sum_{i=0}^n V_i}{h_u} \quad (2.30)$$



Figur 12 - Skiva under öppning. [1]

Den effektiva längden l_{eff} och reduktionsfaktorn λ kan för andra huvudfallet beräknas med

$$l_{eff} = \left(\frac{l_1}{2 \cdot h} + \frac{V_{ekv}}{f_p \cdot h} \right) \cdot l_1 + l_2 + \frac{f_{\text{öpp}}}{f_p} \frac{h_{\text{under}}}{h} \cdot l_3 \quad (2.31)$$

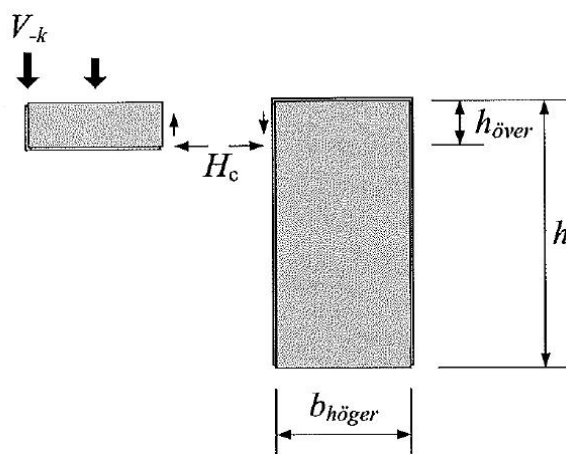
$$\lambda = \min \begin{cases} \frac{f_p}{f_{\text{öpp}}} \frac{h}{l_3 h_{\text{under}}} \left[\left(1 - \frac{l_1}{2h} - \frac{V_{ekv}}{f_p h} \right) l_1 + \frac{n_{knut} F_{knut}}{f_p} \right] & \text{Fall 1} \\ \frac{f_p}{f_{\text{öpp}}} \frac{h}{l_3 (h - h_{\text{under}})} \left[\left(\frac{l_1}{2h} + \frac{V_{ekv}}{f_p h} \right) l_1 + l_2 \right] & \text{Fall 2} \\ \frac{f_p}{f_{\text{öpp}}} \frac{b_{full}}{l_3} & \text{Fall 3} \\ 1 & \text{Fall 4} \end{cases} \quad (2.32)$$

I det andra huvudfallet antas att den plastiska skjuvkapaciteten inte har uppnåtts fram till öppningen, det vill säga att $l_2 = 0$. Med andra ord tillhör väggdelen fram till öppningen längden l_1 och som definierat sker här en förankring mot lyftning av väggen. På grund av att denna väggdel förankrar väggen finns det ingen upplagsreaktion för regeln direkt till vänster om öppningen. I regeln direkt till höger om öppningen, se Figur 12, beräknas upplagsreaktionen $R_{\text{öpp}}$

$$R_{\text{öpp}} = f_{\text{öpp}} \lambda h_{\text{under}} \quad (2.33)$$

2.4.3.2 Väggdel till höger om öppning

I väggen till höger om en öppning inkluderas skivan ovanför öppningen, se Figur 13. Denna skiva har endast en förmåga att överföra vertikala krafter till den första regeln höger om öppningen. Här kan den vertikala kraften utnyttjas som en förankringskraft och då öka väggens horisontella bärförmåga. Överföringskapaciteten av vertikala krafter från skivor över öppningar begränsas av två fall. Det första gäller att antalet förbindare längs skivans högra kant ska överföra kraften och det andra fallet begränsar så att kontaktkraften H_c inte blir så stor att skivorna krossas.



Figur 13 - Krafter på konsol. [1]

Först måste det kontrolleras att de vertikala krafterna inte överstiger förbindarnas överföringskapacitet i konsolen. Den maximala överföringen av krafterna begränsas av antalet förbindare som finns på höjden $h_{\text{över}}$ i konsolens högra del.

$$\sum_{i=-k}^{-1} V_i \leq f_p h_{\text{över}} \quad (2.34)$$

Ytterligare måste det kontrolleras så att kontaktkraften H_c mellan konsolen och väggskivan inte blir för stor med hänsyn till krossning skivorna. Enligt [1] kan ett maximalt värde på $H_c = f_p b_{\text{höger}}$ användas. Genom en momentjämvikt erhålls villkoret

$$\sum_{i=-k}^{-1} (-x_i V_i) \leq h_{\text{över}} H_c = h_{\text{över}} f_p b_{\text{höger}} \quad (2.35)$$

Den effektiva längden för väggen till höger om öppningen beräknas sedan enligt kapitel 2.4.2. Att notera är att den ekvivalenta tvärkraften V_{ekv} även får bidrag från den kraft konsolen kan överföra och således utnyttjas som en förankringskraft.

2.4.4 Tvärväggar

I den plastiska dimensioneringsmetoden kan förankring av en vägg ske via tvärväggar. Förankringskraften som en tvärvägg kan bidra med begränsas av överföringskapaciteten i anslutningen mellan tvärväggen och den horisontellt belastade väggen. Ytterligare begränsas tvärväggens förankrande förmåga av dess möjlighet att överföra vertikala skjuvkrafter. Då det betraktade huset har öppningar ute vid gavlarna i nästan varje tvärvägg, bortses det från denna förankringsmöjlighet i rapporten.

2.4.5 Tvåplanshus

Vid en analys av ett tvåplanshus kan båda våningarna undersökas samtidigt genom att anta att de två våningarna samverkar. I en förenklad beskrivning av detta utnyttjar en skiva på övre våningen hälften av förbindarna för samma skiva på nedre våningen. För ett hus där öppningarna har samma placering på både ovan och bottenvåning är det en smidig beräkningsmodell. När däremot öppningarnas placeringar i fasaden skiljer sig mellan ovan-

och bottenvåningen blir analysen mer komplicerad. Metoden i [1] klargör inte hur utnyttjandet av förbindare från bottenvåningen till ovanvåning sker då till exempel skivan på ovanvåningen är hel och skivan på bottenvåningen är antingen halv eller har en öppning. Det förklaras inte heller hur utnyttjandet av förbindare från bottenvåningen till ovanvåningen sker då regelstommarna sinsemellan är förskjutna. På grund av detta görs ingen djupare undersökning av denna del.

2.5 Eurokods dimensioneringsmetoder

I den Europeiska standarden, [5], redovisas de två dimensioneringsmetoderna A och B. Enligt [5] bör en vägg dimensioneras enligt den rekommenderade metoden A. Som alternativ finns även en utökad metod B. För att få använda någon av metoderna krävs enligt [5] att följande uppfylls.

1. Väggar med skivverkan ska dimensioneras för både horisontella och vertikala krafter.
2. Väggen ska vara förankrad mot stjälpning och glidning.
3. Väggelement avsedda att motstå skjuvkrafter ska styvas upp i sitt plan med skivmaterial, diagonaler eller momentstyva förband.
4. Bärförmågan hos en väggskiva vid skivverkan ska bestämmas antingen genom provning enligt EN 594 eller genom beräkning med lämplig analytisk metod eller dimensioneringsmetod.
5. Dimensionering av väggskivan ska beakta såväl egenskaper hos ingående material som den geometriska uppbyggnaden.
6. Väggskivans funktion vid belastning ska bedömas för att säkra att helhetens brukbarhet inte påverkas med hänsyn till krav i brukgränstillstånd.
7. Delelement som innehåller öppningar bör inte anses bidra till väggens bärförmåga.
8. Bredden hos en enskild skiva bör inte vara mindre än $\frac{1}{4}$ av skivhöjden.

2.5.1 Metod A

En vägg består oftast av flera delelement, där väggens totala bärförmåga $F_{v,Rd}$ beräknas som summan av delelementens bärförmågor $F_{i,v,Rd}$.

$$F_{v,Rd} = \sum F_{i,v,Rd} \quad (2.36)$$

Vidare beror varje delelements bärförmåga endast på förbindarens egenskaper, dess inbördes avstånd, skivans bredd samt ett förhållande c_i mellan skivans höjd och bredd enligt nedan

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} \cdot b_i \cdot c_i}{s} \quad (2.37)$$

där

$F_{f,Rd}$ är dimensionerande tvärkraftskapacitet för en förbindare
 b_i är delelementets bredd
 s är avstånd mellan förbindare

$$c_i = \begin{cases} 1 & \text{för } b_i \geq b_0 \\ b_i/b_0 & \text{för } b_i < b_0 \end{cases} \quad (2.38)$$

$b_0 = h/2$
 h är skivans höjd

Då en vägg har samma skivor på båda sidor om regelstommen kan dessa enkelt summeras. Om däremot om två olika skivor, med olika förskjutningsmoduler, används måste en jämförelse av förskjutningsmodulerna undersökas. Förskjutningsmodulen ses genom ett diagram som redovisar hur stor förskjutningen av en skiva är beroende på hur stor belastning den är utsatt för. Har de liknande förskjutningskurvor får 75 % utnyttjas av den svagare skivans horisontella bärförmåga. Skiljer sig däremot förskjutningsmoduler åt får endast 50 % utnyttjas av den svagare skivans horisontella bärförmåga.

2.5.2 Metod B

För en vägg uppbyggd av flera delement beräknas bärförmågan som summan av delementens kapacitet.

$$F_{v,Rd} = \sum F_{i,v,Rd} \quad (2.39)$$

Till skillnad från metod A tar metod B hänsyn till fler faktorer som kan påverka bärförmågan, jämför ekvation 2.37 med 2.40. Nedan följer de ekvationer och beteckningar som redovisas i [5], vilka behövs för att beräkna en väggs horisontella bärförmåga.

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} \cdot b_i}{s_0} \cdot k_d \cdot k_{i,q} \cdot k_s \cdot k_n \quad (2.40)$$

där:

$F_{f,Rd}$	dimensionerande tvärkraftsförmåga för en förbindare
b_i	delementets bredd
s_0	basavstånd mellan förbindare
k_d	faktor för väggens dimension
$k_{i,q}$	faktor för utbredd last på väggskivan
k_s	faktor för avstånd mellan förbindare
k_n	faktor för ingående skivmaterial

Beräkning av de olika faktorerna ovan redogörs nedan.

$$s_0 = \frac{9,7 \cdot d}{\rho_k} \quad (2.41)$$

d förbindarens diameter
 ρ_k karakteristisk densitet för träreglar

$$k_d = \begin{cases} b_i/h & \text{för } b_i/h \leq 1,0 \\ \langle b_i/h \rangle^{0,4} & \text{för } b_i/h > 1,0 \text{ och } b_i \leq 4,8 \\ \langle 4,8/h \rangle^{0,4} & \text{för } b_i/h > 1,0 \text{ och } b_i > 4,8 \end{cases} \quad (2.42)$$

$$k_{i,q} = 1 + \langle 0,083 \cdot q_i - 0,0008 \cdot q_i^2 \rangle \cdot \langle \frac{2,4}{h} \rangle^{0,4} \quad (2.43)$$

där

q_i ekvivalent utbredd vertikal last på delementet. För punktlast beräknas q_i enligt:

$$q_i = \frac{2 \cdot \alpha \cdot F_{i,vert,Ed}}{b_i^2} \quad (2.44)$$

A är horisontellt avstånd från läsidans hörn till kraften F.
Se Figur 14.

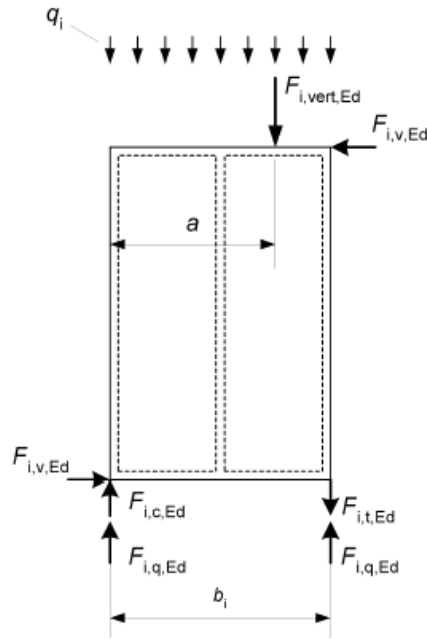
$$k_s = \frac{1}{\langle 0,86 \cdot \frac{s}{s_0} + 0,57 \rangle} \quad (2.45)$$

s aktuellt avstånd mellan förbindare

$$k_n = \begin{cases} 1,0 & \text{för ensidig skivbeklädning} \\ \frac{F_{i,v,Rd,max} + 0,5 \cdot F_{i,v,Rd,min}}{F_{i,v,Rd,max}} & \text{för dubbelsidig skivbeklädning} \end{cases} \quad (2.46)$$

$F_{i,v,Rd,max}$ är den dimensionerande bärförmågan för det starkare skivmaterialet

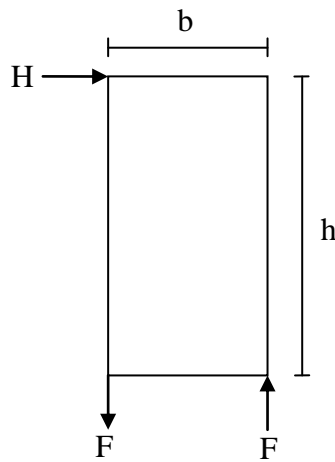
$F_{i,v,Rd,min}$ är den dimensionerande bärförmågan för det svagare skivmaterialet



Figur 14 - Bestämning av en ekvivalent utbredd vertikal last q_i . [5]

2.6 Vertikala krafter

De stående reglarna i en skiv-regelvägg måste i samtliga metoder kontrolleras mot lyftning och tryck.



Figur 15 - Tryckande och lyftande krafter

Genom att betrakta momentet i mitten av den nedre delen av skivan erhålls momentjämvikten nedan.

$$F = \frac{H \cdot h}{b} \quad (2.47)$$

Vid dimensionering där det finns risk för knäckning av en regel kan antagande om att den är knäckavstyvad i den veka riktningen göras. Om den tryckande eller dragande kraften F skulle

överstiga en regels bärförmåga kan man i de flesta fall använda dubbla regler. Då lösningen är enkel kommer rapporten inte att fokusera på denna typ av kontroll.

Ekvation 2.47 kan även användas för att beräkna den horisontella bärförmågan om en förankringskraft F är given. En kontroll bör då också göras så att förbindarna i skivan kan överföra dessa krafter.

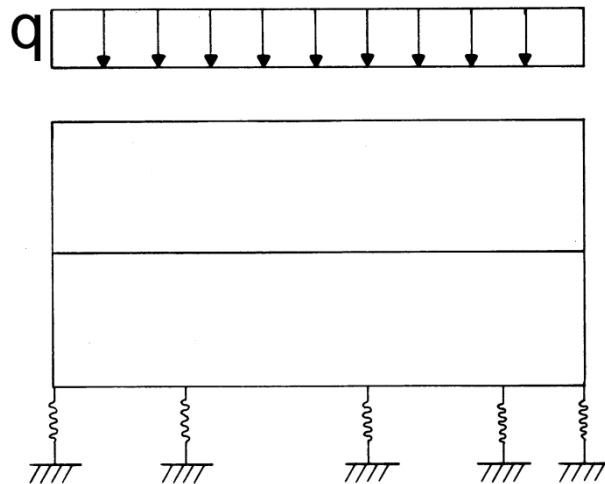
2.7 Metod för fördelning av horisontella krafter till stabiliserande väggar

Det finns två alternativ på hur fördelningen av horisontella krafter överförs till de stabiliserande väggarna. Den första metoden utnyttjar endast de stabiliserande väggar vars orientering är parallell med vindens riktning medan den andra metoden även utnyttjar de tvärväggar som är orienterade vinkelrätt mot vindens riktning.

För att kunna utnyttja dessa metoder förutsätts att bjälklag och tak fungerar som styva skivor för att fördela horisontallasten.

2.7.1 Fördelning endast till väggar parallella med vindriktningen

Först antas att de stabiliserande väggarna har en gemensam styvhetskoefficient k mot snedställning. I Figur 16 representeras de olika väggarna i huset av fjäderupplagen.



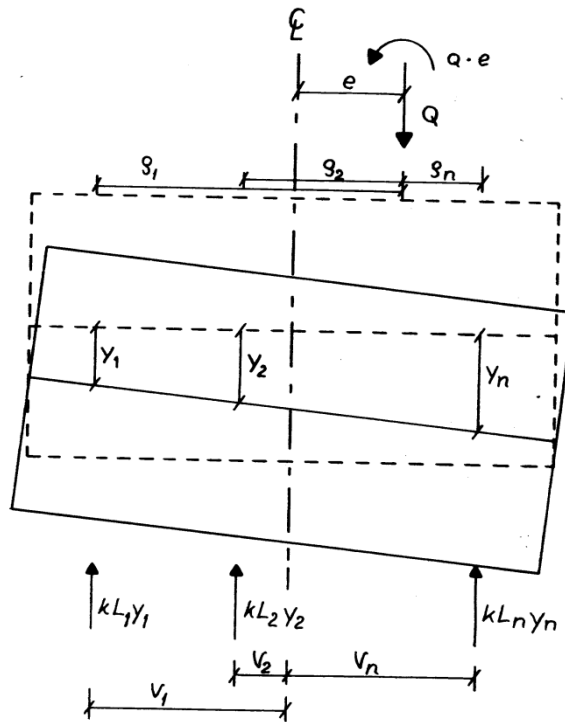
Figur 16 – Huskropp, från ovan, utsatt för vindlast q . [7]

Den jämnt utbredda vindlasten q räknas om till en punktlast Q i husets mittlinje. Då de stabiliserande väggarna kan vara ojämnt fördelade flyttas lasten Q sträckan e från mittlinjen så att alla väggar erhåller samma deformation $\delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_n$, se Figur 17. Deformation av en vägg antas vara proportionell mot väggens längd L och styvhet enligt

$$\delta_i = \frac{H_i}{k \cdot L_i} \quad (2.48)$$

där

- H_i är horisontalkraft på väggens hammarband (kN)
- k är väggens styvhetskoefficient (kN/m²)



Figur 17 - Illustration av beteckningar. [7]

Summan av alla horisontalkrafter H_i ska motsvara punktlasten Q . Förutsatt att deformationen för alla väggar är lika kan följande lösas ut

$$\frac{H_i}{k \cdot L_i} = \frac{H_1}{k \cdot L_1} \rightarrow H_i = \frac{H_1}{L_1} \cdot L_i \quad (2.49)$$

Givet att summan av alla horisontalkrafter H_i motsvarar vindlasten Q gäller att

$$\sum H_i = \frac{H_1}{L_1} \cdot \sum L_i \quad (2.50)$$

$$\frac{H_1}{L_1} \cdot \sum L_i = Q \quad (2.51)$$

Ekvation (2.51) insatt i (2.49) ger att förhållande mellan horisontalkraften H_i och vindlast Q är

$$H_i = \frac{Q \cdot L_i}{\sum L_i} \quad (2.52)$$

Detta ger den totala horisontella kraften på väggen med hänsyn till direkt vindlast.

För att alla väggar ska erhålla deformation förflyttades lasten Q avståndet e . Genom detta uppstår ett moment $Q \cdot e$, vilket ger upphov till deformationer som är proportionella mot avståndet ρ_i från vägg i till det nya läget av Q . Med momentjämvikt erhålls

$$\sum (H_i \cdot \rho_i) = Q \cdot e \quad (2.53)$$

Om α betecknar konstruktionens vinkeländring ges deformationen av vägg y_i av

$$\delta_i = \rho_i \cdot \alpha \quad (2.54)$$

Vinkeländringen kan då skrivas som

$$\alpha = \frac{H_i}{k \cdot L_i \cdot \rho_i} = \frac{\sum H_i}{k \cdot \sum (L_i \cdot \rho_i)} \quad (2.55)$$

Med ekvation (2.53) insatt i den högra delen i ekvation (2.55) är

$$\alpha = \frac{Q \cdot e}{k \cdot \sum (L_i \cdot \rho_i^2)} \quad (2.56)$$

Genom att lösa ut den horisontella kraften H_i erhålls slutligen en ekvation för hur momentet påverkar en vägg i .

$$H_i = \frac{Q \cdot e \cdot L_i \cdot \rho_i}{\sum (L_i \cdot \rho_i^2)} \quad (2.57)$$

Den sammanlagda horisontalkraften på en vägg är då

$$H_i = \frac{Q \cdot L_i}{\sum L_i} + \frac{Q \cdot e \cdot L_i \cdot \rho_i}{\sum (L_i \cdot \rho_i^2)} \quad (2.58)$$

2.7.2 Fördelning till väggar parallella och vinkelräta mot vindens riktning

Fördelningen av horisontell vindlast sker på liknande sätt som ovan. Skillnaden mellan dessa två metoder ligger i den senare delen där momentet ska fördelas på de stabiliserande väggarna. I denna metod utnyttjas inte väggarna parallellt med vinden för att ta upp momentet, utan det är endast de stabiliserande tvärväggarna som används. Förutsatt att de två ytterväggarna på långsidorna har liknande uppbyggnad av skivor och öppningar, fördelar sig moment jämt mellan dessa två. Skulle det däremot vara skillnader mellan väggarna behöver kraftfördelningen mellan väggarna undersökas. Om långsidorna främst består av stora mängder fönster är oftast fördelningen i föregående metod (2.7.1) den mest fördelaktiga.

3 Metod

I detta kapitel förklaras förutsättningar, gjorda antaganden och beräkningsgången för de metoder som ingår i rapporten. Totalt undersöks de fem metoderna

- Elastisk dimensioneringsmetod
- Plastisk dimensionering av träregelstommar
- Eurokod SS-EN 1995-1-1
 - Metod A
 - Metod B
- 3D-modell i Strusofts 3d Structure som baseras på FEM (Finita Element Metoden).

Till detta kommer även några varianter på husets utformning att undersökas för att se hur de påverkar husets horisontella bärförmåga. Följande varianter analyseras:

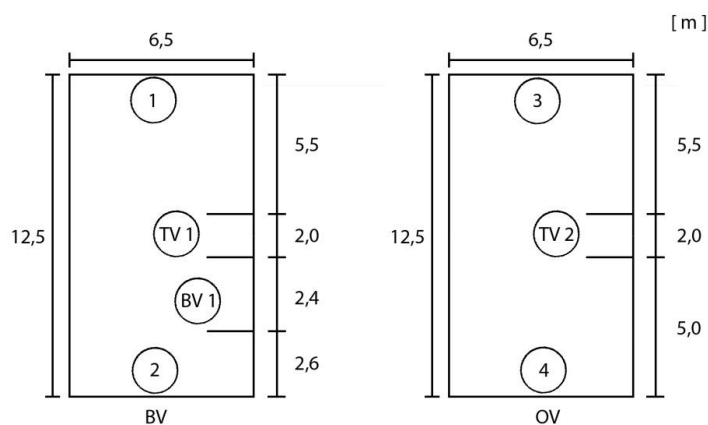
- Olika tunga ytterväggar och tak
- Olika orientering på bjälklag och tak
- Olika typer av förankringar

3.1 Husbeskrivning

Huset som undersöks i denna rapport är byggt med lättbyggnadsteknik. Med lättbyggnadsteknik menas en stomme som består av både stående och liggande träreglar varpå skivor fästs med förbindare. Förbindarna kan antingen vara skruv, spik eller klammer. Vilken typ som väljs beror på valt skivmaterial. För lätta byggnader är det vanligast med gipsskivor som skruvas mot reglarna.

3.1.1 Ritningar

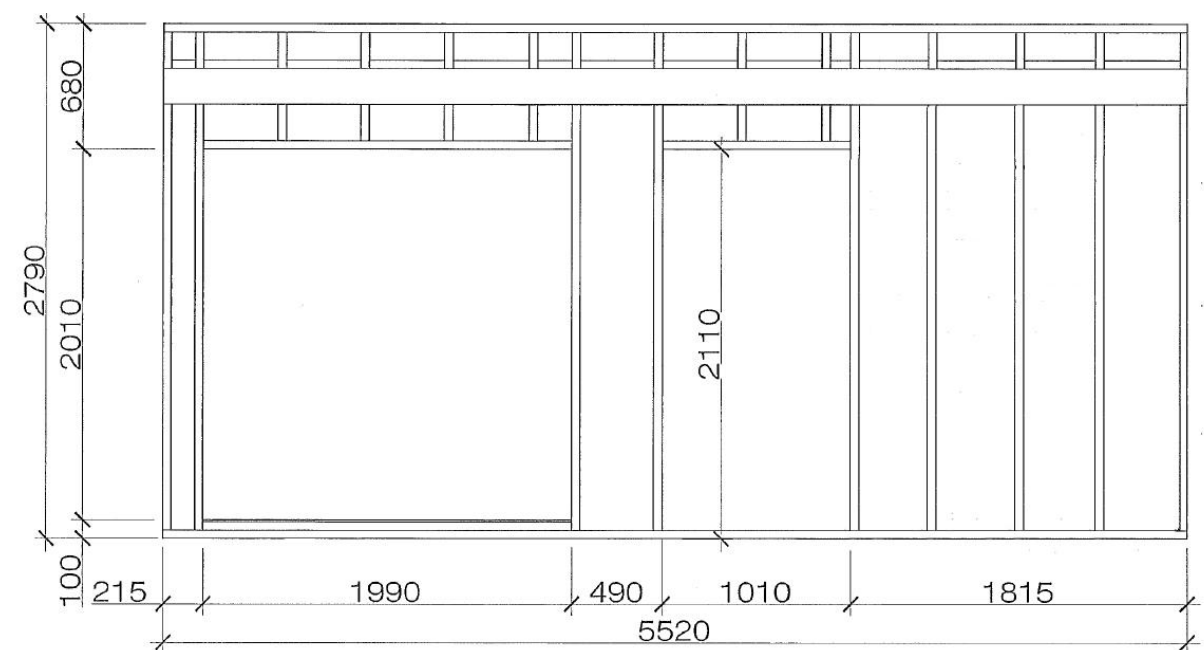
Med utgångspunkt från planlösningarna i kapitel 1.6 delas väggarna upp och namnges enligt Figur 18.



Figur 18 – Planlösning och väggnamn. Till vänster bottenvåning BV och till höger ovanvåning OV

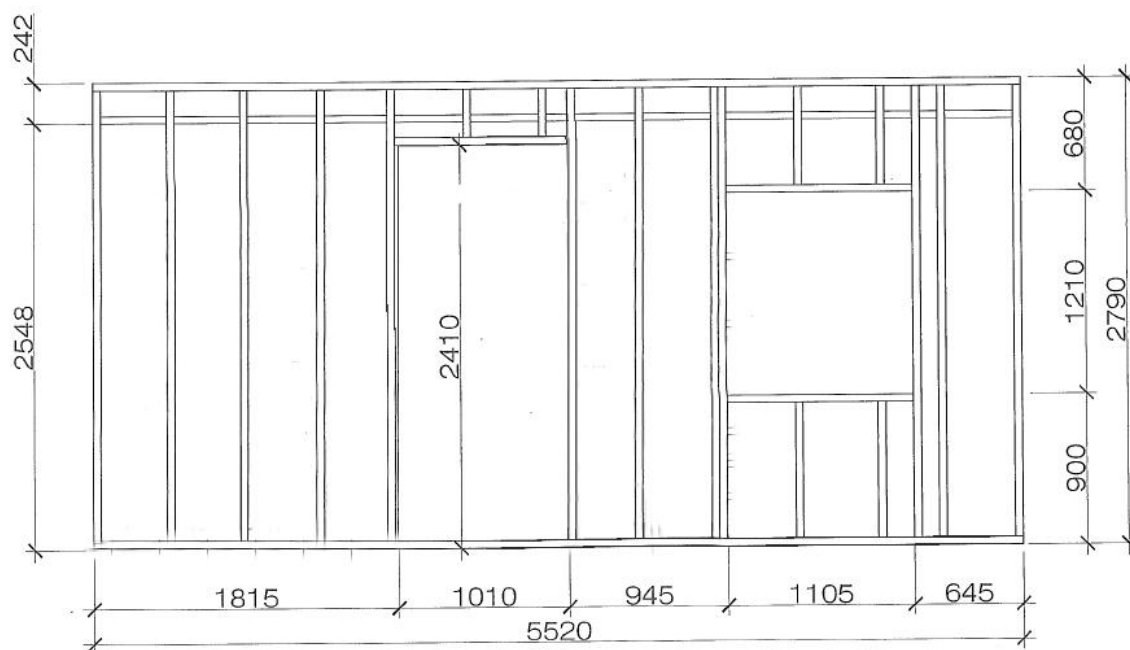
Väggarna 1 till 4 är gavlarna, TV1 och TV2 består båda av de två väggarna intill trappan på botten- respektive ovanvåning och BV1 är badrumsväggen på bottenvåningen. Nedan presenteras i Figurerna 19 till 25 detaljritningar för hur de olika väggarna är uppbyggda.

I vägg 1, Figur 19, är reglarna av 45x220 C24 placerade med inbördes avstånd på cc450 mm varpå vindskivor monteras på utsidan och robusta gipsskivor på insidan. I beräkningarna delas väggen upp i de två områdena Vägg 1a på 490 mm och Vägg 1b på 1800 mm.



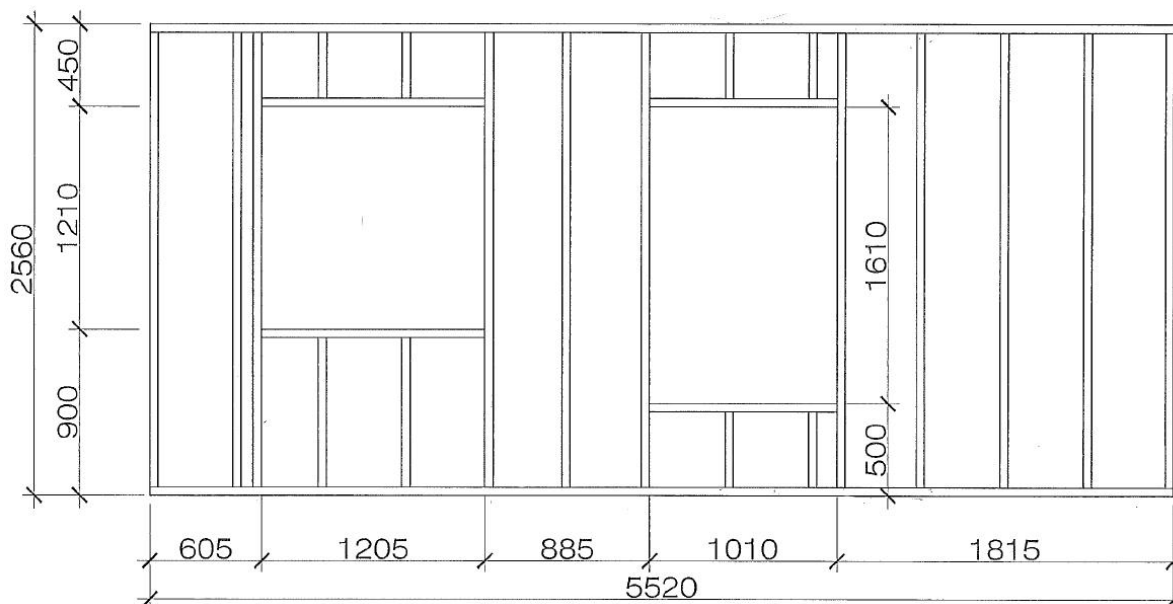
Figur 19 - Vägg 1

I vägg 2, Figur 20, är reglarna av 45x220 C24 placerade med inbördes avstånd på cc450 mm varpå vindskivor monteras på utsidan och robusta gipsskivor på insidan. I beräkningarna delas väggen upp i de tre områdena Vägg 2a på 645 mm, Vägg 2b på 900 mm och Vägg 2c på 1800 mm.



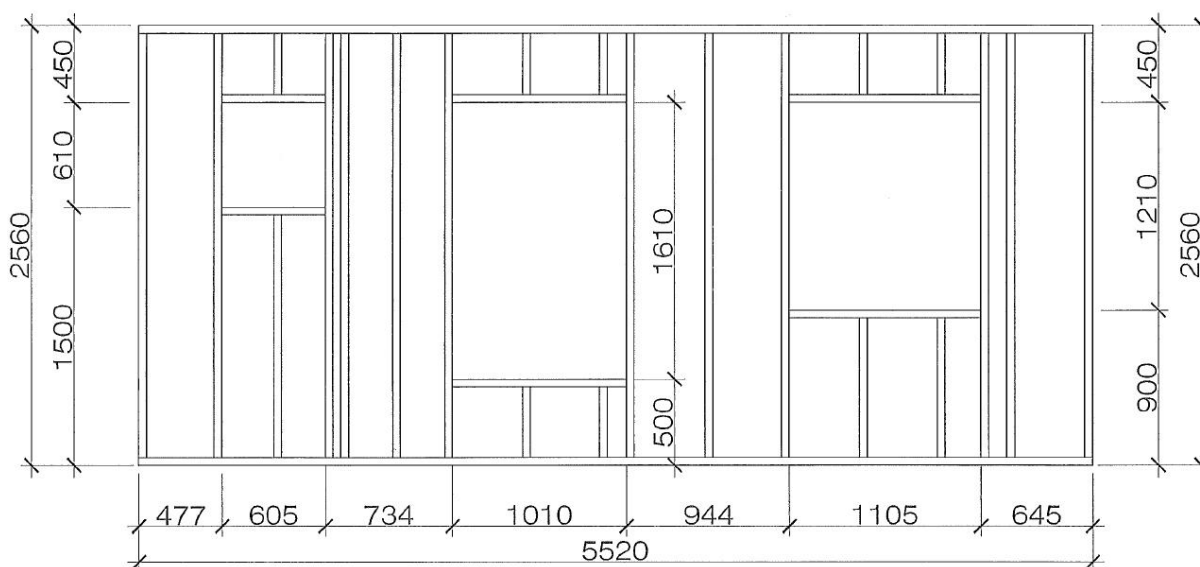
Figur 20 - Vägg 2

I vägg 3, Figur 21, är reglarna av 45x220 C24 placerade med inbördes avstånd på cc450 mm varpå vindskivor monterats på utsidan och robusta gipsskivor på insidan. I beräkningarna delas väggen upp i de tre områdena Väg 3a på 605 mm, Väg 3b på 885 mm och Väg 3c på 1800 mm.



Figur 21 - Väg 3

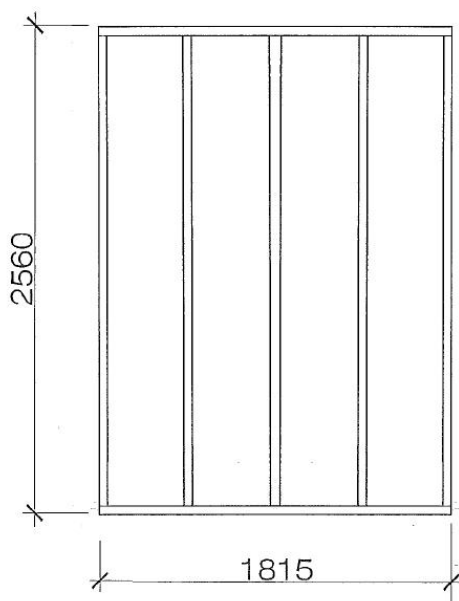
I vägg 4, Figur 22, är reglarna av 45x220 C24 placerade med inbördes avstånd på cc450 mm varpå vindskivor monterats på utsidan och robusta gipsskivor på insidan. I beräkningarna delas väggen upp i de fyra områdena Väg 4a på 477 mm, Väg 4b på 734 mm, Väg 4c på 900 mm och Väg 4d på 645 mm.



Figur 22 - Väg 4

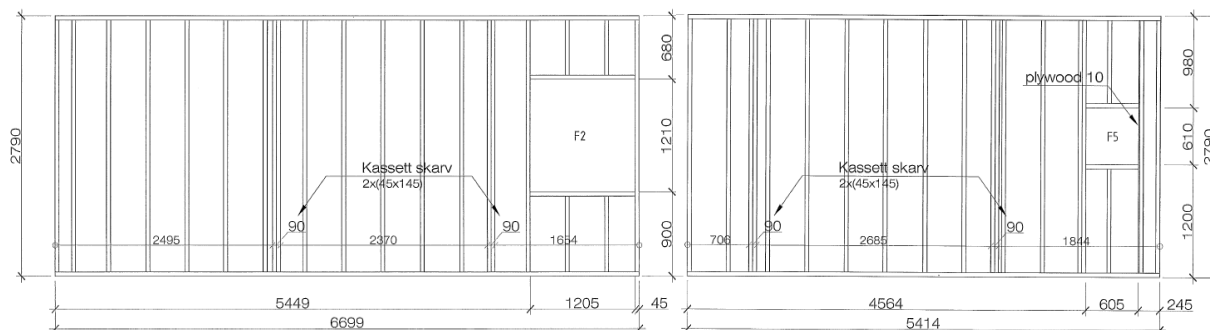
I trappväggarna, Figur 23, är reglarna av 45x220 C24 placerade med inbördes avstånd på cc450 mm varpå robusta gipsskivor monterats på både in- och utsidan. I beräkningarna betraktas väggen endast som en del på 1800 mm.

I badrumsväggen, med samma utseende som trappväggarna, är reglarna av 45x220 C24 placerade med inbördes avstånd på cc450 mm varpå våtrumsskivor monterats inåt badrummet och robusta gipsskivor monterats bort från badrummet. I beräkningarna betraktas väggen endast som en del på 1800 mm.

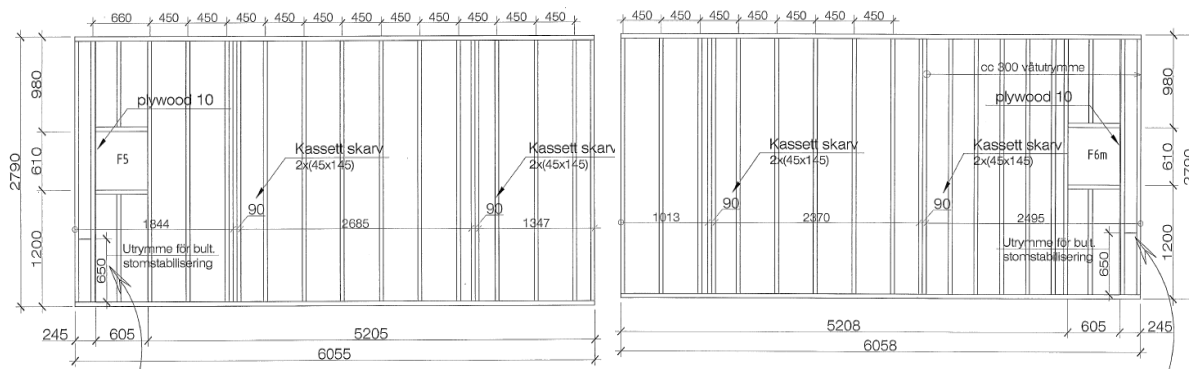


Figur 23 – TV1, TV2 och BV1.

Långsidorna i huset, Figur 24 och Figur 25, är reglarna av 45x220 C24 placerade med inbördes avstånd på cc450 mm varpå vindskivor monterats på utsidan och robusta gipsskivor på insidan.



Figur 24 - Stabiliserande långsida



Figur 25 - Stabiliserande långsida

3.1.2 Egenvikter

Många hus har en fasad bestående av antingen tegel eller träpanel. Därför har det valts att analysera hur dessa två påverkar konstruktionens horisontella bärförmåga. Då varken tegel eller träpanel får utnyttjas som stabiliserande återstår att utnyttja deras egentyngder för att öka de nedåtriktade krafterna. De två olika alternativen som undersöks representerar ett tungt och ett lätt alternativ. Det tunga består av ett tak med betongpannor och en fasad av tegel medan det lätta består av papptak och en fasad av träpanel. Stommen i de båda alternativen är annars samma med gipsskivor som skruvas mot träreglar.

Syftet med de olika egenvikterna är inte att beräkna en exakt egentyngd för det specifika fallet av varje konstruktionsdel, utan att visa vilken skillnad det är mellan de olika alternativen och hur mycket de påverkar den slutgiltiga bärförmågan i resultatet. Därför har material så som isolering inte inkluderats. Nedan följer en mer detaljerad beskrivning för hur respektive konstruktion är uppbyggd, där materialens egenvikter presenteras och har antingen erhållits från leverantörer eller standardiserade tabeller.

3.1.2.1 Tak

Den bärande stommen i taket är uppbyggt av trätakstolar för både det lätta och tunga alternativet. Den stora skillnaden mellan dem är att det lätta alternativet har papp som yttersta skikt medan det tyngre alternativet har betongpannor.

Tabell 2 - Egentyngder för tak

Lätt alternativ	kg/m ³	kN/m ²
1-Lags papp	5,8 kg/m ²	0,01
Icopal Mono 501P	5,8 kg/m ²	0,01
50 Paroc Ros 50	-	-
Underlagspapp	0	0,01
22 Råspont	500	0,11
Takbalkar 45x220 c1200	500	0,04
Summa	---	0,18

Tungt alternativ	kg/m³	kN/m²
Betongpannor	1700	0,4
Bärläkt 25x38	400	0,01
Ströläkt 28x70 c600	400	0,01
50 Isolering EPS	-	-
2,5 Papp YEP2500	2,5 kg/m ²	0,01
22 Råspont	500	0,11
Takbalkar 45x220 c1200	500	0,04
Summa	---	0,57

3.1.2.2 Yttervägg

De bärande ytterväggarna är utformade som skiv-regelväggar. Här består det tunga alternativet av tegel som ytskikt medan det lätta har en fasad med 22 mm träpanel.

Tabell 3 - Egentyngder för ytterväggar

Lätt alternativ	kg/m³	kN/m²
22 Panel	400	0,09
13 Vindskiva, gips	900	0,11
45x145 Regelverk c450	500	0,07
145 Isolering	-	-
13 Gips	900	0,11
Summa	---	0,38

Tungt alternativ	kg/m³	kN/m²
108 Tegel	1300	1,38
Luftspalt	0	0
30 Stenull	-	-
13 Vindskiva, gips	900	0,11
45x145 Regelverk c450	500	0,07
145 Isolering	-	-
13 Gips	900	0,11
Summa	---	1,67

För det tunga alternativet har ytterväggen en fasad av tegel vilken fästs med kramlor till den bärande stommen. Kramlornas funktion är att överföra horisontella lasterna till den bärande stommen medan tegelfasaden är självbärande i vertikalled. Då kramlorna inte kan överföra några vertikala laster som egentyngden från tegel, måste den gynnsamma lasten för det tunga alternativet reduceras så att teglet inte utnyttjas. Den nya gynnsamma lasten blir istället $q_{yv} = 0,29 \text{ kN/m}^2$.

3.1.2.3 Mellan- och vindbjälklag

Mellan- och vindbjälklag har samma uppbyggnad i både det tunga och lätta alternativet.

Tabell 4 - Egenvikter för bjälklag

Mellanbjälklag	kg/m ³	kN/m ²
15 Parkett	500	0,07
22 Spånskiva	600	0,13
45x220 C24 c600	500	0,08
28x70 Glespanel c300	400	0,03
12 Takskiva	900	0,11
Summa	---	0,42

Vindsbjälklag	kg/m ³	kN/m ²
45x220 C24 c1200	500	0,08
Isolering	-	-
28x70 Glespanel c300	400	0,025
12 Takskiva	900	0,11
Summa	---	0,21

3.1.2.5 Innervägg

De stabiliserande innerväggarna har samma uppbyggnad i både det tunga och lätta alternativet.

Tabell 5 - Egenvikter för innerväggar

	kg/m ³	kN/m ²
13 Gips	900	0,11
45x70 Regelverk c450	500	0,03
13 Gips	900	0,11
Summa	---	0,25

3.1.3 Skivor och förbindare

Skivorna som används är 900 mm breda gipsskivor med placeringar i huset enligt Tabell 6. Eftersom det är gipsskivor som används skruvas skivorna mot träreglarna. Då det är olika skivor med olika styvheter används även olika skruvar. I Tabell 6 visas den dimensionerande bärförmågan för kombinationen av skiva med respektive skruv.

De dimensionerande värdena är direkt tillämpbara på de elastiska metoderna medan de inte är användbara för den plastiska metoden. Brottet som sker när den horisontella bärförmågan överskrids för skiv-regelväggen är oftast att bäddhållfastheten mellan skruv och skiva överskrids, men för ett plastiskt brott bör det istället vara att skruven dras ur virket. Om olika skruvar skulle användas mellan de elastiska och plastiska metoderna skulle det inte gå att jämföra de slutgiltiga horisontella bärförmågorna. För att faktiskt kunna jämföra metoderna med varandra används samma värden, oavsett metod, se Tabell 6.

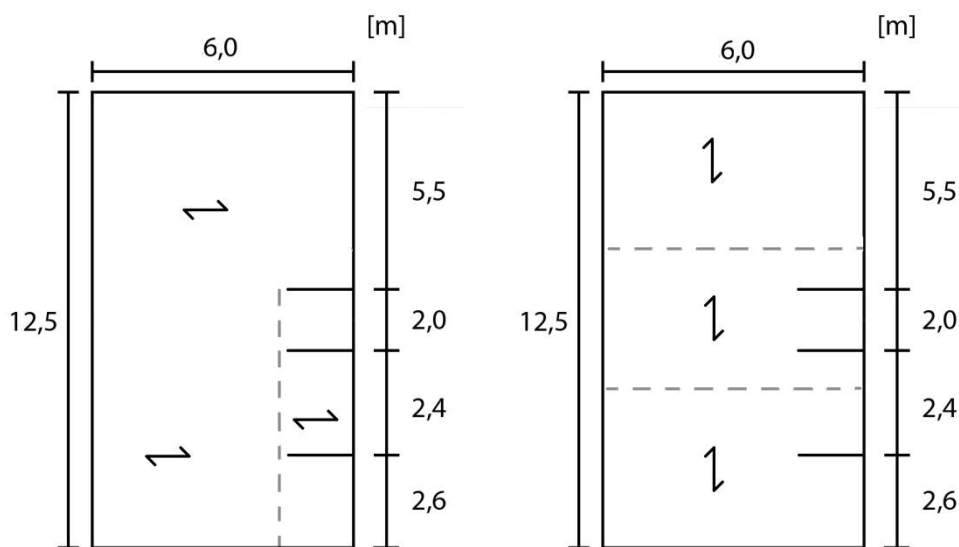
Tabell 6 – Dimensionerande bärförmåga för skruvar för respektive skiva

Skivor på gavel	F _d (N)
Vindskyddsskiva	175
Robust	380

Skivor på trappväggar	
Robust	380
Skivor i badrumsvägg	
Robust	390
Våtrumsskiva	190

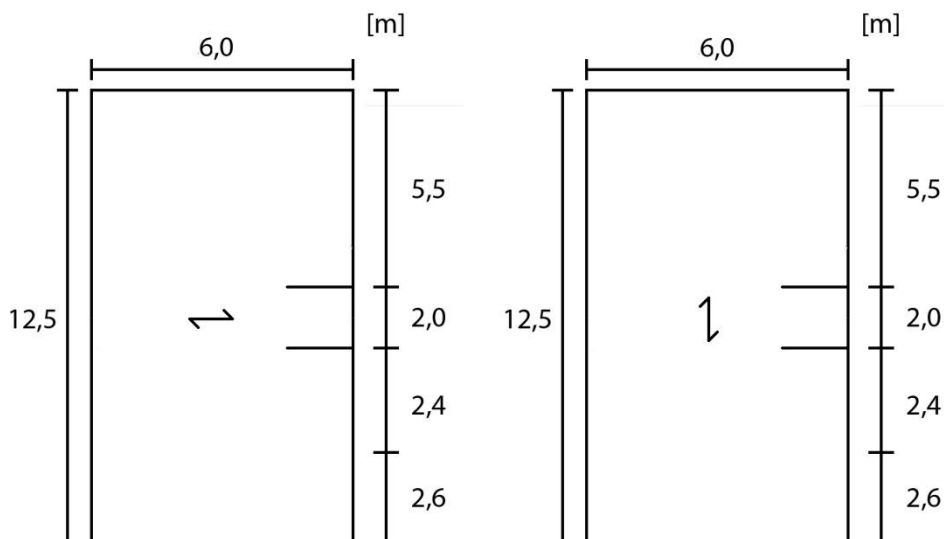
3.1.4 Tak- och bjälklagsorienteringar

I dagsläget byggs husen med bjälklag upplagda enligt Figur 26 till vänster. För att kunna ändra orientering på bjälklagen görs en dimensionering i brottgränstillståndet samt i bruksgränstillståndet där nedböjning och svikt kontrolleras. Enligt beräkningar i bilaga A och G är det godtagbart att ha spännvidder på upp till 4 m vilket passar bra då precis tre fack för bjälklaget kan användas. De tre facken motsvarar 12 m spännvidd och enligt Figur 26 kvarstår då 0,5 m av husets längd vilket är de två ytterväggarnas tjocklekar.



Figur 26 - Bjälklagsorienteringar. Till vänster utan ändrad orientering, till höger med ändrad orientering.

Till vänster i Figur 27 visas hur takstolarnas orientering är idag med en spännvidd på 6,0 m. För att utnyttja takets egentygnder till gavlarna visas även ett förslag med en ändrad orientering till höger i Figur 27. Då det finns takstolar av fackverk som har spännvidder på över 12,5 m utförs ingen dimensionering för den ändrade orienteringen.



Figur 27 - Takets orientering. Till vänster utan ändrad orientering, till höger med ändrad orientering.

3.1.5 Gynnsamma laster

Vid beräkning av vindstabilitet är nedåtriktade krafter gynnsamma då dessa motverkar lyftkrafterna från skivverkan. I detta fall består de gynnsamma lasterna av egentyingder från olika bärverksdelar som tak, vinds- och mellanbjälklag samt inner- och ytterväggar. På grund av att risk för lyftning finns ska lastkombinationen i ekvation (2.2c) användas och enligt denna ska de gynnsamma egentyingderna reduceras med 10 %. Övriga laster som snö och nyttig last får enligt lastkombinationen inte utnyttjas då dessa är gynnsamma.

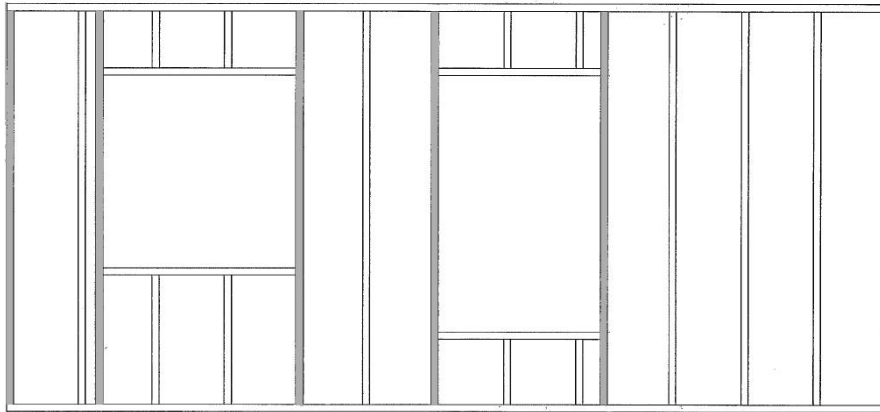
Vid en ändring av bjälklagets och takets orienteringar antas att de belastar de bärande väggarna som linjelaster. De reducerade egentyingderna per kvadratmeter redovisas i Tabell 7.

Tabell 7 - Sammanställning av egentyingder för konstruktionsdelar reducerade med 10 %.

[kN/m ²]	Lätt alternativ	Tungt alternativ
Tak - q_{tak}	0,16	0,51
Bjälklag - q_{bjl}	0,37	0,37
Vindsbjälklag - q_{vindsbjl}	0,18	0,18
Yttervägg - q_{yv}	0,34	1,5
Innervägg - q_{iv}	0,22	0,22

3.1.6 Förankringskrafter

De tre olika förankringsmöjligheterna med fullständigt, partiellt och ej förankrade reglar kommer att undersökas för hur mycket de påverkar den horisontella bärförmågan i de olika metoderna. Förankringarna är placerade vid den första regeln i en vägg samt i de reglar som är direkt efter en öppning, se markerade reglar i Figur 28.



Figur 28 - Reglar som förankras är gråmarkerade.

När reglarna inte är förankrade innebär det att ingen extra förankring av reglar sker till grunden. För den partiella förankringen sätts ett värde på 4 kN i förankringspunkten. Valet av en förankringskraft på 4 kN är endast för att detta är enkelt att åstadkomma med vinkelbeslag och expanderbult. Då det finns beslag som klarar betydligt större förankringskrafter undersöks det inte i detalj vilken kombination av vinkelbeslag och expander som skulle behövas. För den fullständiga förankringen antas att reglarna och förankringen klarar den lyft- och tryckkraft som uppstår fram tills det att skiva eller skruvarna går till brott. För de tre olika fallen är sylten även förankrad mot glidning och egentygder kan utnyttjas som extra förankringskrafter.

3.2 Vindlast

Den dimensionerande vindlasten beräknas endast för att användas som ett referensvärde till vad de olika metoderna erhåller för horisontell bärförmåga. I det här fallet väljs terrängtyp I eftersom många nybyggnationer sker i utkanten av städer samt förorter. Till detta väljs även en referensvindhastighet på 26 m/s. Med en byggnadshöjd $h = 7,55$ m erhålls ur [4], beräknat då vind är huvudlast, ett karakteristiskt vindtryck $q_p = 1,52$ kN/m².

Formfaktorn c_{pe} för vindlast på lovart- och läsidan kan adderas då bjälklaget kommer fördela lasterna på de bärande innerväggarna. Vidare förutsätts bristande korrelationen mellan vind på lovart- och läsidor får då reducera vindtrycket med 0,86 enligt 7.2.2.(3) i [4]. Utan att dela upp huset i olika vindzoner, och genom att bortse från vindens verkan på taket, erhålls följande förenklade last

$$w_e = 1,52 \cdot (0,8 + 0,5) \cdot 0,86 = 1,7 \text{ kN/m}^2$$

Den totala vindlasten beräknad som en punktlast Q i husets centrumlinje fås genom att multiplicera vindlasten med den area den verkar på.

$$Q = b \cdot h \cdot w_e = 12,5 \cdot \left(7,55 - \frac{2,55}{2}\right) \cdot 1,7 = 133 \text{ kN}$$

Vindlastens resultant kommer att jämföras med de dimensionerande bärförmågorna mot horisontella laster som de olika metoderna ger.

3.3 Dimensioneringsmetoder

I detta avsnitt redogörs för hur beräkningarna av den horisontella bärförmågan enligt de olika metoderna utförs. Detta görs genom att för varje kombination av metod och förutsättning beräkna en väggs horisontella bärförmåga. När väggarnas bärförmågor för en kombination är beräknade, kan husets bärförmåga beräknas med de två olika fördelningsmetoderna för horisontella laster enligt kapitel 2.7. Detta görs genom att stegvis öka vindlastens horisontella kraftkomponent Q tills det att någon av väggarnas kapacitet överskrids. För den last då en väggs horisontella bärförmåga överskrids är husets horisontella bärförmåga bestämd.

Nedan beskrivs dimensioneringsgången för en vägg beräknad enligt de olika metoderna.

3.3.1 Elastisk dimensioneringsmetod

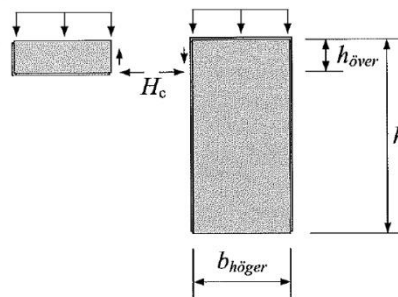
Den elastiska metoden beskriven i [2] är en förenklad metod av den elastiska teorin om skivverkan. För att bestämma bärförmågan för en vägg undersöks hur många skruvar som får plats längs skivans kortsidor, alltså mellan den betraktade skivan och sylLEN samt skivan och hammarbandet.

3.3.1.1 Förutsättningar

Enligt [2] får skivor som har en bredd mindre än $\frac{1}{4}$ av skivhöjden ($\approx 640\text{mm}$) inte användas som stabiliserande mot horisontella laster. För skivor med en bredd mellan $h/4$ och en fullbred skiva på 900mm får endast 25 % av bärförmågan användas.

3.3.1.2 Antaganden

Vid dimensionering av ett delement utnyttjas egentygder för att öka förankringskraften. Här antas att endast egentygden på en bredd, $b_{\text{höger}}$ i Figur 29, upp till 1000mm intill förankringen kan utnyttjas. Ytterligare antas att hälften av de egentygder som finns ovanför öppningar går till höger och hälften går till vänster om öppning.



Figur 29 - Förklarande bild för egentygder. [1]

3.3.1.3 Beräkningsgång

Fullt förankrade regler

För fullt förankrade regler beräknas bärförmågan för varje delement med ekvationerna 2.14 - 2.16. Därefter summeras bärförmågorna till en total horisontell bärförmåga för varje vägg.

Partiellt förankrade regler

I detta fall är delementen förankrade med en kraft på 4 kN mot lyftning där ytterligare förankringskrafter kan tillgodoräknas från egentygder. När den totala förankringskraften är

känd kan den dimensionerande horisontella kraften beräknas genom momentjämvikten enligt ekvation 2.47. För varje delement sätts höjden h till 2,56m och bredden b till det betraktade delementets bredd. När den dimensionerande horisontella bärförmågan är känd bör en kontroll göras så att skruvarna i delementet kan överföra den horisontella kraften. En kontroll bör även göras för skivor mindre än en full skivbredd så att de inte överstiger det reducerade värdet på 25 % av bärförmågan för ett fullt förankrat delement.

Ej förankrade reglar

Dimensioneringen för ej förankrade reglar utförs på samma sätt som för partiellt förankrade reglar, bortsett från att ingen extra förankringskraft på 4 kN finns.

3.3.2 Plastisk dimensioneringsmetod

Den plastiska dimensioneringsmetoden beräknas i enlighet med [1].

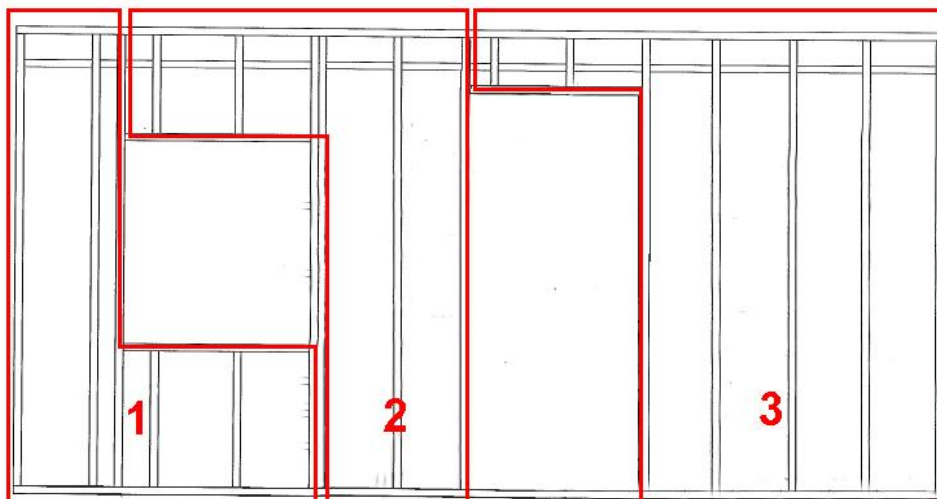
Under den plastiska metoden undersöks tre huvudfall. De tre fallen består av ej förankrade, partiellt förankrade och fullt förankrade reglar. Dessa tre fall kommer att dimensioneras i kombinationer med de två olika orienteringarna av bjälklag och tak samt även för de tunga och lätta alternativen på fasader.

3.3.2.1 Beräkningsgång

Nedan förklaras vilka antaganden som har gjorts under dimensioneringsprocessen.

Geometri

Som första steg kontrolleras väggens geometri samt görs en uppdelning av beräkningsområden. Indelningen bör vara enligt Figur 30, där skivor under öppningar tillhör beräkningsområdet till vänster och skivor över öppningar tillhör beräkningsområdet till höger. Om det istället för en dörr skulle vara ett fönster i Figur 30, skulle skivan under denna öppning höra till beräkningsområde två.



Figur 30 - Indelning av vägg delement.

Skjuvkapacitet f_p

Inom varje delområde undersöks om den plastiska skjuvkapaciteten uppnås inom längden där

skivorna är av fullhöjd. Laster som påverkar är till exempel egentygder från ovan, förankringskrafter samt nedåtriktade krafter från intilliggande skivor under öppningar. För att tydliggöra längden av sträcka l_1 , som krävs för att uppnå den plastiska skjuvkraftskapaciteten, är det enklast att betrakta ett tvärkraftsdiagram som redovisar summan av de förankrande vertikala krafterna längs syllen. Alternativt kan sträckan l_1 beräknas med ekvation 2.18.

Under öppningar

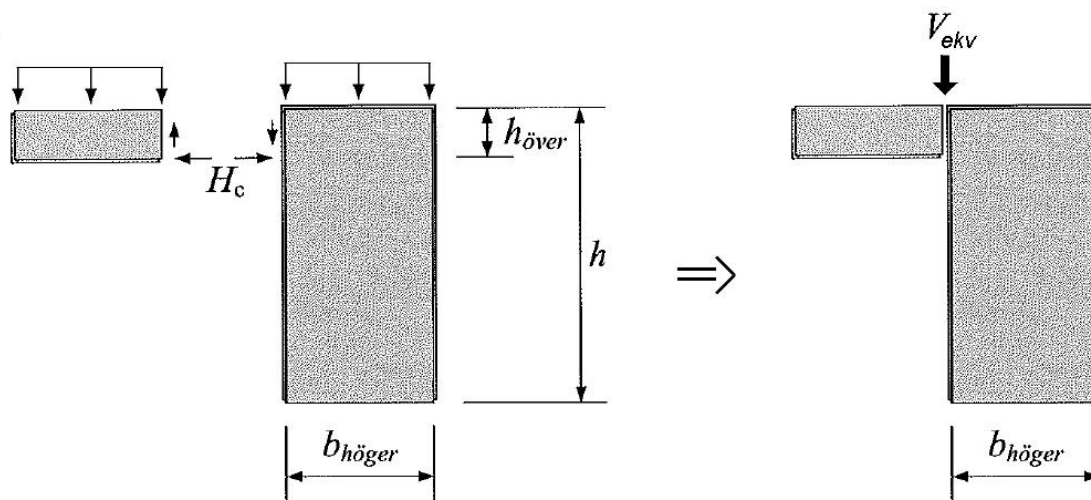
Om den plastiska tvärkraftskapaciteten har uppnåtts innan öppningen, kan även skivan under öppningen utnyttjas för skjuvkraftsöverföring. I vissa fall behöver överföringskapaciteten under öppningar reduceras enligt brottfallen beskrivna i ekvation 2.27. Vid betraktande av skivan under öppningen kommer denna att medföra en tryckande upplagsreaktion på regeln till höger om öppningen. För fallet i Figur 30 skulle detta motsvara en nedåtriktad kraft från den underliggande skivan i område 1 till skivan i område 2. Denna kraft kan här utnyttjas som ett tillskott på förankringskraften. Skulle däremot den plastiska tvärkraftskapaciteten inte uppnås innan öppningen, bortses helt från bidraget från skivan under öppningen.

Över öppningar

Skivor över öppningar har förmågan att överföra egentygder till intilliggande regler. Egentygden som kan överföras får inte vara större än den konsolande skivans överföringskapacitet eller göra så att kontaktkraften H_c krossar skivorna, se Figur 31. Om egentygden skulle vara för stor, tillåts en kraft motsvarande konsolens kapacitet att överföras till regeln till höger om öppningen. Den resterande kraften som överstiger kapaciteten överförs istället till regeln till vänster om öppningen och utnyttjas därmed inte.

Ekvivalenta kraften V_{ekv}

I de olika formlerna ingår ofta den ekvivalenta kraften V_{ekv} , vilken är den vertikala kraftresultanten ovanför en regel och som erhålls från de intilliggande gynnsamma lasterna. Denna tar hänsyn till de gynnsamma lasternas storlekar samt deras inbördes proportionella avstånd till den första regeln i delementet. Vid beräkning av V_{ekv} görs antagande om att den gynnsamma lasten är en utbredd last verkande ovanför skivan.



Figur 31 - Ekvivalenta kraften V_{ekv} .

Effektiv längd

Den effektiva längden bestäms separat för varje beräkningsområde i väggen. Därefter summeras de effektiva längderna till en gemensam längd för att sedan beräkna den dimensionerande horisontella bärförmågan för väggen.

3.3.3 Eurokod - Metod A

3.3.3.1 Förutsättningar

Då två skivor arbetar efter samma kraft-förskjutningskurva får 100 % av båda skivornas horisontella bärförmågor utnyttjas. För två olika skivor med liknande arbetskurvor får 75 % av den svagare skivans horisontella bärförmåga utnyttjas. För övriga bör endast 50 % av den svagare skivans horisontella bärförmåga utnyttjas.

Skivor över och under öppningar samt skivor med en bredd mindre än $h/4$ får inte användas i de stabiliserande beräkningarna.

3.3.3.2 Antaganden

Det antagande som görs är att de olika gipsskivorna har samma kraft-förskjutningskurva. Utifrån det antas att 100 % av kapaciteterna får utnyttjas.

Vid dimensionering av ett delement utnyttjas egentygder för att reducera förankringskraften. För detta antas att endast ovanförliggande egentygder inom en bredd upp till 1000 mm intill förankringen kan utnyttjas. Vidare antas att hälften av de egentygder som finns ovanför öppningar går till höger och hälften går till vänster om öppning.

3.3.3.3 Beräkningsgång

Denna metod kontrolleras endast för fullt förankrade regler eftersom sättet att utnyttja egentygder som förankring är samma som för den elastiska metoden. För partiellt förankrade och oförankrade regler beräknas både den elastiska metodens och eurokod metod A's horisontella bärförmåga utifrån ekvation 2.47 där samma förankringskrafter och skivbredder ingår.

När varje delements horisontella bärförmåga beräknats för de fullt förankrade reglarna, kontrolleras vilken förankringskraft som behövs för delementet. Förankringskraften kan därefter reduceras beroende på vilka egentygder som är gynnsamma.

3.3.4 Eurokod - Metod B

3.3.4.1 Förutsättningar

Skivor över och under öppningar samt delement med bredd mindre än $h/4 = 640$ mm får inte användas.

3.3.4.2 Antaganden

De olika förbindarna antas ha en diameter på 3,5 mm.

Reglarna är av klass C24 och har därmed en karakteristisk densitet på 350kg/m^3 [3].

Vid beräkning av faktorn $k_{i,q}$ antas den gynnsamma lasten verka som en utbredd last längs ovankanten av stommen. I de fall en eventuell punktlast beaktas beräknas denna om till en ekvivalent last q_i och summeras till den övriga utbredda lasten.

3.3.4.3 Beräkningsgång

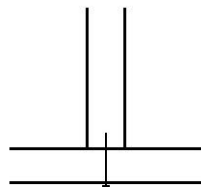
För de partiellt förankrade och oförankrade reglarna följer beräkningsgångarna de ekvationer som är givna i kapitel 2.5.2. För de fullständigt förankrade reglarna definieras inte i metoden vad full förankring innebär och förankringskraften ingår som en parameter för beräkning av den ekvivalent utbredda lasten på delementet. För detta fall utförs beräkningen iterativt där förankringskraften ökar till det att ett maximalt värde för delementets bärförmåga uppnås.

För varje delement i en vägg bestäms de olika faktorerna givna i kapitlet och därefter beräknas den horisontella bärförmågan för varje delement och summeras till väggens bärförmåga.

3.3.5 Modellering med FEM i 3D

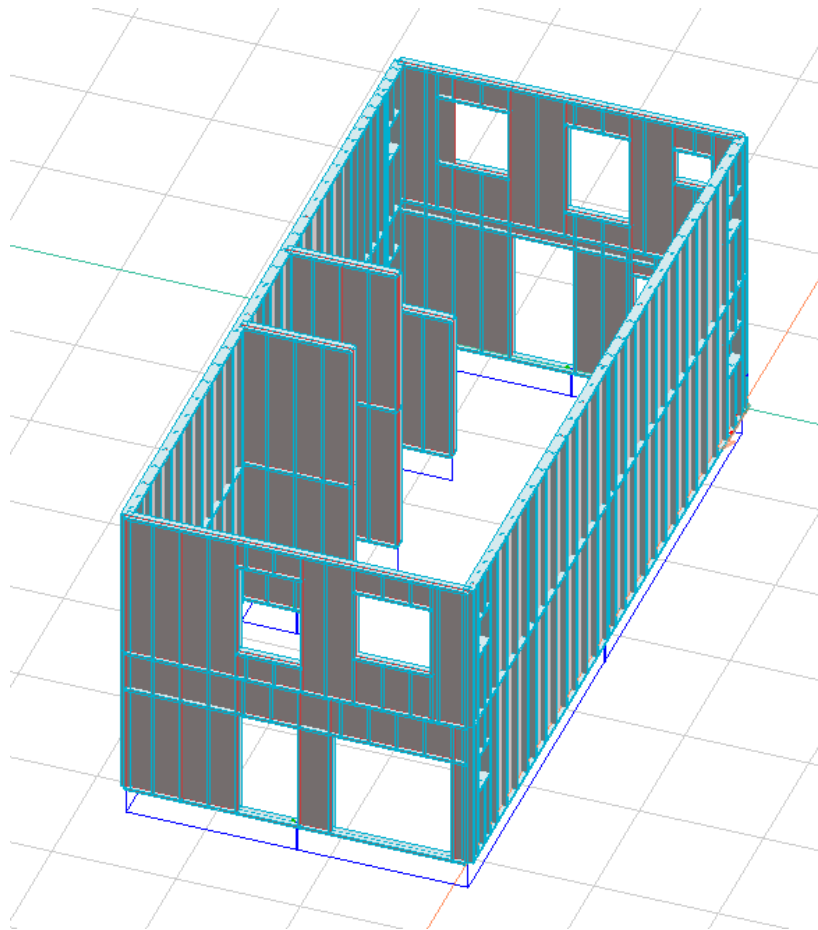
3.3.5.1 Reglar

Vid modellering i 3D ritas först regelstommen upp enligt de väggsektioner som visas i Figur 19 till Figur 25. Alla regler ritas in som 45x170 av virkeskvaliteten C24 och knutpunkterna mellan regler, syll och hammarband definieras som ledade då dessa endast spikas samman med vinkelrät spikning, Figur 32.



Figur 32 - Vinkelrät spikning.

Alla regler som har skivor på båda sidor kan till följd av spikningen mellan skiva och regel ses som avstyvade mot knäckning i den veka riktningen. I modellen sker avstyvningen i veka riktningen genom att ändra knäcklängdens faktor β från 1 till 0,1. I den styva riktningen behålls $\beta = 1$ då upplagen ses som ledade och ingen avstyvning finns i denna riktning.



Figur 33 - Modell av huset.

3.3.5.2 Skivor

I programmet går det inte att modellera skivor på båda sidor om en regel, istället måste två skivor beskrivas som en skiva i mitten på regelstommen. För detta måste skivornas elasticitetsmoduler viktas samman till en gemensam. Egentligen är elasticitetsmodulen något högre för vindgipsen jämfört med den robusta gipsen, men på grund av att den robusta skivan är den som tar mest last används istället dennes elasticitetsmodul. Den viktade skivans tjocklek sätts till den sammansatta tjockleken på 26 mm. Vidare definieras även poissons tal ν till 0,3.

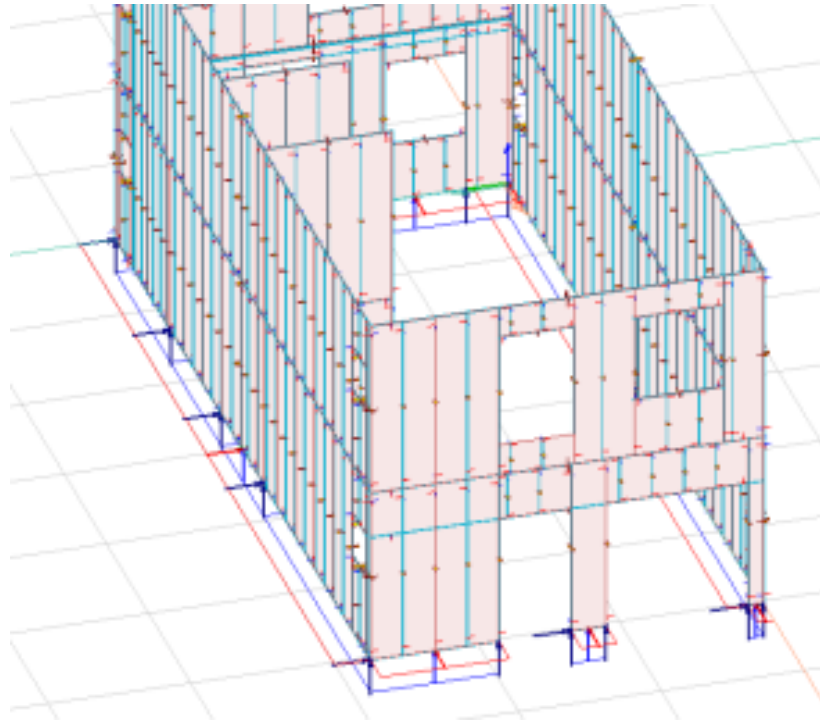
För anslutningen mellan skiva och reglar går det inte att modellera några fästdon. Valmöjligheten är endast mellan att ha ledat förband eller fast inspänt förband. Skivorna skruvas tätt mot reglarna kring skivkanterna samt till regeln längs mitten på skivan, ett rimligt antagande är genom detta att skivan inte roterat kring infästningarna och därav väljs kanterna som fast inspända.

Det som inte syns i Figur 33 är bjälklag och tak. Dessa är transparenta i bilden för att kunna se innerväggar och uppbyggnaden av husets stomme. Bjälklagets och takets främsta syfte är att fördela den horisontella lasten till de stabiliserande skivorna och modelleras därför endast som spånskivor av kvaliteten P6 fastsatta på golvbalkarna (C24-virke).

3.3.5.3 *Upplag*

Långsidor

Längs underkanten på väggarna sätts linjeupplag som bara kan överföra tryckkrafter, detta motsvarar att huset inte är vertikalt förankrat mot grunden. Upplaget sätts även till att ta upp axiella krafter och krafter i sidled motsvarande att syllen är förankrad till grunden, se Figur 34.



Figur 34 – Upplag modellerade i underkant på väggar.

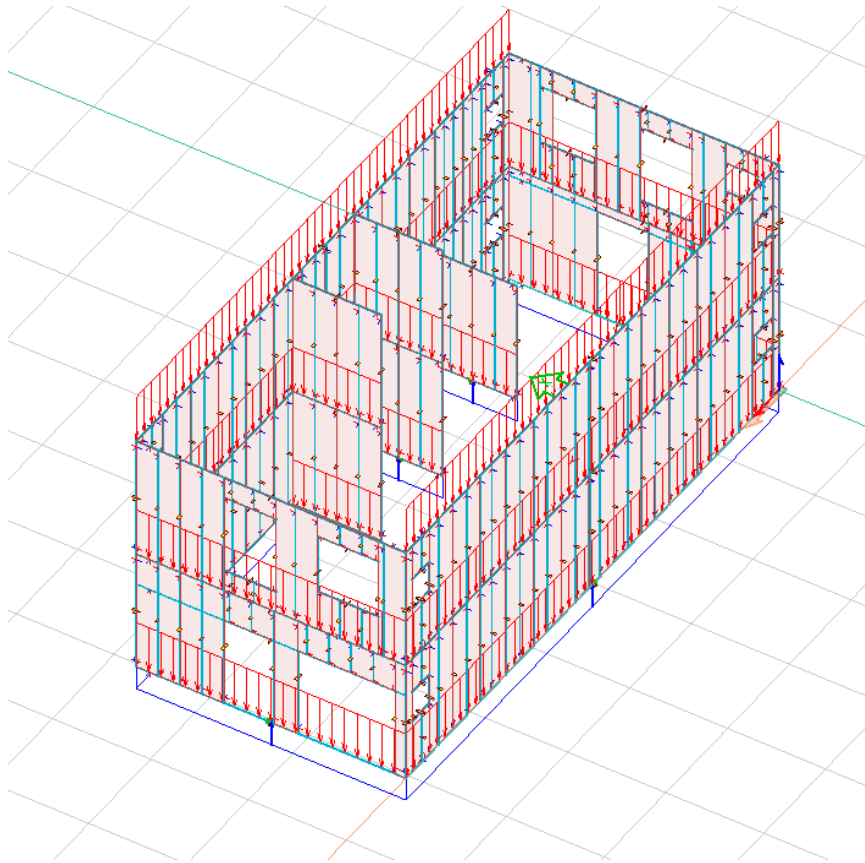
Stabiliserande väggar

Likt väggarna på långsidorna sätts linjeupplag längs underkanten på de stabiliserande väggarna som bara kan överföra tryckkrafter, som motsvarar att huset inte är vertikalt förankrat mot grunden. Linjeupplaget sätts även till att ta upp krafter i sidled för att väggarna inte kan knäcka ut i sidled, vilket även förhindras av syllens förankring till grunden. Vidare sätts ett axiellt punktupplag i slutet på varje delement som kommer att redovisa summan av den horisontella lasten de stabiliserande väggarna överför till grunden.

För att erhålla den fullständiga förankringen sätts punktupplag på motsvarande ställen där förankringskrafterna skulle placeras, det vill säga intill varje öppning i väggarna samt vid väggstart och väggslut.

3.3.5.4 *Egentyngder och horisontell vindlast*

Egentyngderna för respektive vägg, bjälklag och tak placeras ut som linjelaster, se Figur 35. De röda nedåtriktade lasterna visar egentyngder från väggar samt det fall då tak och bjälklag har sina upplag på långsidorna. De blå uppåtriktade pilarna redovisar endast väggarnas upplag.

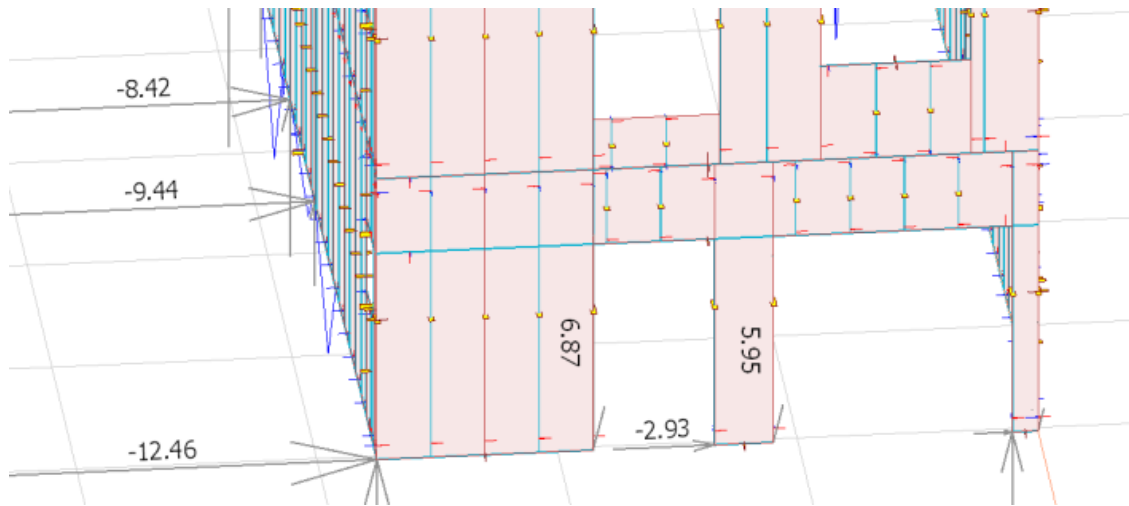


Figur 35 - Placering av laster i modellen. Röda linjelaster är egentyngder och blåa är linjeupplag under väggar.

3.3.5.5 Läsning av resultat av körning

Eftersom programmet är tänkt att dimensionera en konstruktion för redan givna kombinationer av laster blir det komplicerat att istället söka efter den dimensionerande lasten för en given konstruktion. För en normal process definieras de krafter som belastar ett hus, hur huset är uppbyggt med uppskattade dimensioner, upplag och eventuellt andra förutsättningar. Därefter analyseras konstruktionen och resultat redovisas som krafter för vilka man kan kontrollera dimensioner och erhålla krafter för att exempelvis dimensionera ett trä- eller stålförband.

I denna rapport är däremot skivornas bärförmågor för horisontella laster redan definierade med skruvarnas bärförmåga och deras centrumavstånd. För de givna förutsättningarna ska nu istället en dimensionerande horisontell last hittas. Detta måste göras successivt genom att öka eller minska den horisontella lasten på huset beroende på om de stabiliserande väggarnas bärförmågor överskrids eller inte. De horisontella punktupplagen för alla stabiliserande väggar kommer vid beräkningar redovisa den horisontella kraft som en vägg överför, och på så sätt ses hur stor horisontell kraft de stabiliserande väggarna är utsatta för. I Figur 36 ses hur reaktionskrafterna erhålls från en beräkning. De horisontella krafterna (-12,46 kN, -9,44 kN etc.) är väggarnas resultanter för överförd horisontell last till grunden och värdet på t.ex. 6,87 kN är den förankringskraft, inklusive egentyngder, som behövs för att erhålla bärförmågan i delementet.



Figur 36 - Avläsning av reaktionskrafter.

För varje körning måste alla väggar parallellt med den horisontella lasten kontrolleras så att bärförmågan för varje vägg inte överskrids. När den horisontella bärförmågan hittats noteras även de tillhörande förankringskrafterna. Att successivt ändra vindlasten upp och ner för att hitta ett så exakt värde som möjligt är tidskrävande och kommer därför endast att undersökas för fullt förankrade regler för de två fallen av fasad- och takbeklädnad samt de två olika orienteringarna av bjälklag och tak.

3.4 Summering av bärförmågor

När respektive väggs horisontella bärförmåga har beräknats enligt de olika metoderna återstår att beräkna den resulterande bärförmågan för huset som ett system. Detta görs genom att för varje kombination av förutsättningar och beräkningsmetoder kontrollera vilken fördelningsmetod som genererar den största bärförmågan. Den största bärförmågan är den som presenteras och jämförs.

3.4.1 Fördelning av vind till de stabiliserande väggarna parallellt med vinden

Undersökningen görs genom att stegvis öka vindlasten tills det att bärförmågan för något väggelement i huset överskrids. Beräkningar utförs i enlighet med fördelningsmetoden beskriven i kapitel 2.7.1.

Eftersom väggarna i huset är uppbyggda på samma sätt med robusta skivor, antas att den horisontella bärförmågan för en vägg i proportion mot den totala bärförmågan på våningsplanet kunna användas som styvhet för väggen. Detta ger den procentuella fördelningen av den horisontella lasten mellan de olika väggarna.

Väggarnas kraftresultant beräknas och dess verkningslinje, med excentriciteten e från husets mittlinje, bestäms. Excentriciteten e genererar ett moment för vindlasten och det är detta moment som ska fördelas till de stabiliserande väggarna parallellt med vindlasten. För varje iteration görs en kontroll om bärförmågan överskrids för någon av väggarna. Skulle bärförmågan överskridas avbryts itereringen och en resulterande horisontell bärförmåga har bestämts.

3.4.2 Fördelning av vind till de stabiliserande tvärväggarna

Denna undersökning görs på samma sätt som i avsnitt 3.4.1, med skillnaden att momentet istället fördelas till husets tvärväggar, som i detta fall är de två ytterväggarna på långsidorna. När den horisontella bärförmågan hos en vägg överskrids avbryts iterationen och dimensionerande horisontell bärförmåga har bestämts.

3.5 Jämförelse av resultat

Jämförelserna för de olika väggarna och huset sammansatt som en konstruktion görs mellan olika kombinationer av metoder och förutsättningar. Förutsättningarna sätts samman till fall bestående av olika förankringskrafter, egentyngheter på fasader och tak samt olika orienteringar på bjälklag och tak. För dessa jämförs väggarnas och husets horisontella bärförmågor mot varandra för att studera hur olika faktorer påverkar deras bärförmågor.

När reglarna är fullständigt förankrade i huset görs även en jämförelse som redovisar förhållandet mellan behövd förankringskraft och erhållen horisontell bärförmåga. Detta visar dels hur stor horisontell bärförmåga som kan erhållas per förankringskraft, men även sinsemellan metoderna hur väl de utnyttjar förankringarna.

4 Resultat och diskussion

Denna rapport behandlar endast en undersökning av horisontella bärförmågor utifrån vissa förutsättningar. I resultat och diskussioner som följer kommer därför endast den horisontella bärförmågan att diskuteras och benämns därför i korthet endast för bärförmågan för till exempel en vägg, ett delement eller hela huset som ett system.

4.1 Val av kombinationer

Vid beräkningar för oförankrade och partiellt förankrade regler ger den elastiska metoden och Eurokods metod A samma bärförmågor. Detta på grund av att delementens bärförmågor inte är begränsade av skivornas bärförmågor, utan är istället begränsade av den förankringskraft som valts. Eftersom båda metoderna beräknar delementens bärförmågor med ekv. 2.47 blir bärförmågorna samma och redovisas som så under den elastiska metoden.

4.2 Resultat

I bilaga B redovisas sammanställningar av resultat från utförda beräkningar i bilagorna C till F. Från tabellerna har sedan olika bärförmågor valts ut och presenteras under respektive kapitel.

4.2.1 Horisontell bärförmåga

Först görs en jämförelse av de två fördelningsmetoderna där momentet som uppstår antingen kan fördelas till de stabiliserande väggarna parallellt eller vinkelrätt med vindens riktning. För de två fördelningsmetoderna erhålls den största bärförmågan för den metod som utnyttjar tvärväggarna vid fördelningen av momentet, se Tabell 14 och Tabell 15 i bilaga B. I detta fall är det inte ett oväntat resultat då långsidorna, vilka är de tvärväggar som tar upp momentet, har en liten andel fönster och har därför en stor förmåga att ta upp momentet. Om långsidorna däremot skulle ha ett större antal fönster är det inte lika säkert att just denna fördelningsmetod hade varit den bäst lämpade. Man ska därför generellt inte anta en specifik fördelningsmetod, utan bör från fall till fall undersöka vilken fördelning som ska användas. I Tabell 8 presenteras resultatet av bärförmågorna för de olika metoderna och kombinationerna för fördelningsmetoden när momentet fördelas till tvärväggarna.

Tabell 8 - Horisontell bärförmåga för huset vid fördelning av momentet till tvärväggar, [kN].

Metod	Oförändrad orientering		Ändrad orientering	
	Ovanvåning	Bottenvåning	Ovanvåning	Bottenvåning
Elastisk metod				
Oförankrad, Lätt	2,1	6,6	5,8	11,6
Oförankrad, Tung	1,8	5,6	11,2	16,7
Partiellt förankrad Lätt	15,6	23,1	17,5	27,6
Partiellt förankrad Tung	15,2	22,1	20,6	32,5
Fullständigt förankrad	56,8	79,5	56,8	79,5
Eurokod				
Metod A , fullt förankrad	44,6	55,2	44,6	55,2
Metod B				
Oförankrad Lätt	19,3	30	21,7	33,2
Oförankrad Tung	19,1	29,4	25,2	36,4
Partiellt förankrad Lätt	29,9	43,2	32,2	45,3
Partiellt förankrad Tung	29,7	41,6	35,8	48,6

Fullständigt förankrad	76	98,1	76	98,1
Plastisk metod				
Oförankrad Lätt	20,4	32,3	22,6	39,7
Oförankrad Tung	20,4	31,2	33	44,3
Partiellt förankrad Lätt	35,1	49,2	40,6	55,1
Partiellt förankrad Tung	35,1	48,5	46,9	59
Fullständigt förankrad	84,3	88,4	84,3	88,4
FEM modell				
Fullständigt förankrad, Lätt		75,5		74,8
Fullständigt förankrad, Tung		77,1		73,8

Baserat på Tabell 8 sammanställs under respektive kapitel nedan bärförmågorna i mindre tabeller för att enklare kunna jämföra metoderna sinsemellan.

4.2.1.1 Oförankrade regler

I Tabell 9 redovisas resultaten för bärförmågorna av ovan- och bottenvåningen för oförankrade regler. Då bjälklag och tak har sina upplag på långsidorna, den oförändrade orienteringen, är skillnaderna små för de olika tunga alternativen i metoderna. Det är först när de gynnsamma egentyngderna ökar genom att ändra på orienteringarna som det blir större skillnader på bärförmågorna. Störst skillnader, med avseende på bärförmåga, blir det för den plastiska bärförmågan vilket visar på att denna bäst kan utnyttja de gynnsamma lasterna. Däremot är den procentuella ökning betydligt mycket större för den elastiska metoden och Metod A, detta är endast för att bärförmågorna vid oförändrad orientering är små och vid en ändring av orienteringen ökar egentyngderna markant och då även bärförmågan för dessa två metoder.

I Tabell 9 presenteras ökningen i form av ökad bärförmåga samt som den procentuella ökningen för hur en förändring av orienteringarna av tak och bjälklag kan påverka resultatet.

Tabell 9 - Jämförelse av resultat för oförankrade regler, [kN].

Ovanvåning	Oförändrad orientering	Ändrad orientering	Ökning av bärförmåga	%
Elastisk metod & Metod A				
Lätt	2,1	5,8	3,7	176
Tung	1,8	11,2	9,4	522
Metod B				
Lätt	19,3	21,7	2,3	12,3
Tung	19,1	25,2	6,1	32,2
Plastisk metod				
Lätt	20,4	22,6	2,2	11,1
Tung	20,4	33	12,6	61,7
Bottenvåning				
Elastisk metod & Metod A				
Lätt	6,6	11,6	5	75
Tung	5,6	16,7	11,1	198
Metod B				
Lätt	30	33,2	3,1	10,5
Tung	29,4	36,4	7,04	23,9

Plastisk metod				
Lätt	32,3	39,7	7,3	22,8
Tung	31,2	44,3	13	41,8

4.2.1.2 *Partiellt förankrade regler*

För de partiellt förankrade reglarna, se Tabell 10, visar resultaten på högre bärförmågor än för de oförankrade där de i snitt har ökat med 35 % genom att endast förankra reglarna med 4 kN extra. När orienteringarna är oförändrade är skillnaderna mellan det tunga och lätta alternativet små inom varje beräkningsmetod. Dock ses att det även här att den plastiska metoden har högre bärförmåga och att skillnaden mellan metoderna ökar då orienteringen ändras. Den plastiska metoden har i snitt mer än dubbelt så stor bärförmåga jämfört med den elastiska metoden och i snitt 20 % högre än Metod B.

Tabell 10 - Jämförelse av resultat för partiellt förankrade regler, [kN].

Ovanvåning	Oförändrad orientering	Ändrad orientering	Ökning av bärförmåga	%
Elastisk metod & Metod A				
Lätt	15,6	17,5	1,9	12,2
Tung	15,25	20,6	5,4	35,5
Metod B				
Lätt	29,9	32,2	2,3	7,8
Tung	29,7	35,8	6	20,3
Plastisk metod				
Lätt	35,1	40,6	5,3	15,7
Tung	35,15	46,99	11,84	33,6
Bottenvåning				
Elastisk metod & Metod A				
Lätt	23,11	27,68	4,57	19,7
Tung	22,16	32,5	10,34	46,6
Metod B				
Lätt	43,23	45,37	2,14	4,9
Tung	41,64	48,6	6,96	16,7
Plastisk metod				
Lätt	49,27	55,14	5,87	11,9
Tung	48,52	59,09	10,57	21,7

Enligt resultaten ovan för både oförankrade och partiellt förankrade regler ger den plastiska metoden konsekvent högre bärförmåga än övriga metoderna. Detta visar på att den plastiska metoden bäst utnyttjar egentygnder, förankringskrafter och skivor jämfört med den elastiska metoden och metoderna A och B.

4.2.1.3 *Fullständigt förankrade regler*

Vid jämförelse av de horisontella bärförmågorna i Tabell 11 ses stora skillnader mellan metoderna där den plastiska metoden ger högst bärförmåga på ovanvåningen och metod B på

bottenvåningen. Den som ger lägst bärförmåga är Eurokods Metod A medan den elastiska metoden och 3D-modellen ger sinsemellan liknande bärförmågor.

Tabell 11 - Horisontell bärförmåga för fullt förankrade reglar, [kN].

Ovanvåning	Bärförmåga	
	Ändrad orientering	Oförändrad orientering
Elastisk metod	56,8	56,8
Metod A	44,6	44,6
Metod B	76	76
Plastisk metod	84,3	84,3
3D-modell	-	-
Bottenvåning		
Elastisk metod	79,5	79,5
Metod A	55,2	55,2
Metod B	98,1	98,1
Plastisk metod	88,4	88,4
3D-modell, Lätt	75,5	74,8
3D-modell, Tung	77,1	73,8

För alla metoder, utom 3D-modellen, förändras inte bärförmågorna beroende på olika tunga fasader eller orienteringar av bjälklag och tak. Istället kan förankringskraften som behövs för reglarna reduceras olika mycket beroende på metod och kombination av orienteringar och fasadtyp. Förankringskrafterna jämförs mer noggrant i kapitel 4.2.2.

För 3D-modellen sänks bärförmågan då egentygnderna förflyttas från långsidan till gavlarna. Detta kan förklaras genom att de lyftkrafter skivverkan åstadkommer i väggarna överförs via bjälklagen till långsidorna i huset. Ett test med att höja styvheten för bjälklaget medförde att förankringskrafterna minskade ytterligare.

4.2.2 Förankringskrafter

De förankringskrafter som används i de oförankrade och partiellt förankrade fallen är på förhand definierade till 0 kN respektive 4 kN. Då förankringskrafterna redan är bestämda är det endast av intresse att jämföra hur dessa påverkar bärförmågan enligt kapitel 4.2.1.1 och 4.2.1.2. I Tabell 12 presenteras vad de fullt förankrade reglarna behöver förankras med för att erhålla den bärförmåga de stabiliserar för. Förankringskrafterna som presenteras i tabellen är reducerade för den egentygnd respektive metod kan utnyttja.

Tabell 12 - Förankringskrafter för de fullt förankrade reglar. Oförändrad och ändrad syftar till orienteringen av bjälklag och tak, [kN].

Vägg	1a	1b	2a	2b	2c	Trappvägg	Badrumsvägg
FEM-modell							
Lätt, oförändrad	3,1	0,8	3,5	6,6	5,6	11,6	9,4
Tung, oförändrad	3,3	1	3,5	6,8	5,9	11,4	9,5
Lätt, ändrad	2,1	0	3	4,8	3,7	11,4	10,2
Tung, ändrad	1,4	0	2,2	3,8	2,4	11,1	10
Elastisk metod							
Lätt, oförändrad		15,5	3,3	15,6	15,5	23,1	17
Tung, oförändrad		16	3,5	16,1	16	23,1	17
Lätt, ändrad		12,5	2	12,7	12,5	23,1	17,9
Tung, ändrad		9,7	0,9	10	9,7	23,1	17,9
Metod A							
Lätt, oförändrad		10,2	7	9,4	10,2	15,9	10,4
Tung, oförändrad		10,8	7,3	9,9	10,8	15,9	10,4
Lätt, ändrad		7,2	5,7	6,4	7,2	15,9	11,3
Tung, ändrad		4,4	4,6	3,8	4,4	15,9	11,3
Metod B							
Lätt, oförändrad		44,5	15,5	21,3	44,5	46	45
Tung, oförändrad		45,1	15,9	21,7	45,1	46	45
Lätt, ändrad		41,7	13,9	19,4	41,7	46	46,5
Tung, ändrad		39,2	12,4	17,7	39,2	46	46,5
Plastisk metod							
Lätt, oförändrad	16	15,1	16,6	10,1	15,1	23,1	16,5
Tung, oförändrad	16,4	15,7	16,8	10,7	15,7	23,1	16,5
Lätt, ändrad	12,9	11	15,3	6	11,2	23,1	17,9
Tung, ändrad	10,4	7,4	14,1	2,9	9,4	23,1	17,9

I Tabell 12 är fälten tomma vid vägg 1a för den elastiska metoden, metod A och metod B. Anledningen till detta är att vägg 1a har en bredd på mindre än $h/4$ och får i dessa metoder inte utnyttjas.

Det som tydligt ses i jämförelse mellan den elastiska och plastiska metoden är att den plastiska generellt har lägre värden för alla förankrings krafter. Dock är det en stor skillnad för väggarna 1a och 2a med anledningen att dessa delelement är mindre än en full skivbredd på 900 mm och har därför reducerats till 25 % av bärförmågan i den elastiska metoden. När bärförmågan reduceras minskar även behovet av förankringskraft. Bortsett från dessa är alltså förankringskrafterna mindre för den plastiska jämfört med den elastiska metoden. Till detta bör tilläggas att den plastiska även har en större horisontell bärförmåga för huset som ett helt system.

För 3D-modelleringen erhålls låga värden på förankringskrafterna jämfört med de andra metoderna. Detta kan delvis förklaras av att golvbjälklaget och takbjälklaget har en viss förmåga att ta upp uppåtriktade krafter och fördela detta till andra väggar som kan motverka lyftningen. Detta till skillnad från de andra beräkningsmetoderna som endast kan utnyttja egentyngderna från andra konstruktionsdelar.

Den metod som sticker ut mest i undersökningen jämfört med de övriga metoderna är metod B med, för de flesta väggelement, betydligt större behov av förankringskrafter.

Ytterligare jämförs förhållandet för de summerade förankringskrafterna för varje kombination och metod i förhållande till den totala bärförmågan, se Tabell 13. För förhållandet redovisas i form av hur stor horisontell bärförmåga som erhålls per förankringskraft, där ett högre förhållande visar på bättre utnyttjande av förankringskrafter.

Tabell 13 - Förhållande mellan förankringskraft och horisontell bärförmåga, [kN].

	Σ Summa av förankringskrafter	Horisontell bärförmåga	Förhållande [kN] / [kN]
FEM-modell			
Lätt, oförändrad orientering	52,5	75,5	1,43
Tung, oförändrad orientering	53,2	77,1	1,44
Lätt, ändrad orientering	46,9	74,8	1,59
Tung, ändrad orientering	42,3	73,8	1,74
Elastisk metod			
Lätt, oförändrad orientering	113,5	79,5	0,7
Tung, oförändrad orientering	115,3		0,69
Lätt, ändrad orientering	104,1		0,76
Tung, ändrad orientering	94,8		0,83
Metod A			
Lätt, oförändrad orientering	79,3	55,2	0,69
Tung, oförändrad orientering	81,1		0,68
Lätt, ändrad orientering	69,8		0,79
Tung, ändrad orientering	60,4		0,91
Metod B			
Lätt, oförändrad orientering	263,1	98,1	0,37
Tung, oförändrad orientering	265		0,37
Lätt, ändrad orientering	255,2		0,38
Tung, ändrad orientering	247,1		0,39
Plastisk metod			
Lätt, oförändrad orientering	135,8	88,4	0,65
Tung, oförändrad orientering	138,3		0,63
Lätt, ändrad orientering	120,9		0,73
Tung, ändrad orientering	108,7		0,81
Plastisk metod utan Vägg 1a			
Lätt, oförändrad orientering	119,8	85	0,71
Tung, oförändrad orientering	121,9		0,69
Lätt, ändrad orientering	107,9		0,78
Tung, ändrad orientering	98,3		0,86

För den elastiska metoden och metod A är förhållandena mellan förankringskraft och bärförmåga lika, som sig bör då de grundar sig på samma elastiska skivteori. Den plastiska metoden visar på lite lägre förhållanden jämfört med de elastiska metoderna, vilket beror på att fler mindre delelement ska förankras för att erhålla den något större bärförmågan. Skulle däremot exempelvis delelementet på 0,49 m (vägg 1a), som inte finns med i den elastiska

metoden och metod A, helt bortses från i den plastiska metoden erhålls ett förhållande som är liknande förhållandet för den elastiska metoden har, se de sista raderna i Tabell 13.

Att notera är att Eurokods Metod A har liknande förhållande mellan förankringskrafter och bärförmåga som den elastiska och den plastiska metoden. Däremot är bärförmågan betydligt lägre för Metod A, vilket är den rekommenderade beräkningsmetoden som ska användas i dagens standard.

Den högre bärförmågan hos den plastiska metoden till skillnad från den elastiska metoden kan delvis förklaras med hur metoderna är uppbyggda. Till skillnad från den elastiska får den plastiska metoden utnyttja fler skivor som stabiliserande mot horisontella laster. Det större skivantalet består av skivor som har en bredd på mindre än $h/4$, samtidigt som skivor under öppningar bidrar med både horisontell bärförmåga och förmågan att överföra en viss förankringskraft till intilliggande skiva.

3D-modellen visar på klart bäst förhållande mellan förankringskraft och bärförmåga. En trolig förklaring är att bjälklagen har en förmåga, med sin styvhet, att överföra de uppåtriktade krafterna via bjälklaget till intilliggande väggar som kan förhindra att väggarna lyfts. Att överföra en del av krafterna via bjälklaget ger att lägre förankringskrafter behövs. Ytterligare en förklaring kan vara att modellen innebär att en större del av egentyingderna utnyttjas för att minska på förankringskrafterna. Trots att 3D-modellen har lägre förankringskrafter erhåller den liknande värden för horisontell bärförmåga som den elastiska metoden.

Den sämsta metoden på att utnyttja förankringskrafter är metod B med en utnyttjande grad på ungefär hälften jämfört med de övriga metoderna.

Som extra förankringskrafter kan tvärväggar utnyttjas i den plastiska metoden. I denna rapport har detta bortsetts ifrån då det dels i det betraktade huset finns fönster nära gavlarna och dels är rapporten inriktad på hur egentyingder och ändring av orienteringar av bjälklag och tak kan påverka den horisontella bärförmågan. I de beräkningar som gjorts kan de partiella och fullständiga förankringarna antingen bestå av endast en typ av förankring som kemankare till grunden, alternativt kan förankringen vara sammansatt av flera olika förankringar som tvärväggar och varianter av skruv och vinkeljärn till grunden.

4.3 Ändring av bärlinornas orientering

Genom att ändra orienteringen på bjälklag och tak förflyttas egentyingderna från långsidorna till gavlarna. De större lasterna på gavlarna erhållna från egentyingderna, kan utnyttjas som förankringskrafter för de oförankrade och partiellt förankrade reglarna och leder i sin tur till ökad horisontell bärförmåga. För de fullt förankrade reglarna kan lasterna istället utnyttjas för att minska på förankringskrafterna för att fortfarande vara fullständigt förankrade. För de oförankrade och partiellt förankrade reglarna ökar bärförmågan för det lätta alternativet med 10 – 20 % och för det tunga alternativet ca 20 – 40 % för i princip alla metoder, se Tabell 9 och Tabell 10 ovan. För de fullt förankrade reglarna kan, genom ändringen, förankringskraften reduceras med mellan 20 – 40 % för det lätta alternativet och med mellan 35 – 60 % för det tunga alternativet, se Tabell 47 i bilaga H.

Det är endast för 3D-modellen som en ändring av bjälklagets och takets orienteringar påverkar bärförmågorna negativt. Skillnaden är endast ett par procent lägre horisontell bärförmågorna för en ändrad orientering medan förankringskrafterna som behövs reduceras med 10 % för det lätta alternativet och med 20 % för det tunga alternativet.

4.4 Beräkningsmässiga skillnader mellan metoderna

Vid beräkningar insågs snabbt att den elastiska metoden samt Metod A är enklare och snabbare i beräkningsgången. Detta främst för att de tar hänsyn till färre parametrar än den plastiska metoden och Metod B och därigenom har mindre antal kontrollpunkter och koefficienter som ska beräknas och undersökas.

Den mest tidskrävande metoden är den plastiska metoden som kräver många beräkningssteg för att erhålla ett slutgiltigt dimensionerande värde. Till samma kategori hör Metod B som kräver en del beräkningar, dock inte riktigt lika många som den plastiska metoden.

Den datorbaserade 3D-modelleringen med hjälp av FEM är svår att jämföra med de övriga metoderna. Tidsmässigt tar det tid att bygga upp modellen samt att definiera alla laster, upplag etc. Fördelen, när modellen väl är uppbyggd, är att den kan utnyttjas till väldigt mycket mer än att bara kontrollera stabiliteten mot horisontella laster. Exempel på områden är lastnedräkning och dimensionering av konstruktionen för olika lastkombinationer. Nackdelen, främst vid betraktande av vindstabilitet, är att olika skivor samtidigt inte kan användas på olika sidor om reglarna utan måste viktas samman till en skiva och placeras vid mitten på reglarna. Vidare så kan man inte heller styra kraftflödet till olika väggar beroende på hur tät skruvningen är av skivorna på olika väggar. En skiv-regelvägg med skruvning s400 mm deformeras mycket mer än samma vägg med skruvning s100 mm för samma last. Genom att använda olika täta skruvningar kan fördelningen av horisontella laster till exempel styras dit det förslagsvis är enklare att förankra reglarna. En möjlig metod att beakta infästningarnas styvhet och antal kan vara att beräkna en fiktiv styvhet för en skiva som sedan används i FEM-modellen. Den fiktiva styvheten skall ge väggen egenskaper motsvarande de som fås genom att använda den elastiska metoden.

4.5 Eurokod och dess inverkan på horisontell bärförmåga

Den 2:a Maj 2011 infördes Eurokod och dess regelverk som standard för dimensionering av konstruktioner. I tidigare normen BKR (Boverkets Konstruktionsregler) togs ingen hänsyn till hur dimensioneringen av stabilitet mot horisontella laster utfördes med skivverkan för träregelstommar med skivbeklädnader. Tidigare användes den elastiska metoden beskriven ovan och framöver ska dimensionering istället göras enligt Eurokod.

I Eurokod SS-EN 1995-1-1 finns metoderna A och B presenterade med respektive förutsättningar, antaganden och hur metoderna ska användas, där rekommendation är att Metod A ska användas. Till skillnad från den elastiska metoden, som tidigare använts, ska en strängare reduktionsfaktor c_i användas för skivor med en bredd mindre än halva höjden ($h/2$). För det betraktade huset där skivor med en bredd på 900 mm används, medför detta en sänkt bärförmåga med 30 %, enligt Tabell 13, för fullt förankrade reglar jämfört med den elastiska metoden.

Utanför rapportens avgränsningar har även en vindlast beräknats enligt Eurokods och BKR:s regelverk för det betraktade huset. Detta har endast gjorts för att presentera vilka skillnaderna är och hur det påverkar stabiliseringen mot horisontella laster.

I båda metoderna har likvärdiga områden för terrängtyp och referensvindhastighet valts att analysera. Jämförelsen utförs för vind på väggar och vind på pulpet- och sadeltak.

Väggar

När vinden belastar väggar är skillnaden marginell mellan Eurokod och BKR.

$$\text{BKR ger } \left. \begin{array}{l} \mu_{lo} = 0,86 \\ \mu_{lä} = 0,26 \end{array} \right\} = 1,12$$

$$\text{Eurokod ger } \left. \begin{array}{l} c_{pe,lo} = 0,8 \\ c_{pe,lä} = 0,5 \end{array} \right\} = 1,3 \cdot 0,85 = 1,1$$

Vilket endast, beroende på formfaktorn, är en skillnad på 1,3 %.

Tak

När vinden belastar pulpet- eller sadeltak med låg lutning ($< 5^\circ$) är det i princip ingen skillnad mellan de två normerna. Det är vanligt att pulpettak har en låg lutning medan det för sadeltak är vanligare med lutningar mellan 20° och 30° . Då den karakteristiska vindlasten är lika kan en jämförelse av formfaktorerna mellan Eurokod och BKR för ett sadeltak istället göras. Som ett standardvärde jämförs det med en lutning på 25° och erhåller följande skillnad.

$$\text{BKR ger } \left. \begin{array}{l} \mu_{lo} = 0,2 \\ \mu_{lä} = 0,32 \end{array} \right\} = 0,52$$

$$\text{Eurokod ger } \left. \begin{array}{l} c_{pe,lo} = 0,33 \\ c_{pe,lä} = 0,4 \end{array} \right\} = 0,73$$

För sadeltak med en lutning på 25° ger Eurokod en ökning av vindlasten med 40 %. För en lutning på 30° är ökningen 16 %, så det är inte generellt en ökning på 40 %, utan ökningen varierar beroende på lutning.

5 Slutsats

Syftet med rapporten var att undersöka hur val av beräkningsmodell påverkar fördelning av laster och väggars kapacitet med avseende på stabilisering av småhus samt om möjligt se vilken modell som ger bäst resultat. Resultatet visar att den plastiska metoden och 3D-modellen är bäst anpassade för dimensionering mot horisontella vindlaster. Den plastiska metoden anses bättre än de övriga metoderna då den erhåller nästan högst horisontell bärförmåga samtidigt som förhållandet mellan horisontell bärförmåga och behövd förankringskraft är bra i jämförelse med de andra metoder. 3D-modellen däremot har det absolut bästa förhållandet mellan beräknad horisontell bärförmåga och förankringskraften och är således också en bra kandidat till val av metod. Högst horisontell bärförmåga erhåller metod B, men har det absolut sämsta värdet i förhållandet mellan horisontell bärförmåga och förankringskraft. Förankringskrafterna för metod B är väldigt stora och kommer i hus som i denna rapport vara väldigt svåra att förankra mot. Metod B är på grund av detta inte en rekommenderad metod att använda.

Enligt beräkning av ett hus med detta utseende byggt i terrängtyp I och i ett område med referenshastigheten för vind på $v_b = 26$ m/s är den horisontella resultanten från vindlast 133 kN. Med bärförmågor för de olika metoderna på runt 75 kN till 85 kN skulle således ännu styvare skivor, förslagsvis plywood, behöva användas. Med högre horisontella laster och styvare skivor ökar även förankringskrafterna som behövs ytterligare. Som rekommendation är det i så fall att dimensionera det stabiliserande systemet med hjälp av 3D-modellering då förankringskrafterna blir betydligt mindre än för de övriga beräkningsmetoderna och fortfarande är möjliga att förankra på ett rimligt sätt. Denna rekommendation trots den begränsade valmöjligheten i metoden.

Om en 3D-modellering inte är möjlig ska de stabiliserande väggarna dimensioneras enligt Eurokod, antingen Metod A eller B. Detta är en klar nackdel då bärförmågan är betydligt sämre än övriga metoder. För detta bör, enligt förutsättningarna i denna undersökning, orienteringarna för bjälklag och tak ändras samt även använda en tung stomme för att i möjligaste mån minska på förankringskrafterna.

Vid en dimensionering enligt den plastiska teorin förutsätts att större deformationer av delementen i väggarna tillåts. Om projektet tillåter större deformationer bör, istället för metod A och B, den plastiska metoden användas vilken har betydligt bättre förutsättningar och ger högre horisontell bärförmåga.

6 Referenser

- [1] B. Källsner, U.A. Girhammar, *Horisontalstabilisering av träregelstommar, Plastisk dimensionering av väggar med träbaserade skivor*, SP Rapport 2008:47
- [2] *Gyproc Handbok, System för lättbyggnadsteknik*, Gyproc, 2003
- [3] T. Isaksson, A. Mårtensson. *Byggkonstruktion – Regel- och formelsamling*, Studentlitteratur, Lund, 2010
- [4] Svensk Standard SS-EN 1991-1-4:2005, *Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 1-4: Allmänna laster – Vindlast*, 2008-10-16
- [5] Svensk Standard SS-EN 1995-1-1:2004, *Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner – Gemensamma regler och regler för byggnader*, 2009-05-20
- [6] Statens byggeforskningsinstitut, *SBI-anvisning 193: Träkonstruktioner, Beregnin*, Quickly Tryk A/S, 2000
- [7] T. Degerman, S. Åkerlund, *Stabilisering av småhus – Beräkningsmodeller för horisontella bärverk*, TVBK3006, 1979
- [8] Boverket.se EKS 8, *Avdelning G – Tillämpning av EN 1995*, 2012-01-06

Bilaga A – Gynnsamma laster

I denna bilaga räknas de gynnsamma lasterna i form av egentyingder från bjälklag, tak och vindsbjälklag om till linjelaster som verkar på väggarna. Egentligen verkar dessa laster genom bjälkarna och takbalkar ut till väggarna. Reaktionen från golvbjälkarna ger punktlaster på väggen. Punktlasterna förenklas här till att verka som en linjelast i väggen.

Bjälklag

Vid ändrad bärriktning av bjälklagen krävs att en kontroll görs för svikt och utböjning av golvet.

I sviktkontrollen utförd i bilaga F fås att ett bjälklag kan ha en spännvidd upp på 4,15 m. Eftersom villan har en längd på 12,5 m som yttermått kan tre fack med spännvidder på 4,0 m användas.

För utböjning görs en kontroll då nyttig last är huvudlast i det karakteristiska bruksgränstillståndet. Den utbredda lasten q längs en balk bestäms från ekvation 2.3a.

$$q = 1,0 \cdot G_{kj} + 1,0 \cdot Q_{k,1} + \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Golvbjälkarna har ett inbördes avstånd på cc600 mm och belastas endast med en egentyingd på $0,42 \text{ kN/m}^2$ samt en nyttig last på 2 kN/m^2 . Detta ger den utbredda lasten q längs en golvbjälke till

$$q = (1,0 \cdot 0,42 + 1,0 \cdot 2) \cdot 0,6 = 1,45 \text{ kN/m}$$

Utböjningen v blir, med spännvidden $l = 4,0 \text{ m}$,

$$v = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot EI_l} = \frac{5 \cdot 1,45 \cdot 4^4}{384 \cdot 762732} = 6,2 \text{ mm}$$

Där EI_l beräknats under sviktkontrollen.

Vid dimensionering av bjälklag är en utböjning på $L/300$ acceptabelt vilket motsvarar $4000/300 = 13,3 \text{ mm}$. En utböjning på $6,2 \text{ mm}$ är då ok.

Som förenkling beräknas upplagsreaktionen från bjälklaget på väggen som ett linjeupplag. Med halva spännvidden på 4 m till upplaget på väggen och en reducerad egentyingd på $0,37 \text{ kN/m}^2$ blir upplagsreaktionen q_{bjl} som linjelast

$$q_{bjl} = 0,37 \cdot \frac{4}{2} \cdot 0,9 = 0,67 \text{ kN/m}$$

Vindsbjälklag

Vindsbjälklaget har en reducerad egentyingd på $0,18 \text{ kN/m}^2$. Antagande om att vindsbjälklaget har samma spännvidd som golvbjälklaget ger en linjelast på

$$q_{vindsbjl} = 0,18 \cdot \frac{4}{2} = 0,36 \text{ kN/m}$$

Tak

För takkonstruktionen antas spännvidden vara 12,5m. Ingen kontroll av takstolar utförs eftersom spännvidden är hanterbar. Egentyngden för taket utgörs av en tung och en lätt stomme och båda är av intresse att undersöka då de ger två olika stora linjelaster på upplagen. Det lätta taket har en reducerad egentyngd på 0,16 kN/m² och det tunga taket har en reducerad egentyngd på 0,51 kN/m². Detta ger linjelasterna för upplagen på gavelväggarna till

$$q_{lätt} = 0,16 \cdot 12,5m/2 = 1 \text{ kN/m}$$

$$q_{tungt} = 0,51 \cdot 12,5m/2 = 3,18 \text{ kN/m}$$

Bilaga B – Sammanställning från beräkningar

Nedan sammanställs resultaten från beräkningar av horisontella bärförmågor som utförs i Bilagorna C till F.

I Tabell 14 och 15 redovisas de totala bärförmågorna för de två olika fördelningsmetoderna där momentet antingen fördelas till väggar parallellt med vinden alternativt fördelas momentet till tvärväggar. I tabellerna skrivs endast ”Väggar parallellt med vind” för då fördelningen av momentet går till de stabiliserande väggarna parallellt med vindens riktning, och ”Tvärväggar” står för då momentet fördelas till tvärväggarna istället.

Tabell 14 - Husets dimensionerande totala bärförmåga för byggnaden vid oförändrad orientering av bärriktningarna, [kN].

	Fördelning av moment till väggar parallellt med vinden		Fördelning av moment till tvärväggar	
	Ovanvåning	Bottenvåning	Ovanvåning	Bottenvåning
Elastisk metod				
Ej förankrad, Lätt	1,7	4,3	2,1	6,6
Ej förankrad, Tung	1,5	3,4	1,8	5,6
Partiellt förankrad, Lätt	14,5	14,2	15,6	23,1
Partiellt förankrad, Tung	14,2	13,4	15,2	22,1
Fullt förankrad	47,9	50,1	56,8	79,5
Eurokod Metod A				
Fullt förankrad	40,2	35,1	44,6	55,2
Eurokod Metod B				
Ej förankrad, Lätt	13,7	19,9	19,3	30
Ej förankrad, Tung	13,6	19,4	19,1	29,4
Partiellt förankrad, Lätt	25,2	26,4	29,9	43,2
Partiellt förankrad, Tung	25,1	26,1	29,7	41,6
Fullt förankrad	56,1	65,3	76	98,1
Plastisk metod				
Ej förankrad, Lätt	14,7	23,1	20,4	32,3
Ej förankrad, Tung	14,7	22	20,4	31,2
Partiellt förankrad, Lätt	29	34,6	35,1	49,2
Partiellt förankrad, Tung	29	33,7	35,1	48,5
Fullt förankrad	83,9	57,7	84,3	88,4

Tabell 15 - Husets dimensionerande totala bärförmåga för byggnaden vid ändring av orientering av bärriktningarna, [kN].

	Fördelning av moment till väggar parallellt med vinden		Fördelning av moment till tvärväggar	
	Ovanvåning	Bottenvåning	Ovanvåning	Bottenvåning
Elastisk metod				
Ej förankrad, Lätt	4,7	8,5	5,8	11,6
Ej förankrad, Tung	9,1	12,5	11,2	16,7
Partiellt förankrad, Lätt	15,4	18,7	17,5	27,6
Partiellt förankrad, Tung	17,1	22,8	20,6	32,5
Fullt förankrad	47,9	50,1	56,8	79,5
Eurokod Metod A				
Fullt förankrad	40,2	35,1	44,6	55,2
Eurokod Metod B				
Ej förankrad, Lätt	15,9	22,9	21,7	33,2
Ej förankrad, Tung	19,1	25,5	25,2	36,4
Partiellt förankrad, Lätt	27,1	29,6	32,2	45,3
Partiellt förankrad, Tung	30,1	32,2	35,8	48,6
Fullt förankrad	56,1	65,3	76	98,1
Plastisk metod				
Ej förankrad, Lätt	17,3	31,5	22,6	39,7
Ej förankrad, Tung	26,2	37,4	33	44,3
Partiellt förankrad, Lätt	33,8	41,4	40,6	55,1
Partiellt förankrad, Tung	40,3	46,1	46,9	59
Fullt förankrad	83,9	57,7	84,3	88,4

Tabell 16 - Sammanställning av dimensionerande horisontell bärförmåga H_{Rd} vid oförändrad orientering av bärriktningar, [kN].

Ovanvåning	Vägg 3	Vägg 4	Trappvägg	Summa
Elastisk metod				
Ej förankrad, Lätt	0,8	0,5	0,4	2,1
Ej förankrad, Tung	0,6	0,4	0,4	1,8
Partiellt förankrad, Lätt	5	4,1	3,2	15,6
Partiellt förankrad, Tung	4,8	3,9	3,2	15,2
Fullt förankrad	14	8,6	17,1	56,8
Eurokod Metod A				
Fullt förankrad	11,9	8,7	12	44,6
Eurokod Metod B				
Ej förankrad, Lätt	6,4	2,8	5	19,3
Ej förankrad, Tung	6,2	2,8	5	19,1
Partiellt förankrad, Lätt	9,6	6,3	6,9	29,9
Partiellt förankrad, Tung	9,5	6,2	6,9	29,7
Fullt förankrad	18,2	7,8	24	74
Plastisk metod				
Ej förankrad, Lätt	5,8	2,5	5,9	20,4
Ej förankrad, Tung	5,8	2,5	5,9	20,4
Partiellt förankrad, Lätt	10,8	6,7	8,7	35,1
Partiellt förankrad, Tung	10,8	6,7	8,7	35,1
Fullt förankrad	26	24,1	17,1	84,3

Bottenvåning	Vägg 1	Vägg 2	Trappvägg	Badrumsvägg	Summa
Elastisk metod					
Ej förankrad, Lätt	1,5	2,5	0,8	1	6,6
Ej förankrad, Tung	1,1	1,9	0,8	1	5,6
Partiellt förankrad, Lätt	4,3	7,7	3,6	3,8	23,1
Partiellt förankrad, Tung	3,9	7,1	3,6	3,8	22,1
Fullt förankrad	12,4	19,8	17,1	13	79,5
Eurokod Metod A					
Fullt förankrad	8,7	14,1	12	8,3	55,2
Eurokod Metod B					
Ej förankrad, Lätt	5,7	8,1	5,2	5,6	30
Ej förankrad, Tung	5,5	7,7	5,2	5,6	29,4
Partiellt förankrad, Lätt	7,7	13,3	7,2	7,6	43,2
Partiellt förankrad, Tung	7,4	12	7,2	7,6	41,6
Fullt förankrad	14,7	20,1	24	15,3	98,1
Plastisk metod					
Ej förankrad, Lätt	6,3	8,1	6,3	5,1	32,3
Ej förankrad, Tung	5,8	7,4	6,3	5,1	31,2
Partiellt förankrad, Lätt	9,9	13,1	9,1	7,9	49,2
Partiellt förankrad, Tung	9,4	12,8	9,1	7,9	48,5
Fullt förankrad	15,8	25,2	17,1	13	88,4

Tabell 17 - Sammanställning av dimensionerande horisontell bärförmåga H_{Rd} vid ändrad orientering av bärriktningar, [kN].

Ovanvåning	Vägg 3	Vägg 4	Trappvägg	Summa
Elastisk metod				
Ej förankrad, Lätt	3	2	0,4	5,8
Ej förankrad, Tung	6,2	4,2	0,4	11,2
Partiellt förankrad, Lätt	6,3	4,7	3,2	17,5
Partiellt förankrad, Tung	8,5	5,7	3,2	20,6
Fullt förankrad	14	8,6	17,1	56,8
Eurokod Metod A				
Fullt förankrad	11,9	8,7	12	44,6
Eurokod Metod B				
Ej förankrad, Lätt	7,8	3,8	5	21,7
Ej förankrad, Tung	9,8	5,3	5	25,2
Partiellt förankrad, Lätt	11	7,3	6,9	32,2
Partiellt förankrad, Tung	13	8,7	6,9	35,8
Fullt förankrad	18,2	7,8	24	74
Plastisk metod				
Ej förankrad, Lätt	7	3,6	5,9	22,6
Ej förankrad, Tung	13	7,9	5,9	33
Partiellt förankrad, Lätt	14	9,1	8,7	40,6
Partiellt förankrad, Tung	17,3	12,1	8,7	46,9
Fullt förankrad	26	24,1	17,1	84,3

Bottenvåning	Vägg 1	Vägg 2	Trappvägg	Badrumsvägg	Summa
Elastisk metod					
Ej förankrad, Lätt	3,6	6	0,8	0,4	11,6
Ej förankrad, Tung	5,6	9,1	0,8	0,4	16,7
Partiellt förankrad, Lätt	6,4	10,7	3,6	3,2	27,6
Partiellt förankrad, Tung	8,4	13,6	3,6	3,2	32,5
Fullt förankrad	12,4	19,8	17,1	13	79,5
Eurokod Metod A					
Fullt förankrad	8,7	14,1	12	8,3	55,2
Eurokod Metod B					
Ej förankrad, Lätt	7,1	10,3	5,2	5,2	33,2
Ej förankrad, Tung	8,4	12,3	5,2	5,2	36,4
Partiellt förankrad, Lätt	9	14,5	7,2	7,2	45,3
Partiellt förankrad, Tung	10,3	16,5	7,2	7,2	48,6
Fullt förankrad	14,7	20,1	24	15,3	98,1
Plastisk metod					
Ej förankrad, Lätt	10,1	12,2	6,3	4,5	39,7
Ej förankrad, Tung	12,8	14,2	6,3	4,5	44,3
Partiellt förankrad, Lätt	12,9	16,5	9,1	7,3	55,1
Partiellt förankrad, Tung	15	18,4	9,1	7,3	59
Fullt förankrad	15,8	25,2	17,1	13	88,4

Bilaga C – Elastisk dimensioneringsmetod för väggar

Fullt förankrade regler

I denna metod tas endast hänsyn till hur många förbindare som får plats per skiva. Är en skiva mindre än en full skivbredd och större än $b/2$ får endast 25 % av bärförmågan utnyttjas.

Tabell 18 - Elastisk metod, fullt förankrade regler.

Vägg 1	b_i [m]	$F_{i,v,Rd,max}$ [kN]	$F_{i,v,Rd,min}$ [kN]	H_{Rd} [kN]
a	1,8	8,5	3,9	12,4
Vägg 2				
a	0,64	0,7	0,3	19,8
b	0,9	4,2	1,9	
c	1,8	8,5	3,9	
Tvägg 1				
a	1,8	8,5	8,5	17,1
Bvägg				
a	1,8	8,7	4,2	13
Vägg 3				
a	0,88	1	0,4	14
b	1,8	8,5	3,9	
Vägg 4				
a	0,64	0,7	0,3	8,6
b	0,73	0,8	0,3	
c	0,9	4,2	1,9	
Tvägg 2				
a	1,8	8,5	8,5	17,1

b_i är varje delements skivbredd.

$F_{H,Rd,max}$ och $F_{H,Rd,min}$ är de horisontella bärförmågorna för den starkare respektive svagare skivan där dessa förekommer, så som i ytterväggar och badrumsvägg.

H_{Rd} betecknar den beräknade horisontella bärförmågan för en hel vägg.

Partiellt förankrade regler

För den elastiska metoden görs även en beräkning av den dimensionerande bärförmågan för de olika väggsegmenten då de endast är förankrade med 4kN vid frontreglarna. Till detta tillgodoräknas även egentygnd som påverkar respektive del. Undersökningen görs för de två olika alternativen för bärriktning som finns för bjälklag och tak för att kunna jämföra med de övriga metoderna.

Vid utnyttjande av egentygnder antas hälften av egentygnden över öppningar föras ner till frontreglar.

I tabellerna används följande beteckningar

b_i är varje delements skivbredd.

H_{Rd} är den beräknade horisontella bärförmågan för en hel vägg.

Tabell 19 – Partiellt förankrade regler, oförändrad bärriktning, lätt alternativ.

Vägg 1	b_i [m]	Förankringskraft [kN]	Bärförmåga [kN]	H_{Rd} [kN]
a	1,8	6,1	4,3	4,3
Vägg 2				
a	0,64	5,1	1,1	7,7
b	0,9	6	2,1	
c	1,8	6,1	4,3	
Tvägg 1				
a	1,8	5,1	3,6	3,6
Bvägg				
a	1,8	5,4	3,8	3,8
Vägg 3				
a	0,88	4,7	1,5	5
b	1,8	4,8	3,4	
Vägg 4				
a	0,64	4,5	1,1	4,1
b	0,73	4,6	1,2	
c	0,9	4,7	1,6	
Tvägg 2				
a	1,8	4,5	3,2	3,2

Tabell 20 - Partiellt förankrade regler, oförändrad bärriktning, tungt alternativ.

Vägg 1	b_i [m]	Förankringskraft [kN]	Bärförmåga [kN]	H_{Rd} [kN]
a	1,8	5,6	3,9	3,9
Vägg 2				
a	0,64	4,8	1,1	7,1
b	0,9	5,5	1,9	
c	1,8	5,6	3,9	
Tvägg 1				
a	1,8	5,1	3,6	3,6
Bvägg				
a	1,8	5,4	4,2	3,8
Vägg 3				
a	0,88	4,5	1,5	4,8
b	1,8	4,6	3,2	
Vägg 4				
a	0,64	4,4	1,1	3,9
b	0,73	4,4	1,2	
c	0,9	4,5	1,6	
Tvägg 2				
a	1,8	4,5	3,2	3,2

Tabell 21 - Partiellt förankrade reglar, ändrad bärriktning, lätt alternativ.

Vägg 1	b_i [m]	Förankringskraft [kN]	Bärförmåga [kN]	H_{Rd} [kN]
a	1,8	9,2	6,4	6,4
Vägg 2				
a	0,64	6,4	1,1	10,7
b	0,9	8,9	3,1	
c	1,8	9,2	6,4	
Tvägg 1				
a	1,8	5,1	3,6	3,6
Bvägg				
a	1,8	4,5	3,2	3,2
Vägg 3				
a	0,88	6,7	1,5	6,3
b	1,8	6,9	4,8	
Vägg 4				
a	0,64	6,1	1,1	4,7
b	0,73	6	1,2	
c	0,9	6,6	2,3	
Tvägg 2				
a	1,8	4,5	3,2	3,2

Tabell 22 – Partiellt förankrade reglar, ändrad bärriktning, tungt alternativ.

a	1,8	11,9	8,4	8,4
Vägg 2				
a	0,64	7,5	1,1	13,6
b	0,9	11,6	4,1	
c	1,8	11,9	8,4	
Tvägg 1				
a	1,8	5,1	3,6	3,6
Bvägg				
a	1,8	4,5	3,2	3,2
Vägg 3				
a	0,88	9,8	1,5	8,5
b	1,8	9,9	7	
Vägg 4				
a	0,64	8,6	1,1	5,7
b	0,73	8,1	1,2	
c	0,9	9,5	3,3	
Tvägg 2				
a	1,8	4,5	3,2	3,2

Oförankrade regler

För den elastiska metoden görs beräkningar av den dimensionerande bärförmågan för de olika väggarna då de endast utnyttjar egentygnder som förankring. Till detta undersöks även de två olika alternativen för bärriktningar som finns för bjälklag och tak. Vid utnyttjande av egentygnder antas hälften av egentygnden över öppningar föras ner till frontreglar.

Tabell 23 – Oförankrade regler, oförändrad orientering, lätt alternativ, [kN].

Vägg 1	b_i [m]	Förankringskraft [kN]	Bärförmåga [kN]	H_{Rd} [kN]
a	1,8	2,1	1,5	1,5
Vägg 2				
a	0,64	1,1	0,2	2,5
b	0,9	2	0,7	
c	1,8	2,1	1,5	
Tvägg 1				
a	1,8	1,1	0,8	0,8
Bvägg				
a	1,8	1,4	1	1
Vägg 3				
a	0,88	0,7	0,2	0,8
b	1,8	0,8	0,6	
Vägg 4				
a	0,64	0,5	0,1	0,5
b	0,73	0,6	0,1	
c	0,9	0,7	0,2	
Tvägg 2				
a	1,8	0,5	0,4	0,4

Tabell 24 - Oförankrade regler, oförändrad orientering, tungt alternativ, [kN].

Vägg 1	b_i [m]	Förankringskraft [kN]	Bärförmåga [kN]	H_{Rd} [kN]
a	1,8	1,6	1,1	1,1
Vägg 2				
a	0,64	0,8	0,2	1,9
b	0,9	1,5	0,5	
c	1,8	1,6	1,1	
Tvägg 1				
a	1,8	1,1	0,8	0,8
Bvägg				
a	1,8	1,4	1	1
Vägg 3				
a	0,88	0,5	0,2	0,6
b	1,8	0,6	0,4	
Vägg 4				
a	0,64	0,4	0,1	0,4
b	0,73	0,4	0,1	
c	0,9	0,5	0,2	

Tvägg 2				
a	1,8	0,5	0,4	0,4

Tabell 25 - Oförankrade regler, ändrad orientering, lätt alternativ, [kN].

Vägg 1	b_i [m]	Förankringskraft [kN]	Bärförmåga [kN]	H_{Rd} [kN]
a	1,8	5,2	3,6	3,6
Vägg 2				
a	0,64	2,4	0,6	6
b	0,9	4,9	1,7	
c	1,8	5,2	3,6	
Tvägg 1				
a	1,8	1,1	0,8	0,8
Bvägg				
a	1,8	0,5	0,4	0,4
Vägg 3				
a	0,88	2,7	0,9	3
b	1,8	2,9	2	
Vägg 4				
a	0,64	2,1	0,5	2
b	0,73	2	0,5	
c	0,9	2,6	0,9	
Tvägg 2				
a	1,8	0,5	0,4	0,4

Tabell 26 – Oförankrade regler, ändrad orientering, tungt alternativ, [kN].

Vägg 1	b_i [m]	Förankringskraft [kN]	Bärförmåga [kN]	H_{Rd} [kN]
a	1,8	7,9	5,6	5,6
Vägg 2				
a	0,64	3,5	0,8	9,1
b	0,9	7,6	2,6	
c	1,8	7,9	5,6	
Tvägg 1				
a	1,8	1,1	0,8	0,8
Bvägg				
a	1,8	0,5	0,4	0,4
Vägg 3				
a	0,88	5,8	2	6,2
b	1,8	5,9	4,2	
Vägg 4				
a	0,64	4,6	1	4,2
b	0,73	4,1	1	
c	0,9	5,5	1,9	
Tvägg 2				
a	1,8	0,5	0,4	0,4

Bilaga D – Eurokod 5 Metod A

Vid dimensionering enligt metod A tas ej hänsyn till gynnsamma laster och därmed påverkas inte resultatet av en eventuell ändrad bärriktning i bjälklag och tak.

Vid summering av ett skivelement bestående av två olika typer av skivor får endast 75 % av den svagare skivans hållfasthet tillgodoräknas.

Tabell 27 - Eurokod Metod A, fullt förankrade regler

Vägg 1	b_i	antal n	c_i	$F_{i,v,Rd,max}$	$F_{i,v,Rd,min}$	H_{Rd}
a	0,9	2	0,7	3	1,3	8,7
Vägg 2						
a	0,64	1	0,5	1,5	0,7	14,1
b	0,9	3	0,7	3	1,3	
Tvägg 1						
a	0,9	2	0,7	3		12
Bvägg						
a	0,9	2	0,7	3	1,4	8,3
Vägg 3						
a	0,88	1	0,68	2,8	1,3	11,9
b	0,9	2	0,7	3	1,3	
Vägg 4						
a	0,64	1	0,5	1,5	0,7	8,7
b	0,73	1	0,57	1,9	0,9	
c	0,9	1	0,7	3	1,3	
Tvägg 2						
a	0,9	2	0,7	3		12

b_i är varje delements skivbredd, m.

n är antalet skivor med bredden b_i .

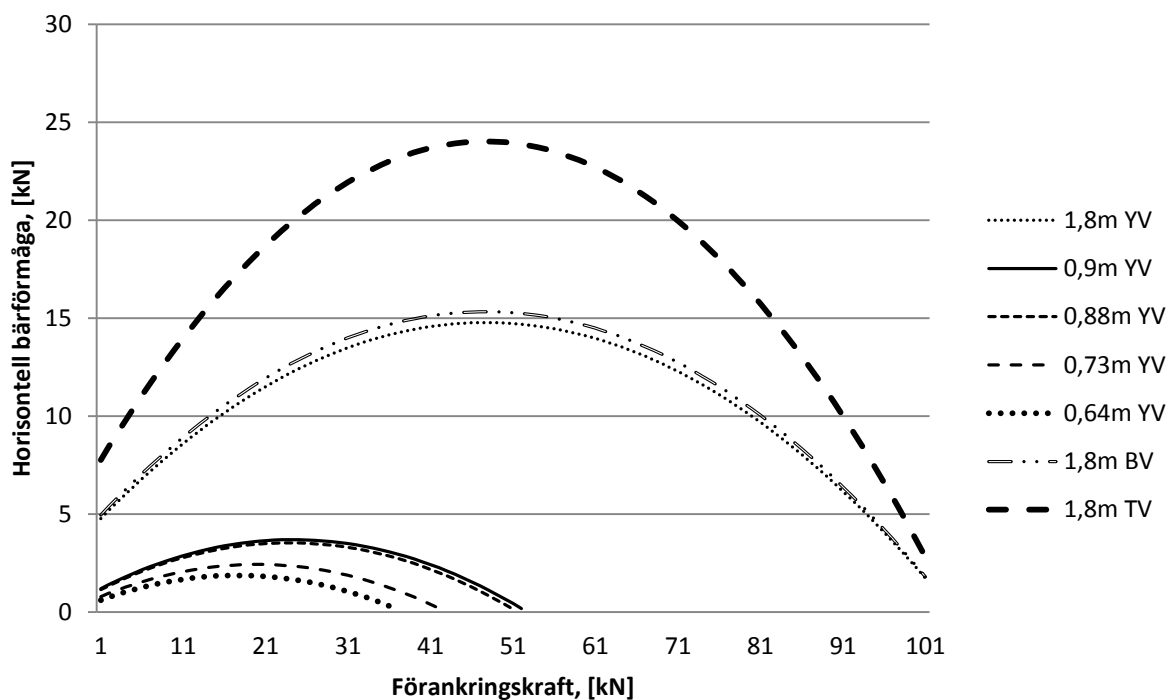
c_i är reduktionsfaktor beroende på förhållande mellan skivhöjd och skivbredd

$F_{H,Rd,max}$ och $F_{H,Rd,min}$ är de horisontella bärförmågorna för den starkare respektive svagare skivan där dessa förekommer, så som i ytterväggar och badrumsvägg, kN.

H_{Rd} betecknar den beräknade horisontella bärförmågan för en hel vägg, kN.

Bilaga E – Eurokod 5 Metod B

Vid beräkningar av den dimensionerande bärförmågan enligt Eurokods metod B för fullt förankrade regler måste det undersökas när metoden anser att delementet är fullt förankrat. I övriga metoder anges att man uppnår full förankring då skivans bärförmåga överskrids, medan förankringen istället ingår som en faktor i metod B för att beräkna delementets bärförmåga. För metod B gjordes därför iterativa beräkningar där förankringskraften ökades tills det att ett maximalt värde kunde finnas för delementen, se **Fel! Hittar inte eferenskälla..**



Figur 37 - Bärförmåga för fullt förankrade regler enligt metod B. YV = Yttervägg, TV = Trappvägg, BV = Badrumsvägg.

De värden som använts för att beräkna den horisontella bärförmågan för fullt förankrade regler redovisas i Tabell 28.

Tabell 28 - Sammanställning av ingående värden vid dimensionering med fullt förankrade regler.

Väggtyp	b_i	h	s_0	k_d	k_n	k_s
Yttervägg	1,8	2,56	0,097	0,7	1,23	0,78
	0,9			0,35		
	0,88			0,34		
	0,73			0,28		
	0,64			0,25		
Trappa	1,8			0,7	2	
Badrum	1,8	0,7	1,24			

I tabellerna i denna bilaga används beteckningar enligt:

b_i är varje delements skivbredd, m.

n är antalet skivor med bredden b_i

c_i är reduktionsfaktor beroende på förhållande mellan skivhöjd och skivbredd

$F_{H,Rd,max}$ och $F_{H,Rd,min}$ är de horisontella bärförmågorna för den starkare respektive svagare skivan där dessa förekommer, så som i ytterväggar och badrumsvägg, kN.

H_{Rd} betecknar den beräknade horisontella bärförmågan för en hel vägg, kN.

Tabell 29 - Eurokod Metod B, fullt förankrade regler, [kN]

Vägg 1	b_i				H_{Rd}
a	1,8			14,7	14,7
Vägg 2					
a	0,64			1,8	20,1
b	0,9			3,6	
c	1,8			14,7	
Tvägg 1					
a	1,8			24	24
Bvägg					
a	1,8			15,3	15,3
Vägg 3					
a	0,88			3,5	18,2
b	1,8			14,7	
Vägg 4					
a	0,73			2,4	7,8
b	0,9			3,6	
c	0,64			1,8	
Tvägg 2					
a	1,8			24	24

Tabell 30 – Eurokod Metod B, oförändrad bärriktning, tungt alternativ, [kN].

Vägg 1	b_i	k_d	k_n	q_i	k_{iq}	H_{Rd}
a	1,8	0,7	1,23	0,66	1,06	5
Vägg 2						
a	0,64	0,25	1,23	0,66	1,09	6,9
b	0,9	0,35			1,08	
c	1,8	0,7			1,06	
Tvägg 1						
a	1,8	0,7	2	0,57	1,05	8,1
Bvägg						
a	1,8	0,7	1,24	0	1	4,7
Vägg 3						
a	0,88	0,34	1,23	0	1	5,8
b	1,8	0,7		0	1	
Vägg 4						

a	0,73	0,28	1,23	0	1	2,5
b	0,9	0,35		0	1	
c	0,64	0,25		0	1	
Tvägg 2						
a	1,8	0,7	2	0	1	7,7

Tabell 31 - Eurokod Metod B, oförändrad bärriktning, lätt alternativ.

Vägg 1	b_i	k_d	k_n	q_i	k_{iq}	H_{Rd}
a	1,8	0,7	1,23	0,87	1,08	5,1
Vägg 2						
a	0,64	0,25	1,23	0,87	1,12	7,1
b	0,9	0,35			1,1	
c	1,8	0,7			1,08	
Tvägg 1						
a	1,8	0,7	1,23	0,87	1,05	8,1
Bvägg						
a	1,8	0,7	1,24	0	1	4,7
Vägg 3						
a	0,88	0,34	1,23	0	1	5,8
b	1,8	0,7			1	
Vägg 4						
a	0,73	0,28	1,23	0	1	2,5
b	0,9	0,35			1	
c	0,64	0,25			1	
Tvägg 2						
a	1,8	0,7	2	0	1	7,7

Tabell 32 - Eurokod Metod B, ändrad bärriktning, tungt alternativ.

Vägg 1	b_i	k_d	k_n	q_i	k_{iq}	H_{Rd}
a	1,8	0,7	1,23	4,83	1,42	6,7
Vägg 2						
a	0,64	0,25	1,23	4,83	1,64	9,6
b	0,9	0,35			1,56	
c	1,8	0,7			1,42	
Tvägg 1						
a	1,8	0,7	2		1,05	8,1
Bvägg						
a	1,8	0,7	1,24		1	4,7
Vägg 3						
a	0,88	0,34	1,23		1,49	8,2
b	1,8	0,7			1,37	
Vägg 4						
a	0,73	0,28	1,23		1,53	3,9
b	0,9	0,35			1,49	
c	0,64	0,25			1,56	
Tvägg 2						

a	1,8	0,7	2		1	7,7
----------	-----	-----	---	--	---	------------

Tabell 33 - Eurokod Metod B, ändrad bärriktning, lätt alternativ.

Vägg 1	b_i	k_d	k_n	q_i	k_{iq}	H_{Rd}
a	1,8	0,7	1,23	2,86	1,25	5,9
Vägg 2						
a	0,64	0,25	1,23	2,86	1,39	8,4
b	0,9	0,35			1,34	
c	1,8	0,7			1,25	
Tvägg 1						
a	1,8	0,7	1,23		1,05	8,1
Bvägg						
a	1,8	0,7	1,24		1	4,7
Vägg 3						
a	0,88	0,34	1,23		1,24	7
b	1,8	0,7			1,18	
Vägg 4						
a	0,73	0,28	1,23		1,26	3,2
b	0,9	0,35			1,23	
c	0,64	0,25			1,27	
Tvägg 2						
a	1,8	0,7	2		1	7,7

Bilaga F – Plastisk dimensioneringsmetod

I denna bilaga används beteckningar för följande:

- λ är en reduktionsfaktor som bestämmer hur stor del av skivor under öppningar som får utnyttjas
- l_1 betecknar längden inom där den vertikala plastiska skjuvkraftskapaciteten uppnås och förankring av syllen sker, m.
- l_2 betecknar längden för där den horisontella skjuvkraftsöverföring sker, m.
- l_3 betecknar längden på skivor under öppningar, m.
- $R_{\text{öpp}}$ betecknar den nedåtriktade kraft en skiva under en öppning överför till intilliggande skiva, kN.
- l_{eff} betecknar den effektiva längden som kan överföra horisontella skjuvkrafter, m.
- H betecknar den summerade horisontella bärförmågan för en vägg, kN.
- V_{tot} betecknar den totala vertikala kraften som verkar som förankring av första regeln i delementet, kN.
- V_{ekv} betecknar den ekvivalenta vertikala kraften som verkar på första regeln i delementet, kN.

Fullt förankrade reglar

Tabell 34 - Plastisk metod, fullt förankrade reglar, ändrad bärriktning, lätt alternativ.

Vägg 1		λ	l_2	l_3	$R_{öpp}$	l_{eff}	H
a			0,49			0,49	15,8
b			1,8			1,8	
Vägg 2							
a		0,81	0,64	1,1	5,1	0,95	25,2
b			0,9			0,9	
c			1,8			1,8	
Tvägg 1							
a			1,8			1,8	17,1
Bvägg							
a			1,8			1,8	13
Vägg 3							
a		0,75	0,6	1,2	4,67	0,91	26
b		0,9	0,9	1	3,11	1,05	
c			1,8			1,8	
Vägg 4							
a		0,73	0,47	0,6	7,68	0,73	24,1
b		0,9	0,73	1	3,11	0,9	
c		0,81	0,9	1,1	5,1	1,21	
d			0,64			0,64	
Tvägg 2							
a			1,8			1,8	17,1

Tabell 35 - Plastisk metod, fullt förankrade reglar, ändrad bärriktning, tungt alternativ.

Vägg 1		λ	l_2	l_3	$R_{öpp}$	l_{eff}	H
a			0,49			0,49	15,8
b			1,8			1,8	
Vägg 2							
a		0,81	0,64	1,1	5,1	0,95	25,2
b			0,9			0,9	
c			1,8			1,8	
Tvägg 1							
a			1,8			1,8	17,1
Bvägg							
a			1,8			1,8	13
Vägg 3							
a		0,75	0,6	1,2	4,67	0,91	26
b		0,9	0,9	1	3,11	1,05	
c			1,8			1,8	
Vägg 4							
a		0,73	0,47	0,6	7,68	0,73	24,1
b		0,9	0,73	1	3,11	0,9	
c		0,81	0,9	1,1	5,1	1,21	
d			0,64			0,64	
Tvägg 2							
a			1,8			1,8	17,1

Oförankrade regler

Tabell 36 - Plastisk metod, oförankrade regler, oförändrad bärriktning, lätt alternativ.

Vägg 1	V_{tot}	V_{ekv}	λ	l_1	l_2	l_3	l_{eff}	H
a	2,39	1,97		0,49			0,1	6,3
b	2,76	1,89		1,8			0,82	
Vägg 2								
a	0,83	0,27		0,64			0,09	8,1
b	2,71	1,93		0,9			0,25	
c	2,9	2,03		1,8			0,83	
Tvägg 1								
a	1,18	0,5		1,8			0,67	6,3
Bvägg								
a	1,5	0,84		1,8			0,71	5,1
Vägg 3								
a	0,52			0,6			0,07	5,8
b	0,76			0,88			0,15	
c	0,87			1,8			0,63	
Vägg 4								
a	0,4			0,47			0,04	2,5
b	0,63			0,73			0,1	
c	0,78			0,9			0,15	
d	0,55			0,64			0,08	
Tvägg 2								
a	0,57			1,8			0,63	5,9

Tabell 37 - Plastisk metod, oförankrade regler, oförändrad bärriktning, tungt alternativ.

Vägg 1	V_{tot}	V_{ekv}	λ	l_1	l_2	l_3	l_{eff}	H
a	1,83	1,5		0,49	0	0	0,08	5,8
b	2,11	1,44		1,8	0	0	0,77	
Vägg 2								
a	0,63	0,21		0,64	0	0	0,08	7,4
b	2,07	1,47		0,9	0	0	0,23	
c	2,11	1,44		1,8	0	0	0,77	
Tvägg 1								
a	1,18	0,51		1,8	0	0	0,67	6,3
Bvägg								
a	1,41	0,84		1,8	0	0	0,71	5,1
Vägg 3								
a	0,39	0		0,6	0	0	0,07	5,8
b	0,59	0		0,9	0	0	0,15	
c	0,66	0		1,8	0	0	0,63	
Vägg 4								
a	0,31	0		0,47	0	0	0,04	2,5
b	0,48	0		0,73	0	0	0,1	
c	0,59	0		0,9	0	0	0,15	
d	0,42	0		0,64	0	0	0,08	
Tvägg 2								
a	0,57	0		1,8			0,63	5,9

Tabell 38 - Plastisk metod, partiellt förankrade regler, oförändrad bärriktning, lätt alternativ.

Vägg 1	V_{tot}	V_{ekv}	λ	l_1	l_2	l_3	l_{eff}	H
a	6,39	5,97		0,49			0,21	9,9
b	6,72	5,85		1,65	0,15		1,22	
Vägg 2								
a	4,83	4,27		0,64			0,23	13,1
b	6,71	5,93		0,9			0,45	
c	6,72	5,85		1,65	0,15		1,22	
Tvägg 1								
a	5,09	4,51		1,8			0,96	9,1
Bvägg								
a	5,41	4,84		1,8			1,1	7,9
Vägg 3								
a	4,52	4		0,6			0,2	10,8
b	4,78	4		0,88			0,34	
c	4,87	4		1,8			1,03	
Vägg 4								
a	4,4	4		0,47			0,14	6,7
b	4,63	4		0,73			0,26	
c	4,78	4		0,9			0,36	
d	4,55	4		0,64			0,22	
Tvägg 2								
a	4,57	4		1,8			0,92	8,7

Tabell 39 - Plastisk metod, partiellt förankrade regler, oförändrad bärriktning, tungt alternativ.

Vägg 1	V_{tot}	V_{ekv}	λ	l_1	l_2	l_3	l_{eff}	H
a	5,83	5,5		0,49			0,19	9,4
b	6,09	1,43		1,73	0,07		1,18	
Vägg 2								
a	4,63	4,21		0,64			0,23	12,8
b	6,07	5,47		0,9			0,43	
c	6,2	1,53		1,71	0,09		1,19	
Tvägg 1								
a	5,09	4,51		1,8			0,96	9,1
Bvägg								
a	5,41	4,84		1,8			1,1	7,9
Vägg 3								
a	4,39	4		0,6			0,2	10,8
b	4,58	4		0,88			0,34	
c	4,66	4		1,8			1,03	
Vägg 4								
a	4,31	4		0,47			0,14	6,7
b	4,48	4		0,73			0,26	
c	4,6	4		0,9			0,36	
d	4,42	4		0,64			0,22	
Tvägg 2								
a	4,57	4		1,8			0,92	8,7

Tabell 40 - Plastisk metod, oförankrade regler, ändrad bärriktning, lätt alternativ.

Vägg 1	V_{tot}	V_{ekv}	λ	l_1	l_2	l_3	l_{eff}	H
a	6,99	6,57		0,49			0,22	10,1
b	6,71	6,05		1,51	0,29		1,25	
Vägg 2								
a	1,48	0,92		0,64			0,11	12,2
b	7,88	7,1		0,9			0,51	
c	5,91	5,04		1,6	0,2		1,15	
Tvägg 1								
a	5,09	0,51		1,8			0,67	6,3
Bvägg								
a	0,87	0		1,8			0,63	4,5
Vägg 3								
a	0,93	0,4		0,6			0,08	9,2
b	4,11	3,33		0,9			0,32	
c	3,83	2,96		1,8			0,93	
Vägg 4								
a	0,72	0,31		0,47			0,05	9,2
b	2,28	1,64		0,73			0,17	
c	3,51	2,72		0,9			0,29	
d	3,77	3,21		0,64			0,19	
Tvägg 2								
a	0,57	0		1,8			0,63	5,9

Tabell 41 - Plastisk metod, oförankrade regler, ändrad bärriktning, tungt alternativ.

Vägg 1	V_{tot}	V_{ekv}	λ	l_1	l_2	l_3	l_{eff}	H
a	10,85	10,52		0,49			0,33	12,8
b	10,2	9,53		1,11	0,69		1,52	
Vägg 2			λ					
a	1,98	1,56		0,64			0,13	14,2
b	10,38	9,78		0,9			0,65	
c	6,76	6,09		1,33	0,47		1,27	
Tvägg 1								
a	5,09	0,51		1,8			0,67	6,3
Bvägg								
a	4,87	0		1,8			0,63	4,5
Vägg 3								
a	1,46	1,06		0,6			0,1	13
b	7,38	6,8		0,88			0,48	
c	7,37	6,7		1,4	0,4		1,31	
Vägg 4								
a	1,14	0,83		0,47			0,06	7,9
b	4,77	4,28		0,73			0,28	
c	7,04	6,44		0,9			0,48	
d	7,35	6,93		0,64			0,33	
Tvägg 2								
a	0,57	0		1,8			0,63	5,9

Partiellt förankrade regler

Tabell 42 - Plastisk metod, partiellt förankrade regler, ändrad bärriktning, lätt alternativ.

Vägg 1	V_{tot}	V_{ekv}	λ	l_1	l_2	l_3	l_{eff}	H
a	10,99	10,57		0,49			0,33	12,9
b	10,48	9,81		1,11	0,69		1,54	
Vägg 2								
a	5,48	4,92		0,64			0,25	16,5
b	11,22	10,44		0,9			0,68	
c	9,54	8,67		1,19	0,61		1,46	
Tvägg 1								
a	5,09	4,51		1,8			0,96	9,1
Bvägg								
a	5,41	4		1,8			1,02	7,3
Vägg 3								
a	4,93	4,4		0,6			0,21	14
b	8,1	7,34		0,88			0,51	
c	7,7	6,83		1,5	0,3		1,31	
Vägg 4								
a	4,72	4,31		0,47			0,15	9,1
b	6,28	5,64		0,73			0,33	
c	7,51	6,72		0,9			0,5	
d	7,77	7,21		0,64			0,34	
Tvägg 2								
a	4,57	4		1,8			0,92	8,7

Tabell 43 - Plastisk metod, partiellt förankrade reglar, ändrad bärriktning, tungt alternativ.

Vägg 1	V_{tot}	V_{ekv}	λ	l_1	l_2	l_3	l_{eff}	H
a	14,85	14,52		0,49			0,44	15
b	14,32	13,65		0,77	1,03		1,73	
Vägg 2								
a	5,98	5,56		0,64			0,28	18,4
b	14,56	9,96		0,77	0,13		0,85	
c	10,3	9,64		0,99	0,81		1,53	
Tvägg 1								
a	5,09	4,51		1,8			0,96	9,1
Bvägg								
a	5,41	4		1,8			1,02	7,3
Vägg 3								
a	5,46	5,06		0,6			0,24	17,3
b	11,38	10,8		0,88			0,68	
c	11,11	10,45		1,01	0,79		1,58	
Vägg 4								
a	5,14	4,83		0,47			0,17	12,1
b	8,77	8,28		0,73			0,44	
c	11,04	10,44		0,9			0,68	
d	11,35	10,93		0,64			0,47	
Tvägg 2								
a	4,57	4		1,8			0,92	8,7

Bilaga G – Bjälklagskontroll

Ett par olika spännvidder undersöks för ett fritt upplagt bjälklag. Först tas tvärsnittskonstanter fram för ett tvärsnitt av bjälklaget.

Den effektiva bredden för fläns får med hänsyn till skjuvbuckling och skjuvdeformationer max vara:

Skjuvbuckling: 660 mm

Skjuvdeformation: 680 mm

Dock är maximalt avstånd mellan livan 600 mm, därav är $b_{ef,c} = 0,6$ m.

Kvalitet på vald träbalk som liv är C24 och vald spånskiva är av kvalitet P6.

Tabell 44 - Indata för beräkningar

Bjälklagsbredd	5,8 m
Bredd liv, b_l	0,045 m
Höjd liv, h_l	0,22 m
Bredd fläns, $b_{ef,c}$	0,6 m
Höjd fläns, t_f	0,022 m
Massa bjälklag	55 kg/m ²
E-modul C24	11 GPa
E_c spånskiva	2,1 GPa
E_m spånskiva	3,5 GPa

Tvärsnittskonstanter och svikt beräknas enligt 2.2.2.2 för några olika bjälklagslängder l . För dessa utförs beräkningar för att kontrollera kraven

$$\frac{w}{F} \leq a$$

och

$$v \leq k$$

Det första kravet ger ett krav för den direkta vertikala utböjningen w i förhållande till en kraft F och det andra kravet ställer krav på bjälklagets impulshastighetsrespons på grund av en stöt på bjälklaget.

Vid första kontrollen används $b = 100$ och $a = 1,5$ vilket är rekommendationen i det svenska annexet EKS 8, BFS 2011:10 till [5].

Tabell 45 - Resultat för $b = 100$ och $a = 1,5$

l	A_t	e	I_t	f_l	n_{40}	v	k
2,8	0,01242	0,0245	6,933E-05	23,5	10	0,025	0,029
2,9				21,9	11	0,025	0,027
3,0				20,5	11	0,024	0,025
3,05				19,8	11	0,024	0,024
3,1				19,2	11	0,024	0,024

l	A_t	e	I_t	F	w	w/F	a
2,8	0,012	0,024	6,933E-05	1kN	0,59	0,59	1,5
2,9					0,66	0,66	
3,0					0,73	0,73	
3,05					0,77	0,77	
3,1					0,81	0,81	

Där

l är bjälklagets spännvidd, m.

A_t är tvärsnittets area, m^2 .

e är det neutrala lagrets höjd kring livets mitt, m.

I_t är det sammansatta tvärsnittets yttröghetsmoment, m^4 .

f_1 är den uppskattade lägsta egenfrekvensen för tvärsnittet, Hz.

n_{40} är antalet första ordningens moder av egenfrekvenser upp till 40 Hz

v är impulshastighetsresponsen för en stöt på 1 Ns på bjälklaget, $m/(Ns^2)$.

k är ett gränsvärde för impulshastighetsresponsen, $m/(Ns^2)$.

F är en vertikal kraft angripande på bjälklaget, kN.

w är den direkta vertikala utböjningen av den statiska vertikala kraften F , mm.

a är ett gränsvärde för förhållandet mellan utböjningen w och kraften F , mm/kN .

Vid jämförelserna av $w/F < a$ ses att alla spännvidder är ok. Dock erhålls att $v > k$ då spännvidden uppgår till 3,1 m. Därav blir den maximala spännvidden 3,0 m för ett enkelspant bjälklag med dessa krav för vibrationer.

Nedan utförs även en kontroll för det fall då man skulle acceptera ett bjälklag med lite sämre funktion. Genom att testa $b = 80$ och $a = 2$ erhålls resultaten enligt Tabell 40.

Tabell 46 - Resultat för $b = 80$ och $a = 2$

l	A_t	e	I_t	f_1	n_{40}	v	k
3,9	0,012	0,024	6,933E-05	12,1	11,8	0,0207	0,021
4,0				11,5	11,8	0,0203	0,02
4,1				11	11,8	0,0199	0,02
4,15				10,7	11,9	0,0198	0,02
4,2				10,4	11,9	0,0196	0,019

l	A_t	e	I_t	F	w	w/F	a
3,9	0,012	0,024	6,933E-05	1kN	1,62	1,62	2
4,0					1,74	1,74	
4,1					1,88	1,88	
4,15					1,95	1,95	
4,2					2,02	2,02	

I detta fall är det vid $l = 4,2$ m som $w/F = 2,02 > 2 = a$ och inte uppfyller tidigare ställda krav. Därmed blir den maximala spännvidden 4,15 m.

Bilaga H – Förändring av förankringskraft vid ändring av bärriktning

Tabell 47 redovisas den procentuella förändringen av förankringskrafter som blir då orienteringen ändras från upplag på långsidorna till upplag på gavlarna.

Tabell 47 - Procentuell förändring avförankringskrafter

	Vägg 1a	Vägg 1b	Vägg 2a	Vägg 2b	Vägg 2c	Trappvägg	Badrumsvägg
FEM Modell							
Lätt	0,47	1	0,16	0,37	0,5	0	0
Tung	0,42	1	0,62	0,55	0,4	0	0
Elastisk Metod							
Lätt		0,20	0,39	0,19	0,20	0	0
Tung		0,39	0,75	0,38	0,39	0	0
Metod A							
Lätt		0,30	0,18	0,31	0,30	0	0
Tung		0,58	0,37	0,62	0,58	0	0
Metod B							
Lätt		0,06	0,1	0,09	0,06	0	0
Tung		0,13	0,21	0,18	0,13	0	0
Plastisk Metod							
Lätt	0,19	0,27	0,08	0,40	0,26	0	0
Tung	0,37	0,52	0,16	0,73	0,40	0	0