



Stabilisering av volymer- optimering

Slutrapport



Anders Gustafsson, RISE
Sven Berg, LTU



Förord

Att bygga med volymteknik innebär ett antal fördelar som till fullo inte alltid tas till vara. Genom att bygga hus med prefabricerade tredimensionella enheter anses att en "extra" stabilitet erhålls som inte alltid återspeglar sig i dimensioneringsreglerna.

Den effekt som ett tre-dimensionellt synsätt innebär tas ej till vara på grund av svårigheten och liten erfarenhet av eventuellt mervärdet med ett tre-dimensionellt betraktande av byggnadsvolymer.

I detta projekt har undersökt möjligheten att fastställa en 3D-faktor med vars tillverkande företag kan optimera sina lösningar.

Arbetet har finansierats av TräCentrum Norr och deltagande företag. Projektet har genomförts som ett kompletterande projekt till av RISE och LTU erhållit Interreg. Nord projekt " TallWood - Wood Solutions in Tall Hybrid Building". Projektet TallWood syftar till att utveckla nya lösningar kring hybridkonstruktioner till gagn för byggande av höga trähus och vars målsättning är bland annat att ta fram beräkningshjälpmedel, processer och system baserade på hybridkonstruktioner för att öka konkurrenskraften för träbyggande.

Ett stort tack riktas till industrireferensgruppens deltagare för värdefulla synpunkter och insatser under arbetets planering och genomförande: Per-Olov Landstedt och Jamal Alipour, Derome-Plusshus, Lars Oscarsson och Ida Edskär, Lindbäcks Bygg.

Övriga deltagare och genomförare av projektet har varit Anders Gustafsson, Urban Häggström och Jörgen Olsson samtliga RISE samt Sven Berg, LTU.

Skellefteå december 2020

Anders Gustafsson, RISE

Innehåll

| | |
|--|----|
| Förord | 1 |
| Innehåll | 3 |
| 1. Bakgrund, syfte och avgränsningar | 4 |
| 2. Arbetsmetodik och hypotes | 4 |
| Brottkapacitet i brottgräns | 4 |
| Deformationskriterier i bruksgräns | 5 |
| Arbetsmetodik | 5 |
| 3. Komponenter | 5 |
| 3.1 Väggar | 5 |
| 3.2 Volymer | 5 |
| 4. Resultat | 6 |
| 4.1 Resultat väggprovningar | 6 |
| 4.2 Resultat från provning av volymer | 7 |
| 4. Utvärdering av provningsresultat | 8 |
| 4.1 Analytisk utvärdering av provningar | 8 |
| 4.2 Utvärdering med hjälp av FEM-beräkningar | 13 |
| 4.2.1 Modeller och modellkalibrering | 14 |
| 4.2.3 Resultat och slutsatser från FE-beräkningar | 16 |
| 5. Slutsatser från provningar och resultat från provningar | 17 |
| Referenser | 19 |

1. Bakgrund, syfte och avgränsningar

Byggnad av flervåningshus i trä ökar i allt större omfattning i Sverige. För att upprätthålla och förbättra konkurrenskraften är det viktigt att ständigt utveckla nya produkter men även förbättra befintliga produkter. En viktig del är även att förbättra beräkningsmetoder och verifiera befintliga produkters kapacitet.

Dimensionering av stabiliserande väggar görs oftast enbart på delkomponentnivå (summering av enskilda väggars kapacitet). Den effekt som ett tre-dimensionellt synsätt innebär tas ej till vara på grund av svårigheten och liten erfarenhet av eventuellt mervärdet som kan fås med ett tre-dimensionellt betraktelsesätt.

Om det skulle finnas en möjlighet att skapa en "3D-faktor" har det en stor betydelse för tillverkare av byggnadsvolymer. Det kan eventuellt innebära att det är möjligt att bygga högre än idag men även att mängden stabiliserande skivor kan minskas med bibehållen total stabilitet.

Projektet bygger på den senaste utvecklingen inom träbyggnadsteknik och byggteknik som möjliggjorde byggandet av flera våningar med upp till 8-10 våningar.

Syftet med projektet är att optimera befintliga konstruktioner och utveckling av designverktyg / metoder, processer och byggsystemsteknik för att därmed öka konkurrenskraften för träbyggande.

Följande delmål har ansatts:

- Sammanställning av tidigare arbeten och resultat.
- Presentation av beräkningshypotes för "3D-faktor".
- Resultat från provningar av stabilitet.
- Sammanställning av FEM-modell.
- Utvärdering och anpassning av hypotes.

2. Arbetsmetodik och hypotes

Principen för att fastställa en 3-D faktor har varit att utifrån provningar visa på skillnader mellan resultaten vid tryckprovning av enskilda väggar respektive tryckprovning av volymer med likartade väggar. Jämförelsen har gjorts analytiskt respektive med hjälp av FEM-beräkningar.

Brottkapacitet i brottgräns

Den vanligaste metoden, elastisk dimensionering, för att dimensionera en väggs stabilitet och brottkapacitet är att beräkna brottkapacitet för de skivor infästa till en regelkonstruktion enligt gällande beräkningsnormer. Beräkningarna baseras på ingående skivors kapacitet, fästelementens kapacitet och samverkan mellan skivor. Väggsnivåernas kapacitet baseras ofta på provningar där resultaten beräknats om för att gälla per meter vägg eller likvärdigt. Resultaten redovisas som tillåten horisontell last per skivbredd och hela väggens kapacitet blir summan av samtliga skivors

kapacitet. En volyms horisontella kapacitet bestäms av hur många väggar som verkar i kraftriktningen.

Den plastiska metoden /1/ ger möjligheten att styra krafterna och ta större hänsyn till tvärgående väggar och ger vanligtvis högre beräknade kapaciteter.

Deformationskriterier i bruksgräns

Vilka deformationskriterier som ska gälla beslutas av konstruktören och i gällande normer finns det inga bestämda kriterier. Rekommendationer och tidigare versioner av normer har använts sig av deformationsbegränsningar $u \leq h/300$ där h anger aktuell höjd (tidigare version av Eurokod5) respektive $u \leq h/500$ (tyska DIN -normen).

Om lutningsändring medför skador i väggar och stomkompletteringar och utan särskild utredning godtas en lutningsändring av 0,2% eller $h/500$, /2/. Om det inte föreligger någon risk för skador godtas för lutningsändringar på högst 0,7 % eller $h/143$, /2/.

Arbetsmetodik

Arbetsmetoden inom projektet har varit att

- a) Fastställa mothållande väggars kapacitet genom provning.
- b) Fastställa volymens mothållande kapacitet genom provning.
- c) Utvärdera resultatet analytiskt och med FEM-beräkningar.
- d) Fastställande av 3D-faktor.

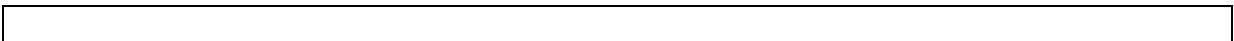
3. Komponenter

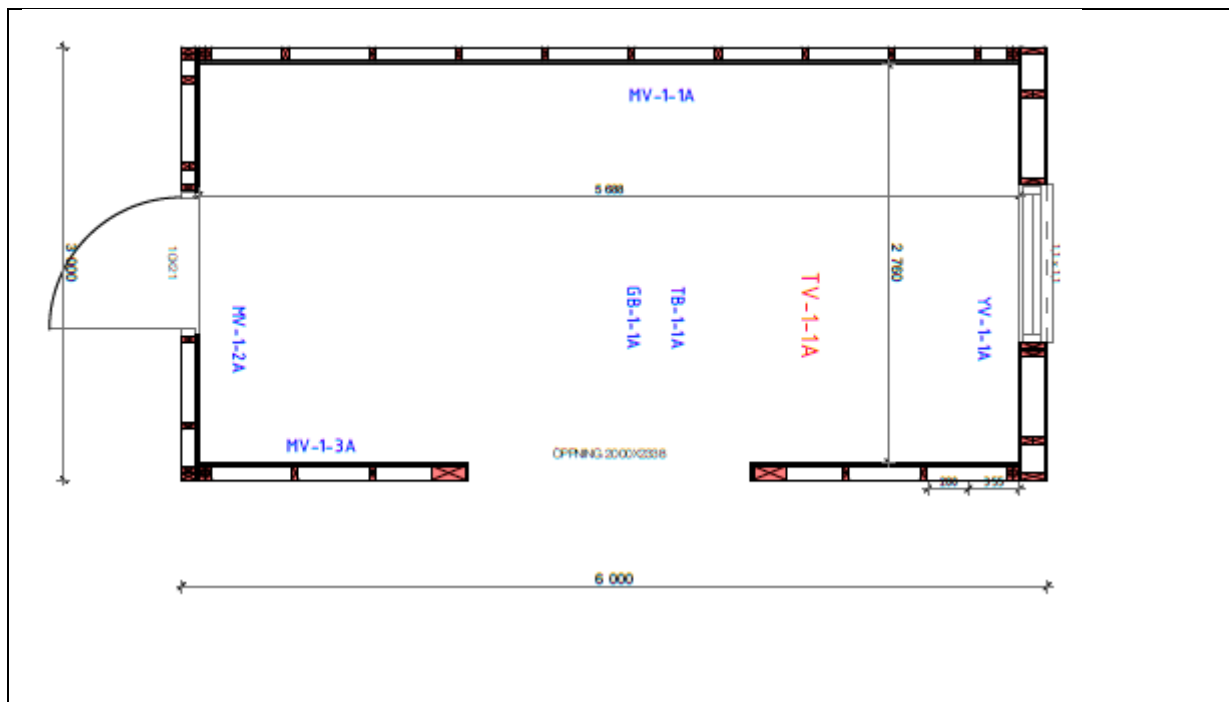
3.1 Väggar

Inom projektet har totalt 16 väggelement byggts och provats med olika uppbyggnader. Väggelementen har tillverkats och tillhandahållits av Derome AB respektive Lindbäcks Bygg AB. Uppbyggnad av väggar framgår i bilaga 1, Provning av väggstyvhets, RISE rapport 2P00662-01.

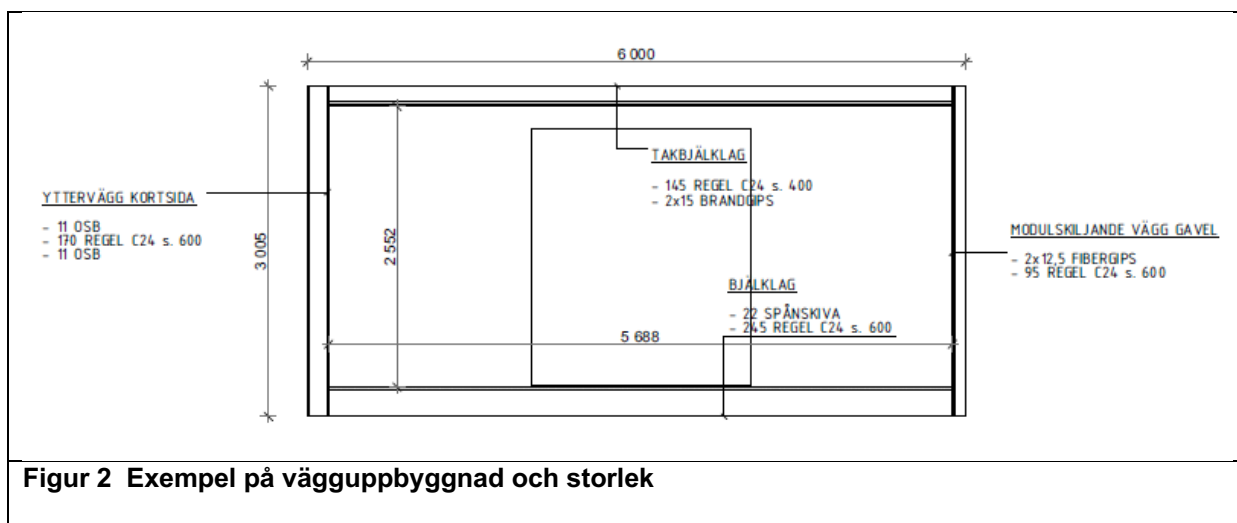
3.2 Volymer

Inom projektet har två volymer byggts med likartad planlösning men med företagsspecifika vägguppbyggnader. Volymererna har tillverkats och tillhandahållits av Derome AB respektive Lindbäcks Bygg AB. Beskrivningen av volymererna framgår i bilaga 2, Provning av väggstyvhets, volymer, RISE rapport 2P00662-02.





Figur 1 Planlösning volym



Figur 2 Exempel på vägguppbyggnad och storlek

4. Resultat

4.1 Resultat väggprovningar

Fullständiga resultat och beskrivning av provningar av väggar återges i rapport
 Provning av väggstyvhet, RISE rapport 2P00662-01

Tabell 1 Sammanställning av resultat från provning av enbart väggar

Styvhetsbestämning.

Tabell 1: Resultat av styvhet (R) av väggelement.

| Vägg: | *R (N/mm) | R gäller för Intervall (N) | **F _{max} (N) | Def vid 10kN (mm) |
|--------------|--------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------|
| K1 (3m) | 2459 | 4 500 – 25 000 | 37 237 | 3,37 |
| Y1 (3m) | 1421 | 3 400 – 10 000 | 27 065 | 3,71 |
| LS1 (6m) | 2578 | 2 200 – 30 000 | 46 394 | 3,55 |
| LS2 (6m) | 717 | 2 000 – 8 000 | 19 534 | 9,63 |
| YV (3m) | 2 265 | 2 000 – 22 000 | 47 039 | 3,67 |
| MV-1-2A (3m) | 1 494 | 2 500 – 10 000 | 24 278 | 3,67 |
| MV-1-1A (6m) | 3 279 | 18 000 – 32 000 | 51 451 | 0,09 |
| MV-1-3A (6m) | 1 970 | 7 500 – 20 000 | 41 304 | 1,58 |

4.2 Resultat från provning av volymer

Fullständiga resultat och beskrivning av provningar av volymer återges i rapport
Provning av väggstyvhet, volymer RISE rapport 2P00662-02.

Tabell 2 Sammanställning av förskjutningar vid olika pålagd last.

Tabell 2: Förskjutning tvärs volymer.

| Last (kN) | Lindbäcks | | Derome | |
|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Läge 3 (mm) | Läge 5 (mm) | Läge 3 (mm) | Läge 5 (mm) |
| 25 | 0,19 v | 0,36 h | 2,45 h | 1,12 h |
| 50 | 1,24 v | 1,90 h | 4,45 h | 1,72 h |
| 75 | 1,79 v | 0,97 h | 5,86 h | 2,35 h |
| 100 | 2,89 v | 5,64 h | 6,75 h | 2,23 h |

Läge 3 = Bak/ uppe/ vänster

Läge 5 = Ovanför sidoöppning

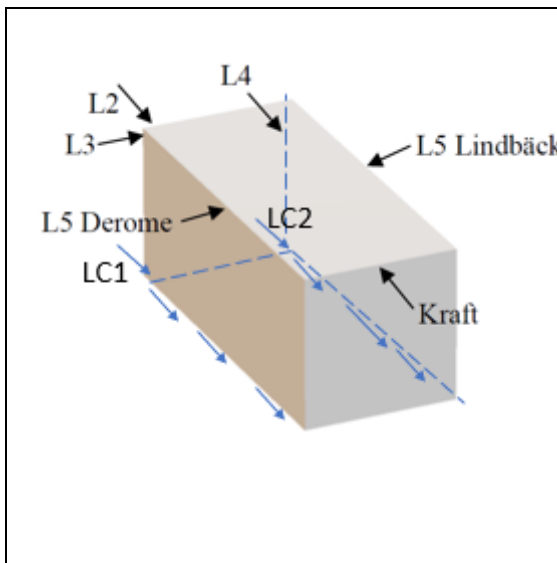
v = förskjutning åt vänster från trycksidan

h = förskjutning åt höger från trycksidan

4. Utvärdering av provningsresultat

4.1 Analytisk utvärdering av provningar

Påförd kraft och mothållande krafter ska ta ut varandra. Påförd kraft gjordes vid en punkt, se provningsrapport, och fördelades ut till längsgående väggar via en fördelningsbalk. För att bestämma hur stor del som går till vardera vägg registrerades även horisontella krafter i mothållande stöd. Tillsammans med friktion mot stålbalk ska totala mothållande kraft vara lika med totala påförd kraft.



Figur 3 Principfigur placering av pålagda laster och placering av lägesgivare.

LC1, LC2 lastgivare

L1-L5 lägesgivare



Figur 4 Bild från provningsuppställning volymer.

Mothållande kraft på grund av friktion, friktionskoefficienter

I anliggningsytan mellan stålram och volymens syll uppkommer mothållande krafter. Storleken på mothållande krafter bestäms av friktionskoefficienten mellan ytorna. Vid provningen fanns plast mellan volym och stålrigg vilket ger en mothållande kraft på grund av friktion vilken kan fastställas enligt:

$$F_{\text{friktion}} = N \mu_f$$

Friktionskoefficient kontrollerades via försök och fastställdes till

Trä – stål $\mu_f = 0,485 - 0,490$

Plast – stål $\mu_f = 0,330 - 0,340$

Sylomer – trä $\mu_f = 0,73 - 0,78$

Volymens egenvikt uppgår till cirka 2900 kg och pålagd last i form av körplåtar uppgår till 7600 kg. Totala mothållande kraft blir då cirka 35 kN.

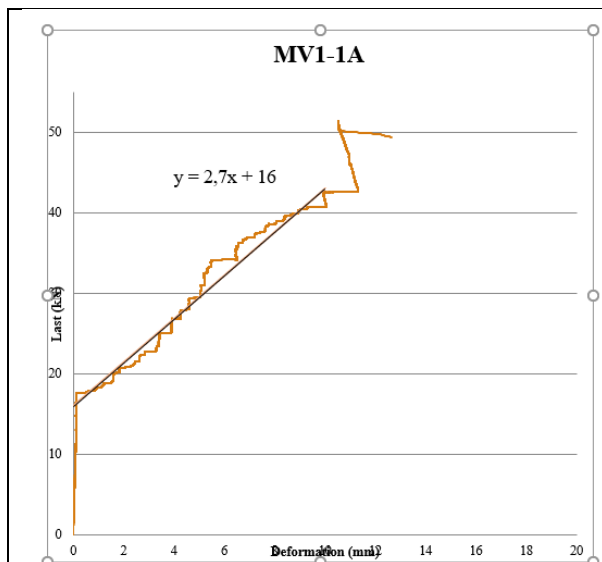
$F_{\text{friktion}} = N \mu_f = (76000 + 29000) \times 0,335 = 35,18 \text{ kN}$ som skall fördelas lika på båda långsidor.

Valda väggar och beteckningar

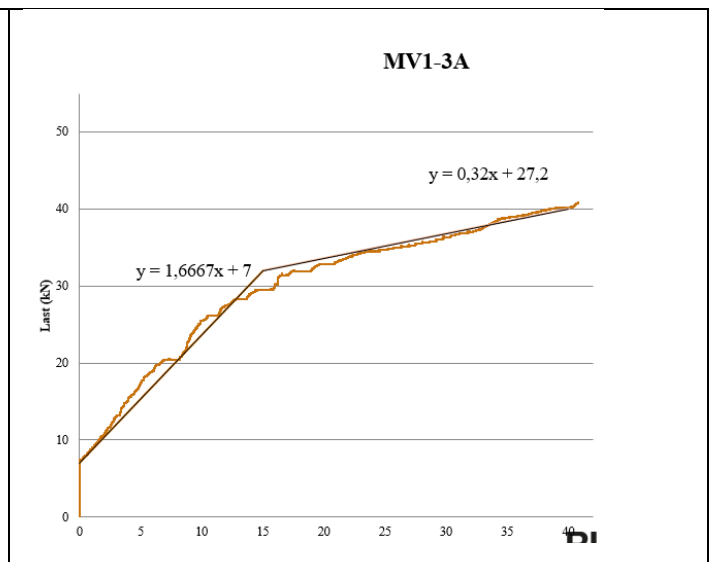
Jämförelsen mellan vägg och volym görs på väggnivå d.v.s att resultaten från väggarnas kapacitet vid väggprovning jämförs med väggarnas kapacitet vid provningen av volymen. Jämförelsen görs för varje enskild vägg.

3D-faktorn har beräknats fås enligt: $F_{3D} = F_{\text{vägg}} / F_{\text{volym}}$ vid deformation av 5 mm, 10 mm, 15 och 20 mm.

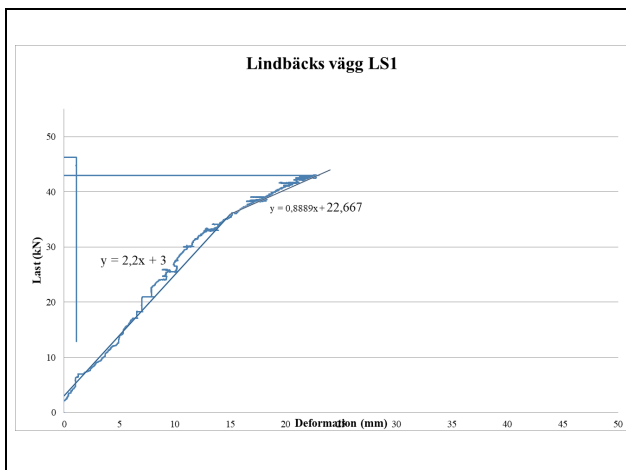
För att kunna fastställa inom vilka områden (deformationsgränser) som faktorerna gäller har linjära samband fastställts mellan kraft och deformation, se figurer nedan.



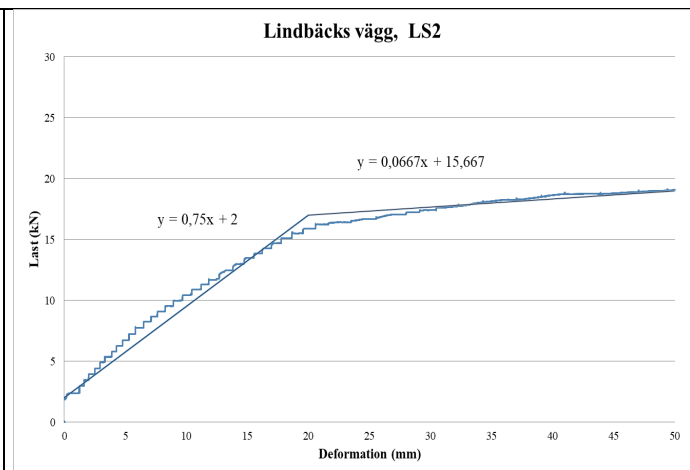
Figur 5 Graf från väggprovning. Långsida vägg utan öppningar, Derome AB.



Figur 6 Graf från väggprovning. Långsida vägg med öppningar, Derome AB.

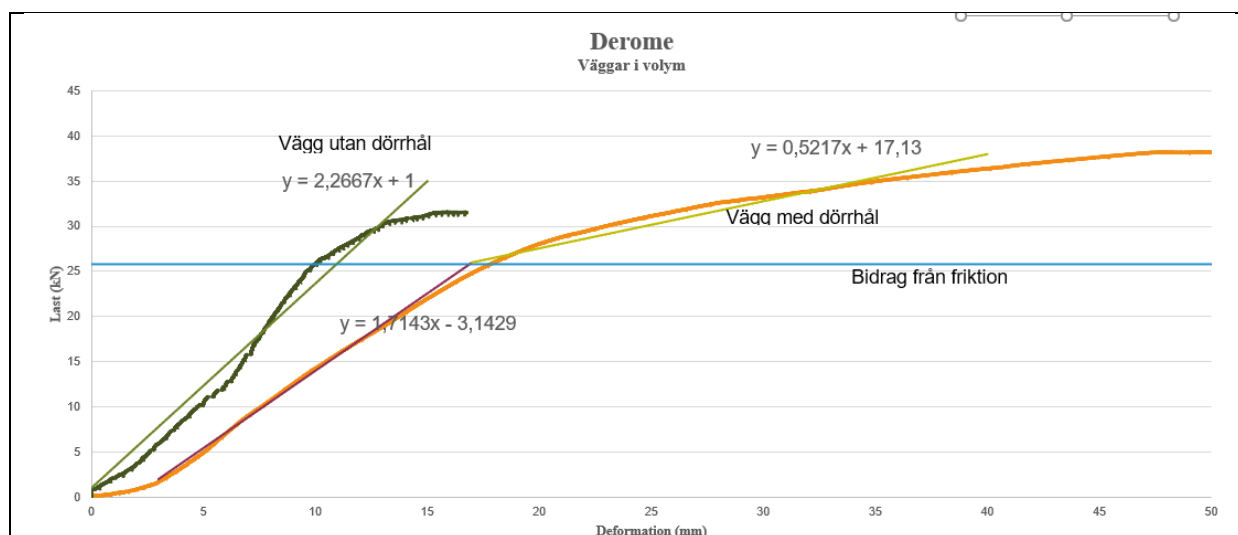


Figur 7 Graf från väggprovning. Långsida vägg utan öppningar, Lindbäcks Bygg AB.

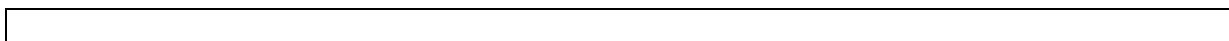


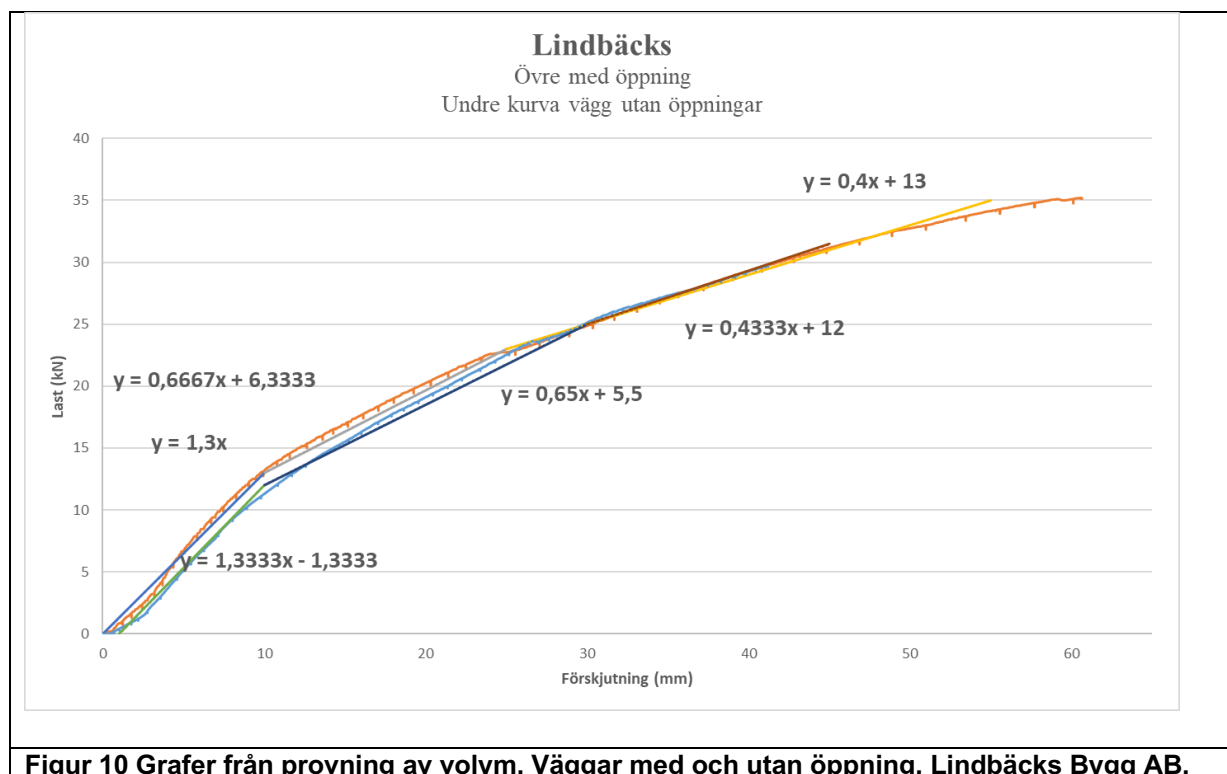
Figur 8 Graf från väggprovning. Långsida vägg med öppningar, Lindbäcks Bygg AB.

På ett likartat sätt tas grafer fram för långsidor vid provning av volym, se Figur 9.



Figur 9 Grafer från provning av volym. Vägg med och utan öppning. Derome AB





Sätts värden in för de olika graferna och görs en jämförelse fås följande värden enligt Tabell 3-Tabell 6.

Tabell 3 Jämförelse vägg MV1-1A, långsida utan öppning, Derome AB.

| $R=3279 \text{ N/mm}$ | 5 mm | 10 mm | 15 mm | 20 mm |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| MV1-1A, väggprov | 29,5 kN | 43 kN | Cirka 55 kN* | Cirka 70* |
| MV1-1A, volymprov | 12,3+17,6 =29,9 kN | 23,7+17,6 =41,3 kN | 34,0+17,6 =51,6 kN | - |
| Faktor | 1,01 | 0,96 | 0,94 | |

- Värden beräknade linjärt utifrån värden mellan 0-10 mm.

Tabell 4 Jämförelse vägg MV1-3A, långsida med öppning, Derome AB.

| $R=1970 \text{ N/mm}$ | 5 mm | 10 mm | 15 mm | 20 mm |
|--------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| MV1-3A, väggprov | 15,3 kN | 23,7 kN | 32,0 kN | 33,6 kN |
| MV1-3A, volymprov | 5,4+17,6 =23 kN | 14,0+17,6 =31,6 kN | 22,6+17,6 =40,2 kN | 27,6+17,6=45,2 kN - |
| Faktor | 1,50 | 1,33 | 1,26 | 1,35 |

Tabell 3 Totalt volym, Derome AB.

| | 5 mm | 10 mm | 15 mm | 20 mm |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| MV1-1A+MV1-3A väggprov | 44,8 kN | 66,7 kN | 87,0 kN | 103,6 kN |
| Volymprov | 50,6 kN | 72,3 kN | 92,7 kN | 101,2 kN |
| Faktor | 1,13 | 1,08 | 1,06 | 0,98 |

Tabell 4 Jämförelse vägg LS1, långsida utan öppning, Lindbäcks Bygg AB.

| R=2578 N/mm | 5 mm | 10 mm | 15 mm | 20 mm |
|-----------------------|---------------|-----------------------|--------------------|----------------|
| LS1, väggprov | 14,0 kN | 25,2 kN | 36,1 kN | 40,5 kN |
| LS1, volymprov | 5,3+17,6=22,9 | 12,0+17,6 =29,6 kN | 15,3+17,6 =32,9 | 18,5+17,6=36,1 |
| Faktor | 1,63 | 1,17 | 0,91 | 0,89 |

Tabell 5 Jämförelse vägg LS2, långsida med öppning, Lindbäcks Bygg AB.

| R=717 N/mm | 5 mm | 10 mm | 15 mm | 20 mm |
|-----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|
| LS2, väggprov | 5,8 kN | 9,5 kN | 13,25 kN | 17,0 kN |
| LS2, volymprov | 6,5+17,6 =24,1 kN | 12,0+17,6 = 29,6 kN | 16,3+17,6 =33,9 kN | 19,7+17,5=37,2 kN |
| Faktor | 4,16 | 3,12 | 2,56 | 2,19 |

Tabell 6 Totalt volym, Lindbäcks Bygg.

| | 5 mm | 10 mm | 15 mm | 20 mm |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| LS1+LS2 väggprov | 19,8 kN | 34,7 kN | 49,4 kN | 57,5 kN |
| Volymprov | 45,3 kN | 57,7 kN | 67,2 kN | 75,2 kN |
| Faktor | 2,28 | 1,67 | 1,36 | 1,31 |

Felkällor

Under provningen av volymerna kröktes riggens huvudbalk vilket innebar en vinkeländring av pålagd last. Balken kröktes uppåt maximalt 50 mm vid lastpunkt. Det innebär att även vertikala reaktionskrafter uppkommer i stöden och att de horisontella mothållande krafterna minskar. Vertikala krafter och minskad horisontella krafter kan uppskattas till:

Vinkeländring av lasten: vinkeloförändring $\alpha = \arctan 50/6000$ ger cirka 0,5 grader.
Vertikal kraft vid påford last av 100 kN ger 0,9 kN.
Horisontell ändring på grund av vinkelförändring: cirka 0,1 kN.

Egenvikten mellan långsideväggarna skiljer sig åt vilket påverkar friktionskraftens storlek. Skillnaden är dock så liten så att det har betraktats som försumbart.

Den pålagda kraften F1 bör vara lika stor som uppmätta krafter vid ändstöd LC1 och LC3 adderat med mothållande krafter på grund av friktion. En jämförelse visas i tabell XX och tabell YY.

Tabell 5 Jämförelse mellan pålagd horisontell last och uppmätt kraft, Derome.

| | 5 mm | 10 mm | 15 mm | 20 mm | 25 mm | 60 mm |
|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| F1 | 53,6 | 65,4 | 80,0 | 92,7 | 98,7 | 116,4 |
| LC1+LC2 +F_{friktion} | 10,4+7,76 +35,2=53,4 | 15,5+14,3 +35,2=65,0 | 22,0+21,4 +35,2=78,6 | 28,0+25,9 +35,2=89,1 | 31,2+27,7 +35,2=94,1 | 38,9+31,5 +35,2=105,6 |
| Skillnad | -0,2 (0,4%) | -0,4 | -1,4 | -3 | -4,6 (4,6%) | -10,8 (9,3%) |

Tabell 6 Jämförelse mellan pålagd horisontell last och uppmätt kraft, Lindbäcks Bygg.

| | 5 mm | 10 mm | 15 mm | 20 mm | 25 mm | 50 mm |
|------------------------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| F1 | 50,0 | 62,1 | 70,8 | 78,0 | 82,5 | 98,3 |
| LC1+LC3 | 9,9+6,7 | 15,0+13,2 | 18,6+17,0 | 21,8+20,3 | 23,6+22,7 | 28,3+32,7 |
| +F_{friktion} | +35,2=51,8 | +35,2=63,4 | +35,2=70,8 | +35,2=77,3 | +35,2=81,5 | +35,2=96,2 |
| Skillnad | 1,8 | 1,3 | 0 | -0,7 | -1,0 | -2,1 |

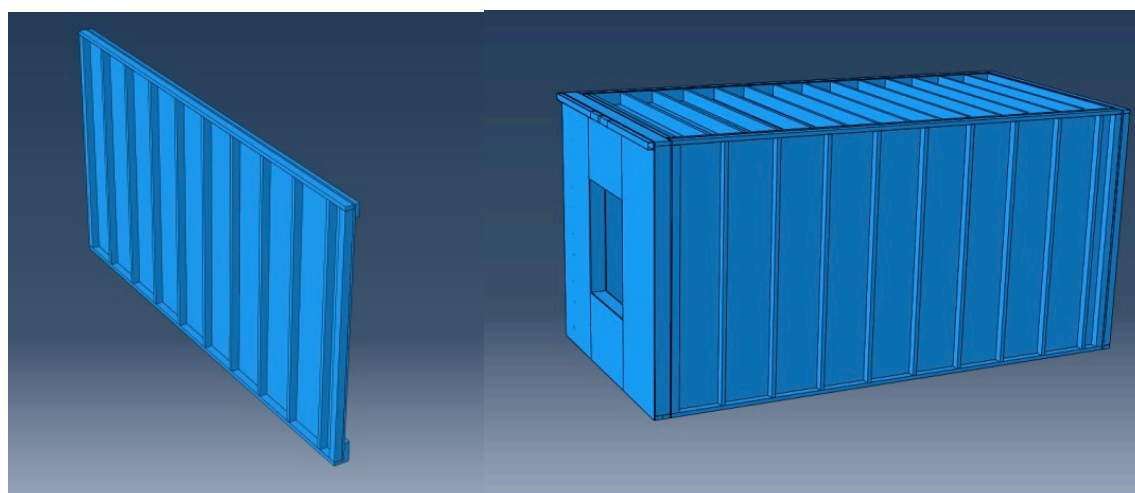
Skillnaden mellan pålagd horisontell last och uppmätt horisontell last är mindre än 5% vid last under 100 kN.

Provningar av enskilda väggar ej görs exakt på likartat sätt som då väggen är infäst i volymen samt att enskilda väggars utböjning i sida, kan ha påverkat mätresultaten. Det kan ha medfört att enskilda väggars srtyvhet har underskattats.

4.2 Utvärdering med hjälp av FE-beräkningar

Inom projektet har även upprättats modeller och deformationer beräknats och jämförts med provningsresultat.

Modeller av väggarna och Deromes och Linbäcks testmoduler gjordes enligt ritningar, figur 11. För ritningar, se bilaga.



Figur 11. Exempel på modellerad vägg och volym

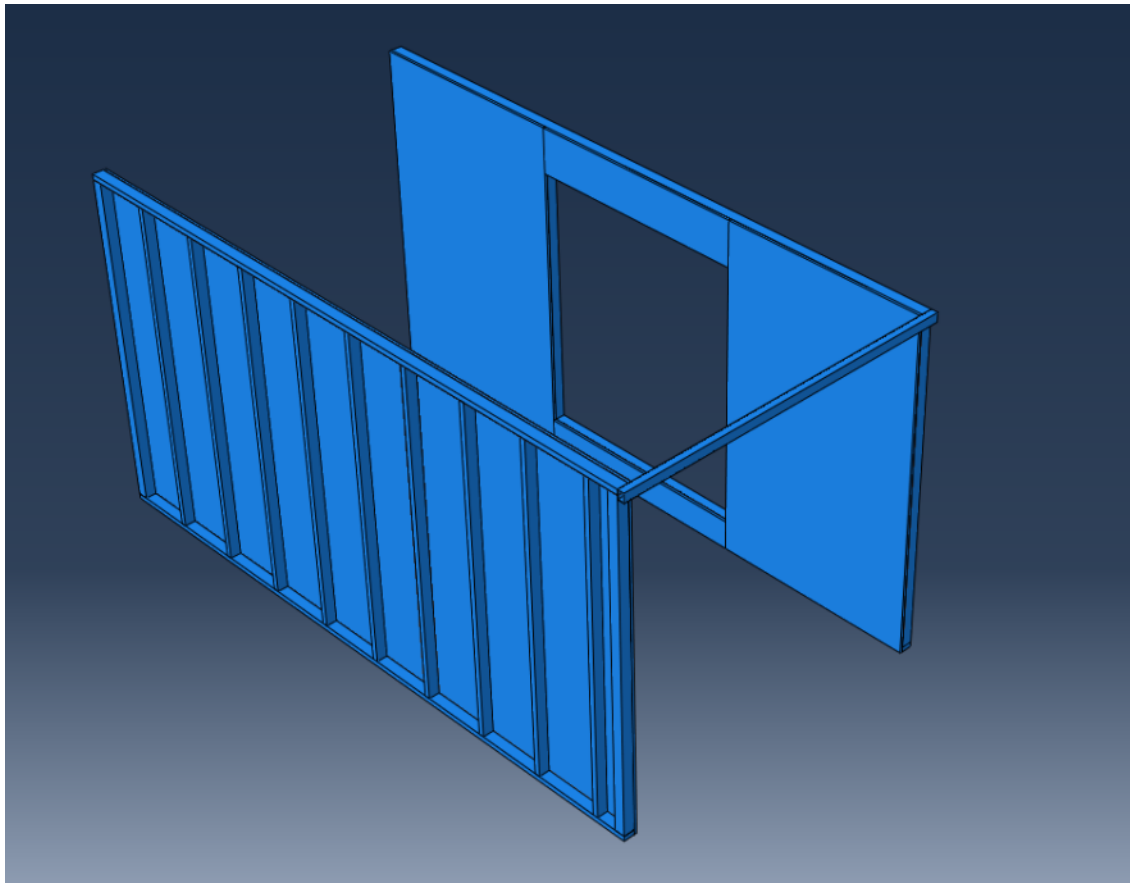
Både träreglar och gipsskivor modellerades som elastiska. Stålbalken som användes vid experimenten modellerades som elasto-plastisk. Se tabell 7 för materialdata. Poissons ratio sattes till noll för trä och 0.3 för gips och stål.

Tabell 7. Materialdata för trä, gips och stål i MPa

| | E1 | E2 | E3 | G1 | G2 | G3 |
|------|---------|-----|-----|-----|-----|----|
| Trä | 11000 | 370 | 370 | 690 | 690 | 69 |
| Gips | 2500 | | | | | |
| Stål | 210 000 | | | | | |

Kontaktvillkoren som användes var kohesionsstyrda, där styvheterna i huvudriktningarna anpassades så att modellen skulle följa experimentens globala last-förskjutningskurva, upp till 10 mm förskjutning. I övrigt användes "hard contact" och "Allow separation after contact". Elementen som användes var C3D8. Lasten simulerades med en förskjutning istället för en kraft pga. bättre konvergens.

Kontaktstyvhet var samma för gips-trä som trä-trä, ingen takbelastning modulen. Modellens randvillkor var fritt upplagt stöd på balkar under volymen och väggar samt stöd i kraftensriktning på balk längst bak på volym och vägg. För att jämföra modulens styvhet med väggarnas styvhet gjordes en modell där de två långsideväggarnas styvhet testades tillsammans, se figur 12. Denna modell gjordes även med ett randvillkor som förhindrade buckling av väggarna, gips skivorna hölls fast ut ur planet.



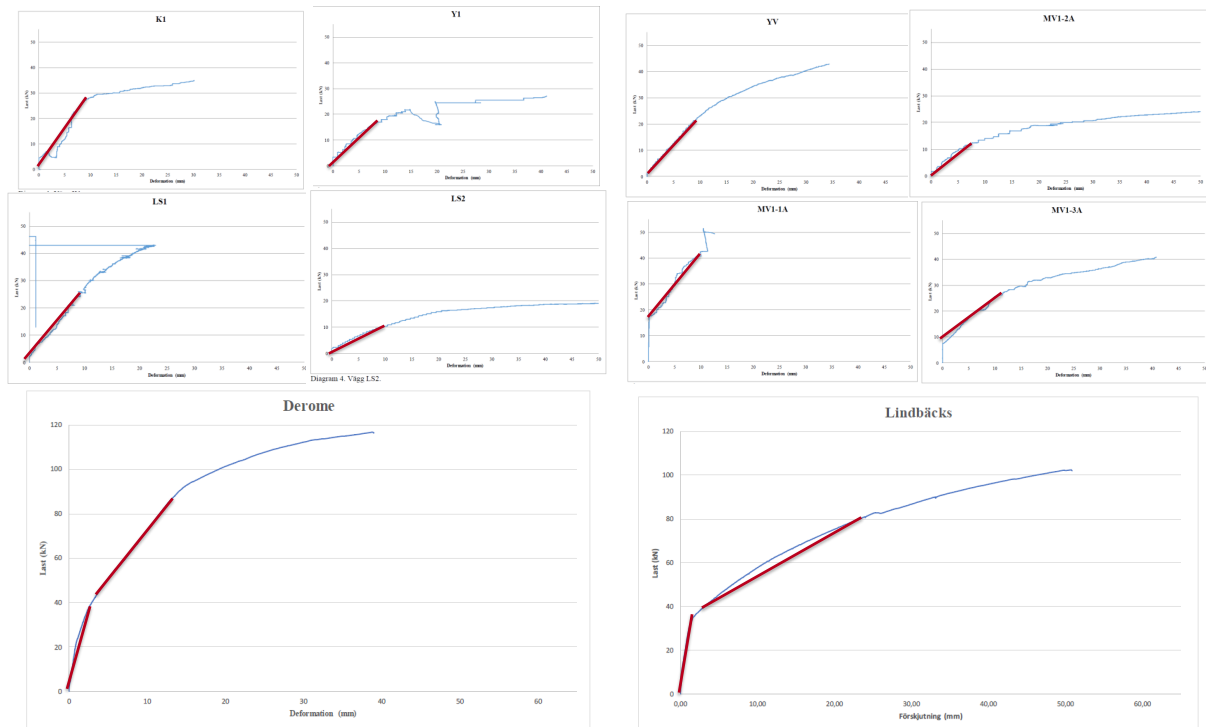
Figur 12. Modell som testar två långsideväggarna tillsammans.

4.2.1 Modeller och modellkalibrering

För att kalibrera modellen mot väggtesterna så approximerades testresultaten till en linjär styvhet upp till 10 mm, se figur 13. För modulen gjordes detsamma, men modellen kalibrerades mot två olika styvheter, se figur 13. För volymerna kallas styvheten som börjar från noll, 1:a styvheten och den påföljande 2:a styvheten.

En modell av volymen där de kalibrerade väggstyvheterna användes gjordes. I detta fall gjordes ingen kalibrering mot volymexperimentens last-förskjutningskurva. Det ger en relativ jämförelse, modellmässigt, då man går från väggar till volym.

För att räkna fram en "3D-faktor" jämfördes volymens styvhet, upp till 5 mm förskjutning, med modellen med de två väggarna. Vid ratio1 används väggarna som kan buckla och vid ratio2 kan de inte buckla. Detta testades för att vid handberäkningar tas inte hänsyn till bucklingen. Resultatet från kontaktstyvheten från enskilda väggar användes till volymens väggar. Summering av modeller kan ses i tabell 8.



Figur 13. Visar principiella kalibreringsstyvheten till modellerna, för både väggar och volymer.

Tabell 8. Kalibrerade modeller, väggar, två väggar, volymer

| Namn | Beskrivning | Namn | Beskrivning | Namn | Beskrivning |
|--------------|-------------|------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| LS1 (6m) | Hel vägg | LS-1/2 | 2 väggar med buckling | Volym LB ₁ | 1:a styvhet |
| LS2 (6m) | Öppning | LS-1/2 | 2 väggar utan buckling | Volym LB ₂ | 2:a styvhet |
| MV-1-1A (6m) | Hel vägg | MV-11A/13A | 2 väggar med buckling | Volym LB ₃ | Kalib. med väggstyvheter |
| MV-1-3A (6m) | Öppning | MV-11A/13A | 2 väggar utan buckling | | |
| K1 (3m) | Dörr | | | Volym D ₁ | 1:a styvhet |
| Y1 (3m) | Fönster | | | Volym D ₂ | 2:a styvhet |
| MV-1-2A (3m) | Dörr | | | Volym D ₃ | Kalib. med väggstyvheter |
| YV (3m) | Fönster | | | | |

4.2.3 Resultat och slutsatser från FE-beräkningar

I tabell 9 och 10 kan resultaten av modellerna ses i form av väggarnas och volymernas styvheter och de kalibrerade kontaktstyvheter.

Tabell 9. Resultatet från väggtesterna

| Namn | Styvhet (N/mm) | Kontaktstyvhet (N/m) (kx, ky, kz) |
|-----------------|----------------|-----------------------------------|
| LS1 (6m) | 2 600 | 2.5E8, 5E7, 5E7 |
| LS2 (6m) | 700 | 9E7, 1.8E7, 1.8E7 |
| MV-1-1A (6m) | 2 600 | 3E8, 6E7, 6E7 |
| MV-1-3A (6m) | 1 900 | 2E8, 4E7, 4E7 |
| K1 (3m) | 2459 | 2.5E9, 5E8, 5E8 |
| Y1 (3m) | 1421 | 8E7, 1.6E7, 1.6E7 |
| MV-1-2A (3m) | 1 494 | 6E8, 1.2E7, 1.2E7 |
| YV (3m) | 2 265 | 2.2E8, 4.4E7, 4.4E7 |
| 2 väggar | | |
| LS-1/2 | 2613 | Buckling |
| LS-1/2 | 4235 | No buckling |
| MV-11A/13A | 4687 | Buckling |
| MV-11A/13A | 8039 | No buckling |

Resultatet från volymtesterna med de olika ratio kan ses i tabell 10.

Tabell 10. Volymernas styvhet samt ratio

| Wall | Styvhet (N/mm) | Contact stiffness (N/m) | Ratio1 | Ratio2 |
|-----------------------------|----------------|-------------------------|-------------|-------------|
| Volym LB ₁ | 12 100 | 5E10, 1E10, 1E10 | 4.63 | 2.86 |
| Volym LB ₂ | 2 200 | 4E7, 8E6, 8E6 | 0.84 | 0.52 |
| Volym LB₃ | 5780 | | 2.21 | 1.36 |
| Volym D ₁ | 15 000 | 5E8, 1E8, 1E8 | 3.20 | 1.87 |
| Volym D ₂ | 4 100 | 6E7, 1.2E7, 1.2E7 | 0.87 | 0.51 |
| Volym D₃ | 11016 | | 2.35 | 1.37 |

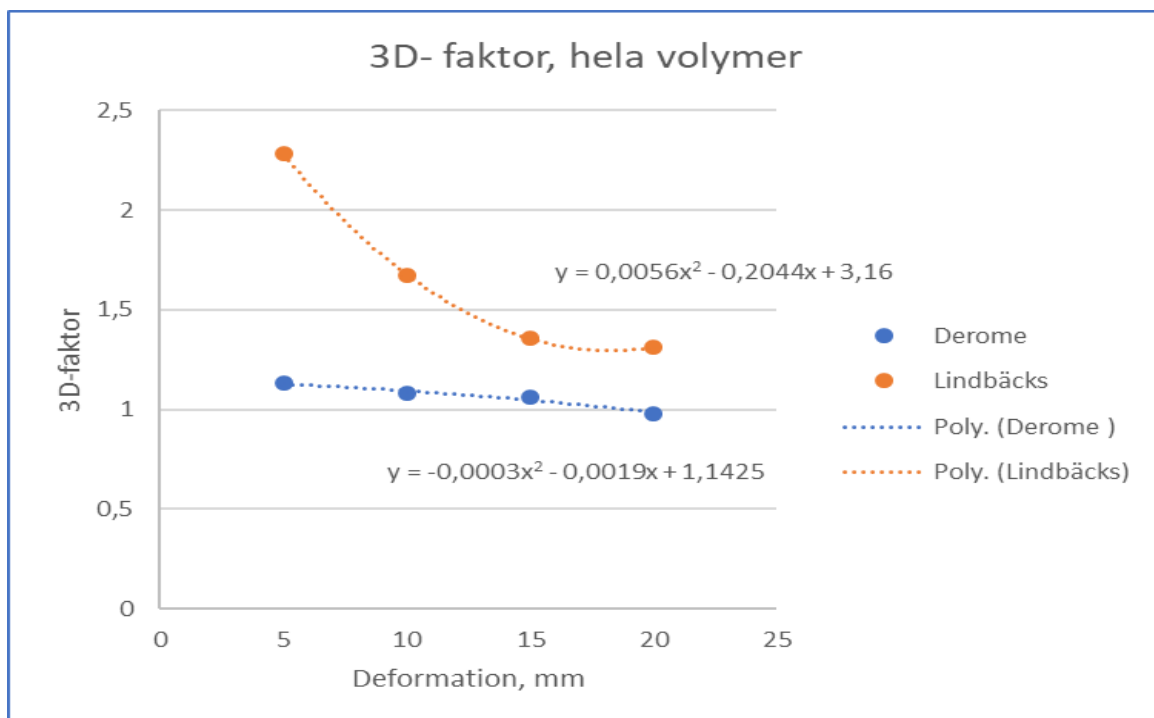
I tabell 9 kan man se att styvheter när man introducerar buckelfria väggar ökar med 60% för LB-väggar och 70 % för D-väggar. I tabell 4 ses de tre styvheter för volymerna. Skillnaden i styvhet för LB:s volymer är stor, de antogs att styvheter för LB₁ och LB₂ var orimligt höga och låga och att LB₃ var den mest rimliga att jämföra med styvheter för de två väggarna. Där kan man se att ratio1 = 2.21 och ratio2 = 1.36. Detsamma gjordes för Deromes volymer, där att ratio1 = 2.35 och ratio2 = 1.37. Värdena på ratio1 och 2 är liknande för de båda volymerna. Det är mest rättvist att titta på ratio2 och man ska jämföra med de handräkningar som görs. Då får båda volymerna en 3D faktor på ca 1.36.

Dock har inga styvheter för infästningen mellan väggarna, bjälklag och tak kalibrerats. Dessa estimeras kunna få 3D-värdet att variera med i alla fall ±10%.

Detta borde utredas vidare för att kunna få en komplett modell av volymen. Eftersom inga spikar och deras plasticitet modelleras skulle man även kunna kolla upp om plasticitet i gipsskivor och/eller träet skulle kunna förbättra volummodellen vi större förslutningar.

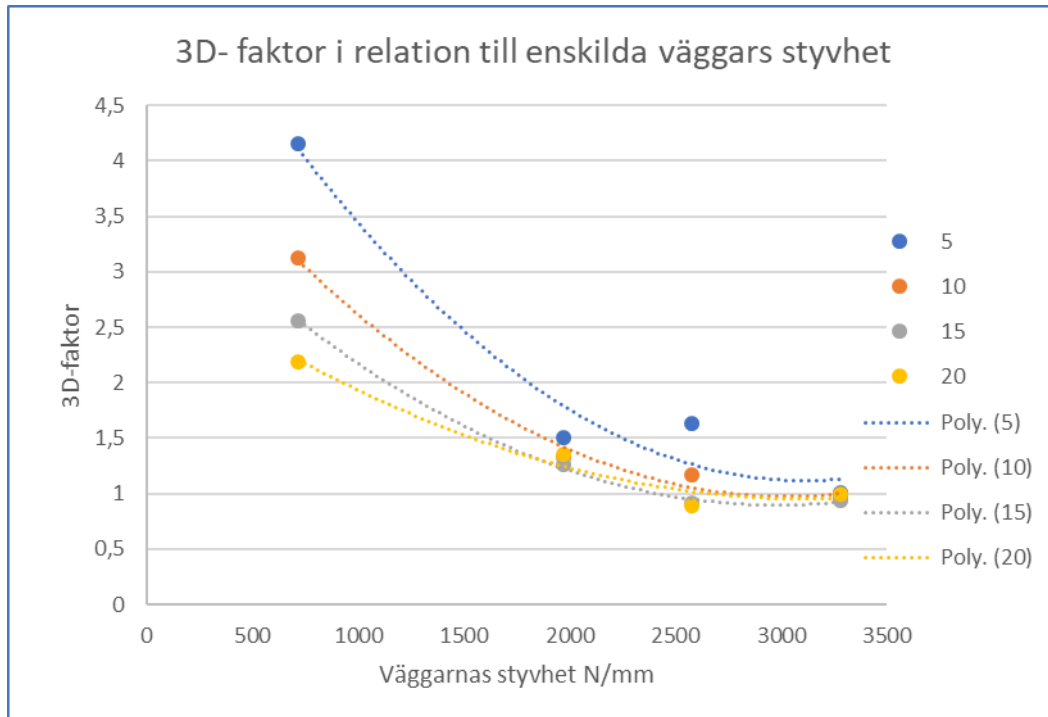
5. Slutsatser från provningar och resultat från provningar

Vid en analytisk utvärdering av provningsresultat fås för hela volymerna en 3D-faktor av 0,98 till 2,28 för deformationer under 20 mm. 3D-faktorn minskar med ökande deformation, se diagram nedan.



Figur 14 Förändring av 3D-faktor beroende på deformation vid mätningar på hela volymen

Motsvarande fås även för enskilda väggar vilket framgår i



Figur 15 Förändring av 3D-faktor i förhållande till väggarnas enskilda styvhetsvärden.

Resultaten från provningar är inte entydiga men ett antal iakttagelser kan göras:

- Volymernas styvhet i relation till summan av enskilda väggars styvhet.
- Skillnaden är relativt liten vid deformationer större än 15-20 mm.
- Hur stor 3D-faktorn blir beror av väggarnas enskilda styvheter.
- En "vek" vägg kommer att få en betydligt högre 3D-faktor.

Slutsatserna från resultaten av FE-beräkningar visar:

- Att 3D-faktorn för volymen är ca 1.36 för små förskjutningar upp till 5 mm. Vid användning av icke-bucklande väggar.
- Att 3D-faktorn för volymen är ca 2.2-2.35 för små förskjutningar upp till 5 mm., vid användning av bucklande väggar.
- En mer komplex modell behövs för att kunna simulera hela volymens förskjutning så som i experimenten.

Referenser

- /1/ Källsner B., Girhammar U.A.: Horisontalstabilisering av träregelstommar, SP Rapport 2008:47.
- /2/ SBN avd 2A Bärande konstruktioner med kommentarer, Statens Planverk författningssamling 1979:7.
- /3/ Ormarsson S., Vessby J., Johansson M., Kua L: Numerical and experimental study on modular-based timber structures, MOC SUMMIT CANADA, 2019.
- /4/ Ziethe´n R.; Extending markets for wood based panel by developing a better understanding of shear test methods and board shear properties, Report SP 2004
- /5/ Carling O.: Stabilisering av tr´hus med flera våningar, artikel Bygg&teknik 2/03

Om TräCentrum Norr

TräCentrum Norr finansieras av de deltagande parterna tillsammans med medel från Europeiska Regionala Utvecklingsfonden och Region Västerbotten.

Deltagande parter i TräCentrum Norr är: Lindbäcks Bygg AB, Luleå tekniska universitet, Martinsons Trä, SCA Forest Products, Norra Skogsägarna, Sågverken Mellansverige, SÅGAB, Sveaskog, Setra, Luleå tekniska universitet, Skellefteå kommun och Piteå kommun.

Mer information om TräCentrum Norr finns på:
www.ltu.se/ske/tcn



TRÄCENTRUM NORR



REGION
VÄSTERBOTTEN

Interreg
Nord
European Regional Development Fund

