



LUND
UNIVERSITY



VINDSOMBYGGNADER I FLERBOSTADSHUS FRÅN BÖRJAN AV 1900-TALET

FRIDA HÅKANSSON och MARIA STAFSTEDT

Structural
Mechanics

Master's Dissertation

DEPARTMENT OF CONSTRUCTION SCIENCES
DIVISION OF STRUCTURAL MECHANICS
ISRN LUTVDG/TVSM--16/5214--SE (1-215) | ISSN 0281-6679
MASTER'S DISSERTATION

VINDSOMBYGGNADER I FLERBOSTADSHUS FRÅN BÖRJAN AV 1900-TALET

FRIDA HÅKANSSON and MARIA STAFSTEDT

Supervisors: **SUSANNE HEYDEN**, Senior Lecturer, Div. of Structural Mechanics, LTH,
together with **LINDA EGIN**, HSB Malmö and **FOLKE HÖST & MARTIN WELBERT**, Tyréns AB.

Examiner: Professor **OLA DAHLBLOM**, Div. of Structural Mechanics, LTH.

Copyright © 2016 Division of Structural Mechanics,
Faculty of Engineering LTH, Lund University, Sweden.
Printed by Media-Tryck LU, Lund, Sweden, July 2016 (*PI*).

For information, address:
Division of Structural Mechanics,
Faculty of Engineering LTH, Lund University, Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden.
Homepage: www.byggmek.lth.se

Work made in cooperation with the Division of Building Physics, LTH,
and also published as Report TVBH-5090.

For information, address:
Division of Building Physics,
Faculty of Engineering LTH, Lund University, Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden.
Homepage: www.byfy.lth.se

Förord

Detta examensarbete genomfördes våren 2016. Arbetet gjordes vid två avdelningar på Lunds Tekniska Högskola, avdelningen för Byggnadsmekanik och avdelningen för Byggnadsfysik. Examensarbetet gjordes i samarbete med HSB Malmö samt med stort stöd från Tyréns i Malmö och Lund.

Vi skulle vilja börja med att tacka våra handledare på LTH, Susanne Heyden och Karin Adalberth, för värdefull kunskap och stöttning genom hela arbetet. Vi vill även tacka Linda Egin på HSB Malmö för ett stort engagemang och roligt samarbete. Från Tyréns skulle vi främst vilja tacka Folke Höst och Tobias Laursen för mycket värdefull kunskap och erfarenhet inom ämnet. Sist men inte minst vill vi tacka våra examinatorer, Ola Dahlblom och Lars-Erik Harderup för viktig input genom hela arbetets gång.

Lund, juli 2016

Frida Håkansson & Maria Stafstedt

Sammanfattning

Ett högaktuellt problem i Sverige är bristen på bostäder. Framförallt saknas små bostäder för unga. Ett sätt att öka antalet små bostäder är att bygga om outnyttjade vindar i befintligt bostadsbestånd till små lägenheter. För att underlätta denna typ av ombyggnader röstade Sveriges riksdag i juli 2014 igenom en lagändring. Lagändringen innebär framför allt att hiss inte behöver installeras för vindslägenheter som är mindre än 35 m². Vid ombyggnad av befintliga byggnader bör tillfälle även tas till att energieffektivisera, dels för att minska klimatpåverkan dels för att minska fastighetsägarens energikostnader.

Lagändringen som gjorts underlättar för ombyggnad i äldre flerbostadshus eftersom dessa ofta saknar hiss. Detta har fastighetsbolaget HSB uppmärksammat. HSB Malmö tittar nu närmare på att bygga om råvindarna i flera av sina flerbostadshus från sekelskiftet. Detta examensarbete har därför fokuserat på de krav och tekniska parametrar som behöver tas hänsyn till vid vindsombyggnader i hus från 1900-talets början. För att undersöka hur vindar från denna tid ser ut har ett referensobjekt som ägs av HSB använts.

Frågeställningarna i detta arbete fokuserar främst på allmänna myndighetskrav, bärighet, energianvändning och fukt. Frågeställningarna har applicerats på två olika lösningsförslag. Lösningsförslag 1 utgår från att den befintliga takkonstruktionen bevaras, lösningsförslag 2 innebär en helt ny takkonstruktion. Frågeställningarna besvaras med hjälp av litteraturstudie, modellering i datorprogram samt handledning. Energianvändningen för de två lösningsförslagen har tagits fram med programmet IDA Ice. Takstolarna har modellerats i Ramanalys, dels för att se hur lasten fördelar sig, dels för att se hur den befintliga byggnaden påverkas av en ökad belastning. För att undersöka fuktsäkerheten för några detaljer i lösningsförslagen har dessa modellerats i WUFI. Genom hela arbetet har handledning erhållits av Tyréns, HSB samt handledare från avdelningarna för byggnadsmekanik och byggnadsfysik på LTH.

Utifrån de två lösningsförslagen kan en rad slutsatser dras. För lösningsförslag 1 behöver takstolarna förstärkas. Dessutom bör det utredas närmare hur den globala takkonstruktionen tar hand om de horisontella utåtriktade lasterna. Bjälklagets uppbyggnad bör också undersökas och kontrolleras eftersom det utsätts för en större belastning. En kvalité med att bevara den befintliga takkonstruktionen är att ha delar av den synlig, detta begränsar dock mängden isolering och därmed energibesparingen. Ett annat problem med lösningsförslag 1 är svårigheten att få den lufttät. Lufttätheten påverkar både energianvändningen och fuktsäkerheten.

Vid utformning av en ny takkonstruktion kan varje takstol analyseras som en enhet. Därför behöver inte lika mycket vikt läggas vid att utreda var lasterna tar vägen i den globala takkonstruktionen. För lösningsförslag 2 blir det viktigt hur nya förband utformas vid anslutning mellan takstol och bjälklag. Med en helt ny takkonstruktion finns möjlighet att ta fram en mer fördelaktig lösning sett ur energisynpunkt. Således blir energianvändningen för denna lösning lägre än för lösningsförslag 1. Viktigt att påpeka är att boendeytan minskar med cirka 40 m² på grund av tjockare konstruktion. Fuktsäkerheten för lösningsförslag 2 blir också svårare att säkerställa på grund av ökad isoleringstjocklek.

Nyckelord: Vindsombyggnad, bärighet, energieffektivisering, fuktsäkerhet

Abstract

A current problem in Sweden is the housing shortage. Especially young people are affected since there is a lack of small apartments. One way to increase the amount of smaller apartments is to retrofit unused lofts. To facilitate this type of reconstructions the Swedish parliament voted for a legislative change on the first of July 2014. The change says that no elevator needs to be installed if the apartments are smaller than 35 m².

The change of the law makes it easier for property owners to retrofit older lofts since they often lack elevators. The real estate company HSB Malmö has payed attention to this legislative change and are now taking a closer look on rebuilding loft spaces in several of their real estates from the early 20th century. This work was made in collaboration with HSB Malmö and has therefore focused on the technical aspects and general regulatory requirements when retrofitting a loft in a building from the early 20th century. In order to investigate how lofts from this epoch of time look like a house built in 1929 and owned by HSB has been used as an object of comparison.

The main focus in this report has been; to map the general regulatory requirements, look at the load bearing capacity of the roof structure, see if the energy use can be reduced and study the moisture safety after a retrofit. The main questions have been applied to two different alternatives of rebuilding. One way is to preserve the existing roof structure and the other one is to build a completely new roof structure. The questions have been answered through a literature study, modelling in computer programs and help from tutors. Most of the study has been made with help of three computer programs, IDA Ice, Ramanalys and WUFI. IDA Ice made it possible to calculate the prospective energy use for the two alternatives. Ramanalys was used, among other things, to see how much effect a retrofit has on the roof structure and which elements was most affected. To study the moisture safety in the construction a computer program called WUFI was used.

After completing the study a few conclusions can be made. When it comes to the first alternative, to preserve the existing roof structure, the roof trusses need to be reinforced. In addition to that more investigations need to be made on how to manage the horizontal forces, and the floor structure needs to be surveyed since it will be exposed to larger forces. An important quality with the preserving alternative is that parts of the old structure can be visible. However, this limits the amount of insulation and consequently the energy savings. An other problem with the first alternative is the difficulty to get it air tight. The air tightness affects both the energy savings and moisture safety.

To build a new roof structure allows the builder to decide much more from the beginning. Every roof truss can be analysed as a unit and therefore fewer studies have to be made on the global structure. In a new structure more investigations should be done on how to connect the old and the new structure. From an energy saving standpoint a new structure is to prefer since a thicker insulation layer can be obtained, consequently the energy savings for this alternative are bigger. The two largest downsides with the new structure are a smaller living floor space (almost 40 m² less floor space) and a more critical construction from a moisture safety point of view.

Keywords: Wind Rebuilding, bearing capacity, energy efficiency, moisture resistance

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och mål	2
1.3	Frågeställningar	2
1.3.1	Allmänt	2
1.3.2	Bärighet	2
1.3.3	Fukt, energi och lufttäthet.....	2
1.4	Metod	3
1.5	Omfattning och avgränsningar	4
1.5.1	Omfattning	4
1.5.2	Avgränsningar	6
2	Teori	7
2.1	Flerbostadshus på 1920-talet	7
2.2	Liknande hus	9
2.3	Krav vid ombyggnad	9
2.3.1	Tillståndsprocess	9
2.3.2	Utformning	10
2.3.3	Tillgänglighet	11
2.3.4	Brand och säkerhet.....	12
2.3.5	Hälsa och inommiljö	13
2.3.6	Energiushållning	14
2.3.7	Bärighet	16
2.4	Bärförmåga hos takkonstruktion	17
2.4.1	Svensk takstol	18
2.4.2	Förband	24
2.4.3	Bedömning av skicket på den befintliga konstruktionen	26
2.5	Material i takkonstruktioner	28
2.5.1	Isoleringsmaterial	28
2.5.2	Konstruktionsträ	30
2.5.3	Vindskydd och ångspärr	30
2.5.4	Fönster i takkonstruktioner	31
2.5.5	Bjälklag i trä	32
2.6	Energianvändning	32
2.6.1	Energibalans	32
2.6.2	Specifik energianvändning.....	35
2.6.3	Framtida energikrav	36
2.7	Fuktsäkerhet	36
2.7.1	Fuktkällor.....	36
2.7.2	Fukttransport.....	37
2.7.3	Fuktens negativa effekter	38
2.7.4	Kritiska fuktillstånd.....	38
2.7.5	ByggaF.....	39
3	Förutsättningar för Clara 13	41
3.1	Detaljplanen för Clara 13	41
3.2	Ritningar	42

3.3	Energianvändningen för Clara 13	43
3.4	Fukt	44
3.5	Konstruktionen i Clara 13	44
3.5.1	Takkonstruktionen	45
3.5.2	Bjälklag	48
3.5.3	Fönster	50
3.5.4	Gavelväggar	50
4	Val av konstruktionslösningar	51
4.1	Detaljplan	51
4.2	Energikrav	51
4.2.1	Framtida energikrav	52
4.3	Lösningförslag	52
4.3.1	Lösningförslag 1: Förstärkning av befintlig takstol	54
4.3.2	Lösningförslag 2: Ny takkonstruktion	55
4.3.3	Planlösning	55
4.3.4	Risker och beräkningar för valda lösningförslag	56
5	Analys av bärförmåga hos takstolar	57
5.1	Randvillkor till beräkningsmodell i Ramanalys	59
5.1.1	Vertikal kapacitet	59
5.1.2	Horisontell kapacitet	60
5.2	Indata Ramanalys	67
5.2.1	Horisontell punktlast	67
5.2.2	Tvärsnitt, förstärkt takstol	69
5.2.3	Vertikal styvhet hos kantbalk	71
5.3	Befintliga takstolar	73
5.3.1	Befintlig takstol utan stödben	73
5.3.2	Befintlig takstol med stödben	75
5.4	Lösningförslag 1: förstärkt takstol	78
5.4.1	Förstärkt takstol utan stödben	78
5.4.2	Förstärkt takstol med stödben	81
5.5	Lösningförslag 2: ny takstol	84
6	Analys av energianvändning	89
6.1	Energiförluster genom befintlig takkonstruktion	89
6.2	Beräkningar i IDA Ice	93
6.2.1	Geometri	93
6.2.2	Fönster	94
6.2.3	Konstruktionsdelar	96
6.2.4	Byggnadssystem	99
6.3	Parameterstudie IDA Ice	102
6.3.1	Lufttäthet	102
6.3.2	Ventilation	103
6.3.3	Årsmedeltemperaturverkningsgrad för ventilationens värmeväxlare	104
6.3.4	Specifik fläkteffekt, SFP	105
6.3.5	U-värden för fönster	106
6.3.6	Inomhustemperatur	107
7	Analys av fukt i konstruktioner	109
7.1	Simulering i WUFI – Lösningförslag 1	109
7.1.1	Modellering av parallelltak	109

7.1.2	Modellering av yttervägg mot tegelmur	14
7.2	Simulering i WUFI - Lösningförslag 2	118
7.2.1	Modellering av parallelltak.....	118
7.2.2	Modellering av yttervägg mot tegelmur	121
7.3	Parameterstudie WUFI	123
7.3.1	Parallelltak.....	123
7.3.2	Ytterväggar	126
8	Resultat	129
8.1	Ramanalys	129
8.2	IDA Ice	130
8.2.1	Lösningförslag 1	130
8.2.2	Lösningförslag 2	131
8.3	WUFI	134
8.3.1	Lösningförslag 1	134
8.3.2	Lösningförslag 2	136
8.4	Ritningar	139
9	Diskussion	141
9.1	Allmänna myndighetskrav	141
9.2	Utformning av takkonstruktioner och hur detta påverkar de olika fokusområdena	141
9.3	Bärighet	142
9.4	Energi	143
9.5	Fukt	144
10	Slutsats	145
10.1	Allmänt	145
10.2	Bärighet	145
10.3	Energi	147
10.4	Fukt	147
10.5	Checklista för vindsombyggnad i flerbostadshus från 1900-talets början	149
11	Fortsatta studier	151
	Referenser	153
	Bilagor	
	Bilaga A – Detaljplan Clara 13	159
	Bilaga B – Resultatdiagram – WUFI	161
	Bilaga C – Karakteristiska laster	175
	Bilaga D – Lastfall	187
	Bilaga E – Dimensionerande laster i brottgränstillstånd	191
	Bilaga F – Data från Ramanalys	193
	Bilaga G – Beräkning av U-värden för lösningförslag 1 & 2	211

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Sverige har under många år haft bostadsbrist (Boverket, 2012). I en undersökning som gjordes av Boverket år 2012 konstaterades att Malmö behöver cirka 10 000-20 000 nya bostäder inom en snar framtid. Undersökningen jämförde befolkningsstorlek med tillgång till bostäder och det visade sig att endast Gotland och Svedala hade ett överskott på bostäder (Boverket, 2012). Boverket menar också att bristen på bostäder i längden leder till minskad tillväxt. Att bygga bostäder visar sig i stället bidra till ökad tillväxt (Karpestam, 2013).

Efterfrågan på små lägenheter till studenter är mycket stor och det finns många argument som påvisar att studenter är viktiga för en stads tillväxt (von Schéele, 2010). Bland annat skapar studenterna arbetstillfällen, de bidrar till att attraktiviteten stiger, de höjer utbildningsnivån och ger ökad konsumtion. Kommuner förlorar pengar för varje student som väljer att studera på annan ort (Tyréns, 2015). Med denna bakgrund finns mycket att vinna på att bygga fler små bostäder som lockar studenter att bosätta sig i staden.

Med den ökade bostadsbristen har intresset för att utnyttja vindsutrymmen varit stort i mer än tio år i många av Sveriges kommuner (Arnstad, 2006). För att underlätta utnyttjandet av befintliga vindsutrymmen har en ändring dessutom gjorts i Plan och Bygglagen. Ändringen röstades igenom i Riksdagen den första juli år 2014. Ändringen gäller tillgängligheten vid ombyggnad av vindsutrymmen och innebär att hiss inte behöver installeras för vindslägenheter som är mindre än 35 m² (Sveriges riksdag, 2014). Syftet med lagen är att åstadkomma ett ökat antal små lägenheter för unga och studenter genom att förenkla processen och minska kostnaderna för att bygga mindre bostäder. Denna ändring innebär alltså att ombyggnad av vindsutrymmen är högst aktuell för både bostadsrättsföreningar och fastighetsbolag med hyresrätter.

Med bakgrund av bostadsbristen och den allt mer populära lösningen att inreda vindar undersöker fastighetsbolag möjligheten att inreda outnyttjade vindar. Detta examensarbete diskuterar hur en vindsombyggnad bör utföras och vilka parametrar som är viktiga att ta hänsyn till. Ett av HSB:s flerbostadshus från 1929 har använts som referensobjekt för att få mer verklig-hetstroga resultat. Det finns idag cirka 90 000 lägenheter i flerbostadshus från 1920-talet och totalt cirka 200 000 bostäder från denna tidsepok (Williams & Blomberg, 2005). Eftersom utformningen av husen ofta är likartad, med sadeltak och tjocka homogena tegelväggar, finns ett stort bestånd där liknande lösningar kan appliceras.

Förutom bostadsbristen är också klimatfrågan högaktuell, inte minst inom byggbranschen. Enligt EU:s nya krav ska energianvändningen år 2020 minska med 20 % jämfört med mätningar från 1990. Eftersom byggnaders energianvändning i dagsläget är Europas största utsläppskälla och står för 40 % av de totala utsläppen kommer det att bli viktigt att sänka energianvändningen i alla byggnader för att klara de nya kraven (Europeiska Unionen, 2010). För att minska energianvändningen ställs höga krav vid både nybyggnad och ombyggnad. Vid vindsombyggnad är det därför viktigt att välja tekniska lösningar som främjar en minskad energianvändning. För att minska klimatpåverkan är det även viktigt att se till att konstruktionen är fuktsäker och klarar de laster som den utsätts för så att den kan stå kvar i många år.

1.2 Syfte och Mål

Syftet med examensarbetet är att utvärdera två olika alternativ att utföra en vindsombyggnad i ett flerbostadshus från 1920-talet. Alternativerna innefattar lägenheter som är mindre än 35 m² och jämförs utifrån prestanda när det gäller energi, fukt och bärighet. Rapporten avses kunna utgöra ett stöd för fastighetsägare som planerar ombyggnad av vindsutrymmen i flerbostadshus från 1920-talet.

1.3 Frågeställningar

Frågeställningarna fokuserar på ämnen som är intressanta för en fastighetsägare vid ombyggnad av äldre vindsutrymmen.

Två av frågeställningarna är mer allmänna, och fokuserar på ombyggnader rent generellt. De andra frågeställningarna appliceras på två olika typer av takkonstruktioner där förutsättningarna tagits från ett befintligt referensobjekt. Objektet, Clara 13 i Malmö, är tidstypiskt för 1920-talet vilket gör att lösningarna skulle kunna appliceras på byggnader från samma tid. Det ena alternativet som undersökts är att behålla de befintliga takstolarna, det andra förslaget är att bygga en helt ny takkonstruktion.

1.3.1 Allmänt

Följande frågeställningar berör allmänna detaljer kring en vindsombyggnad.

- Vad finns det för allmänna krav vid ombyggnad? Med krav menas myndighetskrav med huvudfokus på energi, fukt och bärighet.
- Vilken typ av takkonstruktion är lämplig och hur påverkar den de olika fokusområdena?

1.3.2 Bärighet

Följande frågeställningar gäller byggnadens bärighet och förmåga att ta upp nya laster.

Gemensamt för båda konstruktionerna

- Hur tas horisontella laster upp av byggnaden?

Befintliga takstolar

- Hur fungerar den befintliga takkonstruktionen?
- Hur stor blir den procentuella lastökningen av egentygden vid ombyggnad?
- Hur påverkar den ökade belastningen tegelmuren och vindsbjälklaget?
- Vilka lasteffekter uppstår i de olika delarna av takstolen?

Nya takstolar

- Vilken typ av takstol är lämplig?
- Hur stor blir den procentuella lastökningen av egentygden vid ombyggnad?
- Hur påverkar den ökade belastningen tegelmuren och vindsbjälklaget?
- Vilka lasteffekter uppstår i de olika delarna av takstolen?

1.3.3 Fukt, energi och lufttäthet

Följande frågeställningar gäller byggnadens energiprestanda, fuktsäkerhet och lufttäthet.

Gemensamt för båda konstruktionerna

- Hur ska anslutningen mellan takfot och yttervägg utformas fuktsäkert?
- Hur mycket kommer byggnadens totala energibehov att påverkas av det förändrade vindsutrymmet?
- Hur kommer vindsombyggnader att påverkas av framtida energikrav?
- Vilka fuktproblem kan uppstå vid isolering av taket?
- Hur byggs takkonstruktionen upp med tilläggsisolering?

Befintliga takstolar

- Hur påverkar den aktuella fukthalten i takstolen konstruktionen?

1.4 Metod

Arbetet baseras främst på litteraturstudier, beräkningar samt besiktning av referensobjektet. De olika delarna i arbetsmetodiken illustreras även i Figur 1-1.



Figur 1-1: Metoden för examensarbetet.

Litteraturstudie genomförs för att skapa en bättre bild av dels de krav som ställs vid en ombyggnad, dels de tekniska aspekterna kring takstolar och bjälklag.

Ritningsunderlag på det aktuella referensobjektet används främst för modellering av byggnaden. På grund av byggnadens ålder finns inte så mycket detaljerade ritningar att tillgå. Detta medför att antaganden och besiktningar behöver göras för att kunna skapa en verklighetstrogen modell.

Besiktning av byggnaden görs för att samla mer information kring referensobjektets uppbyggnad och aktuella status. Den insamlade informationen används vid modellering av byggnaden samt vid val av indata till beräkningar.

De två lösningsförslag som analyseras under arbetets gång tas fram med hjälp av handledning och litteraturstudie. Lösningsförslagen väljs för att kunna analysera dels olika typer av isole-ringstjocklek, dels den svenska takstolens verknings sätt. I analysen utreds hur energi, fukt och lasteffekter påverkar takstol och befintlig byggnad.

Modellen av takstolarna och vinden har gjorts med hjälp av flera olika metoder. Information om hur byggnader från denna tidsepok brukar se ut har hämtats från litteraturstudien. Litteraturstudien har även använts för att få mer kunskap om hur olika typer av takstolar fungerar. Detta har legat till grund för val av utformning.

Även handledning har varit en viktig del i framtagandet av modeller och beräkningar. HSB har varit ett stöd under hela arbetets gång. De har gett oss all den information som behövs kring referensobjektet. HSB har även hjälpt till med framtagningen av frågeställningar och arbetets innehåll. Arbetet har till stor del utförts på Tyréns i Malmö. Handledning från Tyréns har skett löpande under hela arbetets gång. De har bidragit med mycket värdefull information under hela processen, både när det gäller datormodell, utformning- och beräkningsfrågor.

Frågeställningarna kring bärighet, energianvändning och fukt i konstruktionen kräver alla någon form av beräkning för att kunna besvaras. Beräkningarna utförs med datorprogram, delvis kompletterade med handberäkningar. Energiberäkningar utförs med IDA Ice, ett simuleringsverktyg som används för att simulera energianvändning och termisk komfort (EQUA, 2016). Fuktberäkningarna utförs med programmet WUFI, ett PC-program som används för transient fukt- och värmetransport (WUFI, 2016). Beräkningarna av konstruktionens bärighet utförs med Ramanalys, ett FEM-baserat program som används för att analysera fackverk och ramar i 2D (Strusoft, 2016). Ritningar utförs i AutoCAD. Indata till programmen erhålls genom studiebesök, ritningar samt antagande.

Även parameterstudier görs för vissa parametrar i arbetet. Parameterstudien ger en bild av vilka parametrar som påverkar olika resultat mest. Eftersom modellen till viss del är baserad på antaganden är det viktigt att se hur stor påverkan dessa har för slutresultatet.

1.5 Omfattning och avgränsningar

Arbetet har avgränsats för att passa i storlek med ett examensarbete. De avgränsningar som har gjorts samt de mest centrala frågorna i arbetet presenteras nedan.

1.5.1 Omfattning

Arbetet omfattar följande punkter.

- Studien gäller främst flerbostadshus från 1920-talet.
- Ritningar tas fram för följande byggdelar:
 - Detalj: takfot
 - Parallelltak
 - Vindsplan
 - Takstolar
- Undersökning av befintlig konstruktion görs genom platsbesök och granskning av ritningar.
- Arbetet är en fallstudie på ett verkligt objekt men ska kunna appliceras på liknande byggnader.
- Utformning av takkonstruktioner tas fram i samarbete med Tyréns.

- Endast en grov planlösning presenteras.
- Detaljer för utformning av takkupor och takfönster beaktas endast generellt.

1.5.2 Avgränsningar

Arbetet behandlar inte följande aspekter,

- Bärighetsberäkningar på grunden ingår inte i arbetet.
- Dimensionering av förband ingår inte i arbetet.
- Utformning av ventilation och el ingår inte i arbetet.
- Fuktbelastning från specifika områden, t.ex. badrum, beaktas inte.
- Ny placering av lägenhetsförråd utreds inte.
- Lösningförslagen tar inte hänsyn till brandkraven i BBR 22.
- Takstolen kontrolleras ej i bruksgränstillstånd.

2 Teori

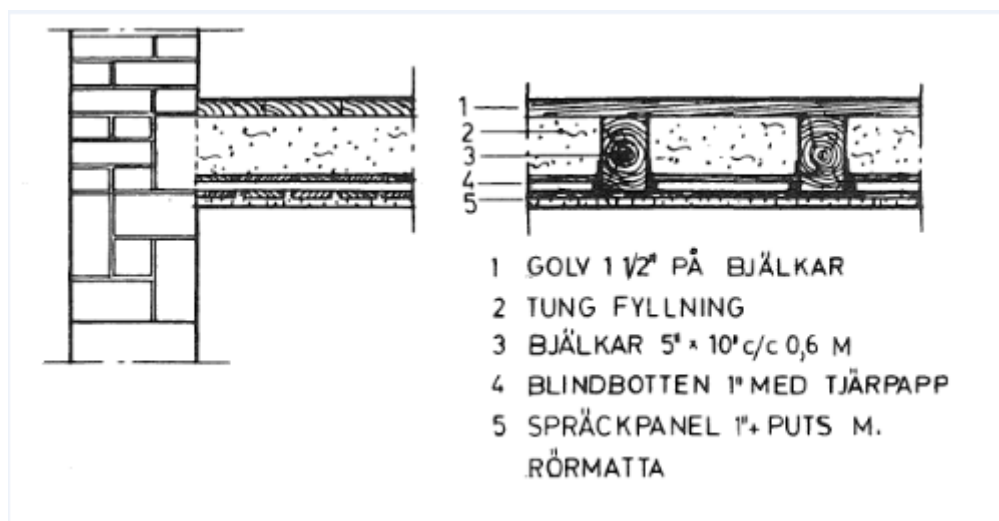
2.1 Flerbostadshus på 1920-talet

Fram till 1920-talet var det ofta en byggmästare med mycket erfarenhet av att bygga som anlätades när en ny byggnad skulle upprättas. Utifrån övergripande ritningar från arkitekt kunde byggmästaren bestämma lämpliga dimensioner på bärande element (Almqvist, et al., 1997). På 1920-talet standardiserades produktionen av de första fönstren och dörrarna i Sverige vilket fick en stor inverkan på uttrycket i 1920-talets bostadshus. Tidigare hade husets stomme och fast inredning som fönster och dörrar byggts på plats (Eriksson, 2001). 20-talsklassicismen är en byggnadsstil som utvecklades på 1920-talet. Signifikant för stilen är upprepningar av likartade element. Att bygga flerbostadshus i mörkt hårdbränt tegel med vita fönstersnickerier var också karakteristiskt för Sydsverige under denna tidsperiod (Westman, 1984).

Efter år 1920 finns källor som beskriver mer organiserade byggnadsformer där många olika entreprenader var inblandade. Konstruktörer anlätades till bärande element och VA-konstruktörer anlätades för utformning av vatten och avlopp (Williams & Blomberg, 2005). Många innovationer inom materialutvecklingen gjordes också under den senare delen av 1920-talet. Material testades i större utsträckning i laboratorium och utifrån tester bestämdes även maximalt tillåten belastning på bärverk (Bergström, 1930).

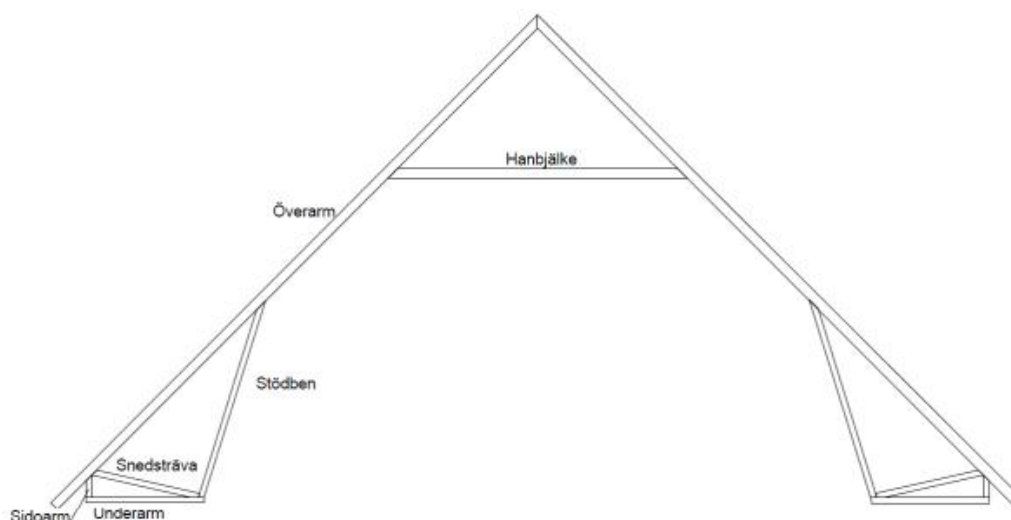
Byggnadernas stomsystem bestod ofta av bärande tegelväggar med en eller två bärande hjärtväggar som löpte parallellt med de längsgående ytterväggarna. Ytterväggarna på bottenvåningen kunde vara murade med 2-stens normaltegel och på de övriga våningarna var väggen 1 1/2-sten tjock. Hjärtväggarnas tjocklek i källaren var ofta 1 1/2-sten och på de övre våningarna 1-sten tjock. På insidan var teglet ofta putsat och på utsidan visades det hårdbrända mörka teglet i 4-skifts murförband. De vertikala lasterna från takkonstruktionen och bjälklag fördes ned via de bärande ytterväggarna till en källarmur i betong. Källarmurens betong hade ingjuten sparsten med en tjocklek på 400 mm. Husets sockel var ofta byggd i synlig granit som var ingjuten i betongen och stäckte sig cirka 0.5 m under mark. Källarmuren förde ner lasten till den armerade grundsulan i betong. De bärande hjärtväggarna förde ner laster från bjälklag direkt till grundsulan (Westman, 1984).

Vindsbjälklaget består oftast av tvärgående träbalkar med dimension 125×225 mm (5”×9”) som ligger med ett centrumavstånd på cirka 600 mm. Mellan balkarna ligger blindbotten och ovanpå fyllning av lera och papp (Westman, 1984). I Figur 2-1 visas ett exempel på ett vindsbjälklag från 1920-talet. Bilden visar även hur bjälklaget är inbyggt i tegelmuren.



Figur 2-1: Anslutning tegelvägg/träbjälklag och sektion på träbjälklag från början på 1900-talet (Bjerking, 1974).

Takkonstruktionen på 1920-talet är ofta uppbyggd med så kallade svenska takstolar. Ett exempel på en svensk takstol visas i Figur 2-2. Takstolarna byggs av bilat virke med dimensionerna 95×120 mm (4"×5"). Dessa vilar på längsgående balkar ovanpå murkrönet, vid infästningen mellan vindsbjälklag och yttervägg (Westman, 1984). De vanligaste taktäckningsmaterialen under tjugotalet är tegelpannor, plåt, asfaltpapp och skiffer (Williams & Blomberg, 2005).



Figur 2-2: Exempel på svensk takstol.

Gemensamt för de flesta äldre husen i Sverige är att de använder långt mer energi för uppvärmning och drift än vad som idag tillåts vid nybyggnation. Anledningen till detta är oftast att relativt okomplicerade konstruktioner byggts med ett fåtal material utan bra isoleringsförmåga. Generellt är elanvändningen låg och värmebehovet stort. Anledningen till att husen inte byggdes energieffektivt är bland annat att energin för uppvärmning inte var speciellt dyr. Därför var det svårt att motivera andra konstruktionslösningar. Det var inte förrän på 70-talet, när oljepriset steg rejält, som det blev lönsamt att bygga mer energisnålt. Utvecklingen ledde till tätare och mer välisolerade hus. I samband med detta blev det också viktigare med genom-

tänkt ventilation eftersom ett tätare skal på byggnaden inte tillät så mycket självdrag (Abel & Elmroth, 2012).

1920-talets hus är alltså både otäta och oisolerade, förutsatt att ingen ändring gjorts i dem. Detta innebär att konstruktionen måste tätas, installationer optimeras och husen isoleras för att få en lägre energianvändning. Riskerna med detta är dock många, att ändra i en gammal konstruktion utan att utvärdera konsekvenserna kan medföra problem med fukt och dåligt inomhusklimat. Därför är det viktigt att se hela byggnaden som ett system vid förändringar.

2.2 Liknande hus

Byggnader från samma tidsepok som Clara 13 är relativt vanliga i HSB Malmös hyresrättsbestånd. Av de 55 hyresfastigheter som HSB Malmö förvaltar är hela 15 stycken byggda mellan åren 1925-1935, detta motsvarar 27 % av beståndet (HSB, 2015).

Om ett antagande görs att många av dessa byggnader liknar Clara 13 även byggnadstekniskt, skulle förslagen som ges i detta examensarbete även kunna tillämpas på dessa byggnader. Vid närmare studier av hela Sveriges fastighetsbestånd finns med all säkerhet många flerbostadshus med liknande förutsättningar som Clara 13.

2.3 Krav vid ombyggnad

Vid nybyggnation ska reglerna i Boverkets Byggregler, BBR följas. När det gäller ombyggnationer beror kraven på hur omfattande ombyggnationen är. Generellt sätt bör dock kraven i BBR eftersträvas vid alla större ändringar. BBR bygger på Plan och bygglagen samt plan och byggförordningen. Förordningar och föreskrifter förtydligar lagtexterna. Förordningarna tydliggör lagen och skrivs av regeringen, under förutsättning att de har fått bemyndigande från riksdagen. Föreskrifterna skrivs av myndigheter om bemyndigande finns i förordningen. Boverket är en myndighet som skriver föreskrifter och allmänna råd. Föreskrifter och förordningar är bindande och de allmänna råden är mer detaljerade förslag på hur föreskrifterna ska uppnås.

Vid ombyggnad av vindar krävs även bygglov. Bygglovet bestäms utifrån den detaljplan som berör fastigheten, samt utlåtande från de myndigheter eller privatpersoner som berörs av projektet. Detaljplanen reglerar markanvändningen och byggnaders utformning genom dels en plankarta och dels en planbeskrivning. Plankartan är en illustration över området och denna beskriver bestämmelserna kring bland annat utformning och användning. Plankartan är juridiskt bindande. Planbeskrivningen beskriver bland annat genomförandet, förutsättningarna och konsekvenserna. (Malmö stad, 2016).

När bygglov söks hos Stadsbyggnadskontoret skickas handlingarna vidare till de organisationer och myndigheter som berörs av bygglovet. Dessa kallas remissinstanser och några av de vanligaste instanserna är Trafikkontoret, Miljöförvaltningen och Stadsmuseet (Stockholms stad, 2011). Följande kapitel beskriver de krav och planer som ska följas vid en vindsombyggnad.

2.3.1 Tillståndsprocess

Det finns en del administrativa saker att tänka på vid inredning av en vind. Processen kan bli lång och det är därför viktigt att känna till de olika delmomenten och viktiga beslutspunkter.

Det första som behöver göras är att lämna in en bygglovsansökan. Bygglovsansökan lämnas in till byggnadsnämnden i den kommun där bygget ska utföras. Ansökan granskas utifrån de planbestämmelser som finns för området, PBL samt projektets utformning och lämplighet (Boverket, 2014 a).

I vissa bygglovsärenden ska även berörda sakägare informeras. Sakägarna kan till exempel vara grannar och organisationer som har intresse i ärendet. När handläggaren i ärendet har tagit in alla åsikter från sakägare samt tagit ett beslut i ärendet får alla berörda reda på beslutet för bygglovet. När beslutet meddelats har alla tre veckor på sig att överklaga. Om ingen överklagar får beslutet laga kraft, vilket innebär att det inte kan överklagas.

Det sista som behövs innan byggandet kan starta är ett startbesked. För att få ett startbesked krävs oftast ett tekniskt samråd där byggherren och byggnadsnämnden går igenom handlingarna och hur arbetet ska planeras. Byggnadsnämnden bedömer byggnationens bärighet, beständighet, brandsäkerhet m.m. innan de slutligen kan lämna ett startbesked. I samband med startbeskedet fastställs även kontrollplanen för projektet, i den beskrivs hur byggherren ska kontrollera projektet för att uppfylla kraven i PBL. När bygget är avslutat och alla krav är uppfylla lämnas ett slutbesked av byggnadsnämnden, innan detta utfärdats får inte byggnaden tas i bruk (Boverket, 2014 a).

2.3.2 Utformning

Vindsinredningsförbud

I vissa detaljplaner, speciellt i äldre detaljplaner, kan det finnas förbud mot vindsinredningar. Förbudet kan vara svårt att gå runt och i många fall måste en detaljplaneändring göras för att bygglovet ska godkännas, vilket kan bli tidsödande (Malmö Stadsbyggnadskontor, 2013).

Byggnadshöjd

Plankartan beskriver vilka utformningsbestämmelser som finns för byggnaderna i området. Bland annat finns bestämmelser om byggnaders maximala byggnadshöjd. Byggnadshöjden beräknas från den långsida på byggnaden som har störst allmän påverkan. Där fasaden skär det 45-gradersplan som berör taket räknas den maximala byggnadshöjden. Vid vindsombyggnader kan denna höjd bli för hög om takkupor installeras på taket och dessa sitter högre än den tillåtna höjden. I vissa fall kan detta ses som en liten avvikelse från detaljplanen, vilket gör att det kan tillåtas. Varje fall hanteras dock var för sig och det kan därför vara bra att fråga Stadsbyggnadskontoret för att vara säker på vilka regler som gäller (Malmö Stadsbyggnadskontor, 2013).

Våningshöjd

Plankartan innehåller även bestämmelser för hur många våningar en byggnad får ha. Vid vindsinredningar ändras inte antalet våningar i byggnaden. Eventuella takkupor som installeras kan dock göra att byggnadshöjden ändras. Detta kan även innebära att vinden anses bli ett nytt våningsplan. Om detta nya våningsantal strider mot detaljplanen kan det bli problem med bygglovet. Ändringen kan dock ofta ses som en liten avvikelse. Besluten kring detta hanteras av Byggnadsnämnden (Malmö Stadsbyggnadskontor, 2013).

Fasad

Många vindsombyggnader innebär att fasaden på något sätt behöver ändras. Oftast handlar ändringen om att takkupor eller takfönster ska monteras. Ändringar i fasaden kan i vissa fall vara helt oacceptabelt enligt detaljplanen. Dessa förbud beror oftast på att gatubilden i ett visst område inte ska förändras. Vid dessa tillfällen kan det därför vara en god idé att undersöka om ändringar in mot gården kan göras istället för ut mot gatan. Denna typ av ändring kan i vissa fall godkännas eftersom det inte ändrar på gatubilden (Malmö Stadsbyggnadskontor, 2013).

Kupor och takfönster

Även om detaljplanen och Stadsbyggnadskontoret tillåter att takkupor eller takfönster monteras är det viktigt att tänka på utseendet på dessa. Dels är det viktigt för att bygglovet ska gå igenom, dels är det viktigt för att ombyggnaden ska bli estetiskt tilltalande. För det första bör takkuporna eller takfönstren följa symmetrin för de befintliga fönstren i byggnaden. De bör även passa in i den aktuella byggnadens stil och tidsepok (Malmö Stadsbyggnadskontor, 2013).

Installationer

I många fall finns installationer för byggnaden på vinden. Vid dessa tillfällen är det viktigt att ta hänsyn till dessa för att säkerställa att systemen fungerar även efter ombyggnaden. Ofta kan det krävas omfattande ingrepp för att flytta installationerna vilket gör att ombyggnaden behöver planeras utefter placeringen av dem. Exempel på installationer är självdragskanaler i skorstenar, ventilationskanaler och avloppsluftare (Malmö Stadsbyggnadskontor, 2013).

Förråd

Många vindsombyggnader innebär att förråd måste flyttas från vinden till något annat utrymme. Enligt BBR måste alla lägenheter, även de nya, ha ett förråd vilket innebär att plats måste hittas för dessa. (Boverket, 2015 c).

Bostäder om högst 35 m²

Bostäder som är mindre än 35 m² får utformas annorlunda än konventionella bostäder. I dessa får daglig samvaro, sömn, matlagning och vila finnas i samma rum utan att kunna skiljas åt.

2.3.3 Tillgänglighet

Enligt BBR ska bostäder vara utformade så att de är tillgängliga för personer med nedsatt rörelse- och orienteringsförmåga. Även ändrade delar i en byggnad ska göras tillgängliga för personer med nedsatt rörelse- och orienteringsförmåga. Hänsyn bör dock tas till varje byggnads förutsättningar och tillämpa kravet utan att det blir orimligt för byggnadens standard och utseende (Malmö Stadsbyggnadskontor, 2013).

Tillgänglighetskravet innebär att i de fall hiss inte finns måste detta installeras om vinden ligger på tredje våningen eller högre. Hiss krävs dock inte vid etagelägenheter om den största andelen boarea ligger på våningen under (Malmö Stadsbyggnadskontor, 2013). Om hiss redan finns i byggnaden kan det ändå behöva göras förbättringar. Till exempel går hissen kanske inte hela vägen upp till vindsvåningen, eller så börjar hissen en halv trappa upp vilket innebär att trappan måste göras tillgänglig. Det finns dock ett undantag för hisskravet i PBL, undantaget innebär att avsteg från kravet på tillgänglighet får göras om bostäderna är högst 35 m². När det gäller vindsinredningar med bostäder mindre än 35 m² finns alltså ett avsteg från kra-

ven. Dessa bostäder får enligt PBL alltid göra avsteg från tillgänglighetskraven (Boverket, 2015 c).

Även kommunen har möjlighet att besluta om lägre tillgänglighetskrav i detaljplanen vid ändring av byggnad, detta gäller dock endast om områdets bostäder har bra tillgänglighet i övrigt. Varje enskilt fall ska prövas, men generellt ska majoriteten av lägenheterna i ett område uppfylla kraven på tillgänglighet (Malmö Stadsbyggnadskontor, 2013).

Hiss

Vid ändring av byggnader med fler än två våningar ska en användbar och tillgänglig hiss installeras om det inte redan finns. Annan lyftanordning som uppfyller samma krav kan också godkännas. Vindar anses vara en våning om det finns en bostad eller största delen av en bostad där. Vid synnerliga skäl kan dock denna regel förbises. Ett synnerligt skäl är vid installation av bostäder om högst 35 m² i vindsutrymmen. Vid ombyggnad av Kv. Clara 13 finns alltså inga krav på hiss (Boverket, 2015 c).

Rumshöjd

Rumshöjden i bostäder ska som regel vara 2.4 m, undantag kan i vissa fall göras. I begränsade utrymmen kan en godtagbar rumshöjd vara 2.1 m under horisontella tak och 1.9 m under snedtak (Boverket, 2015 c).

2.3.4 Brand och säkerhet

Brand

Vid ombyggnad ska en brandskyddsdocumentation upprättas. I en brandskyddsdocumentation ska det finnas beskrivet hur byggnadens brandskydd ska utformas utifrån bärförmåga vid brand, tillämpning av Eurokod och plan för drift och skötsel. Dokumentation angående förutsättningarna för byggnadens byggnadstekniska brandskydd ska finnas, med begränsningar angående hur byggnaden får användas. För att kunna dimensionera för brand finns olika klasser för hela byggnaden (byggnadsklass), vad den används till (verksamhetsklass), byggnadsdelarna och materialen. För byggnadsklassen finns fyra olika klasser, Br0, Br1, Br2 och Br3. Högst är skyddsbehovet på Br0.

Vilken verksamhetsklass utrymmet hamnar i beror bland annat på om de som brukar utrymmet har kännedom om utrymningsmöjligheter, om personerna kan utrymma på egen hand eller om det finns förhöjd risk för brand i utrymmet. Det finns sex olika verksamhetsklasser.

Byggnadens olika delar ska klassas beroende på bland annat bärförmåga, lufttäthet och isolering. Klasserna betecknas med olika bokstäver. Varje del får en bokstavskod beroende på dess egenskaper. Byggdelen bokstavsklassning ska efterföljas av en siffra som står för hur lång tid denna klassning uppnås, siffran står för tiden i minuter som kravet uppfylls. För material, beklädnader och ytskikt finns sex olika huvudklasser, A1, A2, B, C, D, E där A1 är högst brandklass.

Beroende på vad förutsättningarna är för brandskyddets utformning ska byggnaden förses med brandvarnare, brandceller, brandsektioner, automatiska släcksystem, brandgasventilation, dörrstängare, spjäll eller brandväggar.

För ändrad användning av vindsutrymmen gäller att varje plan ska ha en utrymningsväg. Väggar, tak och fast inredning ska vara svårantändliga, inte medverka till brandspridning eller utveckla värme och brandgas snabbt samt inte heller deformeras eller falla ned eller smälta vid brand. Ytskiktet på väggar och tak ska inte bidra till brandens utveckling i utrymningsvägar.

Gällande gångavstånd till utrymningsvägar finns allmänna råd angivna för verksamhetsklass 3 (Bostäder). Det maximala tillåtna avståndet till närmaste utrymningsväg är 45 meter. Risk för att brand sprider sig från fönster via takfoten till vinden ska beaktas. Bärigheten på takkonstruktionen vid brand bör kontrolleras och tas med vid dimensionering.

Säkerhet vid användning

Allmänt gäller att byggnaden ska utformas för att begränsa risken för olyckor. Belysningen ska vara jämn och med sådan styrka att personer kan röra sig säkert i byggnaden. Säkerhetsbeslag eller annan säkerhetsanordning ska sitta på fönster där karmunderkant sitter lägre än 1.8 meter i utrymmen där barn kan vistas. Trappor ska vara utformade för att personer ska kunna transportera sig säkert i byggnaden. Transport av sjukbår ska vara säker i trappor och ramper från bostadslägenheter. Det ska finnas räcken vid trapplopp, trappor, ramper och balkonger för att begränsa risken för personskador till följd av fall.

2.3.5 Hälsa och inommiljö

Termiskt klimat

En byggnad ska hålla ett tillfredställande termiskt klimat. Detta uppfylls genom att hålla en termisk komfort i vistelsezonen samt ett lämpligt klimat i resterande delar av byggnaden. Utrymmen där människor vistas mer än tillfälligt bör utformas så att de uppfyller en termisk komfort som är anpassad för användningen av utrymmet. Rådet i BBR är att den riktade operativa temperaturen i vistelsezonen bör vara 18°C i bostadsrum/arbetsrum samt 20°C i hygienrum. Om det inte är möjligt att uppfylla kraven i BBR bör drag på grund av otillräcklig isolering försöka minskas (Boverket, 2015 c).

Ljud

För ljudkrav gäller vid ändring av en byggnad att de akustiska egenskaperna hos byggnaden inte får försämrats, om inte byggnadens akustiska egenskaper tidigare varit bättre än kravet. Regler för maximal stegljudsnivå beskrivs med gränsvärde i decibel för olika utrymmen. Stegljudet är något som måste beaktas vid vindsombyggnad då funktionen ändras och stegljud med för höga värden kan uppstå (Boverket, 2015 c).

Dagsljus

I utrymmen där människor vistas mer än tillfälligt ska det finnas god tillgång till direkt dagsljus, alltså ljus från fönster ut i det fria. För att beräkna en tillräckligt stor fönsterglasyta används en förenklad metod enligt standarden SS 91 42 01. Denna metod ger ett förenklat värde för glasarea på minst 10 % av golvarean. Detta innebär att dagsljusfaktorn blir ungefär 1 % (Boverket, 2015 c). Dagsljusfaktorn ger en beskrivning av förhållandet mellan ljusstyrkan inomhus på grund av dagsljus samt ljusstyrkan utomhus, ett bra lägstvärde är 1 % (SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2016). Kraven på ljusförhållandena i en byggnad är

samma vid ändring som vid nybyggnad, så länge det inte finns risk att byggnadens estetiska eller kulturella värden skadas (Boverket, 2015 c).

Ventilation

Luftkvaliteten ska vara god i utrymmen där människor vistas mer än tillfälligt. Regler och riktvärden om luftkvalitet finns på Folkhälsomyndigheten (Folkhälsomyndigheten, 2014). Tilluften ska inte innehålla högre halter av föroreningar än gränsvärden för uteluften. Intaget bör placeras så att föroreningar från avgaser och liknande begränsas. Det är även viktigt att inte sätta intaget för nära avluftningen. Byggnaden ska utformas på ett sätt som gör att mikroorganismer inte orsakar olägenheter för människor, de ska inte heller orsaka besvärande lukt.

Ventilationen ska utformas så att tillräckligt luftflöde tillförs byggnaden. Ventilationsflödet ska kunna föra bort både fukt, föroreningar, emissioner och lukter. Lägsta tillåtna flödet på tilluften är 0.35 l/s, m². Flödet bestäms alltså av bostadens storlek. För utrymmen i bostäder som används till daglig samvaro, personhygien, sömn eller matlagning ska tillgång till forcerad ventilation eller vädring också finnas.

För att säkerställa att en byggnad som ändrats uppfyller kraven på ventilation kan en förundersökning göras. Förundersökningen syftar till att kontrollera att ventilationssystemet i byggnaden fungerar enligt kraven. När ändringar i ett befintligt ventilationssystem sker bör hänsyn tas till hur systemet var tänkt att fungera från början. Systemet bör även utformas så att byggnadens funktion, kulturvärde och estetiska egenskaper uppmärksammas.

Vid ändring av en byggnad ska ventilationsflödet vara så pass stort att det ventilerar byggnaden utifrån dess användningsområde. Kravet på 0.35 l/s, m² kan frångås om kraven på god luftkvalitet fortfarande blir tillfredsställda. Ventilationsflödena bör också vara så pass stora att de kan ta med sig emissioner och föroreningar från de nya byggmaterial som använts. Efter ombyggnation måste alltså ventilationsflödet kunna forceras så att emissioner och föroreningar snabbt kan ventileras bort (Boverket, 2015 c).

Fukt och material

Fukt i en byggnad kan medföra obehaglig lukt, mikrobiell påväxt och andra skador som påverkar hälsan. För att en byggnad ska uppfylla kraven i BBR är det därför viktigt att fukttillstånden för de ingående materialen i konstruktionen inte överskrider det högst tillåtna fukttillståndet för varje material. Det är även viktigt att konstruktionen är utformad på ett sätt som inte orsakar kritiska fukttillstånd. Detta gäller dock inte om fukttillståndet i materialet inte har någon betydelse för hygien och hälsa. Vid ett kritiskt fukttillstånd fungerar inte materialets egenskaper och funktion som de ska. Fukt kan tillföras en konstruktion på flera olika sätt, till exempel genom konvektion eller läckage.

I vindsutrymmen bör framförallt utvändiga material och detaljer väljas beroende på takets lutning, det vill säga vattens förmåga att rinna av. Hänsyn bör även tas till att takmaterialet kan skadas av t.ex. is. Vid ändring i byggnader bör även befintliga material inventeras för att undersöka om det finns något som skulle kunna vara skadligt för människors hälsa eller miljön. Material som kan påverka till exempel innemiljön eller byggnadens säkerhet negativt bör avlägsnas från byggnaden om det inte finns något synnerligt skäl att ha dem kvar (Boverket, 2015 c).

2.3.6 Energihushållning

Vid nybyggnation finns krav på den energi en byggnad får använda, den s.k. specifika energianvändningen E_{spec} . Den specifika energianvändningen innefattar energin för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och fastighetsenergi. Denna totala energi delas sedan med uppvärmd yta i byggnaden, A_{temp} .

Förutom specifik energianvändning ställs även krav på genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, U_m . Denna koefficient beskriver byggnadsdelarnas och köldbryggornas isoleringsförmåga.

Luftläckaget i en byggnad påverkar energianvändningen och därför är det även viktigt att klimatskalet är så pass lufttätt att kraven på energianvändningen kan uppfyllas.

I eluppvärmda byggnader finns även krav på den installerade eleffekt som värmer byggnaden. Dessutom ställs tuffare krav på dessa byggnader även när det kommer till specifik energianvändning, se Tabell 2-1.

Kraven för både energianvändningen, installerad eleffekt och värmegenomgångskoefficienten varierar beroende på byggnadens geografiska läge, byggnadstyp samt vilken uppvärmningstyp som används. De olika krav som ställs i BBR 22 redovisas därför i Tabell 2-1 och Tabell 2-2. Tabellerna visar kraven för en bostadsbyggnad i zon IV, den sydligaste zonen i landet (Boverket, 2015). Detta är också zonen där Clara 13 ligger.

Tabell 2-1: Krav för eluppvärmd flerbostadsbyggnad i zon IV (Boverket, 2015 c).

Eluppvärmd byggnad	Krav på specifik energianvändning, E_{spec} [kWh/m ² A _{temp}]	Krav på genomsnittlig värmegenomgångskoefficient U_m [W/m ² K]	Installerad eleffekt för uppvärmning [kW]
Flerbostadshus	45	0.4	4.5
Flerbostadshus med $A_{temp} > 50$ m ² och övervägande del bostäder med boarea < 35 m ²	50	0.4	4.5

Tabell 2-2: Krav för icke eluppvärmd flerbostadsbyggnad i zon IV (Boverket, 2015 c).

Ej eluppvärmd byggnad	Krav på specifika energi-användning, E_{spec} [kWh/ $m^2 A_{temp}$]	Krav på genomsnittlig värmegenomgångskoefficient U_m [W/ $m^2 K$]
Flerbostadshus	75	0.4
Flerbostadshus med $A_{temp} > 50 m^2$ och övervägande del bostäder med boarea $< 35 m^2$	80	0.4

2.3.7 Bärighet

För bärighetsberäkningar används de europeiska konstruktionsstandarderna tillsammans med nationella val i EKS.

Boverket har tidigare gett ut allmänna råd om ändring av byggnad (BÄR). Denna är inte aktuell i dagsläget men kan tillämpas som hjälpmedel vid ändring av byggnad. BÄR innehåller tekniska egenskapskrav och ska vara praktiskt användbar och underlätta de ställningstaganden som ska göras i ändringsprojekt (Boverket, 2006)

Enligt BÄR är inredning av vind inte samma sak som tillbyggnad om befintlig byggnadsvolym består. Vindsombyggnad ses istället som en ändring. Om konstruktionen ändras och en väsentlig lastökning sker bör hållfasthetskontroll göras enligt BKR (Boverket, 2006).

För vindsombyggnad som medför takkupor, ny takbeklädnad, och inredning av vind bör bär-förmåga, stadga, beständighet, avvaxlingar av takstolar och bärighet hos bärande element kontrolleras och en bedömning av bjälklagets bärförmåga göras (Boverket, 2006).

2.4 Bärförmåga hos takkonstruktion

Takkonstruktionen ska vara dimensionerad för att ta upp snölast, vindlast och egentygnder. Den ingår också ofta i hela byggnadens stabiliserande system. För den vertikala lasten kan det primära bärande systemet utformas på olika sätt, till exempel med ramar, takstolar eller sadelbalkar. På det primära systemet används i större byggnader ett sekundärt bärverk i form av takåsar som läggs med ett cc-avstånd på 1200 mm. Ovanpå det sekundära systemet läggs ofta skivmaterial eller råspont, så kallat ytbärverk eller tertiärbärverk, sedan takpapp och ett taktäckningsmaterial som till exempel tegelpannor, betongpannor, profilerad plåt eller skiffer. För mindre byggnader är endast primärbärverk och ytbärverk nödvändigt (Gross, 1991)

Om det primära bärverket ska utgöras av takstolar så beror valet av takstol på hur förutsättningarna ser ut. Vindsbjälklaget och ytterväggarnas utformning och kapacitet spelar stor roll för hur takstolen ska kunna utformas. Taklutning och förankringsmöjligheter är andra faktorer som spelar in. Om ytterväggarna kan ta mycket liten horisontell last krävs att bjälklaget ska kunna ta hand om dessa laster (Norén, 1959).

För att taket ska fungera stabiliserande och ta upp horisontella vindlaster och föra ned dessa till väggarna används antingen skivverkan eller vindfackverk. Skivverkan innebär att konstruktionssiktet tar upp last i sitt eget plan. För att lasten ska kunna föras över till väggarna kan vindbeslag eller bandstål användas för mindre konstruktioner (Träinformation och Träteck, 1991).

Om skivverkan används som stabiliserande system ska tjockleken vara tillräcklig för att buckling inte ska inträffa. Ett annat krav för att skivverkan ska fungera är att krafterna ska kunna överföras mellan skivorna vilket ställer krav på förbindarna. För att uppnå skivverkan kan råspont eller plywood användas till mindre byggnader (Träguiden, 2003).

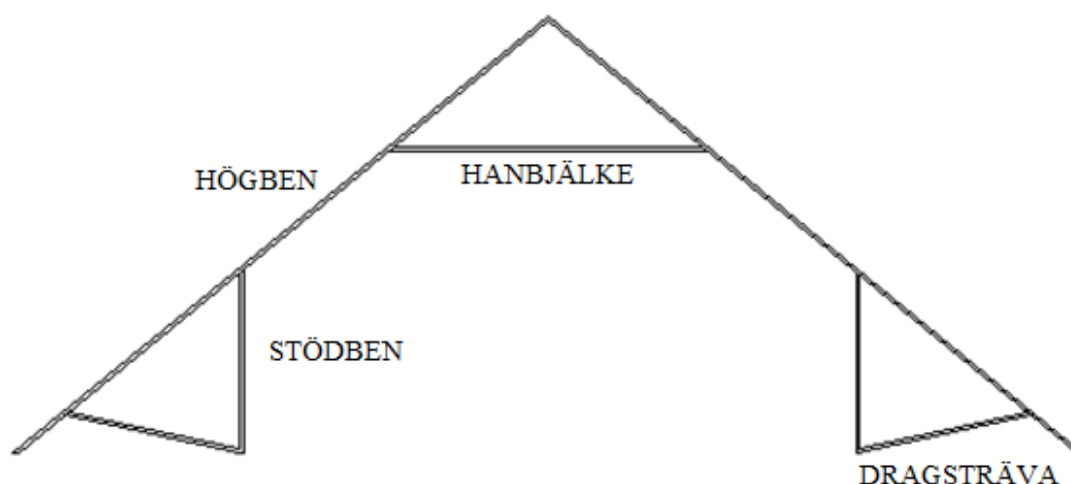
Om vindfackverk används som stabiliserande system mot vindlaster kan stålband spännas diagonalt mellan takstolarna. För att stabilisera för alla vindriktningar ska krysstagen vara placerade i ett fack i längsgående riktning och ett fack i tvärgående riktning (Gross, 1991).

Vippning är ett instabilitetsfenomen som kan uppkomma vid balkar som har stor höjd i förhållande till bredd. Vippning uppstår då ena halvan av tvärsnittet är belastat med stor tryckande kraft som resulterar i att den delen vippar ut. I det primära bärverket i takkonstruktionen kan detta uppstå när taket utsätts för stora lyftande krafter från vindlast. Vid lyftkrafter kommer det största trycket att uppstå i underkant i fält och i överkant i stöd. Om det finns en risk för detta kan balkarna därför behöva stagas underifrån med sneda strävor som fästs i åsarna (Träinformation och Träteck, 1991)

Takkonstruktionen ska dimensioneras för de värsta lastsituationer som kan uppstå. Vindlast, snölast och egentygnd är laster som kommer att verka på taket. Vindlasten ger upphov till både uppåtriktade och nedåtriktade krafter. Vindlasten verkar vinkelrätt mot taklutningen och resulterar i en transversell jämnt utbredd last på takstolarna. Snölasten verkar vertikalt på takstolarna och brukar anges per horisontell längdenhet och bidrar till en axiell och en transversell belastning på takstolarna. Egentygnden verkar vertikalt på takstolarna och brukar anges per lutande längdenhet och bidrar även den till axiell och transversell belastning.

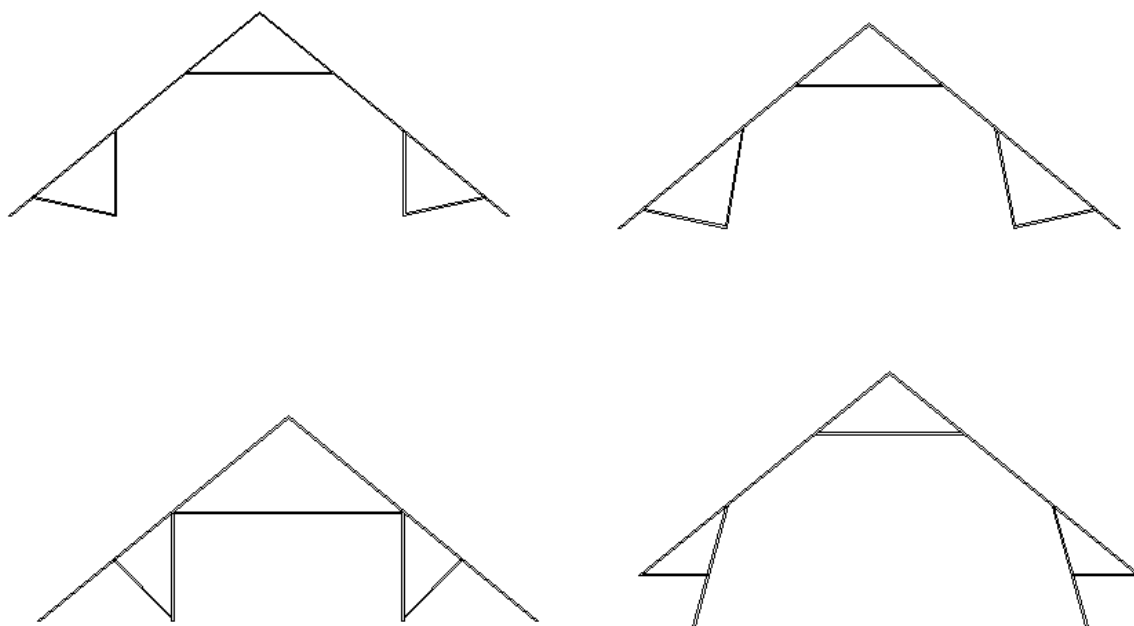
Vid kontroll av träkonstruktioner används den nationella bilagan tillsammans med SS-EN-1991-1-1. I SS-EN 1991-1-1 beskrivs vad som ska kontrolleras beroende på hur konstruktionen ser ut och vad den utsätts för.

2.4.1 Svensk takstol



Figur 2-3: Konstruktionsdelarnas namn i den Svenska takstolen.

Den svenska takstolen är lämplig för mindre byggnader med brant taklutning och en spännvidd som ligger mellan 7 och 15 m (Gross, 1991). Den svenska takstolen är fyrfaldigt statiskt obestämd (Thelin, 2010). De olika delarna i en svensk takstol har många olika namn men beskrivs i denna rapport med endast ett namn per del, se Figur 2-3. Det som kallas den svenska takstolen kan se ut på lite olika sätt men i huvudsak består den av två momentstyva högben som är saxade mot varandra i taketsnock. Mellan högbenen sitter en hanbjälke vars funktion är att reducera moment i högbenen. Hanbjälken kan också fungera som dragband om den horisontella förankringen i bjälklag eller väggar inte är tillräcklig. För att stötta högbenen ytterligare och ge en jämnare momentfördelning tillförs stödben. Dessa kan gå vertikalt ned i bjälklaget eller vara snedställda och lutas mot bjälklagets infästning i ytterväggarna (Norén, 1959). För att ge en jämn momentfördelning i högbenet kan stödben och hanbjälke placeras för att uppnå detta om inte krav finns på att vindsutrymmet ska utnyttjas. Om högbenen vilar på uppdragna väggar krävs strävning för att takstolen ska vara stabil. (Norén, 1959). Några olika exempel på en svensk takstol visas i Figur 2-4.

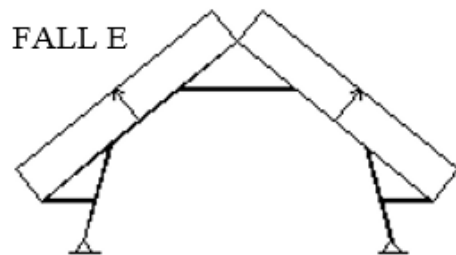
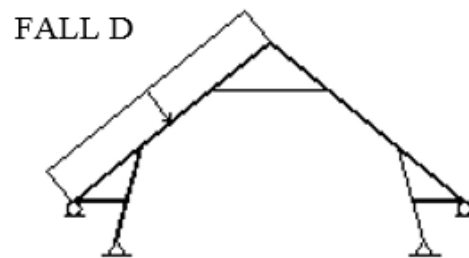
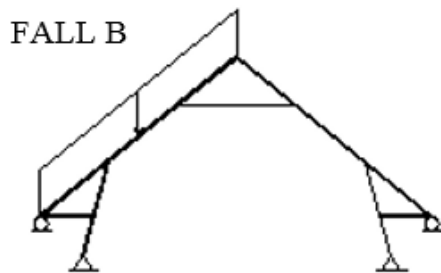
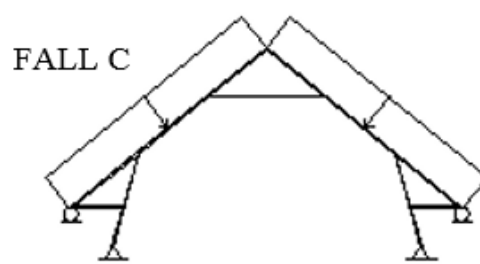
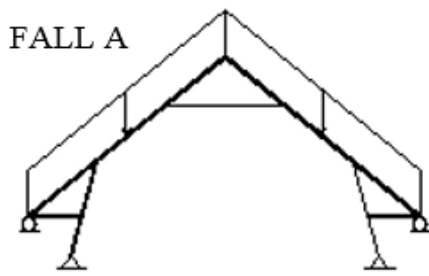


Figur 2-4: Olika varianter av den svenska takstolen.

En risk med konstruktionen är att det horisontella stödet inte är tillräckligt vilket kan orsaka skador på förbanden mellan hanbjälke och högben (Thelin, 2010). Högbenen är belastade med både jämnt utbredd transversell last och axiell last vilket betyder att de ska klara av moment och normalkraft samtidigt. För att tydliggöra hur takstolens olika delar belastas visas fem principlastfall i Figur 2-5. Genom att takstolen utsätts för olika typer av belastning kommer delarna i takstolen att utsättas för drag, tryck, moment och tvärkraft. I principfallen illustreras momentdiagram och vilka element som är dragna eller tryckta för att ge en tydligare bild av hur den svenska takstolen fungerar. Momentdiagram och axiell belastning redovisas för en enhetslast som applicerats enligt Figur 2-5.

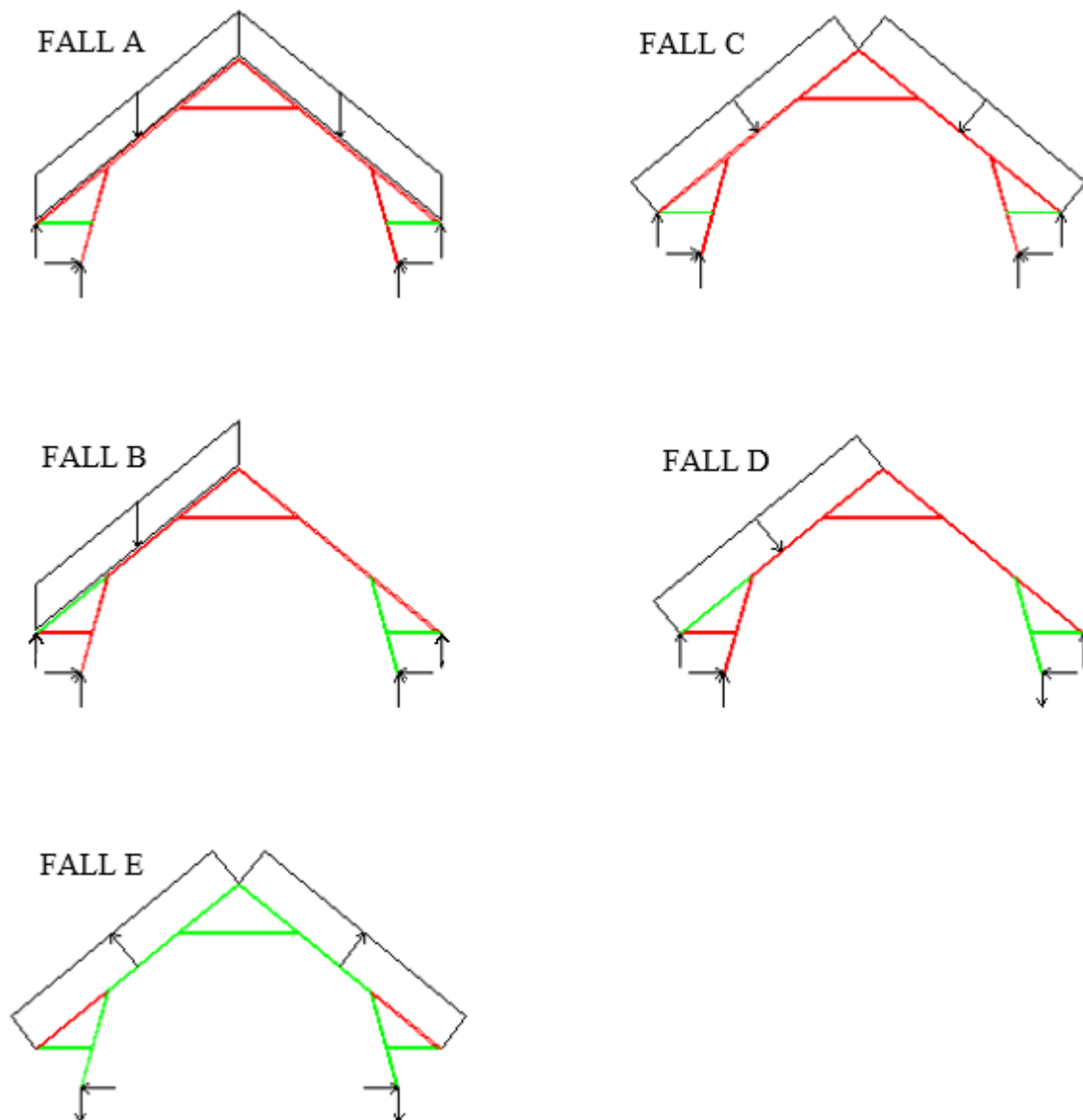
De fem principfallen är symmetrisk vertikal last, asymmetrisk vertikal last, symmetrisk last som verkar vinkelrätt mot högben, asymmetrisk last som verkar vinkelrätt på ena högbenet och symmetrisk vinkelrät last som verkar i negativ riktning. För dessa principfall har en takstol som ligger på upphöjda väggar valts. För att ta fram momentdiagram och axiell belastning har en modell av denna typ av svensk takstol ritats upp i ramanalys (Strusoft, 2016) där konstruktionen kan analyseras i plan. I modellen är högbenen indelade i tre element men fungerar som en kontinuerlig balk då det inte finns några leder mellan elementen.

Ytterväggarna tar för fall A-D i Figur 2-5 inte ta upp någon horisontell last utan bara vertikal last. Detta innebär att dessa modelleras som rullager i Ramanalys. Den horisontella lasten tas i detta fall upp i bjälklaget som stödbenen går ner i, därför modelleras upplaget som ledat stöd. För fall E saknas förankring i ytterväggarna där upplag saknas helt i modellen. Alla förband är ledade vilket innebär att de inte kan överföra moment.



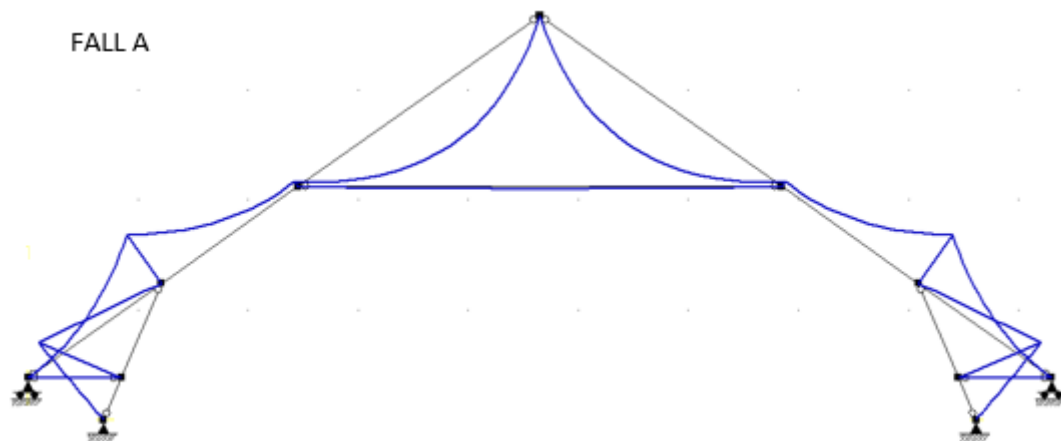
Figur 2-5: Fem principfall där den Svenska takstolen belastas med olika lastfall.

För att tydliggöra hur de olika elementen belastas vid de fem principfallen presenteras det i Figur 2-6 vilka element som blir dragna respektive tryckta. Alla element som är gröna är dragna och alla element som är röda är tryckta.



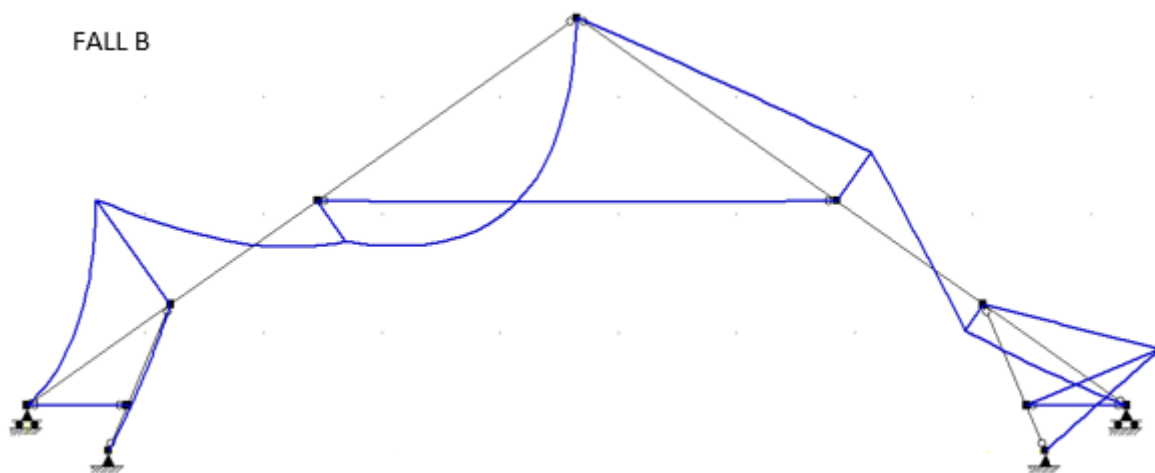
Figur 2-6: Axiell belastning, principfall.

För de fall där takstolen belastas av symmetrisk last blir dragsträvorna dragna och alla andra element tryckta. För asymmetrisk belastning det vill säga fall B och D blir det vänstra högbenet draget vid takfoten. Höger stödben och dragsträva blir dragna vid den asymmetriska belastningen. För fall E blir de vertikala upplagsreaktionerna nedåtriktade och de horisontella upplagskrafterna utåtriktade.



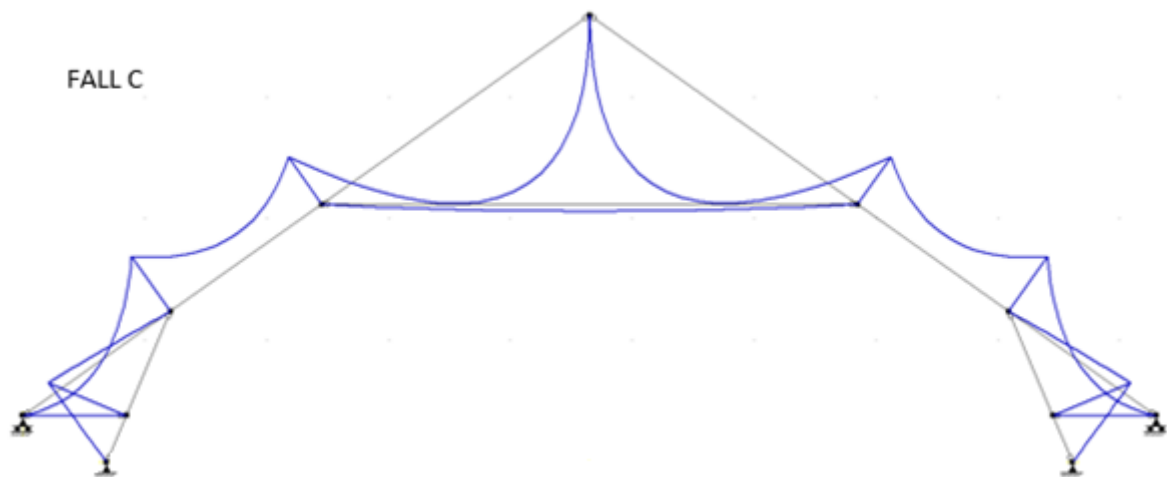
Figur 2-7: Momentfördelning principfall A.

Vid symmetrisk vertikal belastning blir stödmomentet i högbenen störst vid stödbenet och fältmomentet störst mellan hanbjälke ochnock. Stödbenen blir utsatta för ett relativt stort moment då dragsträvan verkar som en punktlast på mittendelen. Både högben och stödben är utsatta för böjning och tryck samtidigt vid denna typ av belastning. Hanbjälken och dragsträvorna är inte utsatta för böjning då ingen transversell last verkar på dessa och förbanden är modellerade som leder.



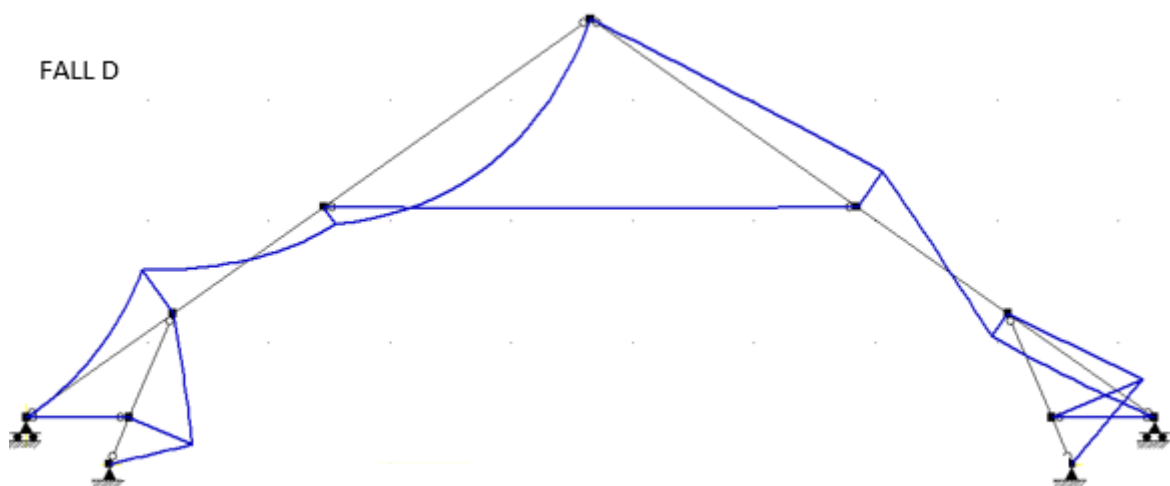
Figur 2-8: Momentfördelning, principfall B.

Vid asymmetrisk vertikal belastning blir stödbenet på vänstersidan i princip inte utsatt för någon böjning. Stödbenet på högersida blir utsatt för ett stort böjmoment då dragsträvan är belastad av relativt stor axiell dragande last. Då hanbjälken blir tryckt kan det reducera momentet i högbenet på vänstersidan men endast minimalt då högbenet på läsidan inte kan hålla emot. Momentet i högbenet på högersidan blir negativt då hanbjälken överför den horisontella lasten från högersidan.



Figur 2-9: Momentfördelning, principfall C.

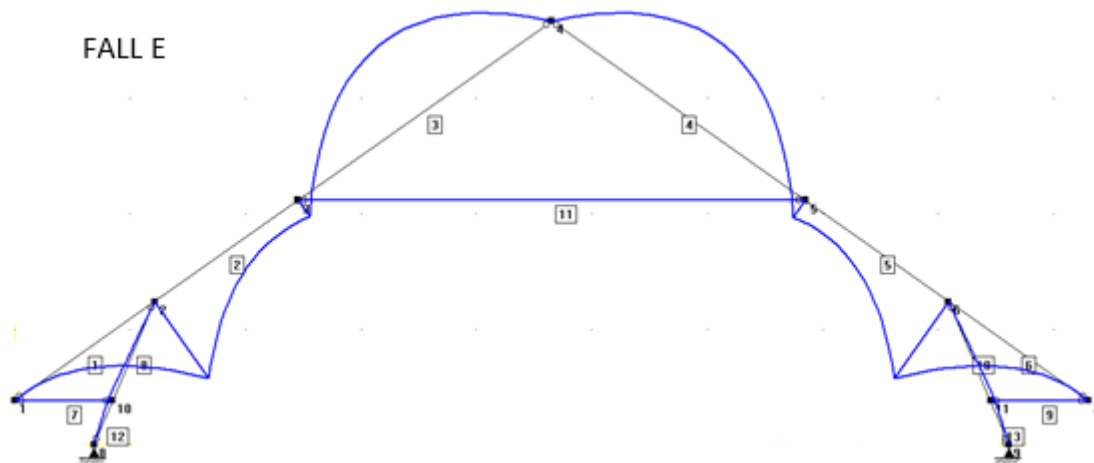
Vid symmetrisk vinkelrät belastning reducerar båda stödbenen momentet i högbenen. Fältmomentet i den övre delen av högbenen är relativt stort. Moment i stödbenen uppstår då dragsträvorna belastar dessa med transversell last. Om hanbjälken hade suttit längre upp hade momentfördelningen i högbenen blivit mer jämn.



Figur 2-10: Momentfördelning, principfall D.

Vid asymmetrisk vinkelrät belastning blir momentfördelningen likande som vid fall B (asymmetrisk vertikal last) förutom att höger stödben blir utsatt för ett större moment på grund av att dragsträvan blir utsatt för en större trycklast vilket gör att det inte stöttar högbenet lika mycket.

För fall E belastas takstolen med symmetrisk utåtriktad transversell last. Inga vertikala upplag modelleras och endast förankring i bjälklag förekommer. Hur detta påverkar moment och normalkraft visas i fall E.



Figur 2-11: Momentfördelning, principfall 5.

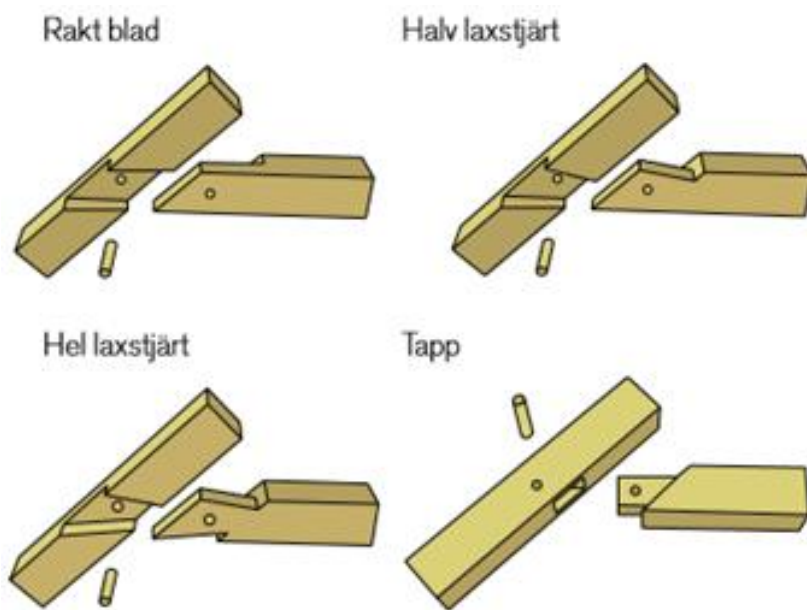
Då takstolen är belastad med transversell utåtriktad last uppstår moment endast i högbenen. Relativt stora fältmoment uppstår i högbenens övre del.

2.4.2 Förband

Hur förbanden är utförda spelar en stor roll för takstolens verkningsätt. Om de kan ta upp moment eller om de fungerar som leder ger olika styvhet till de ingående elementen och ändrar spänningsfördelningen i konstruktionen.

Till följd av slankare och mer optimerade dimensioner och genom att byggtekniken utvecklats har förbanden i den svenska takstolen ändrats en del sedan 1920-talet. För grövre dimensioner i äldre takstolar, då kvadratiska balkar eller så kallade timmerstockar användes, finns många olika varianter på förband. Förbandets funktion är att överföra laster från en timmerbjälke till en annan timmerbjälke. I en takstol med timmerstockar användes ofta trädymlingar eller spik för att hålla ihop förbanden (Thelin, 2010). Förbandets verkningsätt skiljer sig åt beroende på hur förbanden är utförda.

Olika typer av förband som används i den svenska takstolen är halv och hel laxstjärt, tapp och rakt blad. För de flesta förband gäller att en del av timmerstocken huggs bort och passas in i den andra. Exempel på dessa olika typer av förband visas i Figur 2-12.

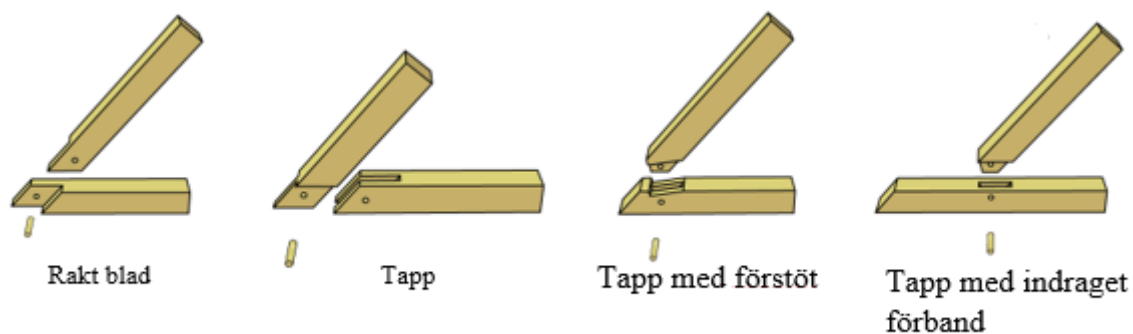


Figur 2-12: Olika förbandstyper (Skogsindustrierna, 2010).

För tapp-förbandet finns en ökad draghållfasthet då förbandet har två skär. Det förband som kallas laxstjärt har en utfasning som är trekantformad för att kunna stå emot dragkrafter bättre. Det är friktionen mellan timmerstockarnas utfasning som ger ett ytterligare bidrag. Det förband som kallas rakt blad, är helt rakt i utfasningen vilket leder till att draghållfastheten nästan enbart bestäms av trädymlingen eller spikens kapacitet. För tryckkrafter är det framförallt ytan mellan timmerstockarna som överför lasten (Thelin, 2010).

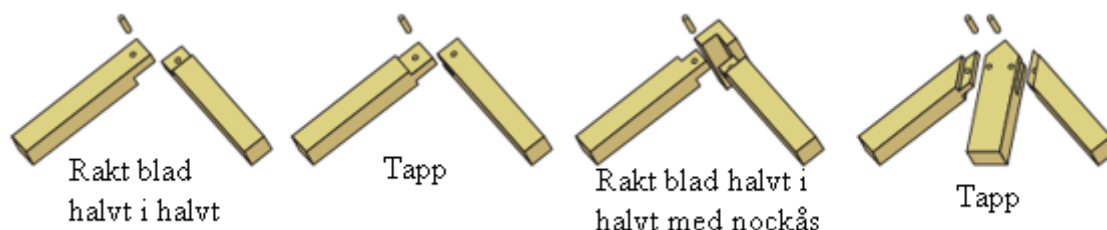
Vid anslutning mellan hanbjälke och högben ska förbandet i huvudsak fungera för att överföra kontinuerliga tryckkrafter. De förband som använts genom tiderna för denna anslutning har varit tapp, rakt blad samt halv och hel laxstjärt.

För att ta hand om de utåtriktade horisontella krafterna som bildas på grund av vertikal belastning på de lutande högbenen förs lasten från högbenet in till stödbenet via en dragsträva. Förbandet som ska föra över lasten mellan högbenet och dragsträvan måste vara konstruerat för att ta konstant drag. För denna anslutning har det i äldre takstolar förekommit att förband som rakt blad, tapp, tapp med förstöt och tapp med indraget förband, se Figur 2-13. För det raka bladet kan dragkrafter överföras framförallt via trädymlingen. Tapp-förbandet är lite annorlunda utformat i jämförelse med de andra. En skåra görs i högbenet där hanbjälkens tapp ska sitta. För tapp och tapp med förstöt ökar dragkapaciteten, den är störst för tapp med förstöt då nedhugningen skapar ett stöd mot de horisontella krafterna (Thelin, 2010). I Figur 2-13 nedan visas förbandet mellan högben och dragsträva.



Figur 2-13: Förband mellan hanbjälke och högben (Skogsindustrierna, 2010).

I nocken ska högbenen förbindas så att de kan stötta varandra horisontellt. Förband som har använts i denna anslutning är rakt blad halvt i halvt, tapp samt rakt blad halvt i halvt med nockås. Rakt blad halvt i halvt innebär att halva tjockleken på högbenen blivit borthuggen för att de ska passa ihop. För att förbinda delarna används även här trädymling eller spik. Förbandet med rakt blad halvt i halvt med nockås ser ut som rakt blad halvt i halvt förutom att det finns en uthuggning i toppen på båda högbenen för en längsgående nockås (Thelin, 2010). I Figur 2-14 nedan visas olika typer av nockförband.



Figur 2-14: Vanliga nockförband (Skogsindustrierna, 2010).

Av de traditionella förbanden som beskrivits ovan är det endast tapp med förstöt som används idag. Dagens förband är ofta utförda med mekaniska fästdon av stål som spik, skruv eller spikplåt. Spikplåtar är idag dominerande för lätta ram- och fackverkstakstolar. Spikplåtarna tillverkas i varmförzinkad stålplåt som är 1-2 mm tjock. Spikformade hål stansas och viks ut åt ena sidan. Spikplåten pressas in i träet där två virkesdelar ska förbindas. För att kunna pressa in spikplåten behövs en speciell utrustning och spikplåtarnas bärförmåga är svårt att beräkna teoretiskt och bestäms genom provning (Carling, 1992). På grund av detta dimensioneras ofta spikplåtarna av takstolstillverkarna.

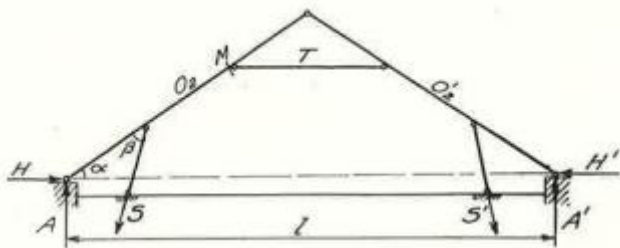
För att förbandet ska få räknas som rotationsstyvt ska det kunna ta upp 1.5 gånger momentbelastning och normalkraft (Swedish standards institute, 2004).

2.4.3 Bedömning av skicket på den befintliga konstruktionen

För att bedöma hur konstruktionen ska klara av nya laster och nytt klimat behövs information om hur den fungerar idag. Om det finns konstruktionsberäkningar att tillgå kan dessa användas för att hitta information om hur konstruktionen är dimensionerad. För de byggnader som är äldre kan det vara svårt att få tag på. Då behövs andra metoder för att skaffa indata. För att ta reda på hållfasthet i olika delar kan prover tas ut och testas i labb. Om det inte är möjligt kan rimliga antaganden på säkra sidan göras om en minsta hållfasthet (Höst, 2016)

För att ta reda på hur konstruktionen som i detta fall är en takstol fungerar i sin helhet kan förbanden i takstolen inspekteras för att eventuellt se vilka delar som fungerar i drag och tryck. Om det är mellanrum mellan de anslutande delarna kan förbandet vara utsatt för dragkrafter. För att undersöka förbanden krävs att dessa är synliga vilket inte alltid är fallet. Förbandet mellan stödben och remstycke kan vara dolt i bjälklaget. Om det är fallet kan golvet behöva brytas upp. Om vindsbjälklagets utformning inte är känd kan spikradernas placering i golvet kontrolleras. Utifrån dessa kan slutsatser dras om hur golvbjälkarna är placerade. Om spikraderna följer takstolarna är det troligen så att stödbenet går rakt ner i bindbjälken. Om spikraderna ligger oregelbundet och inte i linje med takstolarna kan stödbenet gå ned i ett remstycke som förbinder takstolarna och för lasten till bjälkarna i bjälklaget. Om remstycke finns kan det även vara synligt (Höst, 2016).

För att ta reda på hur bärverk dimensionerats kan efterforskning göras i äldre tidskrifter. Byggmästaren var en tidning där allt som var aktuellt inom byggande publicerades (Bergström, 1930). Ur denna tidskrift kan utläsas att det vid denna tidsperiod, 1920-talet, inte fanns så tydliga bestämmelser för hur byggnader skulle upprättas. Det fanns dock vissa regler för dimensionering av bärverk, som balkar. Den maximala tillåtna belastningen togs fram i laboratorieundersökningar och bärförmågan angavs i hur stor belastningen fick vara per areaenhet. Byggnadsnämnden hade även riktlinjer och tabeller för hur laster från snö, vind och egentygnd skulle räknas med vid dimensioneringen. Speciella tabeller användes för den svenska takstolen, då den ansågs vara mycket tidskrävande att räkna för hand (Moje, 1930). I dessa tabeller har upplagskrafter och snittkrafter tagits fram för olika taklutningar och snözoner. Ett exempel på hur dessa tabeller såg ut år 1929 visas i Figur 2-16.



Figur 2-15: Svensk takstol.

Gränsvärden för krafter och böjningsmoment.

Tak- belägg- ning	Tak- lut- ning <i>tga</i>	Belastningar i kg per m ²			Belastningsfall	Vertikala stödben ($\beta = 90 - \alpha$)			Stödben med lutningsvinkeln $\beta = 26^\circ 40'$			Oberoende av stödbensvinkeln			
		Egen- vikt <i>g</i>	Snö- last <i>p</i>	Vind- tryck <i>P_v</i>		<i>A</i>	<i>H</i>	<i>S</i>	<i>A</i>	<i>H</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>O₂</i>	<i>M</i>	
Plåt eller asfaltpapp	3:2	75	12	125	Vanligt (=egenvikt och snölast)	+27.8	+14.5	-16.9	+23.8	+12.0	-21.0	-9.9	-30.8	-0.29	
					Except. (=egenv.snölast o. vindtr.)	+69.8 +26.0	+38.0 -29.5	+10.1 -90.7	+70.8 -46.5	+39.0 -42.3	+12.3 -114.0		-27.8 -27.1	-2.19 -60.8	+0.83
	1:1	60	50	125	Vanligt	+34.8	+27.5	-24.3	+24.9	+17.8	-38.5	-20.3	-38.7	-0.50	
					Except.	+53.3 -0.7	+43.2 -57.4	+3.2 -57.4	+48.4 -13.2	+38.4 -23.0	+5.0 -91.0		-30.7 -30.7	-43.8 -62.5	+1.33 +0.16
	2:3	55	90	125	Vanligt	+46.0	+54.3	-33.8	+29.0	+21.5	-62.9	-39.8	-54.4	-0.75	
					Except.	+54.2 -58.4	+64.8 -58.4	+1.7 -58.4	+40.4 -9.3	+36.0 -9.3	+3.2 -90.2		-47.4 -47.4	-61.7 -82.5	+1.11 -0.19
	1:2	50	100	125	Vanligt	+47.7	+75.0	-35.7	+31.1	+48.6	-71.0	-54.9	-64.0	-0.80	
					Except.	+52.3 -44.0	+82.8 -44.0	+1.4 -44.0	+37.3 -44.0	+59.4 -1.0	+3.1 -87.6		-60.7 -60.7	-70.0 -97.5	+1.02 -0.30
	Tegel eller skiffer	3:2	135	12	125	Vanligt	+46.8	+24.5	-27.9	+40.5	+20.4	-35.0	-18.0	-52.7	-0.46
						Except.	+88.8 -7.0	+48.0 -19.5	-101.7	+87.5 -28.8	+47.0 -33.9	-122.0		-35.2 -35.2	-49.7 -82.7
		1:1	105	50	125	Vanligt	+49.0	+38.8	-32.5	+35.2	+25.0	-51.8	-28.5	-57.4	-0.63
						Except.	+67.7 -65.6	+54.5 -65.6	-65.6	+58.7 -2.9	+45.6 -15.8	-104.3		-39.0 -39.0	-62.5 -81.2
2:3		95	90	125	Vanligt	+58.5	+69.3	-41.2	+37.8	+29.7	-76.7	-50.8	-74.3	-0.86	
					Except.	+66.7 -55.8	+79.8 -55.8	-55.8	+49.6 -0.9	+44.2 -0.9	-104.0		-58.4 -58.4	-81.0 -102.5	+1.23 -0.51
1:2		85	100	125	Vanligt	+58.7	+92.5	-42.0	+38.5	+58.2	-83.9	-67.6	-84.7	-0.90	
					Except.	+63.3 -50.5	+100.3 -50.5	-50.5	+44.7 -50.5	+69.0 -50.5	-100.5		-73.4 -73.4	-90.7 -118.2	+1.11 -0.40

Figur 2-16: Tabell med snittkrafter och upplagskrafter för olika taklutningar på en svensk takstol från 1930 (Bergström, 1930).

2.5 Material i takkonstruktioner

De material som används i en konstruktion sätter ribban för vilka egenskaper konstruktionen får samt hur den klarar av de förutsättningar som finns. Materialvalen påverkar bland annat utformningen, energianvändningen, fuktbelastningen och konstruktionens kapacitet.

2.5.1 Isoleringsmaterial

Isolering av takkonstruktioner kan ske med flera olika isoleringsmaterial. Materialens egenskaper skiljer sig åt, det är därför viktigt att känna till dessa egenskaper så att rätt material hamnar på rätt plats. De skilda egenskaperna gör att de lämpar sig för olika typer av konstruktioner. Ett material som passar bra i en konstruktion kan alltså passa sämre i en annan. Isoleringsmaterial kan grovt delas in i två kategorier, fuktåliga och fuktbuffrande.

Fukttåliga isoleringsmaterial

De fukttåliga materialen tål vatten och riskerar inte att mögla eller förstöras av fukt. Några material som tillhör denna kategori är cellplast, cellglas, lättklinker, och mineralull. Vissa material i denna kategori kan dock förlora delar av sin värmeisolerande egenskap om det är för höga fukttillstånd i konstruktionen (Bokalders, 2011). Av materialen i denna kategori är det främst mineralull och cellplast som används i takkonstruktioner.

Mineralull är ett samlingsnamn för de två isoleringsmaterialen stenull och glasull. Materialen har liknande egenskaper och tillverkas båda genom att trådar spinns och sedan limmas ihop till skivor med hjälp av ett härdplastlim. Det som skiljer typerna åt är av vilket material trådarna är spunna av. Stenullen tillverkas av olika stenmaterial medan glasullen består av samma råvara som vid glastillverkning. Värmeledningsförmågan för båda materialen ligger mellan 0.030 och 0.040 W/mK (Petersson, 2009).

Cellplast kan delas in i olika undergrupper av material, EPS och XPS. Dessa har liknande egenskaper men tillverkas på olika sätt. EPS består av polystyrenkuler som med hjälp av vattenånga expanderats till små celler, många av dem öppna. Massan gjuts i en form och skärs sedan upp till skivor. EPS är relativt lufttätt, dock inte lika lufttätt som XPS. EPS har en värmeledningsförmåga mellan 0.031 och 0.041 W/mK (Bokalders & Block, 2014).

XPS har en liknande tillverkningsprocess som EPS men expanderar i slutna former och pressas sedan genom ett munstycke till den slutgiltiga formen. Cellerna i denna typ av isolering är slutna vilket gör att den är lufttät (Bokalders & Block, 2014). XPS har en betydligt högre ångtäthet än EPS. Värmeledningsförmågan för XPS ligger mellan 0.035 och 0.042 W/mK (Bokalders & Block, 2014).

Fuktbuffrande isoleringsmaterial

Fuktbuffrande isoleringsmaterial innebär att materialet kan ta upp fukten i luften och sedan släppa den ifrån sig när ånghalten i luften är lägre. De fuktbuffrande materialen kommer oftast från växtriket och kan till exempel vara cellulosafiber, träfiber, linfiber, hampafiber eller fårull. Vid användning av de fuktbuffrande materialen är det viktigt att inte diffusion hindras med något diffusionstätt lager, till exempel plastfolie. Vindskyddet på utsidan får inte heller vara för tätt. För att undvika att fukten stängs in i konstruktionen kan istället diffusionsbroms användas (Bokalders & Block, 2014).

De fuktbuffrande isoleringsmaterialen användes ofta förr i tiden. De vanligaste materialen som användes var sågspån, torv, tång och kutterspån. Dessa material tillät fukten att vandra från den varma till den kalla sidan i konstruktionen, för att sedan vädras bort (Bokalders, 2011). Det är alltså viktigt att ångspärrar inte används på fel sätt i gamla konstruktioner, det kan i värsta fall skapa fuktproblem. I dagens välisolerade konstruktioner fungerar det inte att låta fukten vandra på samma sätt eftersom de är så pass tjocka. Dessutom behöver oftast dagens konstruktioner vara väldigt lufttäta för att klara gällande energikrav.

Cellulosafiberisolering tillverkas av returpapper eller träåvaror, dessa sönderdelas och används som lösullsisolering. Om cellulosan används rätt blir den väldigt lufttät vilket motverkar konvektion i konstruktionen. En stor risk med cellulosaiberisoleringen är dock att den sätter sig efter en viss tid. Detta skapar köldbryggor och luftspalter i konstruktionen. För att materialet ska vara motståndskraftigt mot röta och brand tillsätts ofta kemiska tillsatser som

bland annat borsyra och borax, dessa kan uppgå till hela 14-25 % av materialets vikt. Det finns vetenskapliga studier som visar att borsyra och borax är hormonstörande, cellulosa-fiber med dessa ämnen bör alltså undvikas. Cellulosa-fiberisolerings har ett värmeledningstal som vanligtvis ligger mellan 0.038 och 0.043 W/mK (Bokalders & Block, 2014).

Träfiberskivor består av flisat trä som malts och blandats med vatten. Denna massa värms upp och pressas samman till skivor. Ligninet i träet fungerar som bindemedel vilket gör att inte så många tillsatsmedel behöver användas. Skivorna varierar i hårdhet och det är de mest porösa som används till isolering. För att göra skivorna mer motståndskraftiga mot mögel tillsätts aluminiumsulfat. Ammoniumsulfat används för att göra skivorna mer brandsäkra. Värmeledningstalet för träfiberskivor varierar beroende på skivornas porositet. Värden mellan 0.037 och 0.17 W/mK förekommer (Bokalders & Block 2014).

2.5.2 Konstruktionsträ

Trä kan betraktas som ett kompositmaterial och består av cellulosa-fibrer och lignin. Cellulosa-fibrerna är byggstenar och ligninet är limmet. Cellulosa-fibrerna kan ses som rör som ligger längs med trädets längdriktning. Om trä i teorin behandlas som felfritt är det för tryck och drag i längdriktningen fibrernas kapacitet som bestämmer brottlasten. För tryck i längdriktningen sker brott genom att fibrerna knäcks, vilket ger en lägre brottlast än vid drag där det är fibrernas hållfasthet som är avgörande. När felfritt trä belastas tangentiellt årsringarna är det i teorin ligninets hållfasthet som avgör hur hög brottlasten blir. Ligninets hållfasthet är ca 3 % av cellulosa-fibrernas vilket betyder att belastning tangentiellt bör undvikas. För belastning radiellt årsringarna medför det vid tryck att cellulosa-fibrerna tycks ihop och hållfastheten blir ca 20 % jämfört med tryck i trädets längdriktning (Träguiden, 2003).

Trä är ett hygroskopiskt material vilket innebär att det kan avge och ta upp vatten. De mekaniska egenskaperna i trä påverkas mycket av fuktnivån, tryck är känsligare än drag. När fuktkvoten höjs 1 % minskar tryckhållfastheten i fiberriktningen med 5 % upp till fibermättningspunkten (fuktkvoten 30 %). Träets benägenhet att krypa ökar med ökad fuktbelastning och extra mycket vid varierad fuktbelastning (Träguiden, 2003).

Att trä sväller och krymper då fuktkvoten ökar och sjunker är viktigt att känna till. Detta bland annat för utformning av förband. Om trä materialet är förhindrat att röra sig uppstår spänningar som kan leda till sprickor och otätheter i konstruktionen (Carling, 1992). Deformationer på grund av fukt kan alltså förutom minskad hållfasthet även leda till otätare konstruktioner, vilket kan öka energibehovet.

Det felfria trä materialet finns i princip inte i verkligheten. Växtfel av olika slag som kvistar och snedfibrighet förekommer i praktiken alltid.

För spännvidder i flerbostadshus mellan 7-15 meter är det vanligast att takstolarna utförs i konstruktionsträ (Träguiden, 2003). Konstruktionsträ finns i olika kvalitetsklasser och i Sverige gäller klasserna C14, C18, C24, C30 och C35. Klassens nummer är ett värde på 5 %-fraktilen för den karakteristiska böjhållfastheten, d.v.s. minst 95 av 100 regler ska klara belastningen.

2.5.3 Vindskydd och ångspärrar

När konstruktioner isoleras med material som mineralull eller cellulosafiber krävs någon form av vindtätt skydd. Utan det vindtäta skiktet försämras materialets isolerande förmåga eftersom luft tillåts strömma genom materialet. Cellplast, som har en mycket tätare struktur med stängda porer, kräver inte samma form av vindtätning.

Förutom att hindra luftläckning behöver även vattenånga, främst från inomhusluften, hindras från att röra sig utåt i konstruktionen eftersom detta kan orsaka kondensation i de kallare delarna av konstruktionen. För att hindra regn och snö från att ta sig in behöver utsidan även vara vattentät (Andersson, et al., 2009).

En konstruktion kan släppa igenom fukt i ångfas på två olika sätt, diffusion och konvektion. Dessa begrepp förklaras i avsnitt 2.7.2. För att försvåra för fukten används därför olika material, materialen har olika egenskaper beroende på vad ändamålet är. Nedan förklaras de egenskaper dessa material kan ha.

Diffusionstätt - materialet fördröjer skillnader i ångtryck att jämna ut sig, exempelvis när ånghalten är högre inomhus än utomhus

Ångspärr - materialet är vindtätt och diffusionstätt

Ångbroms - materialet är vindtätt men inte lika diffusionstätt som en ångspärr, speciellt vid hög relativ fuktighet

Generellt kan konstruktionen delas upp i en varm och en kall sida. Den kalla sidan behöver vara vatten- och lufttät men släppa igenom ånga för att tillåta uttorkning. Den varma sidan behöver vara luft- och ångtät för att undvika luftläckage, hög relativ fuktighet och i värsta fall kondensation inuti klimatskalet. För att tillåta uttorkning även inåt kan mer genomsläpplig ångtätning på insidan användas, en så kallad ångbroms. Ångbromsen är mer ånggenomsläpplig än den mer täta ångspärren. För att förhindra att fukt fastnar i konstruktionen brukar det i regel vara bra att ha cirka 5 gånger tätare ångbroms på insidan av väggarna jämfört med vindskyddet på den kalla sidan av klimatskalet. När det gäller tak bör ångbromsen vara cirka 10 gånger tätare än det utvändiga vindskyddet (Andersson, et al., 2009).

Något som är viktigt att tänka på när en konstruktion ska ändras, speciellt vid tilläggsisolering och införande av nya och täta skikt, är att säkerställa att ventilationen i byggnaden inte försämras. Gamla byggnader ventileras ofta med självdrag vilket innebär att en tätning av konstruktionen kan innebära att ventilationen minskar. En minskad ventilation kan skapa invändigt övertryck i byggnaden, vilket i sin tur kan skapa större luftflöden i konstruktionen. Eftersom varm luft stiger kan taket i en byggnad utsättas för extra mycket luftrörelser, det är därför viktigt att se till att konstruktionen där är motståndskraftig mot ånga och samtidigt ventilerar utrymmet så gott det går (Andersson, et al., 2009).

2.5.4 Fönster i takkonstruktioner

Det finns många olika lösningar för att få in ljus i vindsutrymmet. Några alternativ är, indraget fönster, vertikalt fönster i takkupa och takfönster i takfall. Vid flackare tak kommer fönsterhöjden att behöva vara större än vid brantare tak för att uppnå samma ljusinsläpp. Takkuporna blir längre och mer omständliga att installera vid lägre taklutning än vid branta tak (Höglund, 1988)

Det är smidigast att installera takfönster mellan två takstolars högben för att slippa avvaxlingar. Om avvaxlingar blir nödvändiga på grund av att bredden på fönstret är för stor eller liten, kan de högben som får större belastning behöva förstärkas eller ersättas av större dimensioner (Höglund, 1988).

2.5.5 Bjälklag i trä

Vanligt är att träbjälklag idag utformas med träbalkar av konstruktionsvirke, limträ eller lättbalkar som primärbärverk. Primärbalkarna sitter vanligtvis med ett centrumavstånd på 400-600 mm. Som sekundärt bärverk används skivmaterial, vanligtvis golvspånskivor (Isaksson, et al., 2014). Spånskivorna är spontade och ofta av tjocklek 22 mm. Dessa skruvlimmas mot träbalkarna och i sponten (Paulsson, et al., 1986). För att de akustiska egenskaperna ska förbättras kan både gips- och spånskiva läggas som sekundärbärverk och en akustikprofil fästas under träbalkarna tillsammans med dubbla gipsskivor och isolering i form av mineralull (Isaksson, et al., 2014).

För murverkshus läggs träbalkarna på ett remstycke ovanpå murverket. Bjälklaget ingår ofta i byggnadens stabiliserande system.

2.6 Energianvändning

Energianvändningen i byggnader är något som blir mer och mer aktuellt. Eftersom en stor del av den totala energianvändningen i Sverige används i byggnader ställs idag hårda krav på nybyggnader. Målet i EU är att alla nybyggnader från och med år 2021 ska vara näronnenergibygnader. De nya kraven kommer gälla offentliga byggnader redan år 2019 (Regeringskansliet, 2015). De nya kraven visar på hur aktuellt ämnet är samt att det ligger högt upp på den politiska agendan.

Kraven som finns vid nybyggnad bör enligt BBR även eftersträvas vid ombyggnad. Vid ombyggnader och renovering måste även den befintliga byggnaden tas hänsyn till vilket gör att antalet parametrar ökar och blir mer komplicerade. Det blir alltså mer och mer viktigt att förstå hur en byggnad fungerar och vad energianvändningen består av och påverkas av. Nedan beskrivs en byggnads energibalans, hur den beräknas och vilka parametrar som ingår.

2.6.1 Energibalans

En byggnads energibalans består av bidrag från de system som dels kräver energi, dels tillför energi. Ekvationen för en byggnads energibalans beskrivs av: (Abel & Elmroth, 2012).

$$Q_{energi} = Q_t + Q_i + Q_v + Q_{tvv} + Q_{dr} + W_f + W_h - Q_{vå} - Q_{tillskott} - Q_{sol}$$

Där Q_t är transmissionsförluster

Q_i är luftläckageförluster

Q_v är ventilationsförluster

Q_{tvv} är tappvarmvatten

Q_{dr} är distributionsförluster

W_f är fastighetsel

W_h är hushållsel

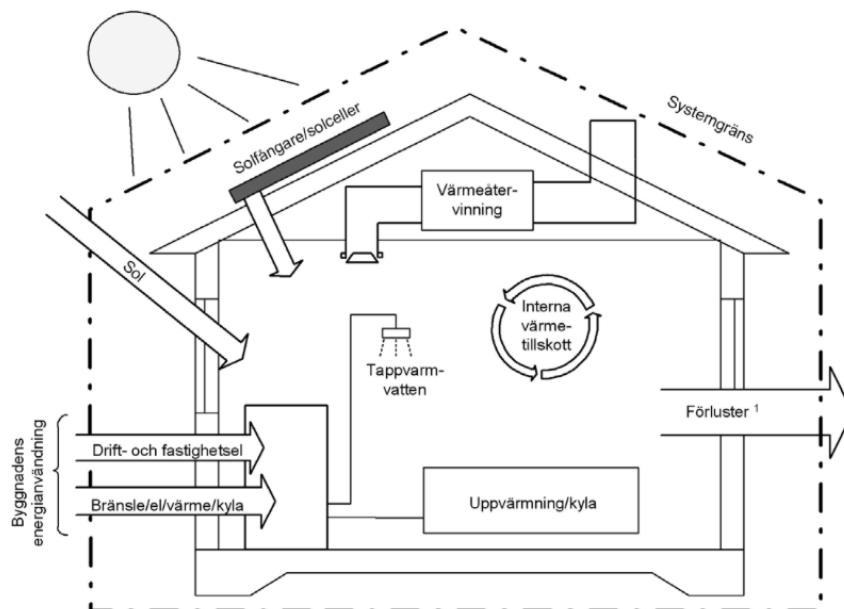
$Q_{v\ddot{a}}$ är värme som kan återvinnas i till exempel värmeväxlare, avloppsvärmeväxlare m.m.

$Q_{tillskott}$ är personvärme och värme från maskiner m.m.

Q_{sol} är energitillskott från solinstrålning. Beror på fönsternas storlek och fönsterglasets egenskaper.

Storleken på posterna i energibalansen för en byggnad skiljer sig mycket åt beroende på husets konstruktion samt vilka installationer som finns. Det är ofta stora skillnader mellan gamla och nya byggnader. För äldre byggnader är generellt sett posterna för uppvärmning och varmvatten störst. För nya, välisolerade byggnader, blir istället posterna som behandlar installationsutrustning och hushållsel de största.

Energibalansen kan förenklas genom att slå ihop delar av ekvationen. Förenklingen ger istället posterna; *uppvärmning*, *komfortkyllning*, *tappvarmvatten*, *ventilation*, *hushållsel* och *fastighetsel*. Begreppen förklaras närmare nedan. I Figur 2-17 nedan visas de olika poster som påverkar en byggnads energianvändning, hushållsel finns dock inte representerat.



Figur 2-17: De olika posterna i en byggnads energianvändning (Boverket, 2008).

Uppvärmning

Den energi som används till uppvärmningen av en byggnad går främst åt till att täcka transmissionsförlusterna, luftläckage genom klimatskalet samt distributionsförluster. Energiförbehovet för denna post minskar dock av personvärme, värmeväxlare och solinstrålning. Figur 2-18 visar hur stor del av uppvärmningen som används till olika poster.



Figur 2-18: Uppvärmningens olika delar (Energimyndigheten, 2015).

Transmissionsförluster är den värme som läcker ut genom byggnadens klimatskal. Värmetransportens storlek beror på temperaturskillnaden mellan ute och inne samt hur välisolerad konstruktionen är. Ekvationen för transmissionsförluster tar hänsyn till konstruktionens U-värde, antalet gradtimmar samt arean enligt:

$$Q_t = U \cdot A \cdot G_t$$

Där U är U-värdet för bygdelen [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

A är arean för bygdelen [m^2]

G_t är gradtimmar [$^{\circ}\text{Ch}$]

Q är transmissionsförluster

Luftläckageförluster

Otättheter i ett hus skapar luftläckage, även vädring bidrar till denna post. Läckaget innebär att en större mängd kall uteluft måste värmas upp och därmed ökar energianvändningen.

Distributionsförluster

Förluster i byggnadens installationer. Dessa förluster beror främst på ledningarnas längd, isoleringsgrad och regleringssystem.

Kylning

Normalt sätt finns ingen aktiv kylning installerad i bostadshus. Oftast behövs kylning främst i kontorsbyggnader där det finns stora höga internlasten i form av personer och maskiner samt mycket glasytor som kan släppa in solstrålning.

Tappvarmvatten

Uppvärmning av tappvarmvatten ökar energianvändningen och kan vara mycket varierande eftersom denna post styrs av människors beteende. Energinvändningen för varmvatten beror till viss del även på utformningen av hushållets installationer och maskiner.

Ventilation

För att värma uteluften innan den pumpas in i byggnaden som tilluft används en del energi. I ett hus med styrd ventilation kan det därför bli väldigt viktigt att dimensionera ventilationsflödena rätt för att undvika att använda mer energi än nödvändigt.

Fastighetsel

Energin som används till byggnadens system, till exempel pumpar, fläktar och hissar.

Hushållsel

Hushållselen består av den el som används för apparater som brukarna använder, till exempel spis, kylskåp, lampor m.m.

2.6.2 Specifik energianvändning

För att på ett bättre sätt kunna jämföra olika byggnaders energianvändning med varandra används begreppet Specifik energianvändning E_{spec} . I en byggnads Specifika energianvändning inkluderas varken hushållsenergi eller verksamhetsenergi vilket ger ett värde mindre styrt av brukarvanor. Den Specifika energianvändningen fördelas på den uppvärmda arean, A_{temp} , och har enheten [kWh/m², år] (Boverket, 2015 c).

De myndighetskrav som ställs på en byggnads energianvändning gäller den Specifika energianvändningen och beräknas enligt: (Boverket, 2015 c).

$$E_{spec} = \frac{E_{byggnad}}{A_{temp}} \text{ [kWh/m}^2\text{, år]}$$

Där E_{spec} är den specifika energianvändningen fördelar energin på den uppvärmda arean

A_{temp} är den uppvärmda arean

$E_{byggnad}$ är byggnadens energianvändning och beskrivs enligt ekvation:

$$E_{byggnad} = E_{uppv} + E_{kyl} + E_{tvv} + E_f \text{ [kWh /år]}$$

Där E_{uppv} är energin som krävs för att värma upp byggnaden

E_{kyl} är eventuell komfortkyla för att kyla ner byggnaden

E_{tvv} är energin för uppvärmning av tappvarmvatten

E_f är fastighetsenergi (fläktar, pumpar, trapphusbelysning m.m.)

2.6.3 Framtida energikrav

För att få ett mer energieffektivt byggande i Europa har direktiv med nya energikrav för byggnader tagits fram. Kraven innebär att alla nya byggnader i Europa ska vara nära-nollenergibyggnader från och med år 2021. En nära-nollenergibyggnad definieras som en

byggnad med hög energiprestanda och en stor mängd tillförd energi från förnybara energikällor.

I Sverige har Boverket i uppgift att föreslå vilken innebörd en nära-nollenergibyggnad ska ha när det gäller energiprestanda. Ett förslag i form av rapporten "*Förslag till svensk tillämpning av nära-nollenergibyggnader*" lades fram i juni 2015. Här definieras dels vilken energimängd som ska räknas in i energianvändningen, dels hur hög den specifika energianvändningen ska vara.

Boverkets förslag på nya krav för specifik energianvändning i nära-nollenergibyggnader beskrivs i Tabell 2-3 (Boverket, 2015 b).

Tabell 2-3: Specifik energianvändning för nära-nollenergibyggnader.

Typ av byggnad	Flerbostadshus, ej eluppvärmda	Lokaler, ej eluppvärmda	Småhus, ej eluppvärmda
Maximal specifik energianvändning för nära-nollenergihus [kWh/m ² A _{temp} ,år]	55	50	35 + areakorrekktion

2.7 Fuktsäkerhet

"Byggnader ska utformas så att fukt inte orsakar skador, lukt eller mikrobiell växt som kan påverka hygien eller hälsa", så står det i BBR-kraven för ändring av byggnader (Boverket, 2015 c). För att uppfylla dessa krav behövs alltid fuktsäkerhet finnas i åtanke när material och konstruktionens utformning väljs. Fukt på fel ställen i konstruktionen kan skapa flera olika problem, bland annat mögel, röta och illaluktande material.

2.7.1 Fuktkällor

Det finns en rad anledningar till varför för höga fukthalter uppstår i en konstruktion. När det gäller takkonstruktioner kan den fuktiga inomhusluften ta sig in i konstruktionen, regn eller snö kan läcka in, byggfukt kan finnas kvar och installationer kan läcka. Fukten bör alltså både förhindras att ta sig in och säkerställa att den kan torka ut om den väl gör det.

Regn och snö

Inläckage av regn och snö är starkt beroende av byggnadens placering och utseende. Dessa fuktkällor kan spela en stor roll vid dels dimensioneringen av byggnadens bärighet och dels fuktsäkerhetsprojekteringen. När det gäller takkonstruktioner ska taktäckningen vara vattentät och ventilationsintag placerade så att snö inte kan blåsa in. En annan viktig aspekt är takavvattningen, denna måste dimensioneras för att klara regnintensiteten på orten (Elmarsson & Nevander, 2006).

Luftfukt

Fukten i luften är en annan fuktkälla som kan skapa problem. Denna fukt kan mätas dels i relativ fuktighet ϕ [%], dels i vattenånghalt v [kg/m³]. Vattenånghalten beskriver hur mycket fukt det finns i luften. Den relativa fuktigheten beskriver kvoten mellan den aktuella ånghalten v , och mätnadsånghalten vid en given temperatur, v_s .

Utomhus varierar ånghalten mycket över året. Ånghalten är hög på sommaren och låg på vintern. Den relativa fuktigheten varierar inte lika mycket. På grund av variationerna i utomhus-

luftens ånghalt samt de varierande temperaturerna över året varierar även inomhusluftens ånghalt. Under vintern är temperaturen ute låg vilket innebär en låg ånghalt i luften. När denna luft tas in och värms upp blir den relativa fuktigheten låg. På sommaren är temperaturen inne och ute relativt lika. Detta gör att den relativa fuktigheten blir hög även inomhus.

Luftfukten inomhus beror även på den fuktproduktion som sker inne i byggnaden. Fuktproduktionen beror främst på matlagning, disk, tvätt och avdunstning från människor och djur (Elmarsson & Nevander, 2006).

Byggfukt

Byggfukten är den fukt i ett material som måste avdunsta för att materialet ska hamna i jämvikt med omgivningen. Byggfukten kan komma från produktionsprocessen för materialet, regn eller snö under byggtiden samt fuktutbyte vid inbyggnad med andra material (Elmarsson & Nevander, 2006).

Vattenläckage

Läckage är den vanligaste källan till fuktskador i byggnader. Läckage kan komma från installationer, maskiner och läckande ytskikt. För att undvika denna typ av skador bör synliga installationer väljas i största möjliga mån. Speciellt skarvar bör vara synliga och maskiner som diskmaskin och tvättmaskin bör vara utrustade med översvämningsskydd (Elmarsson & Nevander, 2006).

2.7.2 Fukttransport

Fukttransporten kan ske i antingen vätskefas eller ångfas. Ångans transport sker genom främst diffusion och fuktkonvektion medan transporten i vätskefas sker via tyngdkraft, vattentryck, vindtryck och kapillära krafter. Till exempel kan slagregn mot en fasad ge fuktskador om vattnet med hjälp av vindtryck och kapillära krafter tränger sig in i fasaden.

Diffusion

Diffusion innebär att vattenången i luften vill jämna ut koncentrationsskillnader. Den koncentrationsskillnad som främst påverkar byggnader är den mellan inomhus- och utomhusluften. I regel är ånghalten högre inomhus, vilket gör att fukten rör sig inifrån och ut genom konstruktionen, den diffunderar. Materialen i konstruktionen påverkar hur lätt eller svårt det är för fukten att diffundera. Diffusionsmotståndet i materialen kallas ånggenomgångsmotstånd och betecknas Z_v [s/m]. Genomgångsmotståndet kan även beskrivas med värdet på S_d [m] där ett högre värde innebär ett tätare material.

Konvektion

Konvektion sker när ången i luften transporteras med luftrörelser på grund av totaltryckdifferenser. Totaltryckdifferenserna uppstår vid temperaturskillnader, vindtryck och ventilation. Luftflödets storlek beror på materialens porositet och tryckskillnaden (Elmarsson & Nevander, 2006).

2.7.3 Fuktens negativa effekter

Fukt kan påverka ett material på flera olika sätt. En förklaring av några problem som kan uppstå vid för höga fuktillstånd finns nedan.

Nedbrytning

Organiska material som utsätts för höga fuktbelastningar kan drabbas av rötsvampar. Dessa bryter ner materialet och kan orsaka stora skador. Även trägnagarinsekter kräver en fuktig miljö i de flesta fall.

Hälsa

Mögelsvampar trivs bäst i ett fuktigt klimat och kan angripa flera olika material. Vissa arter av mögel och andra mikroorganismer avger obehagliga lukter och kan även orsaka allergier och känslighet.

Hållfasthet

En förhöjd fukthalt i trä medför även en lägre hållfasthet. Deformationerna i materialet blir även större och krypningen ökar (Elmarsson & Nevander, 2006).

2.7.4 Kritiska fukttillstånd

BBR ställer krav på att en byggnad ska konstrueras på ett sådant sätt att *högsta tillåtna fukttillstånd* för de ingående materialen inte uppnås. Det *kritiska fukttillståndet* RF_{krit} får inte förekomma under så lång tid att problem uppstår.

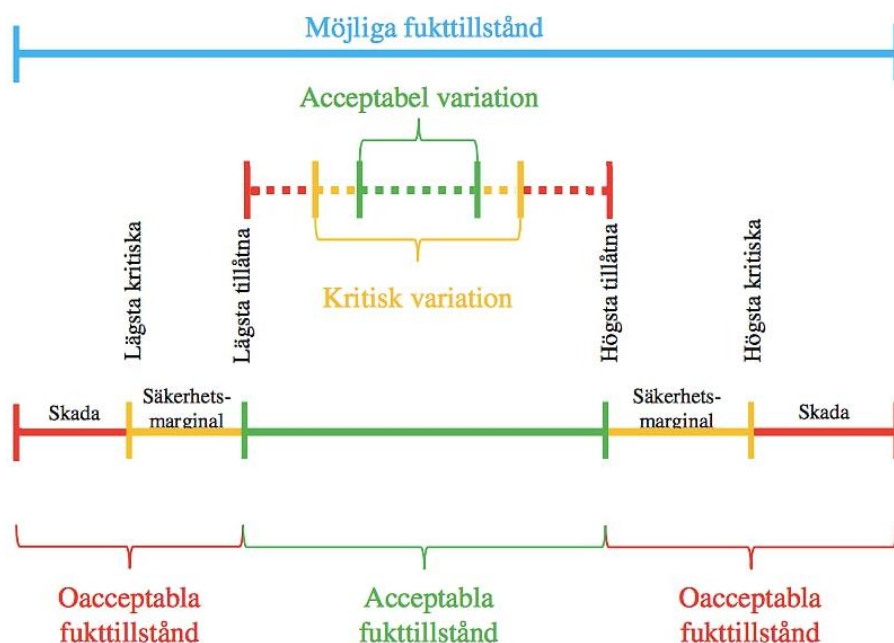
Definitioner

Högsta tillåtna fukttillstånd - den gräns vid vilken fukten inte väntas orsaka några skador på hygien eller hälsa.

Kritiskt fukttillstånd - det fukttillstånd vid vilket ett materials egenskaper och funktion försämras, anges oftast av leverantören för ett material.

Säkerhetsmarginal – bedöms utifrån de indata som använts i metoden samt hur säker metoden är (Boverket, 2014 b).

Figur 2-19 nedan illustrerar definitionerna för fukttillstånd.



Figur 2-19: Definitioner för fukttillstånd (Fuktcentrum, 2013).

För att en konstruktion ska anses fuktsäker bör följande krav uppfyllas:

- Aktuellt fukttillstånd \leq högsta tillåtna fukttillstånd
- Högsta tillåtna fukttillstånd \leq kritiskt fukttillstånd – säkerhetsmarginal

Kritiska fukttillstånd för relevanta material redovisas i Tabell 2-4. Det är dock viktigt att påpeka att det kritiska fukttillståndet även påverkas av temperatur och varaktighet. En hög relativ fuktighet vid låg temperatur och kort tidsperiod är inte lika skadligt som en hög relativ fuktighet vid höga temperaturer. (TräGuiden, 2003). Material utan väldokumenterade kritiska fukttillstånd kan ges en kritisk relativ fuktighet på 75 % för att vara på säkra sidan (Boverket, 2015 c).

Tabell 2-4: Kritiska fukttillstånd för vanligt förekommande material i träkonstruktioner.

Material	Kritiskt fukttillstånd RF [%]
Trä	75-80
Mineralull	90-95
Gips med papp	80-85

2.7.5 ByggaF

ByggaF är en branschstandard för fuktsäkert byggande framtagen av Fuktcentrum vid Lunds tekniska högskola. Standarden syftar till att vara ett verktyg inom fuktsäkerhet för berörda parter genom hela byggprocessen. Verktöget ska även hjälpa till att få en diskussion kring fuktsäkerhet i projektens tidiga stadie, det hjälper även till att strukturera arbetet och standardisera processen. I ByggaF beskrivs de olika moment i byggprocessen som är avgörande för ett fuktsäkert byggande. Vid planerandet av en nybyggnad eller ombyggnad, projekteringsfasen, finns två viktiga moment som det enligt ByggaF bör läggas stor vikt vid. Dessa viktiga moment är en fuktsäkerhetsbeskrivning samt en fuktsäkerhetsprojektering (Fuktcentrum, 2013). Fuktsäkerhetsbeskrivningen ska förklara de förutsättningar som gäller för aktuellt projekt samt vilka krav som finns på fuktsäkerheten. Kraven bör finnas under både projektering, produktion och förvaltning. Dokumentet upprättas innan projekteringen börjar och kan utföras av antingen beställaren, vid utförandeentreprenad, eller totalentreprenören vid en totalentreprenad (Fuktcentrum, 2013).

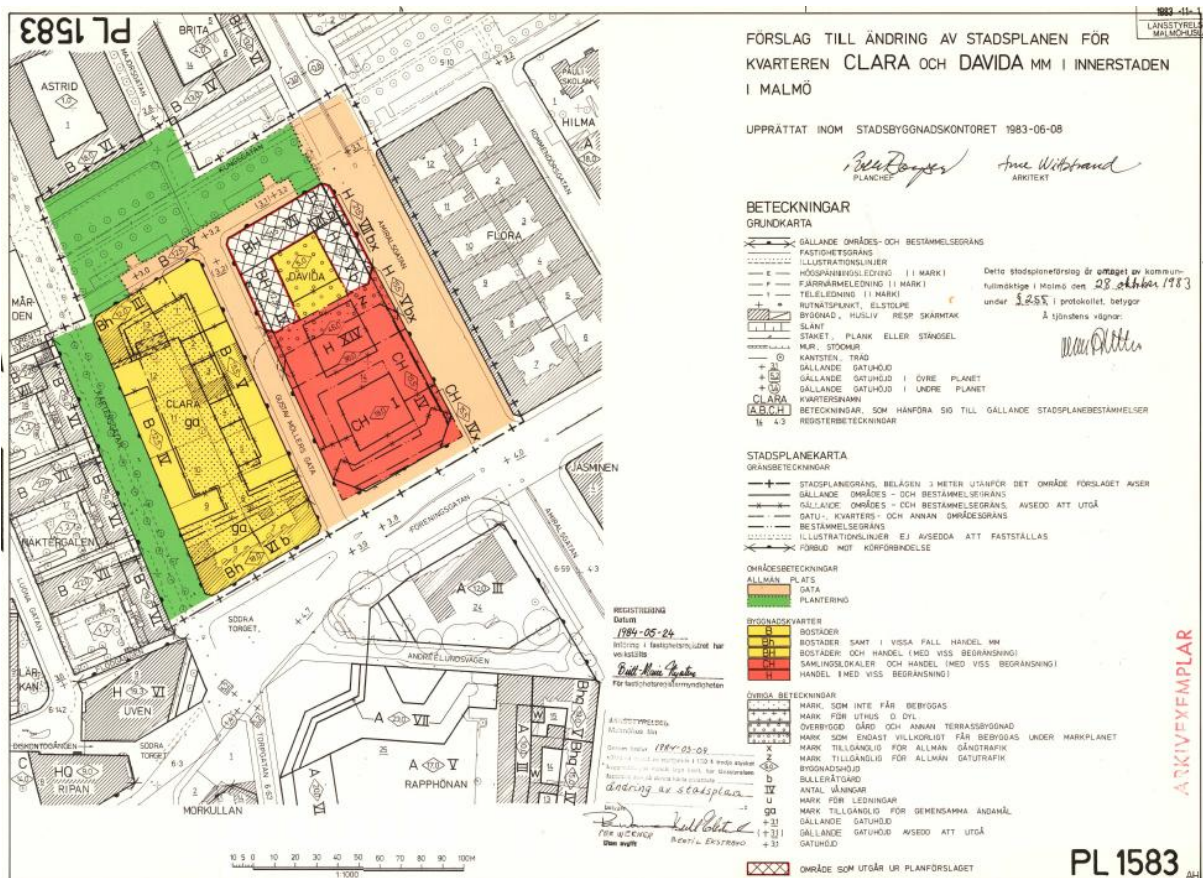
Fuktsäkerhetsprojekteringen utförs under projekteringen av byggnaden och syftar till att säkerställa att de tillåtna fukttillstånden inte överskrids. Alla parter som på något sätt är med och utformar, ritar eller konstruerar byggdelar som kan påverka byggnadens fuktsäkerhet ska göra en fuktsäkerhetsprojektering. Vid en fuktsäkerhetsprojektering dimensioneras en konstruktionsdel för fukt precis som om den skulle dimensionerats för en vind- eller snölast. Syftet i båda fallen är att säkerställa att konstruktionsdelarna klarar av de belastningar som kan uppkomma utan att kritiska tillstånd uppstår. Dimensionering och uppskattning av fukttillstånden i en byggdel kan göras med olika program, till exempel WUFI, TorkaS eller BIDry. De fukttillstånd som räknas fram i programmen kontrolleras sedan mot materialens tillåtna fukttillstånd. Resultatet av en fuktsäkerhetsprojektering blir vanligtvis beskrivningar av konstruktionernas utformning, resultat från beräkningar samt sammanställning av kontroller (Fuktcentrum, 2013).

3 Förutsättningar för Clara 13

Clara 13 är ett flerbostadshus beläget i stadsdelen Lugnet i Malmös innerstad. Huset byggdes 1929 och rymmer 13 hyreslägenheter samt fyra lokaler. Lägenheterna varierar i storlek mellan 2 och 4 rok (HSB, 2015). Huset var bland de första att byggas i området och är även en av HSBs första fastigheter i Malmö. Arkitekten Fritz Österlind ritade under denna tidsepok alla nya byggnader för HSB. Detta innebär att Österlind troligtvis ritade Clara 13 (Ranby, et al., 1992).

3.1 Detaljplanen för Clara 13

Detaljplanen för Clara 13 antogs i oktober 1983. Planen finns bifogad i Bilaga A. I Figur 3-1 visas en del av den aktuella detaljplanen för området vid Clara 13. Nedan presenteras de bestämmelser som är relevanta för en vindsombyggnad och som gäller i detaljplanen för Clara 13.



Figur 3-1: Detaljplan för kvarteren vid Clara 13 (Malmö Stadsbyggnadskontor, 1983).

Kvarteret Clara är markerat som ett gult område på plankartan, detta tillsammans med beteckningen Bh innebär att byggnaden endast får innehålla bostäder och i viss mån handel.

På plankartan finns även markerat att det maximala våningsantalet är tre och att byggnadshöjden maximalt får vara 12 m (Malmö Stadsbyggnadskontor, 1983). Eftersom byggnaden i dagsläget har byggnadshöjden 11.8 m innebär detta att installation av takkupor med största sannolikhet skulle innebära att den maximala byggnadshöjden överskrids.

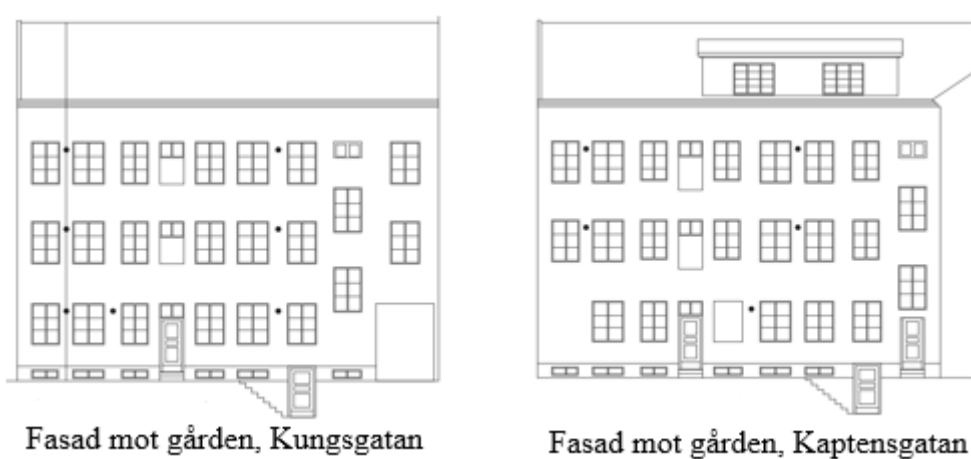
Clara 13 är inte k-märkt, men med tanke på att det är en gammal byggnad i ett område där många äldre byggnader har rivits skulle bygglovsbeslutet även kunna påverkas starkt av Malmö museer. Malmö museer är en remissinstans hos Stadsbyggnadskontoret. De granskar bygglovshandlingarna utifrån en byggnadsantikvarisk synvinkel. Om Malmö museer anser att ombyggnaden påverkar byggnaden på ett negativt sätt kan de råda Stadsbyggnadskontoret att avslå bygglovsansökan.

3.2 Ritningar

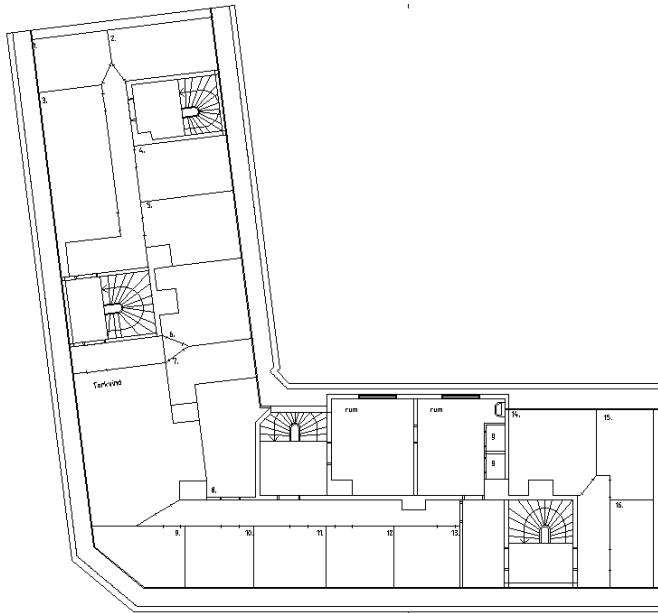
Figur 3-2 och Figur 3-3 visar fasader ut mot kungsgatan och kaptensgatan och in mot innergården för byggnaden Clara 13. Figur 3-4 visar hur vindsplan ser ut för Clara 13. Figur 3-5 visar en förenklad bild av de två typer av takstolar som finns på vinden i Clara 13.



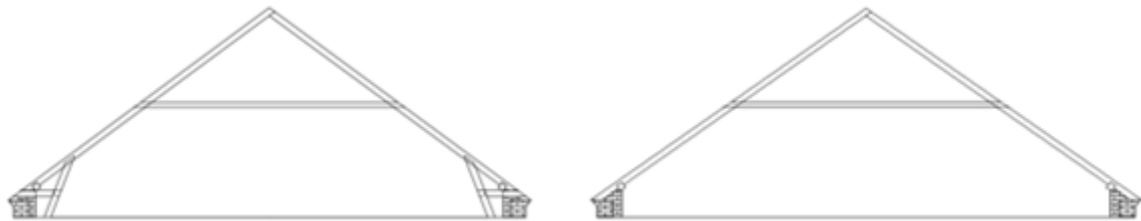
Figur 3-2: Fasad mot Kungsgatan och Kaptensgatan.



Figur 3-3: Fasad mot innergård.



Figur 3-4: Planritning, vindsplan.



Figur 3-5: Befintliga takstolar, med och utan stödben.

3.3 Energianvändningen för Clara 13

År 2008 gjordes en energideklaration av Clara 13. Energideklarationen beskriver byggnadens energiprestanda samt olika åtgärdsförslag på vad som skulle kunna göras för att förbättra energiprestandan.

Energiprestandan består av den energi en byggnad använder för uppvärmning, tappvarmvatten och fastighetsel under ett år. Energin beräknas per kvadratmeter A_{temp} och år. Detta innebär att energiprestandan kan jämföras med specifik energianvändning, E_{spec} . För att få ett mer representativt värde för alla typer av år, oberoende av till exempel varierande utetemperatur, normalårskorrigeras energianvändningen. Clara 13 värms upp med hjälp av fjärrvärme via ett radiatorsystem. Även tappvarmvattnet värms upp med hjälp av fjärrvärme. I Tabell 3-1 presenteras den normalårskorrigerade energianvändningen för Clara 13.

Tabell 3-1: Graddagskorrigerad energianvändning (ÅF, 2008).

Energianvändning	[kWh/m ² A _{temp} ,år]
Värme	102
Varmvatten	32
Fastighetsel	18
Specifik energianvändning, E_{spec}	152

För jämförelse kan det nämnas att flerbostadshus byggda innan 1960 i medelvärde använder 145 kWh/m² till uppvärmning och varmvatten (Statens energimyndighet, 2015). Detta innebär att Clara 13 använder mindre energi (102 + 32 = 134 kWh/m²) än andra äldre byggnader i Sverige.

Förutom att energideklarationen redovisar byggnadens specifika energianvändning görs även en bedömning av olika åtgärder som skulle kunna minska energianvändningen. De åtgärder som föreslås för Clara 13 är följande (ÅF, 2008):

- Isolera inkommande fjärrvärmerör
- Isolera vinden
- Justera reglering för pumpstopp/start
- Optimera börvärdeskurvan för sänkning av framledningstemperaturen i radiatorerna
- Koppla upp DUC (dataundercentralen) till internet eller GSM för styrning och övervakning.

Som ett av alternativen finns alltså att isolera vinden. Detta indikerar att inredning av vinden kan vara en bra lösning ur energisynpunkt.

3.4 Fukt

För att utesluta att det inte redan finns fuktproblem i takkonstruktionen på Clara 13 har en fuktmätning i takstolarna gjorts vid platsbesök. Ytfuktkvoten mättes upp i takstolens olika delar och redovisas i Tabell 3-2. Värdena i tabellen är ett medelvärde av de ytfuktkvoter som mätts upp vid mättillfället.

Tabell 3-2: Medelvärde på ytfuktkvoter i takstolarna på Clara 13.

Takstolsdel	Högben	Stödben	Kantbalk
Ytfuktkvot [%]	10.2	9.8	10.4

Ytfuktkvoten bör högst vara 18 % vid inbyggnad av virke (Svenskt trä, 2013). Detta innebär att takstolarna i Clara 13 inte ligger i riskzonen för en för hög fuktkvot i nuläget. Inredning av vinden skulle dock i vissa fall kunna göra att fuktkvoten ökar. En tilläggsisolering kan innebära att delar av den äldre konstruktionen hamnar i ett kallare klimat, där fukt från till exempel inomhusmiljön riskerar att läcka ut och kondensera.

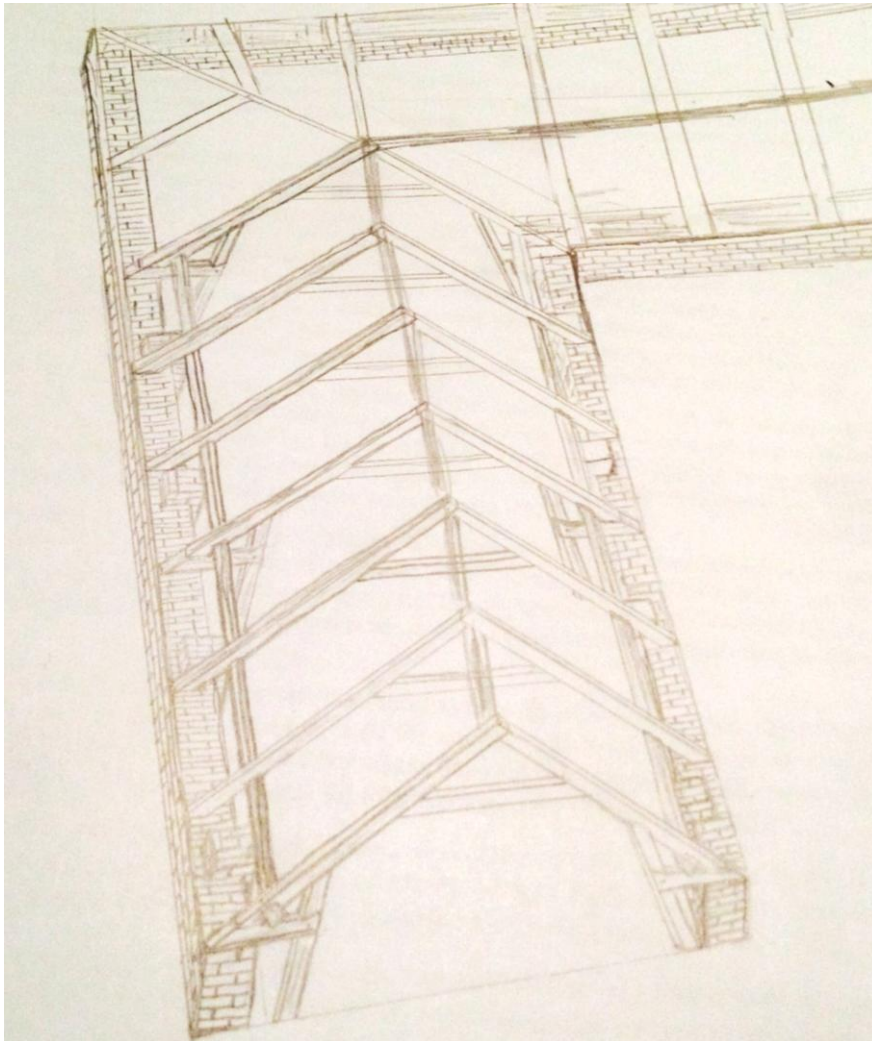
3.5 Konstruktionen i Clara 13

Stomsystemet i byggnaden utgörs av massiva tegelväggar med undantag för plan ett där den massiva hjärtväggens last tas upp av balkar som är upplagda på massiva betongpelare. Dessa leder lasten ner i källaren. Ytterväggarnas murverk varierar i tjocklek och är på källarplan cirka 400 mm och på första våningen cirka 350 mm. På resterande våningar är muren cirka

300 mm tjock. Längst upp på vindsplan har muren byggts på till en tjocklek av cirka 400 mm vid takfoten för att möta änden på takstolarna. Utbyggnaden tar inte upp någon last utan skyddar mot vind, regn och annat från att komma in på vinden.

3.5.1 Takkonstruktionen

En principskiss av takkonstruktionen visas i Figur 3-6.



Figur 3-6: Principskiss på det primära bärande systemet i taket på Clara 13.

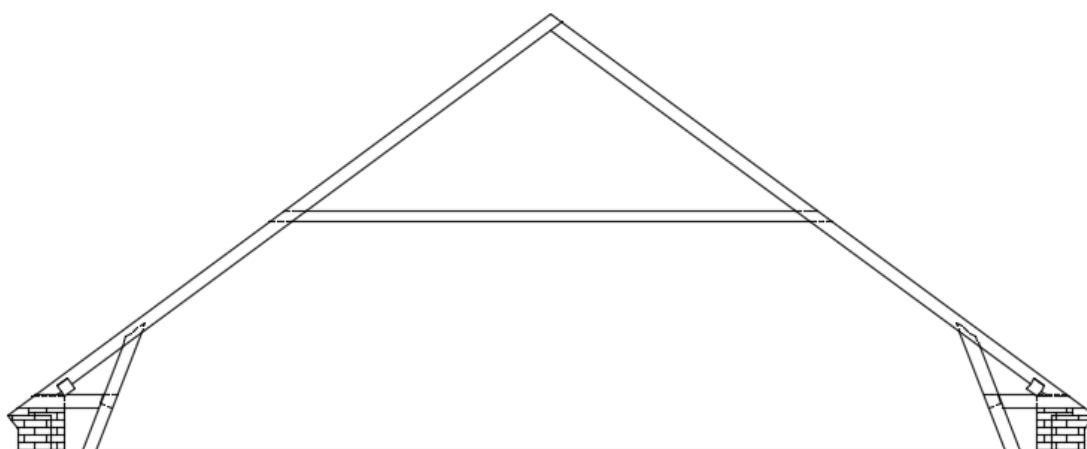
Det primära bärverket i takkonstruktionen består av svenska takstolar i hugget virke med ett c/c-avstånd som varierar mellan 1.0 och 1.25 m. Dimensionen på takstolarna varierar mellan 120×120 mm och 130×130 mm. Det sekundära bärande systemet som leder lasten från tak-täckningen till takstolarna består av ribbor med dimensionen 34×55 mm, avståndet mellan ribborna varierar mellan 100 och 300 mm. Takfoten är förhöjd på sidan ut mot gatan och murkrönet avslutas 380 mm över golvet. På andra sidan, in mot gården, är det svårt att avgöra om muren är uppbyggd. På ett ställe går det att se att muren inte är uppbyggd alls. Eftersom det är svårt att avgöra hur sidan in mot gården ser ut antas båda sidorna vara identiska. I muren finns murpelare som sitter med ett c/c-avstånd på 1.6 m, dessa går upp 500 mm över gol-

vet. Var tredje takstol har ett stödben. Stödbenen går ner i ett remstycke som ligger parallellt med långsidan. Stödbenet möter remstycket ca 50 mm under ett spontat golv.

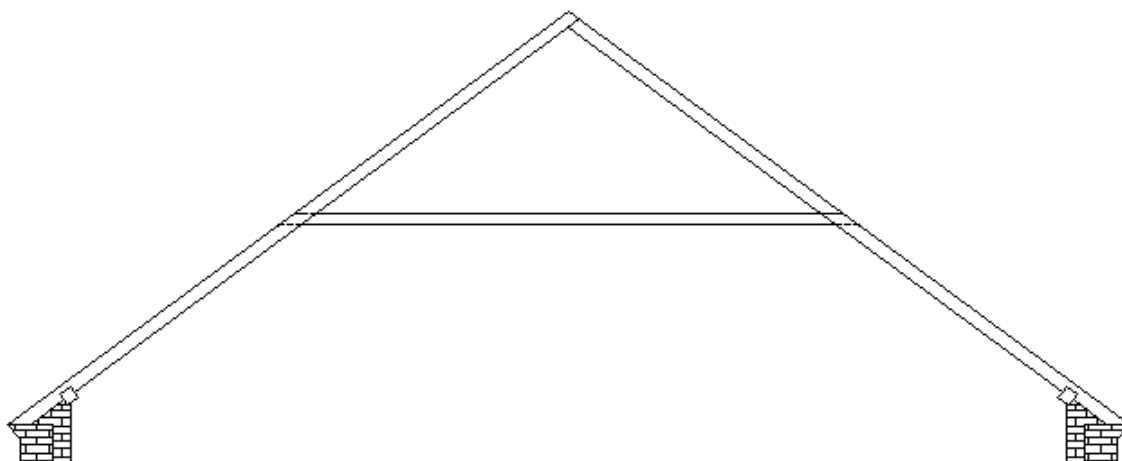
Takstolarna vid den befintliga takkupan har ett annat utseende. Hanbjälkarna är avsågade och ersatta med nya hanbjälkar som sitter på en högre höjd.

Takstolarna utan stödben förbinds med en kantbalk. Kantbalken belastas med en vertikal och en horisontell lastkomposant från takstolen. Kantbalken är upplagd på murpelarna och takstolarna med stödbenen. Kantbalken är skarvad på vartannat stödben. Den horisontella lasten från takstolarna belastar stödbenen via dragsträvorna. Den vertikala lasten tas upp av muren eller av bjälklaget.

Nedan visas skisser på de två varianter av takstol som finns på vinden i Clara 13. Skisserna är skapade av författarna.



Figur 3-7: Befintlig takstol med stödben i Clara 13.



Figur 3-8: Befintlig takstol utan stödben.

Den horisontella lastkomponenten från stödbenet belastar det längsgående remstycket vars upplag är horisontellt de tvärgående golvbjälkarna. De tvärgående golvbjälkarna utsätts för en

dragande kraft och fungerar som dragband för att ta upp de horisontella utåtriktade krafterna. De tvärgående golvbjälkarna är upplagda på en hjärtvägg i mitten samt på ytterväggarna.

Den svenska takstolen fungerar optimalt om, som tidigare beskrivet, de utåtriktade horisontella krafterna förs in via dragsträvan och stödbenen till en bindbjälke. Detta ser ut att fungera i den aktuella takstolen eftersom förbandet mellan högben och hanbjälke ser ut att vara tryckt, inte draget. Vid besiktning av förbandet mellan stödben och remstycke har det observerats att förbandet utförts som ett rakt blad. Skicket på förbandet har dock inte kunnat bestämmas. Förbandet mellan remstycket och de tvärgående bindbjälkarna har inte kunnat inspekteras.

Dragsträvan är snedsågad i änden mot takfoten och går hela vägen ut till takplåten. Högbenets ände ligger på dragsträvan och är snedsågad i vinkel för att passa in med taklutningen. Hur högbenet och dragsträvan förbinds är icke synligt. För att förbandet ska kunna föra över de dragkrafter som uppstår på grund av högbenets lutning måste detta förband antingen var utfört som ett tappförband eller tapp med förstöt. Det som konstaterats vid besiktning är att friktion mellan högben och dragsträva kan överföra en viss kraft men ingen förbindare har hittats. En bild på hur dragsträvan visar på muren och hur högbenet går ned i dragsträvan visas i Figur 3-9.



Figur 3-9: Foto av takfotsanslutning.

Förbandet mellan högben och hanbjälke är även det utfört som ett rakt blad. Hanbjälken är snedsågad i samma vinkel som taklutningen och uthuggen till halva tjockleken. Hanbjälken sitter på utsidan av högbenet som behåller sin fulla tjocklek vid förbandet. Förbandet hålls ihop med bultar där det inte går att se om de är genomgående.

Förbandet mellan dragsträvan och stödbenet är utfört som en halv laxstjärt. Dragsträvan är snedsågad i samma lutning som stödbenet och uthuggen till halva tjockleken där delarna möts. Stödbenet är uthugget på halva tjockleken i samma form som laxstjärtens hane. En bild på förbandet visas i Figur 3-10. I nocken går högbenen omlott. Det ena högbenet är alltså en bredd längre än den andra.



Figur 3-10: Foto på förband mellan stödben och dragsträva



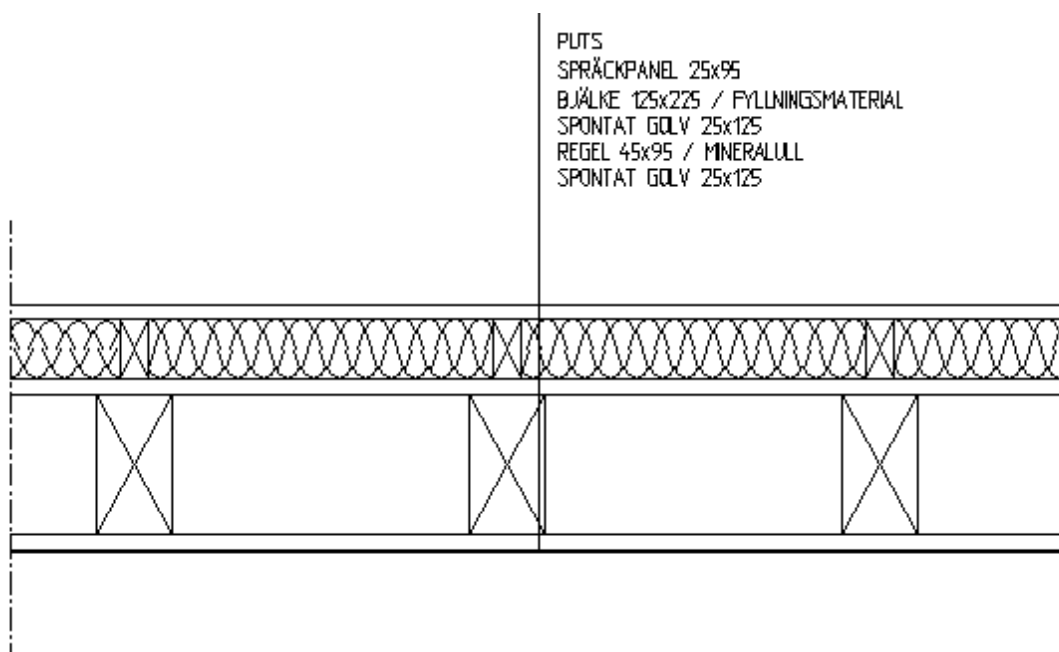
Figur 3-11: Remstycke och spåntat golv intill murupbyggnaden.

3.5.2 Bjälklag

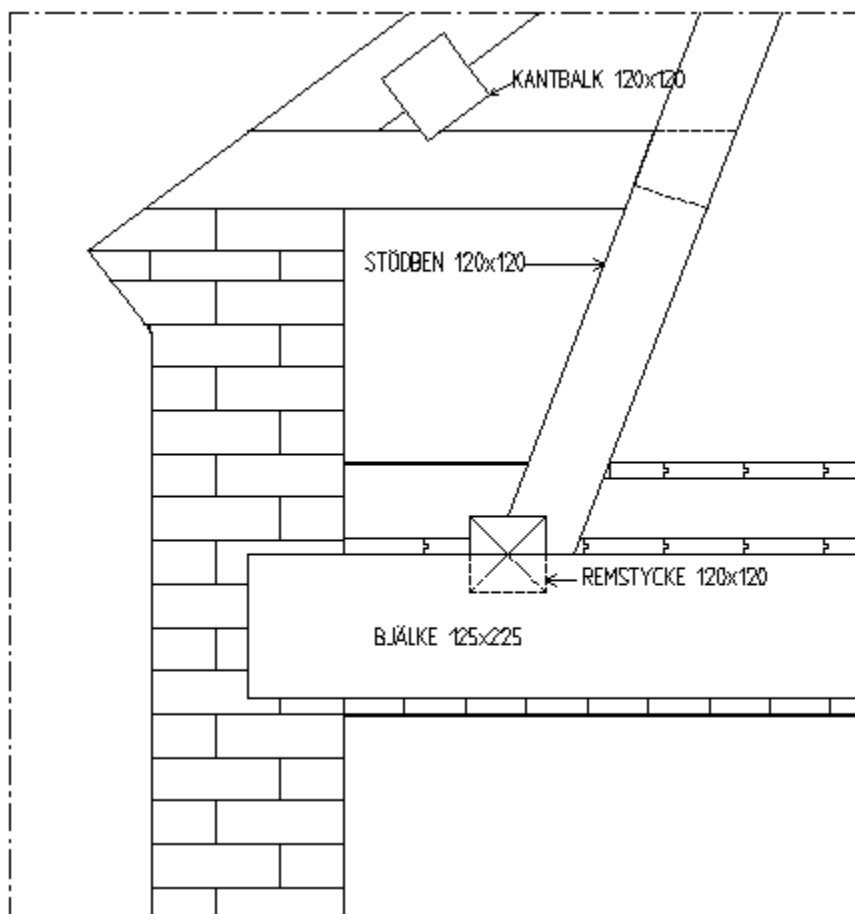
Golvet som ligger på vinden är troligen inte original då det ser betydligt nyare ut jämfört med remstycket och takstolarna. En bild på det spåntade golvet i jämförelse med remstycket visas i

En förklaring till att ett nytt golv lagts in är att en uppbyggnad av det gamla golvet gjorts för att få plats med mer isolering i vindsbjälklaget. Vid tilläggsisolering har det gamla golvet troligen inte brutits upp. Istället har ett nytt golv reglats upp med 45×95 regler och mellanliggande isolering lagts in. Eftersom det spåntade golvet ligger parallellt med långsidan bör reg-

larna ligga över bjälkarna i bjälklaget, det vill säga parallellt med gavel. Det som är känt om vindsbjälklaget är att stödbenen går ned i ett remstycke. Remstycket har inspekterats endast på ett ställe där det konstateras att det ser ut att vara i samma dimension som stödbenen det vill säga 120×120 mm. Remstycket förbinds med de tvärgående bjälkarna. Hur dessa förbinds är inte klart. Golvbjälkarna antas vara av större dimension än remstycket. Detta antagande är baserat på Bjerking's rapport om ombyggnad där det redovisas hur ett träbjälklag byggdes i Sydsverige under denna tid (Bjerking, 1974). Figur 3-12 och Figur 3-13 visar hur bjälklaget antas se ut i Clara 13.



Figur 3-12: Antaget bjälklag i Clara 13.



Figur 3-13 Antaget bjälklag och anslutande takfotskonstruktion i Clara 13.

3.5.3 Fönster

Från underhållsplanen för Clara 13 kan det utläsas att fönsterbyten är planerade år 2016 och 2026. Att tidigare fönsterbyte ägt rum finns ingen dokumentation kring. Detta borde betyda att de fönster som i dagsläget sitter i Clara 13 med stor sannolikhet är originalfönstren från 1929. Fönsterna i den tillbyggda takkupan från 1945 antas också vara original. Fönster i dessa äldre modeller kan enligt Energimyndigheten antas ha ett U -värde på cirka $3.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Energimyndigheten, 2007).

3.5.4 Gavelväggar

Gavelväggarna på vinden i Clara 13 är precis som resterande väggar i byggnaden byggda av tegel, tjockleken är dock okänd. Gavelväggarna vetter båda mot anslutande flerbostadshus, de är alltså inte en del av klimatskalet. Flerbostadshusen som ansluter till gavlarna har båda lägenheter i samma höjd som Clara 13:s vind. Detta innebär att gavlarna på vinden i Clara 13 vetter mot inomhustemperaturer.

4 Val av konstruktionslösningar

Vid inredning av gamla vindar krävs som regel en rad förändringar för att uppnå både tillräcklig hållfasthet i takkonstruktionen och de energikrav som ställs på en ombyggnad. Följande kapitel beskriver de förändringar som behöver göras i Clara 13 för att ytan ska kunna utnyttjas till bostäder som uppfyller de krav som ställs i BBR 22. Två olika konstruktionslösningar har tagits fram som förslag. Första lösningsförslaget innebär att den gamla takstolen bevaras, vilket innebär en hel del extra begränsningar. I lösningsförslag nummer två ersätts befintlig takstol av en helt ny takkonstruktion.

Den befintliga takkonstruktionen i Clara 13 har enligt fuktmätningar inga förhöjda fuktkvoter. Träkonstruktionen antas därför inte ha för höga fukthalter för att kunna byggas in. Sprickor förekommer på flera ställen i den bärande takkonstruktionen. Sprickorna antas dock inte vara av betydande storlek och därför tas ingen hänsyn till dessa vid beräkningar. När det gäller andra skador på konstruktionen antas dessa vara så små att de inte utgör något problem för varken hållfasthet eller materialegenskaper.

4.1 Detaljplan

Detaljplanen för Clara 13 begränsar till viss del de konstruktionslösningar som kan väljas. Till exempel kan den maximala byggnadshöjden på 12 m göra att takkupor blir svåra att få bygglov för. Eftersom byggnadshöjden beräknas från den sida som har mest allmän påverkan skulle takkupor dock kunna tillåtas in mot gården. För att få in dagsljus även på sidan utan takkupor kan vanliga takfönster användas.

En annan begränsning som talar för att takkupor ut mot gatan kan bli svårt att få igenom är att våningsantalet maximalt får vara tre våningar enligt detaljplanen. Installation av takkupor skulle kunna göra att byggnaden anses ha fyra våningar, vilket i sin tur skulle kunna leda till en nekad bygglovsansökan. Detta problem är i så fall något som bör diskuteras med stadsbyggnadskontoret för att se om det kan bortses från. Takfönster däremot påverkar inte byggnadshöjden.

Kulturmiljövården på Malmö museer jobbar som remissinstans för Stadsbyggnadskontoret och granskar speciellt de byggnadsantikvariska aspekterna vid bygglovsansökningar. Kulturmiljövården kan ha åsikter vid ändring av en byggnad även om den inte är märkt som ett byggnadsminne eller har någon av märkningarna Q, q eller k. Av denna anledning kan det vara viktigt att inte ändra utseendet på byggnaden alltför mycket. Till exempel bör samma takmaterial användas som finns just nu, alltså plåttak, samt takkupor utformas tidsenligt och i harmoni med byggnadens geometri.

4.2 Energitkrav

De energikrav som ställs i BBR 22 gäller även vid större ändringar av byggnader, förutsatt att detta inte påverkar byggnadens kulturvärden negativt eller skadar andra tekniska egenskaper. Eftersom vindsombyggnad får anses vara en relativt stor förändring i en byggnad bör energikravet för flerbostadshus på $75 \text{ kWh/m}^2\text{,år}$ uppfyllas om det är möjligt, se Tabell 4-1. Eftersom den ändrade delen av byggnaden i Clara 13 kommer att innehålla lägenheter med en boarea som är mindre än 35 m^2 blir kravet på specifik energianvändning något högre ($80 \text{ kWh/m}^2\text{,år}$). Detta beror på att BBR tar hänsyn till att små lägenheter får högre ventilationsflöde per kvadratmeter eftersom kök och badrum kräver höga flöden. Vid eventuella svårigheter att uppfylla kraven på specifik energianvändning bör de krav på U -värden som finns an-

givna i BBR istället eftersträvas, se Tabell 4-1. Kraven gäller den ändrade byggnadsdelen och inte hela byggnaden.

Tabell 4-1: Krav som ställs i BBR för en byggnad som Clara 13.

	Specifik energianvändning [kWh/m ²]	U-värde tak [W/m ² K]	U-värde vägg [W/m ² K]	U-värde fönster [W/m ² K]
Flerbostadshus	75	0.13	0.18	1.2
Flerbostadshus där Atemp > 50 m ² och som till största delen innehåller lägenheter med en boarea om högst 35 m ² vardera (Clara 13)	80	0.13	0.18	1.2

För att uppfylla energikraven och den termiska komforten krävs att vindsutrymmet isoleras och tätas ordentligt. Detta kan dock vara svårt att göra med begränsningarna en gammal konstruktion för med sig. Förutom att en befintlig byggnad begränsar tjockleken på isoleringen genom att dimensionen på byggdelarna redan är valda finns det flera andra aspekter att ta hänsyn till vid ombyggnad. Några av dessa aspekter och hur de påverkade valet av lösningsförslag beskrivs nedan.

4.2.1 Framtida energikrav

Nybyggnader kommer troligtvis att behöva uppfylla energikravet 55 kWh/m²,år efter år 2021. Hur detta påverkar byggnader som Clara 13 är ännu inte känt. Med allra största sannolikhet kommer det dock även att ställas högre krav vid ombyggnader vilket gör att energieffektiviseringen blir en ännu viktigare fråga.

4.3 Lösningsförslag

Nedan presenteras två konstruktionslösningar för vindslägenheter i Clara 13. De båda lösningsförslagen kommer att ha samma planlösning när det gäller lägenhetsindelning. Bostadsytan varierar dock något i lägenheterna eftersom ytterväggarna sitter olika långt in i de två lösningsförslagen.

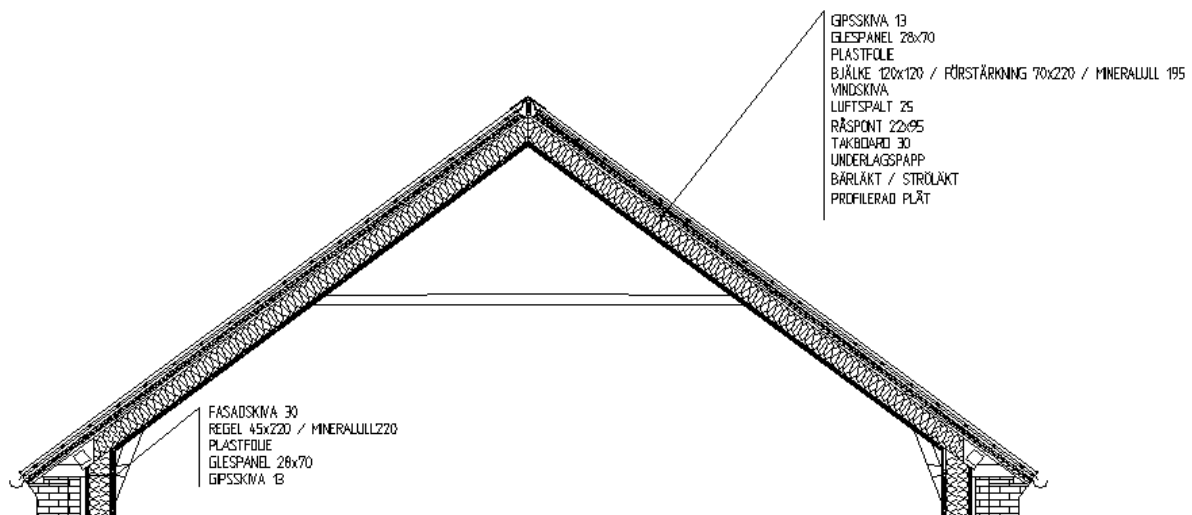
4.3.1 Lösningsförslag 1: Förstärkning av befintlig takstol

I det första lösningsförslaget behålls den befintliga takstolen. Den permanenta lasten ökar då med cirka 160 % på grund av isolering av taket. Eftersom takstolarna i dagsläget klarar de laster som de utsätts för förutsätts att de kommer att klara denna belastning även framöver. Takstolen bör dock förstärkas för att klara den tillkomna belastningen. De mest utsatta delarna, i detta fall högbenen, förstärks. Förstärkningen består av regler av konstruktionsvirke i klass C24 med dimension 70×220. Reglarna ska samverka med de befintliga takstolarna och fästs med genomgående bultar. Ett nytt tröghetsmoment beräknas för det nya tvärsnittet och används för modellering i Ramanalys. Beräkning av tröghetsmoment för samverkanstvårsnitt visas i kapitel 5.

En förstärkning av de befintliga högbenen möjliggör även tjockare isolering eftersom det nya tvärsnittet är högre än befintligt högben. För att få en mer estetiskt tilltalande lösning, samt ta tillvara den gamla takstolen, görs både stödbenet och hanbjälken synliga. Detta innebär att isoleringen går från nocken ner till stödbenet där det bildas en vertikal vägg som skiljs från

tegelmuren med en luftspalt. Luftspaltens tjocklek varierar mellan 50 och 180 mm på grund av de utstickande murpelarna med c/c-avstånd 1.6 m. I det yttersta skiktet av väggen sätts en fasadskiva för att minska risken för höga relativa fuktigheter på träreglarna. Denna fasadskiva kan bli svår att fästa på baksidan av väggen med traditionell teknik. Att limma på skivan på baksidan av reglarna innan isolering mellan reglarna sker skulle kunna underlätta monteringen. På insidan av väggen, bakom glespanelen, sätts en plastfolie för att säkerställa en lufttät konstruktion och minska risken för kondens inne i väggen. Den täta plastfolien har valts eftersom ventilationen i det kalla bakomliggande utrymmet kan bli svår att säkerställa, en mer diffusionsöppen väggkonstruktion skulle därför kunna skapa fuktproblem.

Taket ventileras med en luftspalt på 25 mm. Luftspalten består av en ett vindskydd i wellpapp med distanser som bildar en luftspalt på 25 mm. Råsponten ovanför luftspalten isoleras med en takboard på 30 mm för att höja temperaturen och minska risken för kondens på råsponten. Takboarden fästs med hjälp av teleskopshylsor. Beroende på val av plåt kan bär- och ströläkt uteslutas, istället kan plåten fästas genom takboarden med skruvar med infästningsskenor. Lösningförslag 1 visas i Figur 4-1.



Figur 4-1: Lösningförslag 1.

Tabell 4-2 redovisar de material och dimensioner som ingår i parallelltaket och ytterväggen för lösningförslag 1.

Tabell 4-2: Konstruktionsmaterial i lösningsförslag 1.

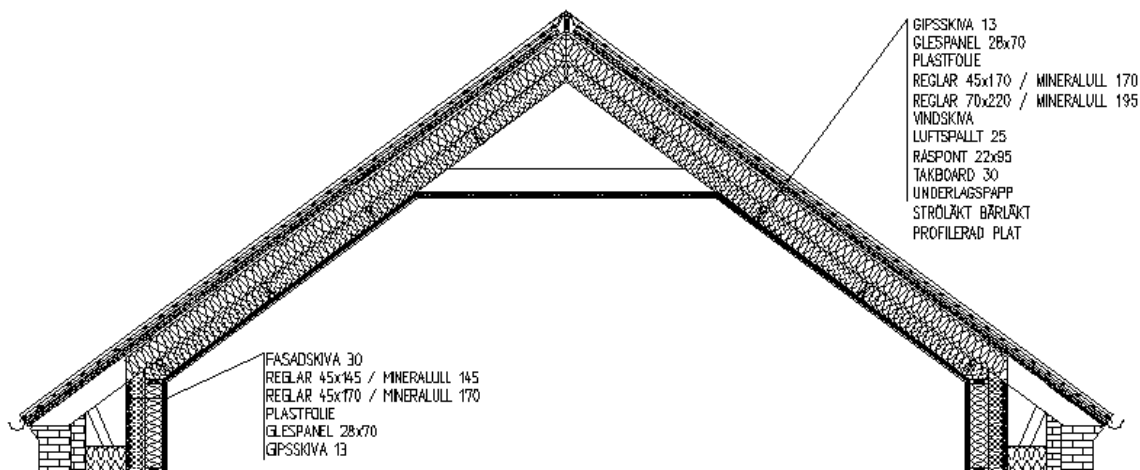
Parallelltak	Dimension [mm]	Vägg mot takfot	Dimension [mm]
Gipsskiva	13	Gipsskiva	13
Glespanel	28×70	Glespanel	28×70
Plastfolie	-	Plastfolie	-
Mineralull	195	Mineralull	220
Takbalk c/c 1100	45×220	Regel c/c 600	45×220
Luftspalt med vindskydd	25	Fasadboard	30
Råspont	20×95	Luftspalt	50-180
Takboard	30	Tegelmur	300-430
Underlagspapp	-		
Ströläkt, bärläkt	25×36		
Profilerad plåt			

4.3.2 Lösningsförslag 2: Ny takstolskonstruktion

Lösningsförslag 2 består av en helt ny takkonstruktion. En ny takstol gör det möjligt att öka isoleringstjockleken ytterligare vilket gör att konstruktionen får bättre energiprestanda. För att slippa använda limträbalkar till takstolarna, men fortfarande kunna isolera mer än 220 mm, som är det bredaste konstruktionsvirket, väljs en lösning enligt Figur 4-2. Lösningsförslaget innebär att högbenen byggs med regler i dimensionen 70×220 mm. För att få plats med isolering men ändå utnyttja takstolen optimalt sätts korsande regler av dimensionen 45×170 mm på undersidan av högbenen. Denna lösning minskar även köldbryggorna, eftersom skikten korsar varandra. Dessa regler ger även stöttnings mot vippning i högbenen när stora lyftkrafter uppstår på grund av vindbelastning. Taket ventileras även i denna konstruktion med en luftspalt på 25 mm genom en vindavledare i wellpapp, följt av råspont med takboard. Takboarden fästs på samma sätt som i lösningsförslag 1. Hanbjälken sätts på en höjd av 2.4 meter på grund av det rumshöjdskrav som finns i BBR 22.

Lösningsförslag 2 har vertikala stödben med en diagonal dragsträva som för in de horisontella lasterna från takfoten. De vertikala stödbenen placeras relativt långt in för att minska böjmomenten i högbenen, men för att inte minska för mycket på boendeytan måste en kompromiss göras. Eftersom de vertikala stödbenen kan placeras mer fritt blir luftspalten bakom väggen i detta lösningsförslag betydligt större, tjockleken varierar mellan 370 och 500 mm. Att stödbenen i lösningsförslag 2 är vertikala underlättar även uppbyggnaden av väggen eftersom genomföring av de sneda stödbenen undviks.

Väggen utformas precis som parallelltaket i två skikt; stödbenet med dimension 45×145 samt liggande regler i dimension 45×170. Precis som i lösningsförslag 1 sätts en fasadboard på utsidan av regelväggen för att minska risken för höga relativa fuktigheter på träreglarna. På insidan av väggen, bakom glespanelen, används precis som i lösningsförslag 1 en plastfolie för att undvika fuktproblem i väggen och vindsutrymmet bakom.



Figur 4-2: Lösningförslag 2.

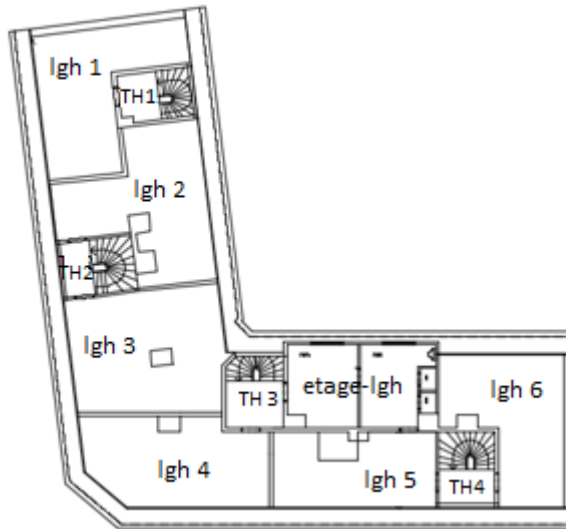
Tabell 4-3 redovisar de material och dimensioner som ingår i lösningförslag 2.

Tabell 4-3: Konstruktionsmaterial i lösningförslag 2.

Parallelltak	Dimension [mm]	Vägg mot takfot	Dimension [mm]
Gipsskiva	13	Gips	13
Glespanel	28×70	Glespanel	28×70
Plastfolie	-	Plastfolie	-
Mineralull + reglar c/c 1200	45×170	Mineralull + regel c/c 600	170
Mineralull	45×195	Mineralull + regel c/c 600	145
Takbalk c/c 1200	70×220	Fasadboard	30
Luftspalt med vindskydd	25	Luftspalt	370-500
Råspont	20×95	Tegelmur	300-430
Takboard	30		
Underlagspapp	-		
Ströläkt, bärläkt	25×36		
Profilerad plåt			

4.3.3 Planlösning

Figur 4-3 visar planlösningen för de båda lösningförslagen. Den totala boendearan skiljer sig dock åt från de två lösningförslagen eftersom ytterväggarna på den nya takstolen hamnar längre in. Vindsutrymmets golvarea blir i lösningförslag ett 324 m² och i lösningförslag två 268 m², det skiljer alltså i princip en lägenhets area mellan de två förslagen. Sex lägenheter har dock modellerats i båda lösningförslagen, lägenheterna är alltså mindre i lösningförslag 2.



Figur 4-3: Planlösning för lösningsförslag 1 och 2.

4.3.4 Risker och beräkningar för valda lösningsförslag

För båda lösningsförslagen beräknas karakteristiska laster för egentyngd, vindlast och snölast. Antalet möjliga lastfall uppskattas och kritiska lastfall väljs ut. Lasterna dimensioneras för brottgränstillstånd. I bilaga C beräknas de karakteristiska lasterna, i bilaga D tas de kritiska lastfallen fram och i bilaga E visas den lastkombination som används för beräkning i brottgränstillstånd.

Beräkningar lösningsförslag 1

Då takstolarna utan stödben belastar en kantbalk som är upplagd på takstolarna med stödben görs en beräkning på reaktionskraften som uppstår. Detta för att kunna beräkna den horisontella punktlasten som verkar på dragsträvan i takstolen med stödben. Beräkningar och antaganden om hur takstolarna för över last till bygganden utförs. Anslutningen mellan tegelmur och takstol studeras lite närmare för att få en uppfattning om hur mycket horisontell last som muren kan ta upp. En beräkning på den befintliga dragkapaciteten i bjälkarna i bjälklaget utförs. För att kunna modellera de befintliga takstolarna tillsammans med förstärkningen beräknas ett tvärsnitt som ska motsvara egenskaperna hos det sammansatta tvärsnittet. Hur styv kantbalken är vertikalt påverkar momentfördelningen i högbenen på takstolen utan stödben. För att kunna modellera detta bestäms en styvhet på denna för det lastfall som ger minst tänkbar styvhet.

Beräkningar lösningsförslag 2

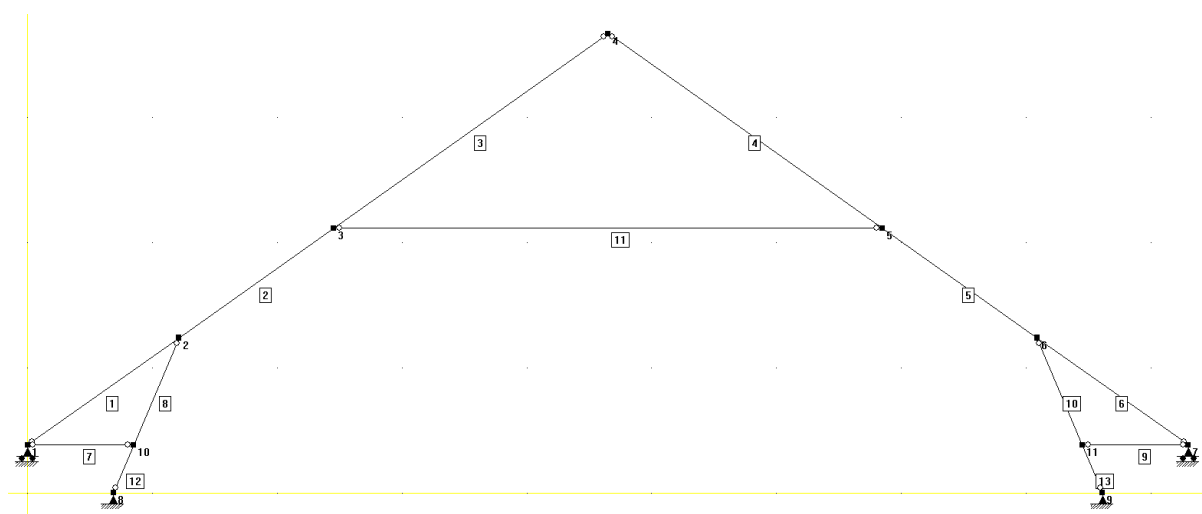
Takstolarna i en helt ny konstruktion ska föra över horisontell last endast till bjälklaget. Detta innebär att tegelmuren inte ska bli utsatt för någon horisontell last och att inga beräkningar behövs för att uppskatta hur mycket av den horisontella lasten som går till tegelmuren. Takstolarna i den nya konstruktionen är inte heller sammankopplade med en kantbalk vilket betyder att alla ska fungera på samma sätt. Ingen beräkning av tröghetsmoment eller böjmoment behövs då detta görs automatiskt i Ramanalys då ett rektangulärt tvärsnitt används. För den nya takstolen modelleras takstolen med både leder och rotationsstyva förband för att kunna jämföras.

5 Analys av bärförmåga hos takstolar

För att kunna dra någon slutsats om de presenterade lösningsförslagets bärlighet modelleras takstolarna i Ramanalys (Strusoft, 2016). Modellerna speglar en förenklad bild av verkligheten och är anpassad till de problem som ska behandlas. För att kunna skapa realistiska modeller som speglar verkligheten har besiktningar gjorts och olika typer av information insamlats. För att kunna upprätta en geometriskt korrekt modell har mätningar på takstolarna utförts.

I Ramanalys kan konstruktionen analyseras i 2D. Analys av första och andra ordningens teori kan genomföras (Strusoft, 2016). I Ramanalys kan kontroll mot den aktuella normen göras. I detta fall används SS-EN 1995-1-1 som är den Eurokod som används i Sverige för träkonstruktioner (Swedish Standards Institute, 2009).

Fem takstolar modelleras i Ramanalys. Det upprättas två modeller av de befintliga takstolarna där en har stödben och den andra inte. De befintliga takstolarna modelleras för att ha något att utgå från när de förstärkta och nya takstolarna modelleras. De förstärkta takstolarna modelleras också med och utan stödben då dessa bygger på de befintliga. Den nya takstolen modelleras med leder och med momentstyva förband. Den nya konstruktionen är relativt lik den befintliga förutom att stödbenen är helt vertikala och dragsträvan går mellan takfot och golv. Nedan beskrivs hur den befintliga takstolen modelleras. I Ramanalys visas geometrin på den befintliga takstolen med stödben. All indata till geometrin visas i Bilaga F för samtliga takstolar.



5-1: Geometri befintlig takstol med stödben.

Det första steget i modelleringen är att rita in takstolens geometri. Geometrin ritas upp genom att föra in koordinater på alla noder. Noder placeras ut på alla ställen där två element möter varandra. När alla noder är ansatta anges vilka element som ska sitta mellan vilka noder. I detta fall är högbenen uppdelade i tre element, dragsträvorna, hanbjälken är ett element för sig och stödbenen är uppdelade i två element.

När takstolens geometri är klar sätts leder ut där förbanden inte ska vara momentstyva. I detta fall ses högbenen och stödbenen som kontinuerliga men leder införs mellan hanbjälke och högben, stödben och högben och dragsträva och stödben. Högbenen ansätts som kontinuerliga

då det vid besiktning konstaterades att de inte var skarvade. Även i nocken och vid alla upplag införs leder.

Upplagen som ansätts i modellen ska stämma överens med hur randvillkoren ser ut. De yttre upplagen representerar tegelmuren och de inre remstycket i bjälklaget. De upplag som finns att välja mellan i ramanalys är fast inspänning, ledat stöd, momentstyvt rullager och ledat rullager. Ledat rullager modelleras där högben möter tegelmur och ledat stöd där stödben möter remstycke. Att rullager ansätts som upplag betyder att tegelmuren endast tar upp vertikal last, det vill säga att tegelmurens kapacitet att ta upp horisontell last är noll. Detta leder till att all horisontell last tas upp i bjälklaget. Detta stämmer inte helt med hur konstruktionen ser ut idag då en viss horisontell last kan föras över på tegelmuren. Detta kommer att studeras närmare i avsnitt 5.1.

Då takstolen består av trä appliceras initialkrokighet på samtliga element. Initialkrokigheten tar hänsyn till att träbalkarna inte är perfekta. Nästa steg i modelleringen är att ange tvärsnittsdata till alla ingående element. När tvärsnitt är bestämt kan material läggas till. För den befintliga takstolen ansätts materialkvaliteten C18.

Takstolen belastas med egentyngd, snö- och vindlast. Alla baslastfall som i detta fall är 20 stycken läggs in i under fliken ”baslastfall”. När baslastfallen läggs in bestäms även lastvaraktigheten. För träkonstruktioner sätts lastvaraktigheten på vind till kortvarig, för snö till medel och egentyngd till permanent, detta enligt SS-EN 1995-1-1 tabell 2.2 (Swedish Standard Institute, 2009). I nästa steg av modelleringen ansätts hur lasterna ska verka och på vilka element. För den befintliga takstolen belastas högbenen av vind- och snölast. Vindlasten belastar takstolen med jämnt utbredd last vinkelrätt mot högbenen. Snölasten belastar takstolen med jämnt utbredd last som verkar vertikalt på den horisontella längden av högbenen. Egentyngden belastar takstolen med jämnt utbredd vertikal last längs med högbenen. Lasterna kombineras sedan i lastkombinationer. Vilken lastkombination som används visas i Bilaga E.

När geometri och laster är infört i programmet kan Ramanalys beräkna moment, normalkraft, tvärkraft, spänning, deformation och stödreaktioner för första och andra ordningen. Alla lastfall körs igenom och det som ger störst respektive snittkraft visas som dimensionerande.

Programmet kan även kontrollera att konstruktionen uppfyller normkraven. Detta görs när design-fliken valts. Den aktuella eurokoden som används i detta fall är SS-EN 1995 för träkonstruktioner. Nedan visas de kontroller som ramanalys utför på de takstolar som modelleras. Alla kontroller utförs för andra ordningens teori.

Skjuvspänning kontrolleras enligt

$$\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,z,d}} < 1.0$$

där $\tau_{z,d}$ är dimensionerande skjuvspänning

$f_{v,z,d}$ är dimensionerande skjuvhållfasthet

Maximal spänning kontrolleras med ekvation enligt

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} < 1.0$$

där $\sigma_{c,0,d}$ är dimensionerande dragspänning längs fiberriktning

$f_{t,0,d}$ är dimensionerande draghållfasthet längs fiberriktningen

$\sigma_{m,y,d}$ är dimensionerande böjspänning kring y-axeln

$f_{m,y,d}$ är dimensionerande böjhållfasthet kring y-axeln.

För böjknäckning utförs kontroll enligt

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{k_m \cdot \sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} < 1.0$$

där $\sigma_{c,0,d}$ är dimensionerande tryckspänning längs fiberriktningen

$f_{c,0,d}$ dimensionerande tryckhållfasthet längs fiberriktningen

$k_{c,z}$ instabilitetsfaktor

k_m faktor som tar hänsyn till omfördelning av böjspänningar i ett tvärsnitt.

Böjspänning med hänsyn till vippning kontrolleras enligt:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} < 1.0$$

där k_{crit} är den faktor som beaktar vippning.

Kontroll för böjknäckning och vippning beräknas enligt:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{(k_{crit} \cdot f_{m,y,d})^2} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} < 1.0$$

där alla ingående parametrar beskrivits ovan.

All indata till geometrin för alla fem takstolarna finns i bilaga F.

5.1 Randvillkor till beräkningsmodell i Ramanalys

Vid modellering av takstolarna behövs randvillkor som motsvarar byggnaders förutsättningar. Takstolarna vilar på ytterväggarna som består av murat tegel och bjälklaget som består av tvärgående träbjälkar och remstycke. Dessa utgör randvillkor för hur takkonstruktionen kan utformas. Den vertikala och horisontella kapaciteten utvärderas nedan.

5.1.1 Vertikal kapacitet

Den ökande vertikala belastningen som tillkommer vid ombyggnad av vind anses inte leda till några större problem för väggarna i den befintliga byggnaden. Den vertikala belastningen ger ökade tryckspänningar i ytterväggar, hjärtvägg och tvärgående bärande väggar. Tryckhållfastheten för tegel är relativt stor och den ökande belastningen är relativt liten i förhållande till hela byggnadens egentyngd. Därför antas de befintliga väggarna ha tillräcklig vertikal kapacitet.

Bjälklagets utformning är okänd. Antaganden om hur bjälklaget ser ut har gjorts baserat på litteratur om hur bjälklag byggdes vid denna tid. Om c/c-avståndet mellan tvärbalkarna är 600,

de får stöd av en hjärtvägg i mitten och de har en dimension av 120×225 mm så antas dessa vara icke eftergivliga.

Vid modellering modelleras både ytterväggar och bjälklag att med fullständigt stöd vertikalt.

5.1.2 Horisontell kapacitet

På grund av att takstolen har en lutning kommer horisontella utåtriktade krafter att uppstå. Vid ombyggnad av takkonstruktionen ökar den permanenta lasten vilket leder till att de horisontella lasterna blir större än tidigare. Dessa horisontella laster kommer att påverka bjälklag, bärande innerväggar och ytterväggar. Hur de horisontella lasterna tas upp av byggnaden är svårt att avgöra. För att kunna göra en modell som ska spegla verkligheten behövs kunskap om hur lasten kan överföras till de olika delarna i byggnaden. Nedan undersöks hur mycket horisontell last tegelmuren kan ta upp och hur stor horisontell last som kommer att gå ned i bindbjälkarna och vidare via skivverkan till innerväggarna.

Tegelmurens kapacitet

För att kunna göra antaganden om hur det horisontella upplaget vid takfoten ska se ut för den befintliga takstolen och den förstärkta takstolen undersöks tegelmurens kapacitet. För att ta reda på hur horisontell last förs över till tegelmuren har en besiktning utförts för att se hur denna anslutning ser ut. Vid besiktning kan konstateras att för takstolen med stödben vilar dragsträvan på en del av den uppbyggda tegelmuren. Dragsträvan förbinds med högbenet som belastar den med en sned last som kan delas upp i en horisontell och en vertikal last. Det finns ett mellanrum mellan dragsträvan och muren under takfoten vilket betyder att ingen last kan överföras där. Mellanrummet visas i Figur 5-2 där en hand kan stickas in mellan dragsträvan och tegelmuren. För takstolen utan stödben går högbenen ända ned till murupbyggnaden. För denna takstol görs ett antagande om att all horisontell last går ned i kantbalken.



Figur 5-2: Dragsträva på murupbyggnad.

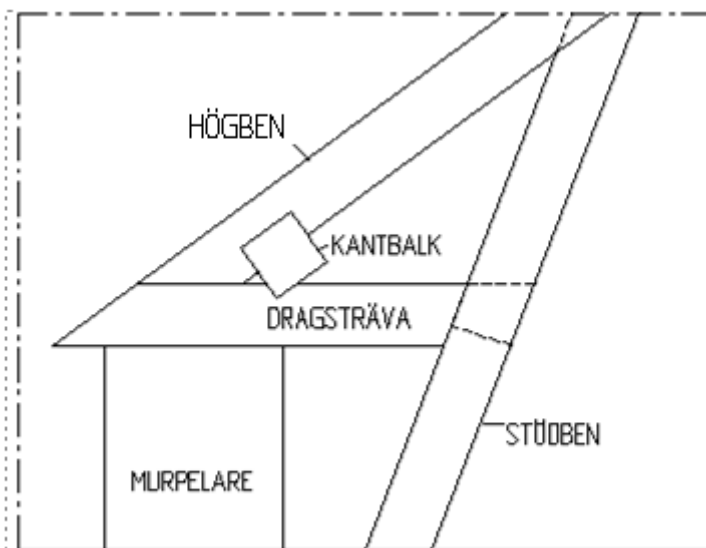
Längre in i muren minskar mellanrummet och där delarna möts kan last överföras. Den horisontella lasten kan föras över till muren genom friktion då delarna möts. Ju större den vertikala lasten är ju mer friktion blir det mellan tegelmuren och dragsträvan och ju mer horisontell last kan överföras.

Den horisontella styvheten från tegelmuren beror på dess kapacitet. Tegelmurens kapacitet är svår att avgöra då den är murad år 1929. Troligen är det bruket som kommer spricka då muren utsätts för drag. Ett antagande på säkra sidan görs att den inte kan ta någon dragspänning. För att kontrollera hur mycket horisontell last tegelmuren kan belastas med innan dragspänning

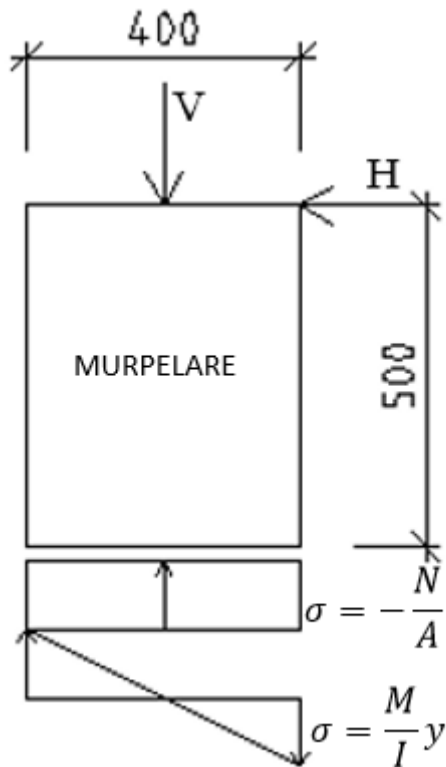
uppstår sätts den vertikala lasten från högbenen till konstant, egentygden av muren försummas då detta bidrag anses litet i förhållande till den vertikala lasten från takkonstruktionen. Den vertikala lasten antas belasta muren centriskt. Antagandet om centrisk belastning är på säkra sidan då det har konstaterats att det finns ett mellanrum mellan dragsträva och tegelmur som stäcker sig till minst halva murtjockleken. Om ett antagande om excentrisk belastning närmare insidan hade gjorts hade ett excentricitetsmoment lagts till vilket hade bidragit med extra tryckspänning på insidan av tegelmuren. Den horisontella lasten kommer att bidra till ett moment i tegelmuren och bidrar till att dragspänning uppstår på insidan och tryckspänning uppstår på utsidan. Hävarmen mellan den horisontella lasten och reaktionskraften från tegelmuren sätts till 0.5 m då detta är höjden på murpelaren. En bild på murpelaren visas Figur 5-3 och en principskiss på upplaget visas i Figur 5-4.



Figur 5-3: Befintlig murpelare.



Figur 5-4: Principskiss på murpelare.



Figur 5-5: Belastning på murpelare.

Normalspänningen beräknas med Naviers formel

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_z y}{I_z}$$

där A är tvärsnittsarean

N är normalkraften

M_z är moment kring z -axeln

y är avståndet mellan tvärsnittets tyngdpunkt och det läge där spänningen ska beräknas

I_z är tröghetsmoment med avseende på z -axeln.

Beräkningen görs på en murpelare. Då denna murpelare är en del av hela muren så kommer det i verkligheten att finnas ett styvhetsbidrag från den övriga tegelmuren. Då murpelaren belastas med horisontell last kommer skjuvning att uppstå mellan murpelare och muren. Den skjuvkraft som kan tas upp av muren bidrar till ökad kapacitet. Denna kapacitet bortses det från vid denna beräkning.

Då den vertikala lasten hålls konstant kan den horisontella lasten som ger dragspänning beräknas. Den vertikala lasten sätts till en variabel för att beräkna den horisontella lasten som en procentsats av den vertikala lasten. Spänningen sätts till $\sigma = 0$ då det antas att muren inte kan ta någon dragspänning. Tvärsnittet på murpelaren är $A = 0.4 \times 0.4$ m och tröghetsmomentet beräknas för rektangulärt tvärsnitt enligt

$$I_y = \frac{bh^3}{12}$$

där b är bredden och h är höjden på tvärsnittet. Normalspänningen i murpelaren beräknas enligt Naviers ekvation. Insättning av aktuella värden ger

$$0 = -\frac{V}{0.4 \cdot 0.4} + \frac{0.5 \cdot H \cdot 0.2}{\frac{0.4 \cdot 0.4^3}{12}}$$

där resultatet vid utlösning av den horisontella lasten blir $H = 0.13 \cdot V$

Den horisontella lasten blir alltså 13 % av den vertikala lasten.

När tegelmuren utsatts för mer än 13 % av den vertikala lasten så kommer den att ge efter vilket innebär att lasten kommer att gå via dragsträvan till stödbenen. Lasten går alltid den styvaste vägen vilket innebär att bjälkarna och förbanden i bjälklaget, stödbenet och dragsträvan måste klara av resterande horisontell last som inte tegelmuren kan ta upp.

Att tegelmuren kan belastas med 13 % av den vertikala lasten kan undersökas genom att kontrollera friktionskoefficienten mellan trä och tegel. Om denna överstiger 13 % kommer lasten att kunna föras över till tegelmuren vilket innebär att denna kapacitet kan tillgodoräknas. Friktionskoefficienten för trä mot tegel har inte kunnat hittas, men friktionskoefficienten för torrt trä mot trä varierar mellan 0.3 och 0.6 (Bygghälsöversynsgruppen, 1990).

Då den horisontella lasten är framtagen som en procentsats av den vertikala finns ingen egentlig begränsning för hur stor denna kan bli. För att kunna sätta ett värde på den horisontella lasten undersöks hur stor tryckspänningen i muren kan bli innan brott sker. Då det är osäkert hur stor tryckbelastning murpelarna kan utsättas för kommer värdet på den horisontella lasten endast att ge en fingervisning. Ett värde på maximal tryckspänning i murpelaren har antagits till:

$$\sigma = 0.7 \text{ MPa}$$

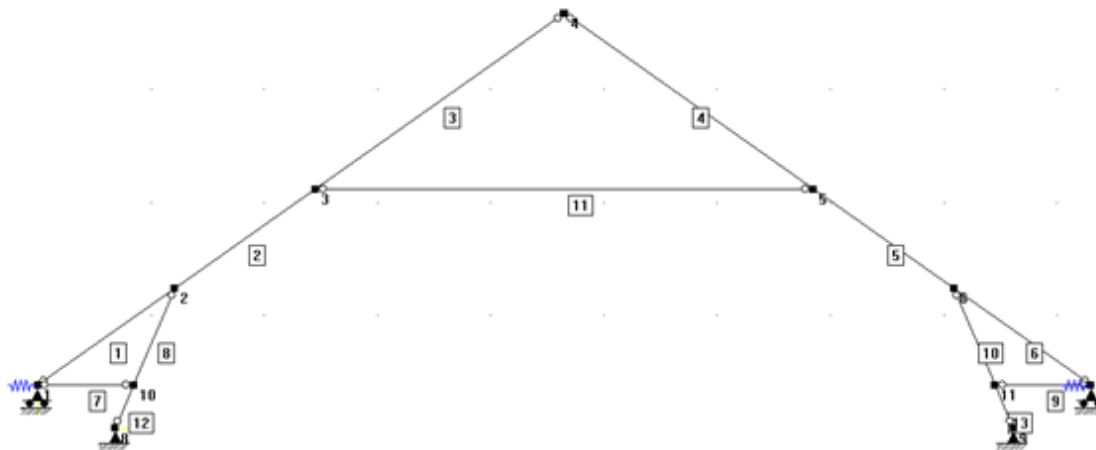
Den största tryckspänningen kommer att uppstå på utsidan av tegelmuren då böjspänningen från den horisontella lasten ger tryck på utsidan av muren som då samverkar med tryckspänningen från den vertikala belastningen. denna beräknas med Naviers formel. Insättning av aktuella värden ger

$$700 = \frac{V}{0.4 \cdot 0.4} + \frac{0.13 \cdot V \cdot 0.5 \cdot 0.2}{\frac{0.4^4}{12}}$$

Om vertikal belastning löses ut ur ekvationen fås ett värde på $V = 34 \text{ kN}$. Detta är då ett värde på den maximala vertikala belastningen som muren tål innan den går till brott på grund av tryck. Då den horisontella lasten som kan tas upp av muren är 0.13 % av den vertikala lasten blir den maximala horisontella belastningen

$$H = 0.13 \cdot 34 = 4.4 \text{ kN}$$

I modellen av den förstärka takstolen med stödben representeras denna kapacitet av ett fjäderupplag i horisontell riktning där muren möter dragsträvan och högbenet. I Figur 5-6 visas hur dessa upplag ser ut.



Figur 5-6: Geometrin och upplagen för lösningsförslag 1. Fjäderupplag är placerade vid nod 1 och 7.

Då fjäderupplag läggs till ansätts en styvhet på fjädern. Styvheten är ett värde på belastning/deformation och skrivs in i kN/m. Ju högre värdet är ju styvare är fjädern och ju mer belastning behövs för att den ska ge efter. Lasten tar alltid den styvaste vägen vilket betyder att när lastvägen via dragsträvan till stödbenet är styvare kommer lasten gå den vägen. För att styvheten på fjäderupplagen ska motsvara tegelmurens kapacitet itereras dess styvhet fram. Detta görs genom att en styvhet ansätts, modellens alla lastfall körs igenom och den vertikala upplagskraften för nod 1 och 7 jämförs med fjäderkrafterna på respektive sida. Då den vertikala upplagskraften jämförs med den horisontella fjäderkraften beräknas hur stor den horisontella lasten är i jämförelse med den vertikala och en procentsats beräknas. När den horisontella lasten är 13 % av den vertikala lasten är styvheten på fjäderupplagen bestämd.

För den nya takstolen antas att ingen horisontell last förs över till tegelmuren vilket innebär att inga fjäderupplag modelleras på den takstolen.

Bjälklagets kapacitet

Vid symmetrisk belastning utsätts bindbjälken i vindsbjälklaget för dragkrafter från de horisontella lasterna. Bindbjälkens dragkapacitet kontrolleras men inte anslutning mellan stödben och remstycke och mellan remstycke och bindbjälke då information om hur dessa förband ser ut inte finns. Antagandet om bindbjälkens storlek är baserat på en rapport om hur bostadshusen byggdes 1880-1940 (Bjerking, 1974).

Den maximala belastning som bjälklaget kan utsättas för tas fram i Ramanalys för den förstärkta konstruktionen och den helt nya konstruktionen. Vid framtagning av dessa sätts rullager som upplag vid muren och ledade stöd som upplag vid stödben. Den största horisontella upplagsreaktion som uppstår används vid kontroll av bindbjälkarna. Bjälkarna i bjälklaget antas ha en storlek på 120×220 mm. Då den belastas i drag är det i detta fall dragkapaciteten längs fiberriktningen som kontrolleras. Bjälklaget utsätts för jämnt utbredd last från nyttig last och egentygnd som bidrar till böjmoment i balken. Böjmomentet leder till en ökad dragspänning i underkant av balken. Detta tillägg tas ingen hänsyn till vid denna beräkning då bjälklagets utformning inte är känd. Beräkningen görs mest för att få en uppfattning om hur utsatta dessa bjälkar blir vid den antagna storleken.

För att kontrollera drag parallellt fibrerna ska den dimensionerande draghållfastheten parallellt fibrerna inte överskridas enligt (ekv. 6.2) i SS-EN 1995-1-1 (Swedish Standards Institute, 2009)

$$\sigma_{t,0,d} < f_{t,0,d}$$

där $\sigma_{t,0,d}$ är den dimensionerande dragspänning längs fiberriktningen. Den beräknas genom att dela den största horisontella lasten som uppstår vid horisontellt upplag med tvärsnittsarean på bindbjälken i bjälklaget som i detta fall är antaget till 120×220. Den största horisontella upplagskraften som uppstår vid stödbenen tas fram och redovisas. Den dimensionerande dragspänningen som uppstår i bjälkarna beräknas för samtliga takstolar med stödben.

$f_{t,0,d}$ är dimensionerande draghållfasthet parallellt fiberriktningen och beräknas enligt (ekv. 2.24) i SS-EN 1995-1-1 (Swedish Standards Institute, 2009)

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{t,k}}{\gamma_M}$$

där $f_{t,k}$ är ett karakteristisk värde på dragkapaciteten parallellt fibrerna. Ett värde på draghållfastheten hämtas ur en regel- och formelsamling som är baserad på Eurokod (Isaksson & Mårtensson, 2010). För kvalitet C18 och dragning parallellt fibrerna ges ett värde på $f_{t,k} = 11$ MPa.

γ_M är en partialkoefficient för materialegenskaper, hämtas från tabell 2.1 i SS-EN 1995-1-1 (Swedish Standards Institute, 2009). För massivt trä är denna $\gamma_M = 1.3$.

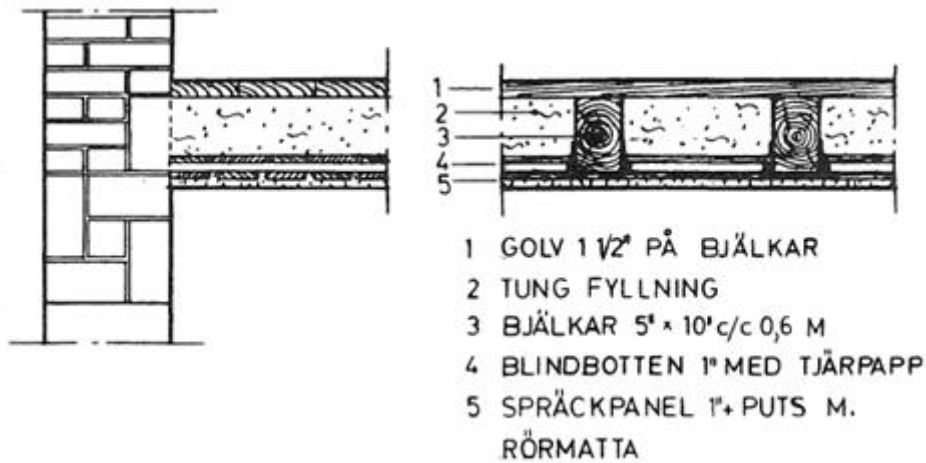
k_{mod} är korrektionsfaktor för lastvaraktighet och fuktkvot. Klimatklass och lastvaraktighet behövs för denna faktor. I detta fall är klimatklass 2 antaget. Lastvaraktigheten varierar beroende på lastfall men antas till permanent för värsta fallet. I tabell 3.1 i SS-EN 1995-1-1 (Swedish Standards Institute, 2009) finns värden på k_{mod} . Klimatklass 2 och permanent last ger $k_{mod} = 0.6$.

Den dimensionerande hållfastheten för drag parallellt fibrerna beräknas enligt

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{t,k}}{\gamma_M} = \frac{0.6 \cdot 11}{1.3} = 5.1 \text{ MPa}$$

Vid asymmetrisk last kommer inte de horisontella lasterna att ta ut varandra i bindbjälkarna. Den resulterande horisontella lasten ska då tas upp av tvärgående bärande väggar via skivverkan i golvet. Detta innebär att last måste kunna föras över från bindbjälken till golvet.

I Figur 5-7 visar ett typiskt bjälklag från sydsvenska tegelbyggnader från början av 1900-talet. Här visas kontakt mellan bjälkar i bjälklag. För att last ska kunna föras över från golvbjälkarna till golvet ska denna kontakt kunna överföra last. I den befintliga konstruktionen är denna koppling mellan golv och bjälkar okänd. Dock kan det antas att denna lastöverföring finns då konstruktionen fungerar idag. För det befintliga vindsbjälklaget är ett nytt golv uppbyggt med regler med 100 mm isolering mellan. Detta kan konstateras då originaltrösklarna är synliga och där ligger golvet på vinden 100 mm högre. Troligen har inte det gamla golvet brutits upp för att bygga på med isolering utan förmodligen uppfylls skivverkan i det gamla golvet.



Figur 5-7: Typiskt vindsbjälklag i byggnader från 1920-talet (Bjerking, 1974).

De bärande väggar som den horisontella lasten ska föras över till visas i Figur 5-8. De bärande väggarna går ned till plan 1 där pelare och balkar för ned lasten till källarplan där bärande vägar finns.



Figur 5-8: Planritning för plan 3. Ritningen visar var bärande tvärgående väggar finns.

5.2 Indata Ramanalys

5.2.1 Horisontell punktlast

Geometri, material och tvärsnitt för alla takstolar som modelleras i ramanalys visas i bilaga I. Då Ramanalys används för 2D-analys måste hänsyn tas till laster som tillkommer från den globala takkonstruktionen. Då endast var tredje takstol har ett stödben som kan föra ned horisontell last till bindbjälkarna i bjälklaget kommer dessa att föra ned horisontell last från de övriga takstolarna också. Takstolarna förbinds med en kantbalk, se Figur 5-9.



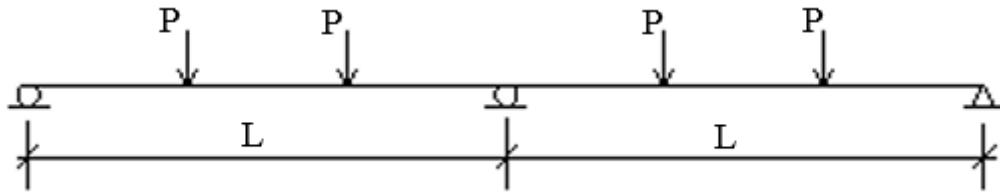
Figur 5-9: Kantbalkens placering.

All horisontell last från takstolarna utan stödben antas gå via kantbalken till takstolarna med stödben. Takstolarna utan stödben är helt beroende av att denna kantbalk kan ta upp den horisontella lasten och föra den till takstolarna utan stödben. En bild på förbandet mellan högben och kantbalk visas i Figur 5-10.



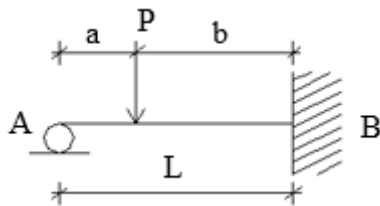
Figur 5-10: Förband mellan kantbalk och högben för takstol utan stödben.

För att beräkna hur stort tillägg den horisontella utåtriktade lasten blir på takstolarna med stödben görs en beräkningsmodell på kantbalken. Kantbalken är skarvad på vartannat stödben och modelleras därför som en kontinuerlig balk på tre stöd. Beräkningsmodellen visas i Figur 5-11.



Figur 5-11: Beräkningsmodell av kantbalk med horisontell last.

Facklängden utgörs av tre c/c-avstånd mellan takstolarna. Då snittet på c/c-avståndet är uppskattat till 1.2 meter blir facklängden 3.6 meter. Detta då det är två takstolar utan stödben som belastar kantbalken mellan takstolarna med stödben. Balken är statiskt obestämd och för att ta reda på den största reaktionskraften i mittenstödet så används balktabell (Isaksson & Mårtensson, 2010). Då två punktlaster belastar kantbalken i varje fack finns inget sådant lastfall. Lastfall nedan används där reaktionskraft R_B beräknas för varje punktlast för sig. Sedan adderas reaktionskrafterna. Lastfallet med en fast inspänning på ena sidan och ett rullager på den andra används då balken är symmetrisk.



Figur 5-12: Beräkningsmodell för stödreaktion i B.

Den vertikala upplagskraften R_B vid den fasta inspänningen beräknas enligt

$$R_B = \frac{Pa}{2L} \left(3 - \frac{a^2}{L^2} \right)$$

där a är sträckan mellan rullager och punktlasten som visas i Figur 5-12 och L är facklängden.

För första lastfallet är $a = 1.2$ m och $b = 2.4$ m vilket ger

$$R_{B1} = \frac{Pa}{2L} \left(3 - \frac{a^2}{L^2} \right) = \frac{P \cdot 1.2}{2 \cdot 3.6} \left(3 - \frac{1.2^2}{3.6^2} \right) = 0.5 \cdot P$$

För andra lastfallet är $a = 2.4$ m och $b = 1.2$ m vilket ger

$$R_{B2} = \frac{Pa}{2L} \left(3 - \frac{a^2}{L^2} \right) = \frac{P \cdot 2.4}{2 \cdot 3.6} \left(3 - \frac{2.4^2}{3.6^2} \right) = 0.9 \cdot P$$

För att få den sammanlagda vertikala stödreaktionen läggs de vertikala stödreaktionerna ihop för de två lastfallen enligt

$$R_B = R_{B1} + R_{B2} = 0.5P + 0.9P = 1.3 \cdot P$$

Då R_B är stödreaktionen för ena sidan dubblas denna för att få total stödreaktion. Den totala stödreaktionen beräknas enligt

$$R_{tot} = R_B \cdot 2 = 1.3P \cdot 2 = 2.7 \cdot P$$

Vid modellering används denna reaktionskraft då laster läggs in i Ramanalys. Lasten placeras en bit in från takfoten. Detta för att symbolisera kantbalkens placering. Lasten P tas fram för alla lastfall separat. Då ca 20 lastfall undersöks kommer 20 olika värden på lasten $2.7 \cdot P$ att läggas till de 20 respektive lastfallen. Lasten P är den horisontella upplagskraften för takstolen utan stödben. De största horisontella reaktionskrafterna redovisas för den befintliga och förstärkta takstolen.

5.2.2 Tvärsnitt, förstärkt takstol

Då högbenet ska förstärkas med en regel av dimension 45×220 mm ska ett tvärsnitt med motsvarande egenskaper läggas in i Ramanalys. I Ramanalys kan endast standardtvärsnitt läggas in. Vid förstärkning på båda sidor om de befintliga högbenen kunde tvärsnittet läggas in som ett standardtvärsnitt. Att högbenen inte förstärks på båda sidorna beror på att förbandet mellan hanbjälken och högbenet hindrar detta. Det standardtvärsnitt som är mest likt blir i detta fall, eftersom endast ena sidan förstärks, ett rektangulärt tvärsnitt. Då begränsningen finns görs en överslagsberäkning på det samverkande tvärsnittet så att det rektangulära tvärsnittet som används i Ramanalys ska få liknande egenskaper som det verkliga tvärsnittet. För att kunna lägga in ett tvärsnitt med liknande egenskaper som det förstärkta tvärsnittet är det viktigt att tröghetsmoment, area och böjmotstånd stämmer med det samverkande tvärsnittet. Då endast två är okända (bredd och höjd) och det finns tre ekvationer (area, tröghetsmoment och böjmotstånd) kan endast två ekvationer användas. I detta fall används böjmotstånd och tröghetsmoment för att ta reda på en bredd och en höjd tvärsnittsarean kommer då inte att vara lika för de båda tvärsnitten. Eftersom böjmoment ofta påverkar balken mer än normalkraft så prioriteras tröghetsmoment och böjmotstånd. För att ta reda på det tvärsnitt som motsvarar det förstärkta tvärsnittet beräknas ett tröghetsmoment för det sammansatta tvärsnittet med Steiners sats enligt

$$I_y = \sum (I_{yi} + A_i e_i^2)$$

där e_i är avståndet mellan en delareas tyngdpunkt och tyngdpunkten för det sammanlagda tvärsnittet

A_i är tvärsnittsarean för en delyta

I_{yi} är tröghetsmoment för delytan.

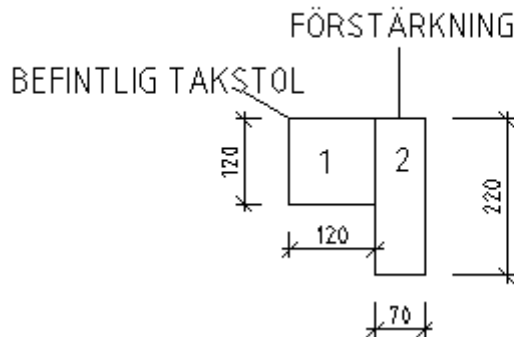
För rektangulära tvärsnitt beräknas tröghetsmomentet enligt

$$I_y = \frac{bh^3}{12}$$

där b är bredden på tvärsnittet

h är höjden på tvärsnittet.

Det aktuella sammansatta tvärsnittet visas i Figur 5-13. Tvärsnittet belastas i vertikalled och lasten fördelar sig mellan den befintliga och förstärkta delen.



Figur 5-13: Sammansatt tvärsnitt för förstärkt takstol.

För att beräkna tyngdpunkten sätts nollnivån på tvärsnittens ovansida. Tyngdpunkten för det sammansatta tvärsnittet beräknas enligt:

$$T_p = \frac{e_1 A_1 + e_2 A_2}{A_{tot}} = \frac{0.06 \cdot 0.12 \cdot 0.12 + 0.11 \cdot 0.07 \cdot 0.22}{0.12 \cdot 0.12 + 0.07 \cdot 0.22} = 0.0858 \text{ m}$$

För det sammansatta tvärsnittet beräknas tröghetsmomentet enligt

$$\begin{aligned} I_y &= \frac{b_1 h_1^3}{12} + A_1 e_1^2 + \frac{b_2 h_2^3}{12} + A_2 e_2^2 = \\ &= \frac{0.12 \cdot 0.12^3}{12} + 0.12 \cdot 0.12 \cdot (0.0858 - 0.06)^2 + \frac{0.07 \cdot 0.22^3}{12} + 0.07 \cdot 0.22 \\ &\quad \cdot (0.11 - 0.0858)^2 \\ &= 1.43 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Böjmotståndet för ett tvärsnitt beräknas enligt

$$W = \frac{I}{y}$$

där I är tvärsnittets tröghetsmoment

y är avståndet från tyngdpunkten till tvärsnittets kant.

Att använda tyngdpunkten som beräknas ovan för att beräkna tröghetsmomentet är på osäkra sidan för de fall då moment och normalkraft ger störst spänning i tvärsnittets underkant. Om tyngdpunkten beräknats från undersidan av tvärsnittet hade sträckan blivit längre och detta och hade gett ett mindre böjmotstånd. Böjmotståndet för det sammansatta tvärsnittet blir

$$W = \frac{I}{y} = \frac{1.43 \cdot 10^{-4}}{0.0858} = 0.00167 \text{ m}^3$$

För ett rektangulärt tvärsnitt ges böjmotståndet av

$$W = \frac{bh^2}{6}$$

För att beräkna bredd och höjd för tvärsnittet löses b ut ur ekvationen för böjmotståndet enligt

$$b = \frac{6 \cdot W}{h^2}$$

Uttrycket för bredden sätts in i ekvationen för tröghetsmoment enligt

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{\left(\frac{6 \cdot W}{h^2} \cdot h^3\right)}{12}$$

Höjden, h , löses ut och beräknas enligt

$$h = \frac{12 \cdot I}{6 \cdot W} = \frac{12 \cdot 1.43 \cdot 10^{-4}}{6 \cdot 0.00167} = 0.172 \text{ m}$$

Bredden beräknas enligt

$$b = \frac{6 \cdot W}{h^2} = \frac{6 \cdot 0.00167}{0.172^2} = 0.340 \text{ m}$$

Förstärkningen och den befintliga balken förbinds med genomgående förbindare. Dessa ser till att förstärkningen och det befintliga högbenet kommer att deformeras lika mycket vid belastning. Lasten kommer att dela upp sig på de olika delarna beroende på deras styvhet.

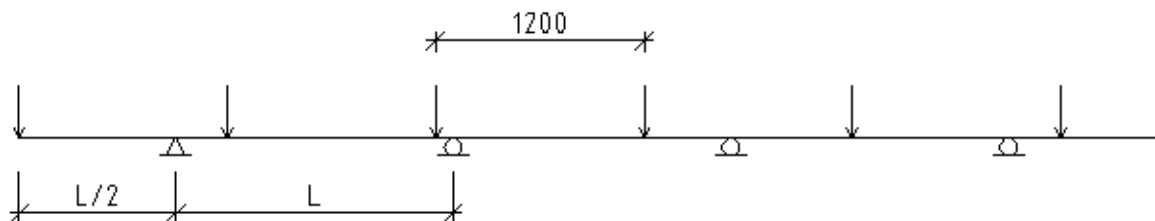
5.2.3 Vertikal styvhet hos kantbalk

Hur mycket vertikal last som går ner i kantbalken spelar roll för momentfördelningen i högbenen för takstolen utan stödben. Ju styvare kantbalken är ju mer last går i den. Att kantbalken ger ett vertikalt stöd är positivt då fältmomentet mellan hanbjälke och takfot minskas. Att inte ta hänsyn till detta stöd är att vara på säkra sidan. Då den befintliga takstolen modelleras läggs ett vertikalt fjäderupplag där kantbalken är placerad i verkligheten. Styvheten på fjäderupplaget bestäms i detta stycke.

Kantbalken är upplagd på muruppbyggnaderna vars c/c-avstånd är uppmätt till 1.6 m. En bild av hur detta ser ut i verkligheten visas i Figur 5-14.

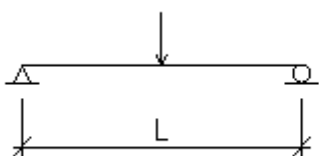


Figur 5-14: Kantbalken vilar på murpelarna.



Figur 5-15: Beräkningsmodell för vertikal styvhet i kantbalk.

Denna beräkningsmodell förenklas till en fritt upplagd balk på två stöd som belastas med en punktlast i mitten.



Figur 5-16 Förenklad beräkningsmodell.

Denna förenkling innebär att kantbalken får en lägre styvhet än om balken är kontinuerlig över flera stöd. Ingen hänsyn tas till att balken inte belastas i dess huvudriktningar. Hållfastheten för kantbalken är okänd. Materialkvaliteten antas till C18. För att beräkna styvheten för den fritt upplagda balken används balktabeller. Styvheten beräknas som last/utböjning och anges i kN/m. För en fritt upplagd balk beräknas utböjning enligt

$$v_{max} = \frac{PL^3}{48EI}$$

Där v_{max} är den maximala utböjningen på mitten av balken.

L är facklängden, som i detta fall är 1.6 m

E är elasticitetsmodulen, för kantbalken är elasticitetsmodulen längs fiberriktningen $E = 6000$ MPa för kvalitet C18.

P är punktlasten som belastar balken i mitten

I är tröghetsmomentet för balkens tvärsnitt som i detta fall är rektangulärt med dimension 120×120 mm och beräknas enligt

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0.12 \cdot 0.12^3}{12} = 1.73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Styvheten beräknas enligt

$$\frac{P}{v} = \frac{48EI}{L^3} = \frac{48 \cdot 6000 \cdot 10^6 \cdot 1.73 \cdot 10^{-5}}{1.6^3} = 1216406 \text{ N/m} \approx 1216 \text{ kN/m}$$

Värdet på styvheten ansätts på de vertikala fjädrarna som representerar kantbalkens styvhet.

På de ställen där kantbalken ligger på muren då högbenet går ned i den kommer kantbalken inte att ge efter då tegelmuren inte gör det. Det innebär att upplaget kan modelleras som ett ledat stöd.

5.3 Befintliga takstolar

De befintliga takstolarna modelleras för att kontrollera hur högt utnyttjade de är och för att ha något att jämföra med.

5.3.1 Befintlig takstol utan stödben

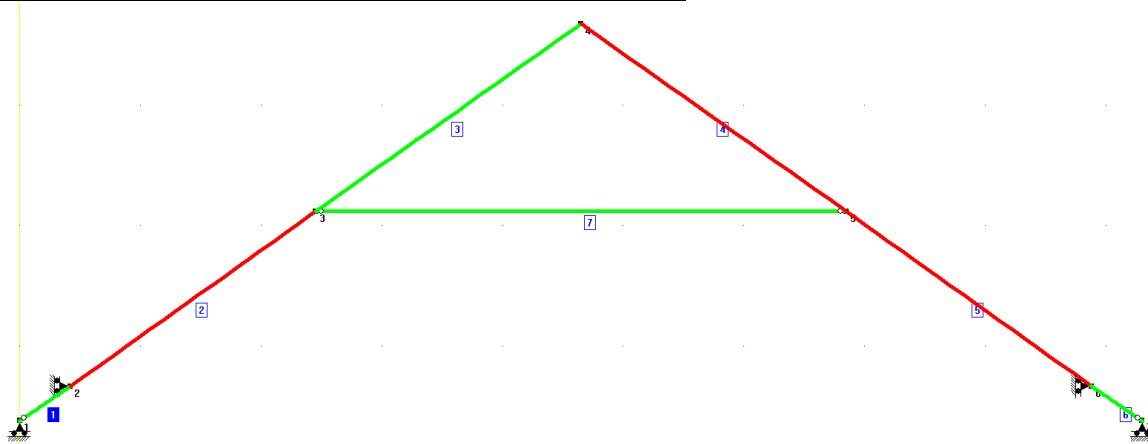
Den befintliga takstolen utan stödben modelleras först för att kunna ta fram den horisontella punktlasten som ska verka på den befintliga takstolen med stödben. Egentyngden på den befintliga takstolen beräknas i Bilaga C. I egentyngden ingår takstolens egentyngd och tyngden från plåten. Ett värde på den karakteristiska lasten är

$$q_{\text{befintlig takstol}} = 0.13 \text{ kN/m}$$

I Tabell 5-1 visas de dimensioner som takstolens delar har. Vid modellering läggs 20 lastfall in, dessa tas fram i bilaga D. Rullager modelleras där tegelmuren möter högbenen för att få en maximal horisontell upplagskraft i det rullager som modelleras där kantbalk möter högbenet det vill säga vid nod 2. Den horisontella upplagskraften registreras för samtliga lastfall. Vid nod 2 finns även ett fjäderupplag i horisontell riktning. Fjäderupplaget visas inte i Figur 5-17. Takstolen kontrolleras mot SS-EN 1995-1-1 och i Figur 5-17 visas resultatet. Röd färg betyder att kraven överskrids och grön färg betyder att kraven uppfylls. Sent upptäcktes att ett för lågt värde på styvheten i det vertikala fjäderupplaget lagts in i Ramanalys, vilket kan vara en förklaring till att kraven inte uppfylls. Högbenen kan mycket väl klara normkraven då fjäderstyvheten är 1261 kN/m. Då styvheten på fjädern ökar kommer momentet i högbenen att reduceras och takstolen klarar kraven. Hur styvheten på kantbalken beräknas spelar därmed en stor roll för resultatet. I Tabell 5-1 Visas tvärsnittsdata för den befintliga takstolen utan stödben.

Tabell 5-1: Tvärsnittsdata för befintlig takstol utan stödben.

Del av takstol	Dimension (mm)	Materialkvalitet
Högben	120×120	C18
Hanbjälke	100×100	C18



Figur 5-17: Kontroll av takstol när vertikal fjäderstyvhet=61 kN/m är placerad i nod 2.

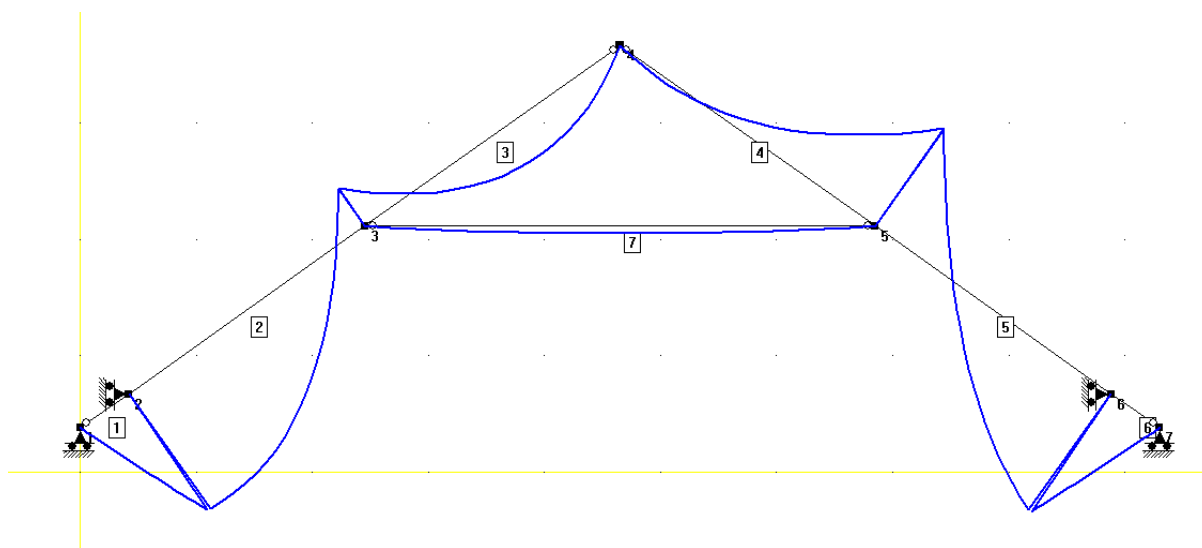
Att den befintliga takstolen inte klarar normkraven tyder på att antaganden som gjorts angående hur den är belastad kan vara felaktiga, eller att säkerheten inte är så stor som det avses i normen.

Det lastfall som ger störst moment visas i Tabell 5-2. HL betyder Huvudlast och förklaras i Bilaga E.

Momentfördelningen då takstolen belastas med egentyngd, asymmetrisk vind- och snölast visas i Figur 5-18.

Tabell 5-2: Dimensionerande lastfall för moment.

Lastfall	MAX Moment i element
Egentyngd + vind fall 1.1	1, 2
Egentyngd + vind fall 1.2 + snö fall 2 HL	3, 4, 5, 6
Egentyngd + vind fall 2.2 + snö fall 1 HL	7



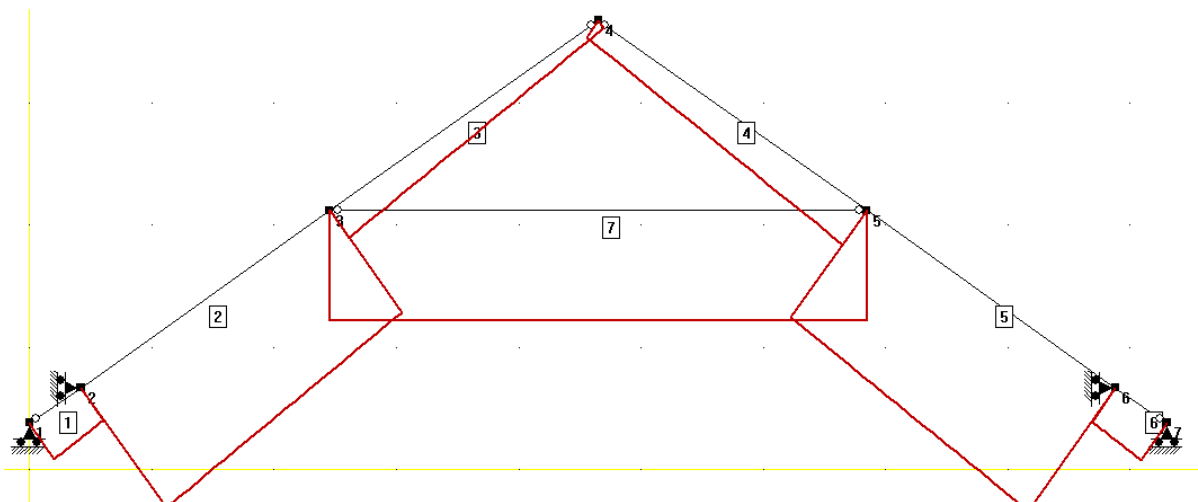
Figur 5-18: Momentfördelning för lastfall: egentyngd + vind 1.2 + snö fall 2 HL.

För normalkraft visas de lastfall som ger de största normalkrafterna i Tabell 5-3.

Tabell 5-3: Dimensionerande lastfall för normalkraft.

Lastfall	MAX Normalkraft i element
Egentyngd + vind fall 2.2 + snö fall 1 HL	1, 2, 3, 5, 6, 7
Egentyngd + vind fall 1.2 HL + snö fall 2	4

I Figur 5-19 visas normalkraftsfördelningen när takstolen belastas med egentyngd och asymmetrisk snö- och vindlast.



Figur 5-19: Normalkraftsfördelning för lastfall: egentyngd + vind 2.2 + snö fall 1 HL.

Stödreaktioner i tegelmur och kantbalk visas i Tabell 5-4 för de lastfall som ger störst värden. Att upplagskraften i nod 6 är negativ innebär att den är inåtriktad.

Tabell 5-4: Upplagskrafter för befintlig takstol utan stödben.

Nod	R_x	R_y	Lastfall
1	0	1.5	Egentyngd + vind 2.2 + snö fall 1 HL
2	9.8	0	
6	-10.4	0	
7	0	2.1	
1	0	0.2	Egentyngd + vind 1.2 + snö fall 2 HL
2	9.2	0	
6	-10.4	0	
7	0	3.3	

Den horisontella stödreaktionen verkar som punktlaster och multipliceras med 2.67 enligt avsnitt 5.2.1 för att få horisontell punktlast på takstolarna med stödben. För alla lastfall används den horisontella stödreaktionen för att appliceras på samma lastfall men för den befintliga takstolen med stödben.

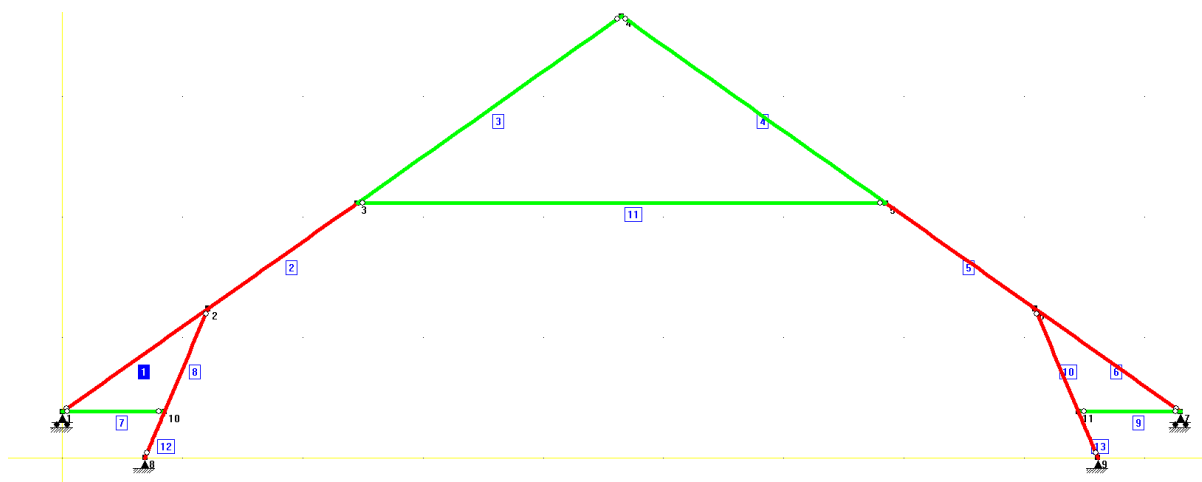
5.3.2 Befintlig takstol med stödben

Den befintliga takstolen med stödben belastas med samma egentyngd som den utan stödben. Dragsträvan och stödbenen belastas med dess egentyngd. Dragsträvan belastas även axiellt med en punktlast som sitter 0.4 m in från nod 1 och 7. Värdet på denna varierar beroende på lastfall. I Tabell 5-5 visas tvärsnittsdata för takstolen.

Tabell 5-5: Tvärsnittsdata för befintlig takstol med stödben.

Del av takstol	Dimension (mm)	Materialkvalitet
Högben	120x120	C18
Hanbjälke	100x100	C18
Dragsträva	120x120	C18
Stödben	120x120	C18

Den befintliga takstolen klarar inte normkarven, detta visas i Figur 5-20, högbenen och stödbenen är högst belastade.



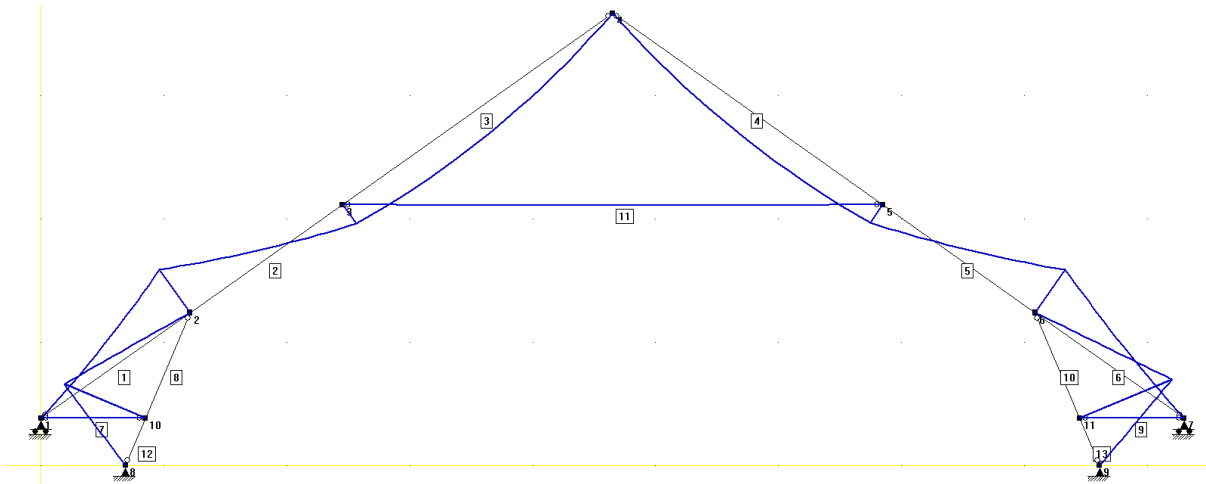
Figur 5-20: Befintlig takstol med stödben.

Att den befintliga takstolen inte klarar normkraven tyder på att antaganden som gjorts angående hur den belastad kan vara felaktiga eller att säkerheten inte är så stor som det avses i normen. Det är den horisontella punktlasten som ger den höga belastningen. Då antagandet om att all horisontell last går till takstolen med stödben är på säkra sidan modelleras även den förstärkta takstolen på likande sätt.

De lastfall som ger dimensionerande moment i de olika elementen visas i Tabell 5-6. I Figur 5-21 visas momentfördelningen när takstolen belastas med egentynngd, asymmetrisk vindlast, asymmetrisk snölast och horisontell punktlast från takstolen utan stödben.

Tabell 5-6: Dimensionerande lastfall för moment i för befintlig takstol med stödben.

Lastfall	MAX Moment i element
Egentynngd + vind fall 1.1+PL	11
Egentynngd + vind fall 1.2 HL+ snö fall 2+PL	1, 2, 3, 9
Egentynngd + vind fall 2.2 + snö fall 1 HL+PL	4, 5, 6, 8, 12
Egentynngd + snö fall 1+PL	7
Egentynngd + vind fall 1.2 HL + snö fall 2 +PL	10, 13

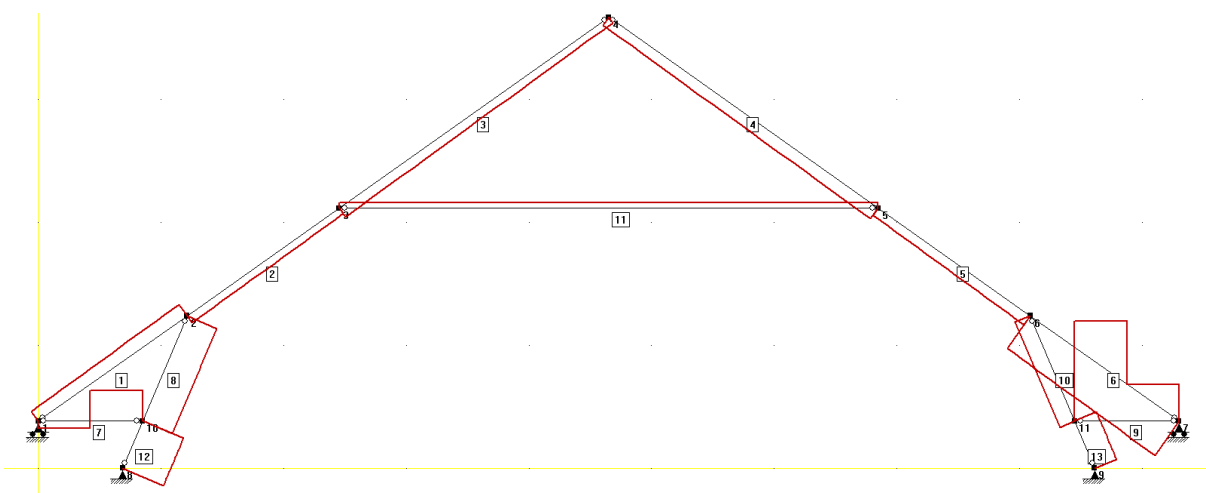


Figur 5-21: Momentfördelning med lastfall: Egentyngd + vind fall 2.2+ snö fall 1 HL + PL1.

De lastfall som ger störst normalkraft i takstolen visas i Tabell 5-7. I Figur 5-22 visas normalkraftsfördelningen när takstolen belastas med egentyngd, asymmetrisk snö- och vindlast.

Tabell 5-7: Dimensionerande lastfall för normalkraft.

Lastfall	MAX Normalkraft i element
Egentyngd + vind fall 1.1 + snö fall 2 HL+PL	2, 5, 11
Egentyngd + vind fall 2.2 + snö fall 1 HL+PL	4, 7, 13
Egentyngd + vind fall 1.2 HL + snö fall 2 +PL	6, 8, 9
Egentyngd + vind 1.1+PL	1, 10
Egentyngd + vind 2.1 + snö fall 2 HL+PL	3,12



Figur 5-22: Normalkraftsfördelning för lastfall egentyngd + vind 1.2 HL +snö fall 2 +PL1.

Dragsträvan utsätts för en stor normalkraft på grund av den horisontella punktlasten som verkar på mitten av den.

I Tabell 5-8 visas de största upplagskrafterna som uppstår och vid vilka lastfall de uppstår.

Tabell 5-8: Upplagskrafter befintlig takstol med stödben.

Nod	R_x (kN)	R_y (kN)	Lastfall
1	0	-4.2	Egentyngd + vind 1.2 HL+ snö fall 1 + PL ₁
7	0	8.2	
8	14.0	13.5	
9	-27.0	-1.1	
1	0	1.0	Egentyngd + vind fall 2.2 + snö fall 1 HL+PL
7	0	3.0	
8	25.2	8.3	
9	-27.5	6.3	

Bjälklaget kontrolleras för den största horisontella reaktionskraften som uppstår.

$$R_x = 27.5 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{R_x}{A_{tvärsnitt}} = \frac{27.5}{0.12 \cdot 0.22} = 1909.7 \text{ kPa} \approx 1.9 \text{ MPa}$$

$$1.9 < 5.1 \rightarrow \sigma_{t,0,d} < f_{t,0,d}$$

Dragkapaciteten i bjälkarna överskrids inte.

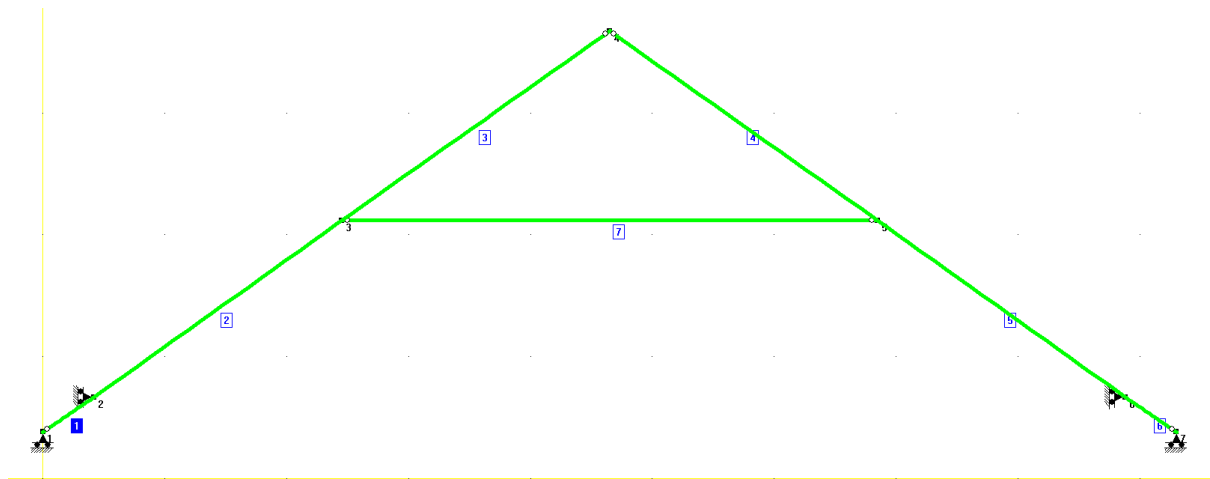
5.4 Lösningförslag 1: förstärkt takstol

5.4.1 Förstärkt takstol utan stödben

Den förstärkta takstolen utan stödben modelleras först för att ta fram den horisontella upplagskraften som leder till en ökad horisontell belastning på den förstärkta takstolen med stödben. Takstolen belastas med egentyngd från takplåt, isolering, råspont, gips, egentyngden från den befintliga takstolen och förstärkningen. En beräkning av den karakteristiska egentyngden visas i bilaga C. ett värde på den sammanlagda egentyngden som belastar högbenen visas nedan.

$$q_{k,försärkt} = 0.56 \text{ kN/m}$$

I modellen av den förstärkta takstolen utan stödben modelleras inga vertikala fjäderupplag vid kantbalken. Detta för att vara på säkra sidan då moment i högben blir maximalt då. I Tabell 5-9 visas verkliga tvärsnitt och de tvärsnitt som används vid modellering, detta är beskrivet i avsnitt 5-3.3.



Figur 5-23: Kontroll av förstärkt takstol utan stödben.

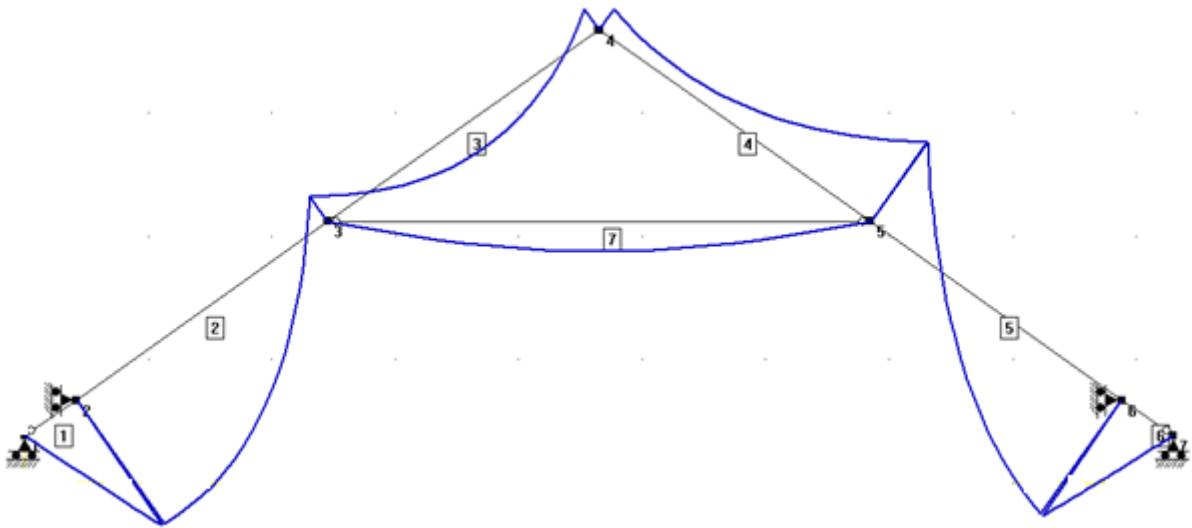
Takstolen klarar normkarven, detta visas i Figur 5-23 där alla element är gröna. I Tabell 5-10 visas lastfallen som ger störst moment i de olika delarna av takstolen. Tabellen visar även vilka lastfall som är dimensionerande för vilka element.

Tabell 5-9: Tvärsnittsdata för förstärkt takstol utan stödben.

Del av takstol	Verklig dimension (mm)	Dimension i Ramanalys (mm)	Materialkvalitet
Högben	120x120+70x220	340x172	C18
Hanbjälke	100x100	100x100	C18

Tabell 5-10: Dimensionerande lastfall för moment, förstärkt takstol utan stödben.

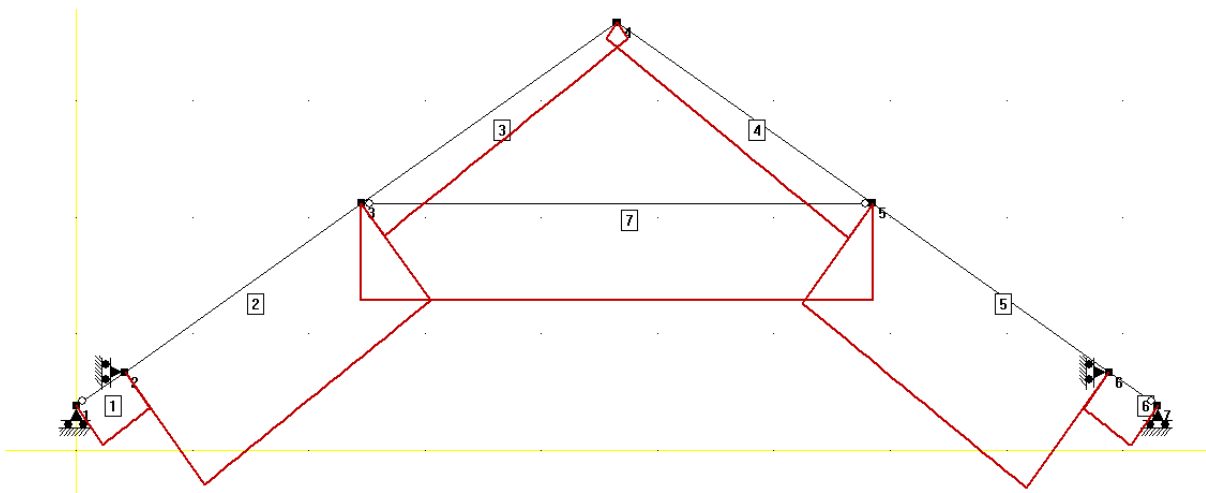
Lastfall	MAX Moment i element
Egentyngd + vind fall 1.2 + snö fall 2 HL	1, 2
Egentyngd + snö fall 1	3
Egentyngd + vind fall 2.2+snö fall 1 HL	5, 6, 7
Egentyngd + vind fall 1.2 HL + snö fall 2	4



Figur 5-24: Momentfördelning för lastfall egentyngd + vind fall 1.2 + snö fall 2 HL.

Tabell 5-11: Dimensionerande lastfall för normalkraft, förstärkt takstol utan stödben.

Lastfall	MAX Normalkraft i element
Egentyngd + vind fall 2.2 + snö fall 1 HL	2,3,5,6,7,9
Egentyngd + vind fall 1.2 + snö fall 2 HL	1



Figur 5-25: Fördelning av normalkraft för lastfall egentyngd + vind fall 2.2 + snö fall 1 HL.

De största upplagskrafterna som uppstår visas i Tabell 5-12.

Tabell 5-12: Maximala upplagskrafter för förstärkt takstol utan stödben.

Nod	R_x (kN)	R_y (kN)	Lastfall
1	0	12.1	Egentyngd + vind fall 2.2 + snö fall 1 HL
2	16.3	0	
6	-17.0	0	
7	0	12.3	

1	0	12.3	Egentyngd + vind 1.2 + snö fall2 HL
2	15.7	0	
6	-16.9	0	
7	0	11.3	

5.4.2 Förstärkt takstol med stödben

Den förstärka takstolen med stödben belastas med lika stor egentyngd som den förstärka takstolen utan stödben. Den sammanlagda egentyngden visas nedan, denna belastar högbenen. Dragsträvorna, hanbjälken och stödbenen belastas endast med deras egentyngd.

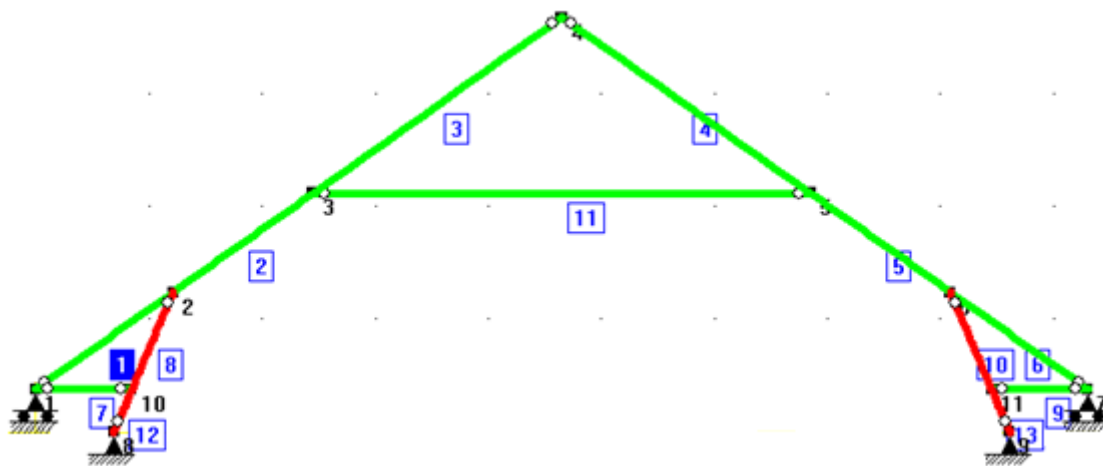
$$q_{k, \text{försärkt}} = 0.56 \text{ kN/m}$$

De tvärsnitt som läggs in i modellen visas i Figur 5-13. Horisontella fjäderupplag modelleras i nod 1 och 7. Styvheten på dessa fjäderupplag tas fram genom att kontrollera när den horisontella upplagskraften är 13 % av den vertikala. Detta beskrivs närmare i avsnitt 5.1.2, styvheten på fjädern sätts till $k = 35 \text{ kN/m}$.

I Tabell 5-13 visas de tvärsnitt som modelleras i ramanalys.

Tabell 5-13: Tvärsnittsdata förstärkt takstol.

Del av takstol	Verklig dimension (mm)	Dimension i Ramanalys (mm)	Materialkvalitet
Högben	120×120+70×220	340×172	C18
Hanbjälke	100×100	100×100	C18
Dragsträva	120×120	120×120	C18
Stödben	120×120	120×120	C18



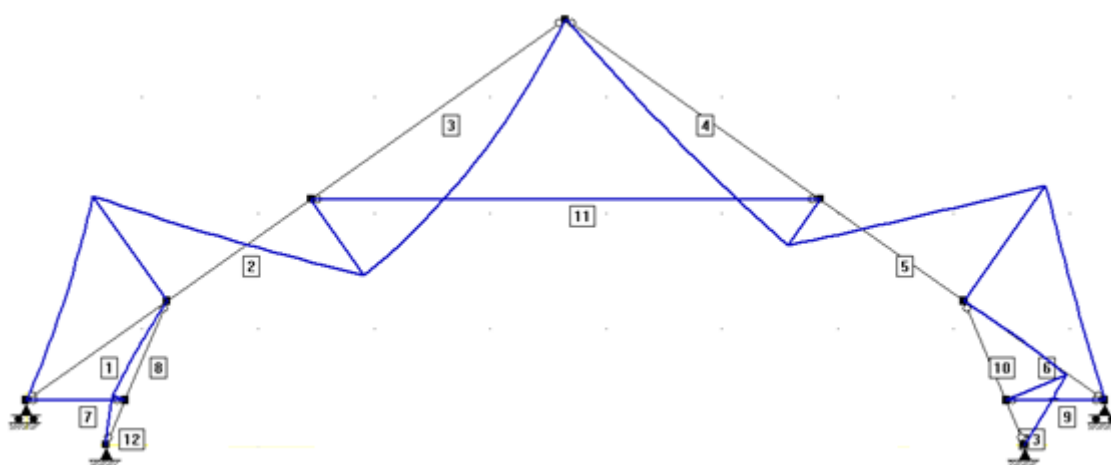
Figur 5-26: Kontroll av förstärkt takstol med stödben.

Som Figur 5-26 visar klarar inte stödbenen normkraven. Detta innebär att de behöver förstärkas. Eftersom stödbenen ska vara synliga bör förstärkningen inte förändra utseendet för mycket. Ett förslag till förstärkning är att fästa smala plåtar på båda sidor av stödbenet. Plåtarna fästs med genomgående skruvar. Förbindarna utsätts för tvärkraft och plåtarna för tvärkraft, moment och normalkraft. En ritning på den förstärka takstolen visas i resultatkapitlet. Någon dimensionering av förstärkningsplåtarna görs inte här.

De lastfall som ger störst moment visas i Tabell 5-14. I Figur 5-27 visas momentfördelningen när takstolen belastas med egentyngd, punktlasten från takstolarna utan stödben, asymmetrisk snö- och vindlast.

Tabell 5-14: Dimensionerande lastfall för moment, förstärkt takstol med stödben.

Lastfall	MAX Moment i element
Egentyngd + vind fall 1.1 HL + snö fall 2 + PL2	9, 10, 13, 3
Egentyngd + snö fall 1 + PL2	4, 5, 6, 7, 8, 12
Egentyngd + snö fall 2 + PL2	1, 2
Egentyngd + vind fall 2.2 HL + snö fall 1 + PL2	11

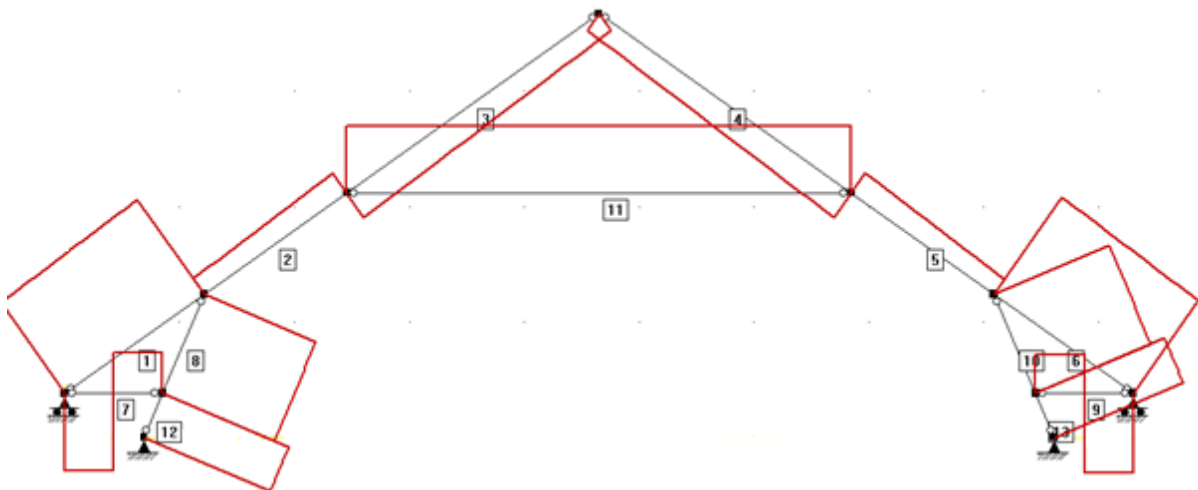


Figur 5-27: Momentfördelning, lastfall egentyngd+ vind fall 1.1 HL+ snö fall 2+PL2.

De lastfall som ger de största normalkrafterna visas i Tabell 5-15. I Figur 5-28 visas momentfördelningen när takstolen belastas med asymmetrisk snö, egentyngd och horisontell punktlast.

Tabell 5-15: Dimensionerande lastfall för normalkraft, förstärkt takstol med stödben.

Lastfall	MAX Normalkraft i element
Egentyngd + vind fall 1.1 HL + snö fall 2 + PL	1, 7, 8
Egentyngd + snö fall 1 + PL	6, 9, 10, 4, 13
Egentyngd + snö fall 2 + PL	2, 5, 11
Egentyngd + vind fall 3.1 HL + snö fall 2+PL	3, 12



Figur 5-28: Normalkraftsfördelning för lastfall egentygnd + snö fall 1 + PL₂.

Drag uppstår i Högbenens nedre del. Detta tros bero på den horisontella punktlasten på dragsträvan. De största upplagskrafterna som uppstår visas i Tabell 5-16 den största horisontella upplagskraften används till att beräkna den största dragspänningen som uppstår i bjälklaget.

Tabell 5-16: De största upplagsreaktionerna som uppstår för förstärkt takstol men stödben.

Nod	R_x (kN)	R_y (kN)	Lastfall
1	0	-25.0	Egentygnd + snö fall 1 + PL ₂
7	0	-25.4	
8	24.9	35.8	
9	-25.0	36.8	
1	0	-30.5	Egentygnd + vind 1.1 HL + snö fall2 + PL ₂
7	0	-23.2	
8	19.3	39.4	
9	-25.9	29.7	

Bjälklaget kontrolleras för den största horisontella reaktionskraften som uppstår som för denna takstol blir

$$R_x = -25.9 \text{ kN}$$

Kontrollen görs enligt

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{R_x}{A_{tvärsnitt}} = \frac{25.9}{0.12 \cdot 0.22} = 1799 \text{ kPa} \approx 1.8 \text{ MPa}$$

där dragspänningen parallellt fibrerna $\sigma_{0,d}$ jämförs med dimensionerande draghållfasthet enligt

$$1.8 < 5.1 \rightarrow \sigma_{t,0,d} < f_{t,0,d}$$

Jämförelsen visar att dragkapaciteten i bjälkarna inte kommer överstigas.

5.5 Lösningsförslag 2: ny takstol

Den nya takstolens högben belastas med en utbredd last från egentynghen från takplåten, isolering, råspont och egentynghen på högbenen. Högbenen belastas även med punktlaster från egentynghen från de tvärgående reglarna som är fästa på insidan av högbenen som sitter med ett c/c-avstånd på 1.2. mellan reglarna ligger isolering. Glespanel och gips fästs på de tvärgående reglarna. Punktlasterna och den utbredda karakteristiska lasten beräknas i bilaga C.

$$q_{k,JUB,ny} = 0.23 \text{ kN/m}$$

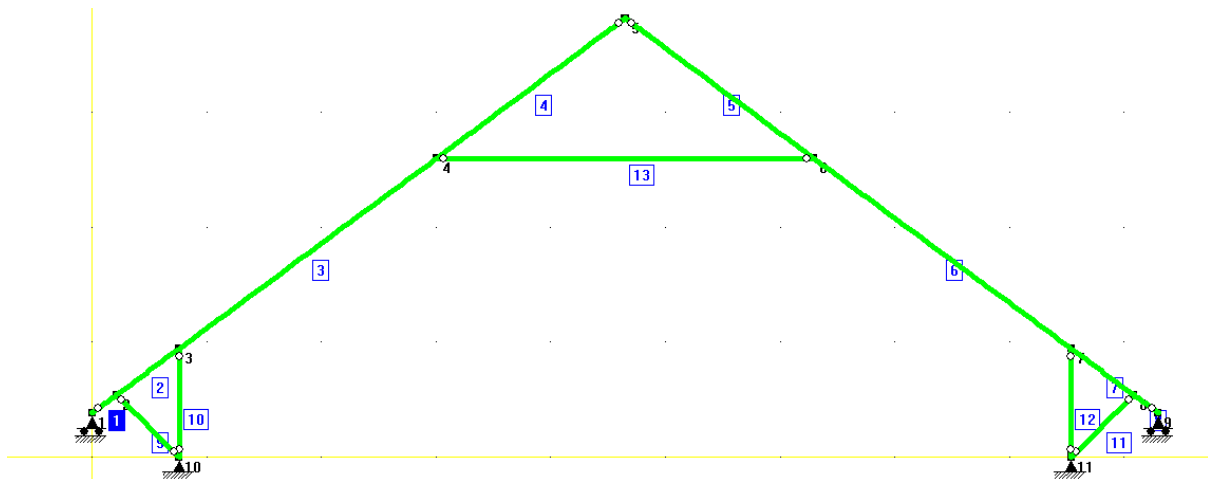
$$P_{k,ny} = 0.36 \text{ kN}$$

I Tabell 5-17 visas tvärsnittsdata för den nya takstolen.

Tabell 5-17: Tvärsnittsdata ny takstol.

Del av takstol	Dimension (mm)	Materialkvalitet
Högben	70×220	C24
Hanbjälke	45×220	C24
Dragsträva	45×95	C24
Stödben	45×45	C24

Takstolen kontrolleras mot SS-EN 1991-1-1 i Ramanalys i Figur 5-29 visas resultatet.

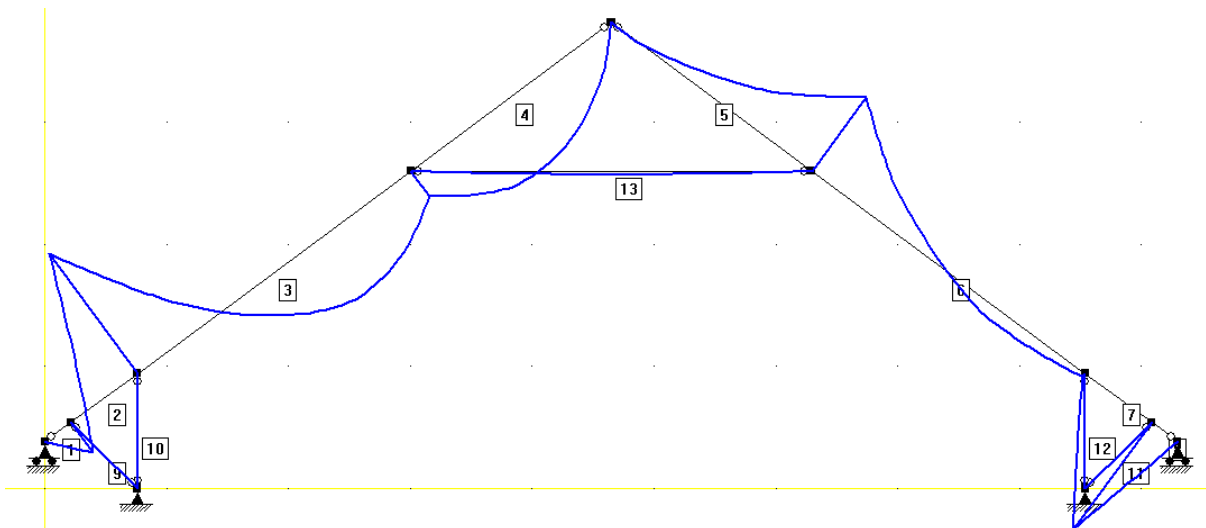


Figur 5-29: Kontrollerad ny takstol.

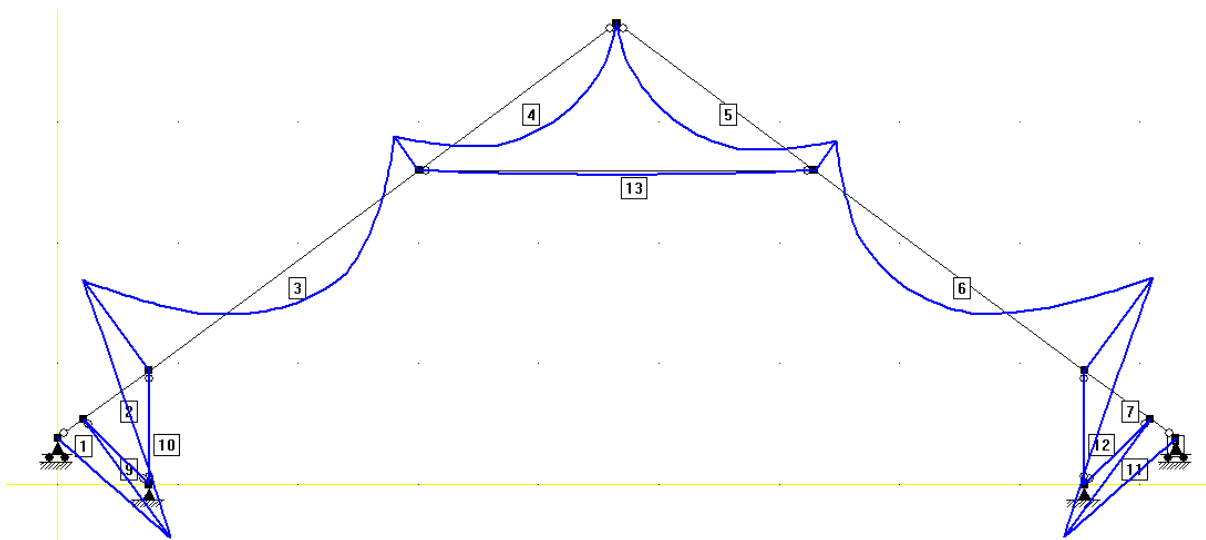
Takstolen klarar normkraven. I Tabell 5-18 visas vilka lastfall som är dimensionerande för moment i de olika elementen. I Figur 5-30 visas momentfördelningen då takstolen belastas med egentynghen, asymmetrisk vindlast och asymmetrisk snölast.

Tabell 5-18: Dimensionerande lastfall för moment, ny takstol.

Lastfall	MAX Moment i element
Egentynghen + vind fall 1.2 HL + snö fall 2	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10
Egentynghen + snö fall 3	1, 12, 13
Egentynghen + vind fall 1.1	9
Egentynghen + vind fall 5.1	11



Figur 5-30: Momentfördelning för lastfall egentyngd + vind 1.2 HL+ snö fall 2.

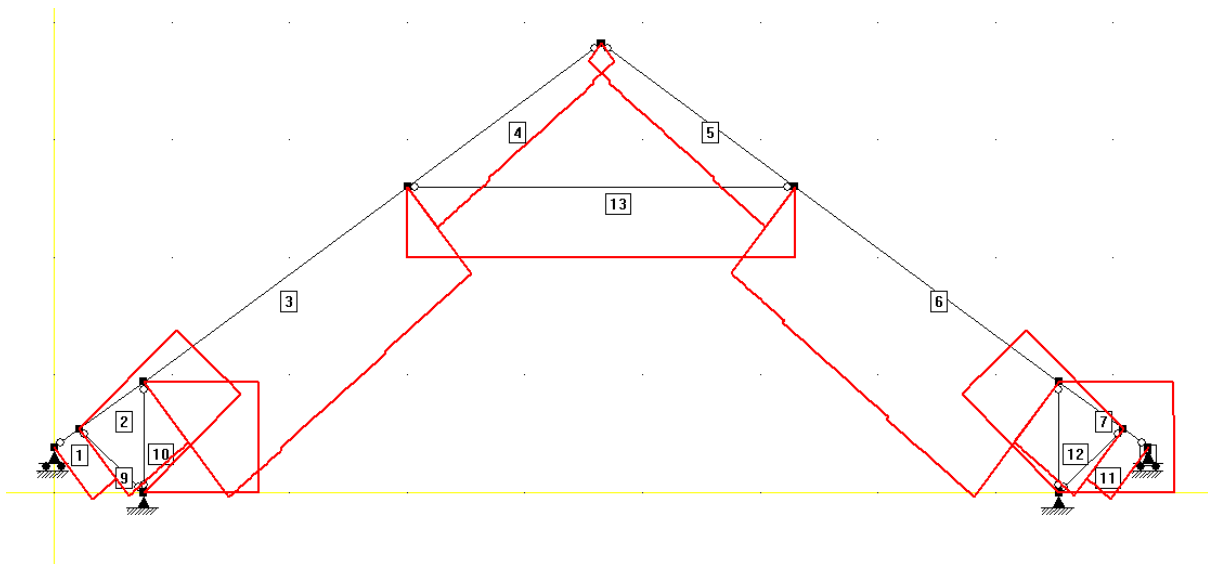


Figur 5-31: Momentfördelning för lastfall egentyngd + snö fall 3

Dimensionerande lastfall för normalkraft visas i Tabell 5-19. I Figur 5-32 visas normalkraftsfördelningen när takstolen belastas av egentyngd och symmetrisk snölast.

Tabell 5-19: Dimensionerande lastfall för normalkraft, ny takstol.

Lastfall	MAX Normalkraft i element
Egentyngd + snö fall 3	1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 11, 12, 13
Egentyngd + vind fall 1.2 HL + snö fall 2	7, 8, 10



Figur 5-32: Normalkraftsfördelning för lastfall: egentygnd + snö fall 3.

Upplagskrafter för två lastfall visas i Tabell 5-20.

Tabell 5-20: Upplagskrafter för ny takstol.

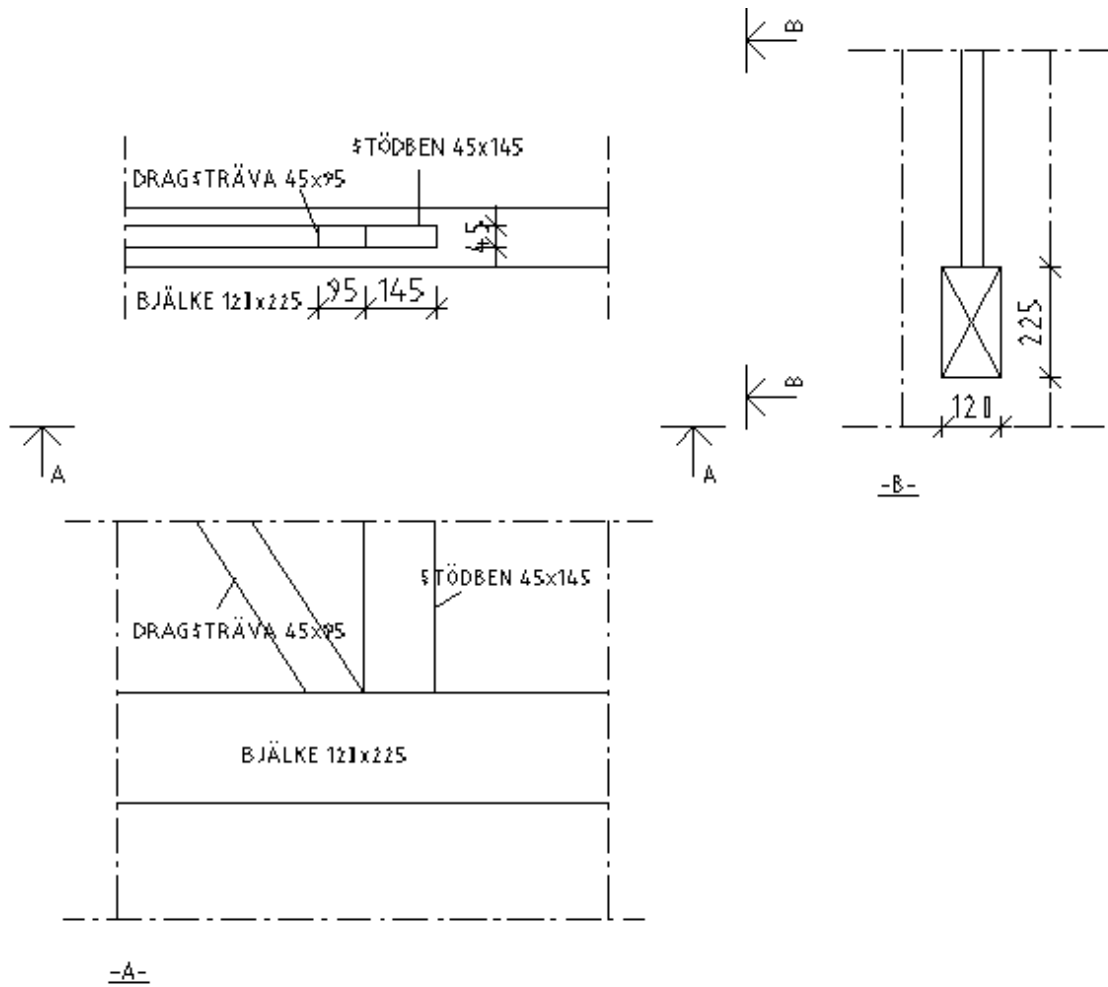
Nod	R_x (kN)	R_y (kN)	Lastfall
1	0	9.1	Egentygnd + snö fall 1
9	0	9.1	
10	7.6	2.7	
11	-7.6	2.7	
1	0	4.2	Egentygnd + vind 1.2 HL + snö fall 2
9	0	9.5	
10	4.0	6.9	
11	-7.3	-1.6	

De laster som går ned i nod 10 och 11 belastar bjälkarna i bjälklaget som ska fungera som bindbjälke. Bjälklaget kontrolleras för den största horisontella reaktionskraften som uppstår enligt

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{R_x}{A_{tvärsnitt}} = \frac{9.1}{0.12 \cdot 0.22} = 345 \text{ kPa} \approx 0.35 \text{ MPa}$$

$$0.35 < 5.1 \rightarrow \sigma_{t,0,d} < f_{t,0,d}$$

Dragkapaciteten i bjälkarna kommer inte att vara något problem om de befintliga bjälkarna har den antagna dimensionen. På den nya takstolen går stödbenet direkt ned i de tvärgående bjälkarna under förutsättning att de ligger direkt under takstolarna. I Figur 5-33 visas hur stödbenet och dragsträva går ned i en bjälke i bjälklaget. Ett förband mellan dragsträva och bjälke ska kunna ta upp dragkraft. Då dragkapaciteten vinkelrätt mot fibrerna är liten behöver denna detalj mycket uppmärksamhet.



Figur 5-33: Anslutning av stödben och dragsträva mot bjälke i bjälklaget.

6 Analys av energianvändning

Följande kapitel beskriver de beräkningar och antaganden som gjorts för att kunna analysera lösningsförslagets energianvändning samt jämföra dessa med dagens energianvändning i Clara 13. I avsnittet presenteras även parameterstudien som gjorts i IDA Ice. Parameterstudien har gjorts för att belysa vilka parametrar i studien som har stor inverkan på resultatet.

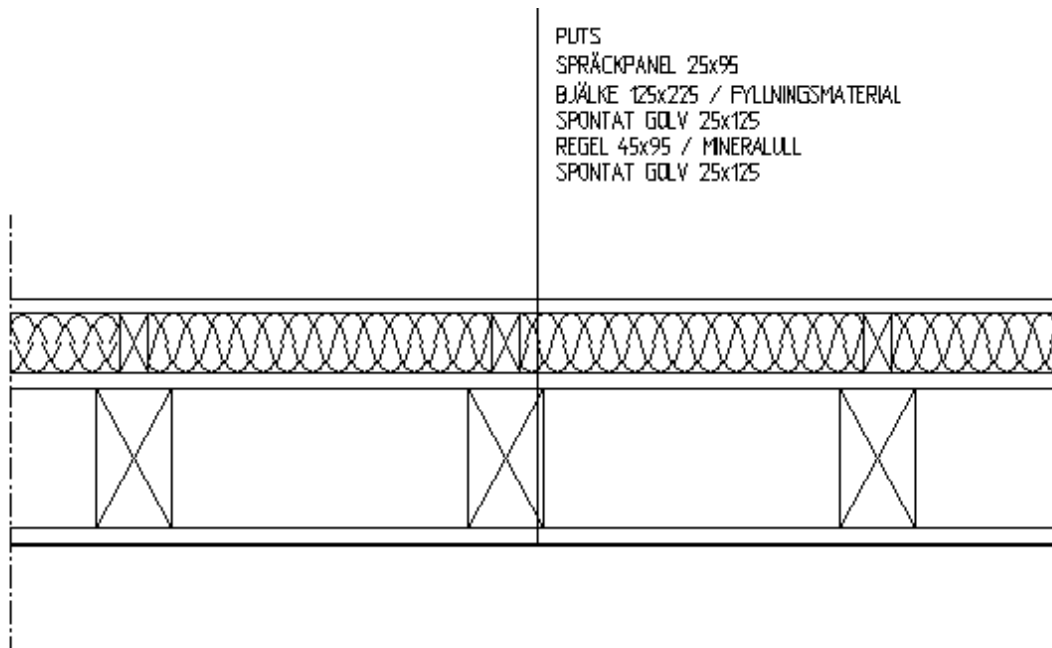
6.1 Energiförluster genom befintlig takkonstruktion

För att kunna jämföra energianvändningen före och efter ombyggnad måste en jämförelse göras mellan befintlig konstruktion och de nya lösningsförslagen. För att kunna göra denna jämförelse behövs dels ett värde på den energi som i dagsläget läcker ut genom vindens klimatskal, dels ett värde på den energi som ett framtida klimatskal på vinden släpper ut. Energin som lösningsförslagen behöver beräknas i IDA Ice, se kapitel 6.2. I detta kapitel beräknas energin som läcker ut genom befintlig takkonstruktion.

Taket på Clara 13 har i dagsläget inte någon isolering alls, endast ett plåttak. Dessutom har det vid besiktningar observerats att vinden i stort sett håller samma temperatur som utomhus. Av dessa anledningar antas klimatskalet gå vid gränsen för vindsbjälklaget. Beräkningar av takets energiförluster ska alltså göras för vindsbjälklaget. De energiförluster som är aktuella för bjälklaget är transmissionsförluster och eventuella luftläckage genom byggdelen. Eftersom läckage är svårt att uppskatta utan en tryckprovning avgränsas beräkningen till att endast ta hänsyn till transmissionsförlusterna. Avgränsningen gör att beräkningen hamnar på den säkra sidan.

Transmissionsförlusterna genom det befintliga bjälklaget används för att jämföra skillnaden mellan byggnadens energianvändning i dagsläget samt efter en ombyggnad. Efter en vindsombyggnad försummas transmissionen genom bjälklag och gavelväggar eftersom dessa konstruktionsdelar vetter mot inomhusmiljö.

Vindsbjälklagets uppbyggnad har förenklats. Dimensionerna på regler m.m. har antagits med hjälp av fakta ur olika litteraturkällor på grund av svåråtkomlighet på plats. Som en förenkling har köldbryggorna vid anslutning till tegelväggen försumrats i beräkningarna. Figur 6-1 visar det befintliga bjälklaget.



Figur 6-1: Befintligt bjälklag.

Energiförlusterna genom det befintliga bjälklaget beräknas enligt:

$$Q_{t,bef} = U_{bef} \cdot A_{bef} \cdot G_t \text{ [Wh]}$$

Där U_{bef} , är värmegenomgångskoefficienten för befintligt bjälklag [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

A_{bef} är arean för befintligt bjälklag [m^2]

G_t är gradtimmar [$^{\circ}\text{Ch}$]

Arean på befintligt bjälklag har mängdats från befintliga ritningar på vindsplanet och är:

$$A_{bef} = 342 \text{ m}^2$$

Gradtimmarna för Clara 13 kan avläsas ur tabell som funktion av normalårstemperaturen, T_{un} för orten och gränstemperaturen, T_g för byggnaden till:

$$T_g = 17 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ för Clara 13 (Dahlblom \& Warfvinge, 2010)}$$

$$T_{un} = 8 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ för Malmö (Jensen \& Warfvinge, 2001)}$$

Avläsning i gradtimmetabell ger resultatet:

$$G_t = 82\,700 \text{ }^{\circ}\text{Ch} \text{ (Jensen \& Warfvinge, 2001)}$$

I Tabell 6-1 presenteras materialdata för de ingående materialen i det befintliga bjälklaget. Värmeledningskoefficienten för spräckpanel med puts antas vara den samma som för endast puts. Information om materialdata har hämtats ur Kenneth Sandins *Praktisk byggnadsfysik* (Sandin, 2010).

Tabell 6-1: Material i befintligt bjälklag och dess värmekonduktivitet λ .

Material	d [mm]	λ [W/mK]
Spontat golv	25	0.14
Mineralull	95	0.04
Reglar 45×95 c/c 600	95	0.14
Bjälklag 5"x 9" (125×225) c/c 600	225	0.14
Hålrum mellan bjälkar	225	-
Spräckpanel med puts	25	1

Vid beräkning av U-värdet för bjälklaget beaktas hålrummet mellan bjälkarna (125×225) som en horisontell luftspalt. Denna typ av luftspalt beräknas enligt Svensk Standard SS-EN ISO 6946:2007 (Swedish Standards Institute, 2007).

För ett oventilerat luftlager med tjockleken 225 mm bestäms värmemotståndet till 0.16 m²K/W (Swedish Standards Institute, 2007). När det gäller värmeövergångsmotstånden R_{Si} och R_{Se} behandlas dessa på samma sätt som normalt om värmeflödet i den horisontella konstruktionen är uppåtriktat, vilket gäller för aktuell konstruktion.

$$R_{luftlager} = 0.16 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Detta värmemotstånd ger värmekonduktivitet enligt

$$\lambda_{luftlager} = \frac{d}{R_{luftlager}} = \frac{0,225}{0,16} = 1.4 \text{ W/mK}$$

Ett viktat värmemotstånd görs sedan för skiktet med luftlager och reglar. Viktningen görs enligt λ -värdesmetoden eftersom detta ger ett högre U-värde vilket kan antas vara representativt eftersom modellen är förenklad.

λ -värdesmetoden beräknas enligt

$$\lambda_{skikt \text{ med luftspalt}} = \alpha \lambda_{reglar} + \beta \lambda_{luftlager}$$

där $\lambda_{skikt \text{ med luftspalt}}$ är värmegenomgångskoefficienten för skiktet

α är ytandelen reglar

λ_{reglar} är värmegenomgångskoefficienten för reglarna [W/mK]

β är ytandelen luft

$\lambda_{luftlager}$ är värmegenomgångskoefficienten för lagret med luft mellan reglarna [W/mK]

Andelen reglar i skiktet beräknas genom c/c-avståndet och bredden på reglarna enligt

$$\alpha_{reglar} = \frac{125}{600} = 0.21$$

vilket ger β enligt:

$$\beta_{luftspalt} = 1 - 0,21 = 0.79$$

värmegenomgångskoefficienten kan beräknas med insatt värden enligt

$$\lambda_{skikt\ med\ luftspalt} = 0.21 \cdot 0.14 + 0.79 \cdot 1.4 = 1.14\ W/mK$$

Även skiktet med mineralull och regler (45×95) viktas enligt λ -värdesmetoden.

$$\alpha_{reglar} = \frac{95}{600} = 0.16$$

$$\beta_{mineralull} = 1 - 0.16 = 0.84$$

$$\lambda_{skikt\ mineralull} = 0.16 \cdot 0.14 + 0.84 \cdot 0.04 = 0.056\ W/mK$$

De viktade värdena samt resterande värmemotstånd redovisas i Tabell 6-2 nedan. Det utvändiga värmeövergångsmotståndet antas vara lika stort som det invändiga motståndet eftersom vindsbjälklaget är skyddat från vind på ovensidan.

Tabell 6-2: Värmemotstånd i befintligt bjälklag.

Material	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Invändigt värmeövergångsmotstånd (mot kall vind)	-	0,10
Plankgolv	0.14	0,18
Mineralull + regler (45x95)	0.056	1.7
Bjälklag med hålrum (125x225)	1.14	0,11
Spräckpanel med puts	1	0,03
Invändigt värmeövergångsmotstånd (mot lgh)	-	0,10
Totalt		2.22

Värmeövergångskoefficienten beräknas med värdet från Tabell 6-2 enligt

$$U_{bef} = \frac{1}{2.22} = 0.45\ W/m^2K$$

Slutligen beräknas energiförlusterna genom bjälklaget enligt

$$Q_{t,bef} = U_{bef} \cdot A_{bef} \cdot G_t = 0.45 \cdot 342 \cdot 82700 = 12\ 700\ kWh$$

Energiförlusterna per kvadratmeter genom det befintliga bjälklaget beräknas enligt

$$E_{bef} = \frac{Q_{t,bef}}{A_{bjälklag}} = \frac{12\ 700}{342} = 37\ kWh/m^2 A_{bjälklag}$$

6.2 Beräkningar i IDA ICE

IDA Indoor Climate and Energy (ICE) är ett datorprogram som används för att studera inomhusklimatet i olika byggnadszoner samt beräkna energianvändningen för hela byggnaden. Normalt sett modelleras en byggnads geometri med flera små zoner, till exempel lägenheter, samt ett värmesystem och en eller flera lufthanteringssystem. Modellen kan även ta hänsyn till information om skuggande objekt i närheten, klimatdata, materialparametrar m.m.

IDA ICE används för att svara på följande frågeställning i arbetet.

Hur mycket påverkas byggnadens totala energibehov av det förändrade vindsutrymmet?

För att kunna jämföra skillnaden i energianvändning mellan aktuell konstruktion och de nya lösningsförslagen görs energiberäkningar i IDA Ice. En jämförelse kan sedan göras mellan transmissionsförlusterna genom aktuellt bjälklag och framtida transmissionsförluster genom tak och väggar samt förluster från ventilation och luftläckage. Resultatet kan även jämföras med BBR för att få en uppfattning om hur lösningsförslagen klarar sig mot kraven.

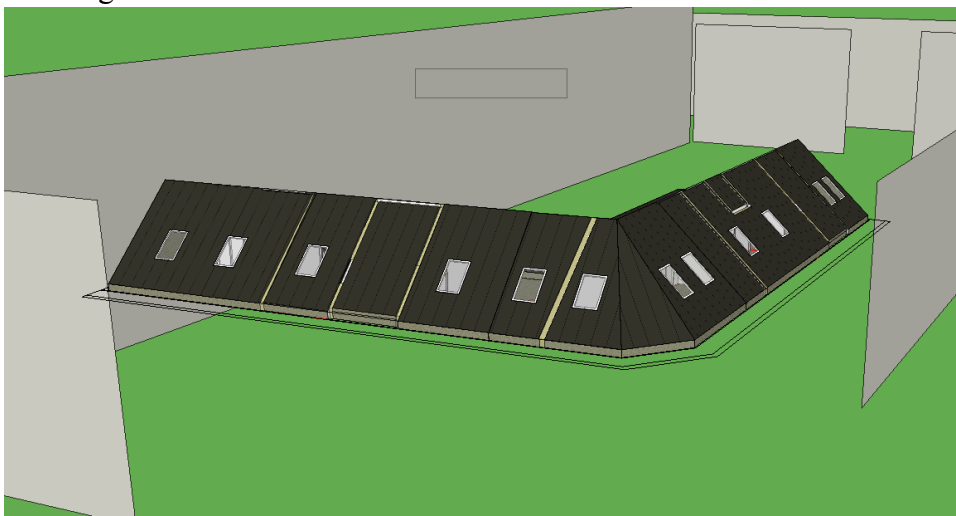
Modelleringen av de två lösningsförslagen i IDA Ice görs på liknande sätt. Endast konstruktionsdelarna skiljer sig åt, väggarna har till exempel olika U-värden. Systemen i lösningsförslagen antas vara likadana. Eftersom principen för modellering i IDA Ice är likadan redovisas i följande avsnitt hur modelleringen i stora drag gjorts för de båda lösningsförslagen.

6.2.1 Geometri

IDA Ice utgår från byggnadens geometri och zonindelningar för att kunna göra beräkningar. I nedanstående avsnitt beskrivs modelleringen i IDA Ice.

Building Body

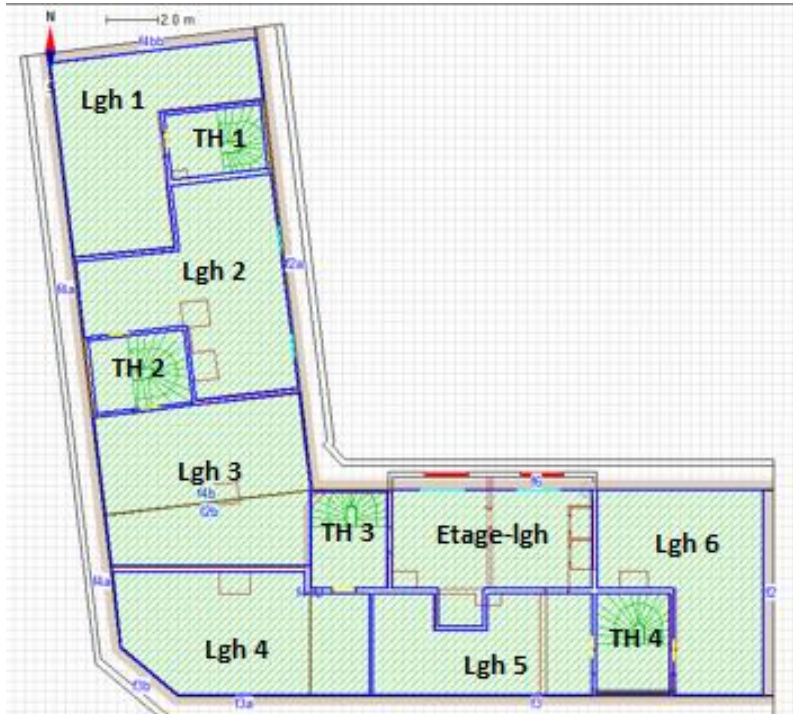
Building Body beskriver geometrin för byggnadens klimatskal och är det första som skapas i modellen för att sedan kunna skapa olika zoner inne i byggnaden. Figur visar 3D-modellen av lösningsförslag 1 på Clara 13. Gränserna för Building Body ritas upp efter de ritningar som finns på Clara 13. Eftersom vindsbjälklaget blir gränsen för ombyggnaden simuleras endast vinden. Resterande delar av Clara 13 förändras inte vilket gör att de inte behöver jämföras med något och därför inte heller simuleras.



Figur 6-2: 3D-modell av lösningsförslag 1, sett från korsningen Kungsgatan/Kaptensgatan.

Zonindelning

Efter att Building Body skapats delas byggnaden in i olika zoner. Zoner kan sedan tilldelas egna egenskaper, till exempel konstruktionsmaterial, ventilation, personnärvaro m.m. I Clara 13 delas byggnaden in i en zon för varje trapphus och en zon för varje lägenhet. Uppdelningen visas i Figur 6-3.



Figur 6-3: Zonindelning lösningsförslag 1.

6.2.2 Fönster

I dagsläget finns endast två fönster på vinden i Clara 13. Dessa fönster sitter i den befintliga takkupan och har en konstruktion med 2-glasfönster. Fönsterna är av äldre modell och denna typ av fönster kan antas ha ett U -värde på runt $3 \text{ W/m}^2\text{K}$ enligt Energimyndigheten (Energimyndigheten, 2007).

För lösningsförslag 1, förstärkning av befintlig takstol, behålls de befintliga fönstren på vinden. De nya fönster som sätts in, dels som takfönster och dels som takkupor, ges ett U -värde på $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$. Detta värde representerar bättre dagens energieffektiva fönster.

Name: © 2 pane, clear, 4-12-4 (example)

Layers: + Add Delete ↑ ↓

-- Outside --

- Pane: 4 mm clear (example)
- Gap: 12.0 mm DEFAULT-AIR
- Pane: 4 mm clear (example)

-- Inside --

Data for selected layer

Pane: © 4 mm clear (example)

Flipped:

Glazing properties at reference conditions

Solar heat gain coefficient	<input type="text" value="0.769"/>	-	Calculate
Solar transmittance	<input type="text" value="0.692"/>	-	
Visible transmittance	<input type="text" value="0.815"/>	-	
Glazing U-value	<input type="text" value="3.05"/>	W/(m2.K)	

OK Save as... Cancel Help

Figur 6-4: Indata för befintliga fönster på vinden.

För lösningsförslag 2, en ny takstol, optimeras energieffektiviseringen och alla fönster byts mot nya med ett U-värde på 0,9 W/m2K. I Figur 6-5 visas indata för de nya fönstren.

Glass construction 3-glasfönster

Shading coefficients

Absolute value Single pane reference

Double pane reference

g, Solar Heat Gain Coef (SHGC) 0.6

T, Solar transmittance 0.4

Tvis, Visible transmittance 0.74

Description

Glazing U-value 0.6 W/(m²*K)

Internal emissivity 0.837 0-1

External emissivity 0.837 0-1

OK Save as... Cancel Help

Figur 6-5: Övriga egenskaper i nya fönster med U-värde 0,9 W/m²K.

De nya fönsterna i båda lösningsförslagen modelleras med persienner för att minska värmebelastningen under varma somrardagar. Persiennerna i modellen fälls ner automatiskt vid 100 W/m² solstrålning.

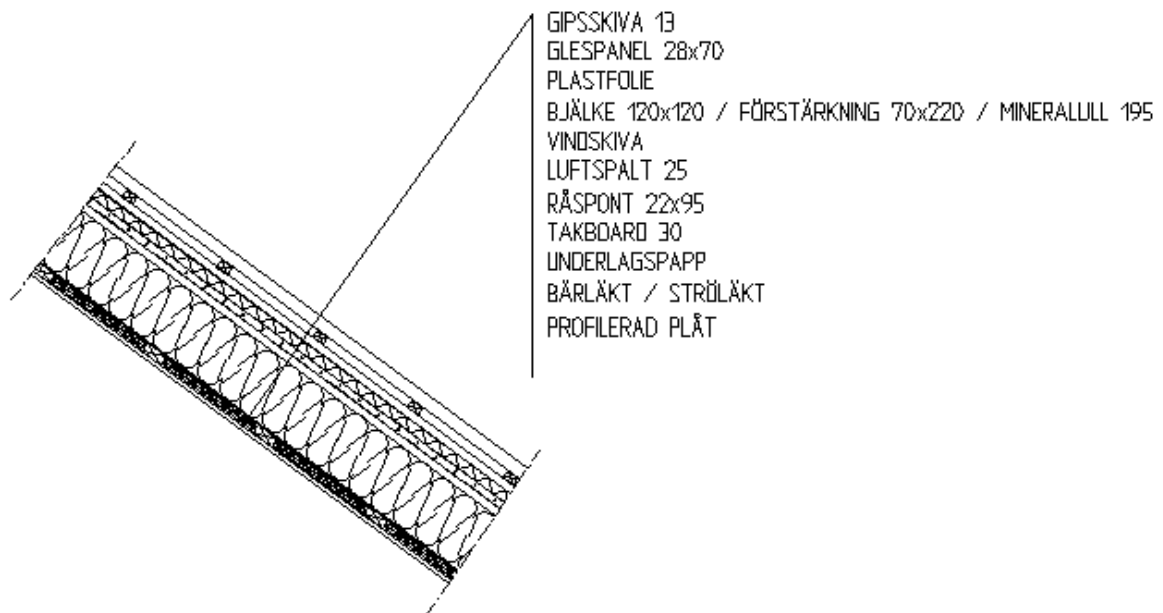
6.2.3 Konstruktionsdelar

Eftersom vindsbjälklaget efter ombyggnad vetter mot inomhustemperatur modelleras golvet i modellen som en konstruktionsdel med mycket lågt U-värde. På så sätt minimeras transmissionen genom bjälklaget vilket bättre överensstämmer med verkligheten efter ombyggnad. Denna lösning appliceras på båda lösningsförslagen.

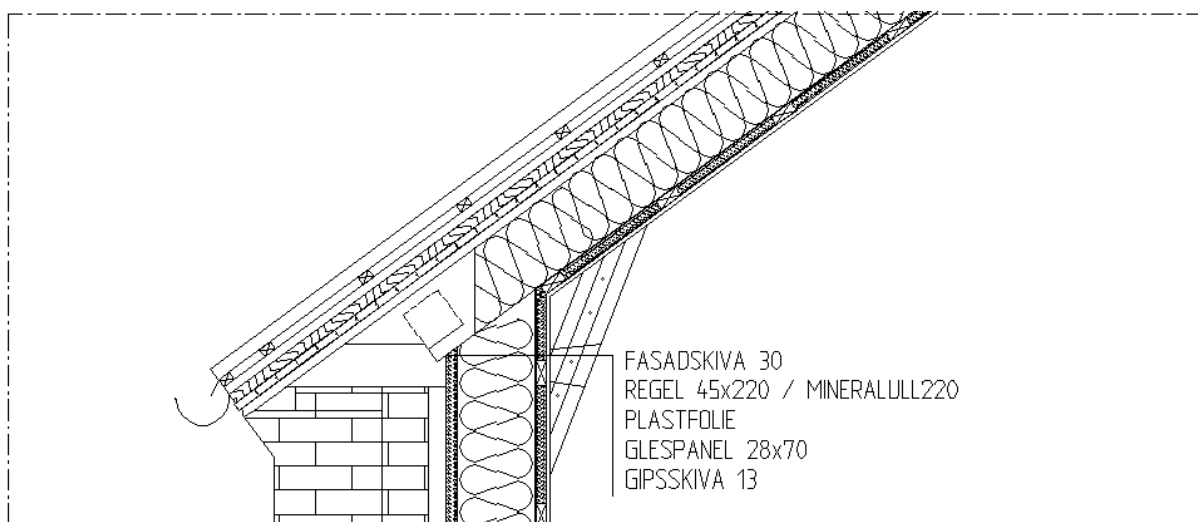
Väggarna och taket i modellerna har olika egenskaper beroende på placeringen i byggnaden samt vilket av lösningsförslagen som simuleras. Alla U-värden och materialegenskaper för byggnadsdelarna presenteras i Bilaga G. I modellen byggs väggarna upp med materialegenskaper som liknar de valda lösningsförslagen och som gemensamt skapar det U-värde som räknats fram för varje konstruktionsdel i Bilaga G. U-värdena för byggdelarna visas i Tabell 6-3. Om värdena i tabellen jämförs med de U-värden för byggdelar som BBR ställer krav på upptäcks att parallelltaket i lösningsförslag 1 inte klarar kravet på 0.13 W/m²K. Detta beror på att isoleringsmängden begränsas av den befintliga takstolen. Nedan presenteras även bilder på de byggdelar där U-värden räknats fram.

Tabell 6-3: U-värden för byggdelar i IDA Ice.

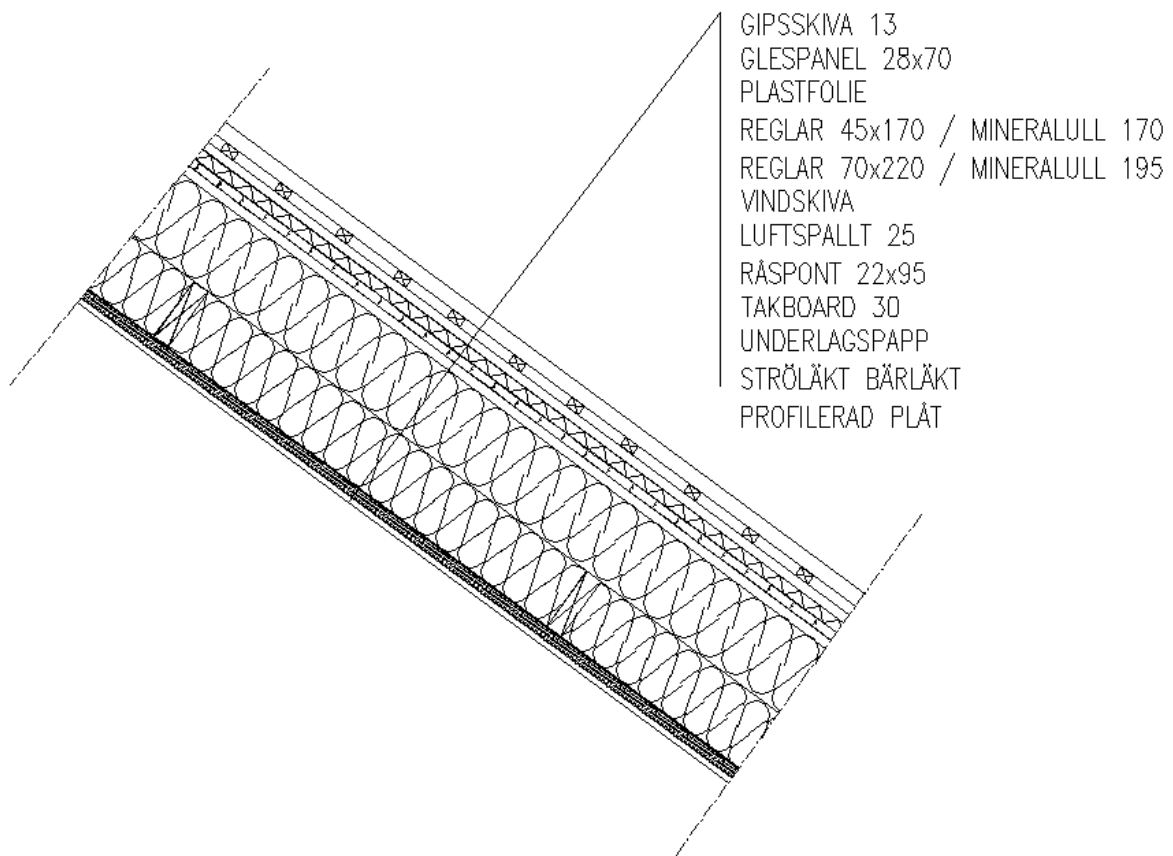
Byggdel	U-värde [W/(m ² K)]
Parallelltak, lösningsförslag 1	0.20
Yttervägg mot takfot, lösningsförslag 1	0.17
Parallelltak, lösningsförslag 2	0.11
Yttervägg mot takfot, lösningsförslag 2	0.12



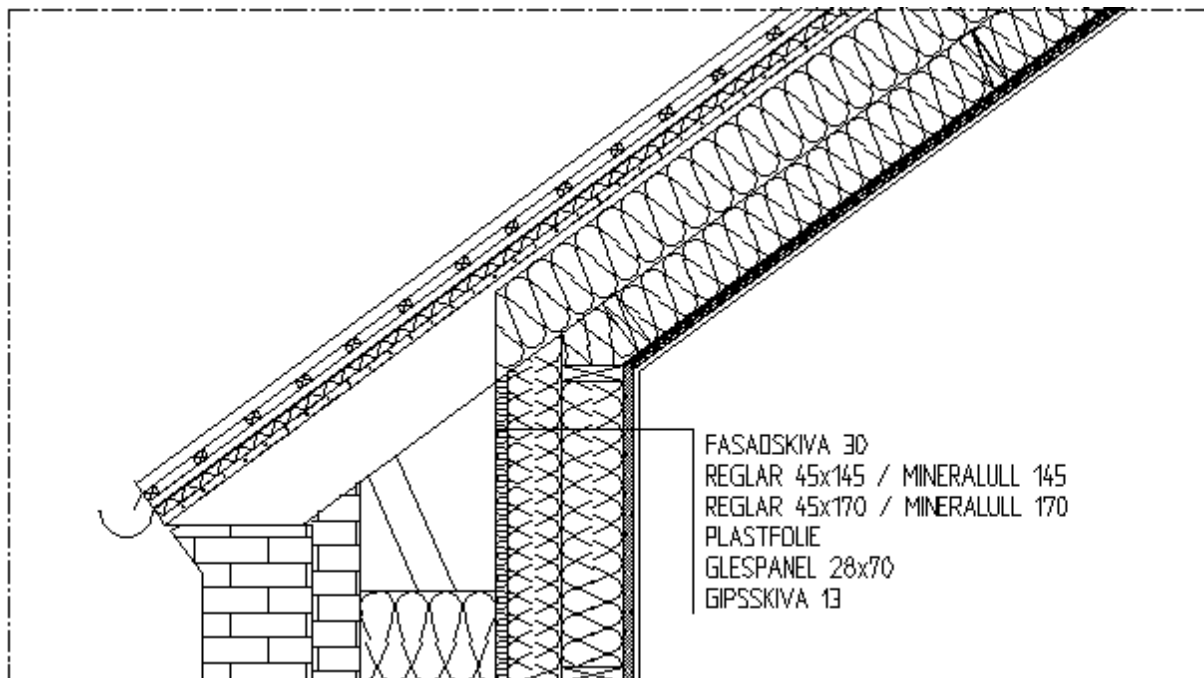
Figur 6-6: Parallelltak lösningsförslag 1. U-värde 0.2 W/m²K.



Figur 6-7: Yttervägg mot takfot, lösningsförslag 1. U-värde 0.17 W/m²K.



Figur 6-8: Parallelltak, lösningsförslag 2. U-värde 0.11 W/m²K.

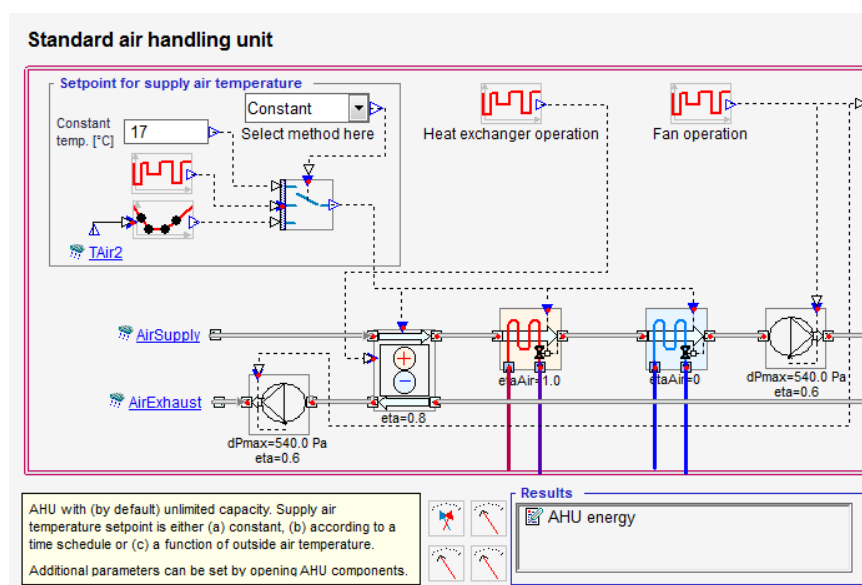


Figur 6-9: Yttervägg mot takfot, lösningsförslag 2. U-värde 0.12 W/m²K.

6.2.4 Byggnadssystem

Ventilation

Ventilationen i vindsutrymmets lägenheter utformas som ett FTX-system med en årsmedeltemperaturverkningsgrad på 80 %. Flödena till varje lägenhet och trapphus har beräknats enligt Svebys brukarindata för bostäder (SVEBY, 2012). Figur 6-10 visar hur luftbehandlingssystemet i de båda lösningförslagen är utformat. Figuren visar även att tilluftstemperaturen satts till 17 °C, därefter höjs temperaturen med 1 °C av värmen från fläkten. Specific Fan Power, SFP talet, har satts till 0.9 kW/(m³/s) för vardera tillufts- och frånluftsfläkt i båda lösningförslagen.



Figur 6-10: Lufthanteringssystem i lösningförslag 1 och 2.

Minsta ventilationsflöde enligt kraven i BBR 22 är 0,35 l/s,m². Enligt Enberg (2015) bör dock ventilationen ökas till 25 l/s och lägenhet för att föra bort föroreningar från kök och badrum. Eftersom varje lägenhet är olika stor ger detta olika flöden per kvadratmeter. Trapphusen har endast frånluftsventilation med flöde enligt kraven, 0,35 l/s,m². Även det rum som på vinden tillhör etagelägenheten ventileras med 0,35 l/s,m² eftersom rummet inte innehåller varken kök eller badrum. I Tabell 6-4 och Tabell 6-5 redovisas alla ventilationsflöden för den lägenhetsinredda vinden.

Tabell 6-4: Ventilationsflöden för lösningsförslag 1, förstärkt takstol.

Utrymme	A _{temp} [m ²]	Flöde [l/s,m ²]	Flöde [l/s]
Lägenhet 1	40,6	0,62	25
Lägenhet 2	45,5	0,55	25
Lägenhet 3	50,6	0,49	25
Lägenhet 4	42,9	0,58	25
Lägenhet 5	30,7	0,81	25
Lägenhet 6	39,5	0,63	25
Rum i etagelägenhet	32,6	0,35	11,4
Trapphus 1	9,4	0,35	3,3
Trapphus 2	10,8	0,35	3,8
Trapphus 3	10,9	0,35	3,8
Trapphus 4	10,5	0,35	3,7

Tabell 6-5: Ventilationsflöden för lösningsförslag 2, ny takstol.

Utrymme	A _{temp} [m ²]	Flöde [l/s,m ²]	Flöde [l/s]
Lägenhet 1	31,4	0,80	25
Lägenhet 2	35,4	0,71	25
Lägenhet 3	41,3	0,61	25
Lägenhet 4	32,2	0,78	25
Lägenhet 5	23,4	1,07	25
Lägenhet 6	30,1	0,83	25
Rum i etagelägenhet	32,6	0,35	11,4
Trapphus 1	9,4	0,35	3,3
Trapphus 2	10,8	0,35	3,8
Trapphus 3	10,9	0,35	3,8
Trapphus 4	10,5	0,35	3,7

Innetemperatur

I Svebys brukarindata för bostäder rekommenderas en inomhustemperatur på 21 grader (SVEBY, 2012). I IDA Ice anges denna temperatur därför som lägsta innetemperatur för lägenheterna. Eftersom ingen uppehåller sig under längre tidsperioder i trapphusen behöver inomhustemperaturen inte vara lika hög där. Inomhustemperaturen i trapphusen sätts därför till 18 °C.

Vädringspåslag

Eftersom programmet inte tar hänsyn till eventuell vädring, som görs av brukarna, måste detta inkluderas manuellt. Sveby rekommenderar ett schablonpåslag på 4 kWh/m²,år på framräknad energianvändning (SVEBY, 2012). Detta påslag görs i resultatsammanställningen.

Personvärme

När det gäller personvärme föreslås 80 W/person som ett skäligt värde för avgiven effekt. Antalet personer i en bostad varierar beroende på antalet rum i bostaden, se Tabell 6-6. Eftersom vinden efter ombyggnad på Clara 13 består av lägenheter med ett rum och kök innebär detta att 1,42 personer finns i varje bostad. Närvarotiden för dessa personer är enligt Sveby 14

h/dygn (SVEBY, 2012). I trapphusen modelleras inga personer eftersom värmestillskottet från dessa troligtvis vädras ut vid öppning av ytterdörren.

Tabell 6-6: Antal personer fördelat på lägenhetsstorlek (SVEBY, 2012).

Lägenhet	1 rok	2 rok	3 rok	4 rok	5 rok	6+ rok
Personer	1.42	1.63	2.18	2.79	3.51	3.51

Fastighetsel

Det värde för fastighetsel som återfås i IDA Ice anses inte vara representativt för den verkliga fastighetselen eftersom modellen inte innehåller några radiatorer, och därmed inga pumpar som drar el. Fastighetselen beräknas därför separat och läggs till resultatet i efterhand. För ett flerbostadshus ligger fastighetselen runt ett medelvärde på 12 kWh/m² (Levin, 2008).

Hushållsel

Hushållselen ingår inte i en byggnads specifika energianvändning, men ska anges i IDA Ice för att kunna tillgodoräkna en del av denna energi till internvärme. Rekommenderat inmatningsalternativ är 30 kWh/m²,år för ett flerbostadshus. 70 % av denna energi kan sedan tillgodoräknas som internvärme (SVEBY, 2012). En förenkling har gjorts i modellen genom att all hushållsel modellerats som apparater (Equipment). På detta sätt är det lätt att föra in det rekommenderade värdet på 30 kWh/m²,år som energianvändning för apparater. Figur 6-11 visar inmatningen av hushållsel i IDA Ice. I trapphusen modelleras ingen belysning eller apparater. Anledningen till detta är att trapphusens elektriska apparater ska räknas som fastighetsel, denna läggs till i efterhand.

Name	Group	Floor height, m	Room height, m	Floor area, m2	Heat setp, °C	Cool setp, °C	AHU	System	Supply air, L/(s.m2)	Return air, L/(s.m2)	Occup., no./m2	Lights, W/m2	Lights, kWh/m2	Equipment, W/m2	Equipment, kWh/m2
Etagelägenhet		11.2	2.6	32.63	21	25	Air Ha...	CAV	0.35	0.35	0.09264	0.0	0.0	3.5	30.66
Lägenhet 1		11.2	2.6	31.38	21	25	Air Ha...	CAV	0.8	0.8	0.04525	0.0	0.0	3.5	30.66
Lägenhet 2		11.2	2.6	35.41	21	25	Air Ha...	CAV	0.71	0.71	0.0401	0.0	0.0	3.5	30.66
Lägenhet 3		11.2	2.6	41.3	21	25	Air Ha...	CAV	0.61	0.61	0.03438	0.0	0.0	3.5	30.66
Lägenhet 4		11.2	2.6	32.18	21	25	Air Ha...	CAV	0.78	0.78	0.04413	0.0	0.0	3.5	30.66
Lägenhet 5		11.2	2.6	23.44	21	25	Air Ha...	CAV	1.07	1.07	0.06058	0.0	0.0	3.5	30.66
Lägenhet 6		11.2	2.6	30.12	21	25	Air Ha...	CAV	0.83	0.83	0.04714	0.0	0.0	3.5	30.66
Trapphus		11.2	2.6	9.446	18	25	Air Ha...	CAV	0.35	0.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Trapphus 2		11.2	2.6	10.78	18	25	Air Ha...	CAV	0.35	0.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Trapphus 3		11.2	2.6	10.89	18	25	Air Ha...	CAV	0.35	0.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Trapphus 4		11.2	2.6	10.47	18	25	Air Ha...	CAV	0.35	0.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total/m2									0.6588	0.6588	0.04306	0.0	0.0	2.957	25.9

Figur 6-11: Inmatning av hushållsel i IDA Ice.

Värmesystem

Uppvärmningen i Clara 13 sker i dagsläget med fjärrvärme, via radiatorer. Detta värmesystem behålls även efter ombyggnaden. I modellen för IDA Ice används ett idealt uppvärmningssystem med fjärrvärme. Ett idealt värmesystem innebär ett uppvärmningssystem med fjärrvärme men utan effektbegränsningar. Inga radiatorer placeras alltså ut.

Varmvattenförbrukning

Vanligtvis används 25 kWh/m² för att värma upp tappvarmvattnet och 20 % av denna energi kan tillgodoräknas som internvärme i programmet (SVEBY, 2012). Eftersom denna faktor är känd används inte det värde som fås i simuleringen av IDA Ice. Istället läggs 25 kWh/m² på resultatet i efterhand.

Lufttäthet

Även lufttätheten ska väljas i modellen för IDA Ice. Hur stor denna faktor bör vara är svårt att avgöra, speciellt vid en ombyggnad där anslutningarna mellan gamla och nya byggdelar blir avgörande. Ett exempel på anslutningar som blir svåra att få lufttäta är de mellan stödbenen och ytterväggen i lösningsförslag 1. En dålig tätning av dessa anslutningar kan skapa luftflöden som ökar energianvändningen. Otätheterna kan även skapa fuktproblem på grund av fuktig inomhusluft som tar sig till kallare delar i konstruktionen. Med detta som bakgrund valdes lufttätheten 0.6 l/s,m^2 för lösningsförslag 1 och 0.4 l/s,m^2 för lösningsförslag 2.

Skuggande byggnader

Även skuggande byggnader i närheten av Clara 13 har satts ut i modellen. Dessa byggnader minskar framförallt solinstrålningen till Clara 13. I IDA Ice modelleras de skuggande byggnaderna som stora väggar med angivna höjder.

Klimatdata

I modellen för Clara 13 har en klimatdatafil för Malmö/Sturup använts. Vindprofilen i programmet har satts till urbant läge eftersom byggnaden ligger centralt i Malmö.

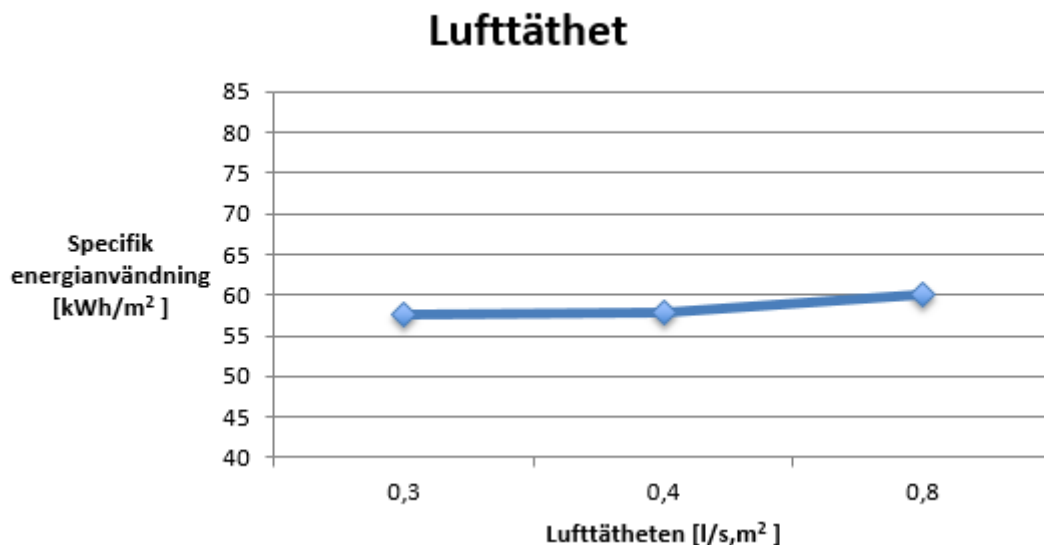
6.3 Parameterstudie IDA Ice

För att avgöra hur olika parametrar påverkar resultatet i IDA Ice görs en parameterstudie. I parameterstudien kontrolleras några av de parametrar som anses vara viktiga vid en vindsombyggnad. Parameterstudien har gjorts med lösningsförslag 2 som referensvärde.

6.3.1 Lufttäthet

Luftläckaget, oms/h, varierar stort från byggnad till byggnad samt noggrannheten i utförandet av en byggnads detaljer. BBR hade fram till 2006 ett krav på maximalt luftflöde genom bostäders klimatskärm ($0,8 \text{ l/s,m}^2$). I dagens BBR 22 finns inga krav på lufttäthet (SP, 2007). Vid byggandet av passivhus finns dock krav maximalt luftläckage ($0,3 \text{ l/s,m}^2$ vid en tryckskillnad på 50 Pa) (Sveriges centrum för nollenergihus, 2012).

Eftersom lufttätheten i en byggnad, speciellt vid ombyggnad, kan vara både svår att mäta och ställa krav på görs en parameterstudie på hur denna faktor påverkar slutresultatet i IDA Ice. Intervallet som parametern är satt att variera mellan är $0,3\text{-}0,8 \text{ l/s,m}^2$. Valet av intervallvärden baseras dels på det lufttäthetskrav som finns för passivhus, dels på det BBR-krav som förut fanns för nybyggnader.



Figur 6-12: Energianvändningen beroende av lufttäteten.

Lufttätetens inverkan på energianvändningen är liten, men märkbar. Parametern kan alltså vara bra att tänka på, speciellt vid finjustering av energioptimerade klimatskal. Resultaten presenteras i Figur 6-12.

6.3.2 Ventilation

Ventilationsflödena i en byggnad varierar stort beroende på bostädernas storlek samt andelen kök och badrum. Eftersom alla bostäder på vinden i Clara 13 är relativt små, och innehåller både kök och badrum, blir ventilationsflödena per kvadratmeter stora. Minsta och största flöde i parameterstudien har därför baserats på de minimikrav som ställs i BBR 22 samt de rekommenderade flödena för badrum och kök enligt Håkan Enbergs "*Minimikrav på luftväxling*".

Minimikrav enligt BBR 22: 0.35 l/s,m^2 (Boverket, 2015 c)

Rekommenderade flöden för lägenheter (Enberg, 2015):

Kök: 10 l/s

Badrum: 15 l/s

Totalt: 25 l/s per lägenhet

Trapphusens ventilationsflöde sätts till minimikravet på $0,35 \text{ l/s,m}^2$. Trapphusen har en gemensam area på cirka 40 m^2 . Nedan presenteras hur de ventilationsvärden som valts beräknats.

Maximalt ventilationsvärde (rekommenderade flöden):

25 l/s per lägenhet (6st)

0.35 l/sm^2 (73 m^2 trapphus + etagelägenhet)

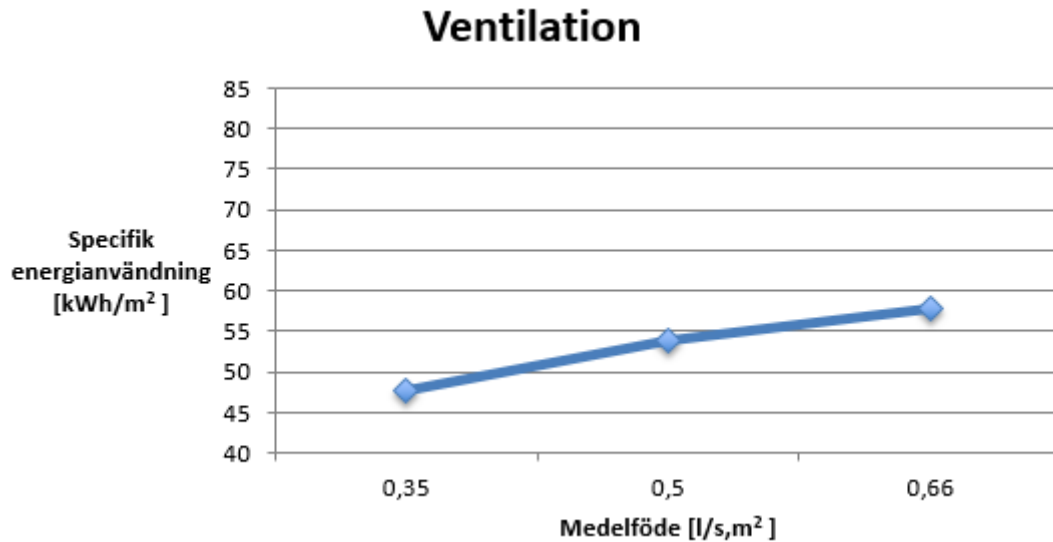
= 0.66 l/s,m^2

Minimalt ventilationsvärde:

0.35 l/sm^2 (268 m^2 totalt)

Medelvärde:

$$(0.66 + 0.35)/2 = 0.50 \text{ l/s,m}^2$$



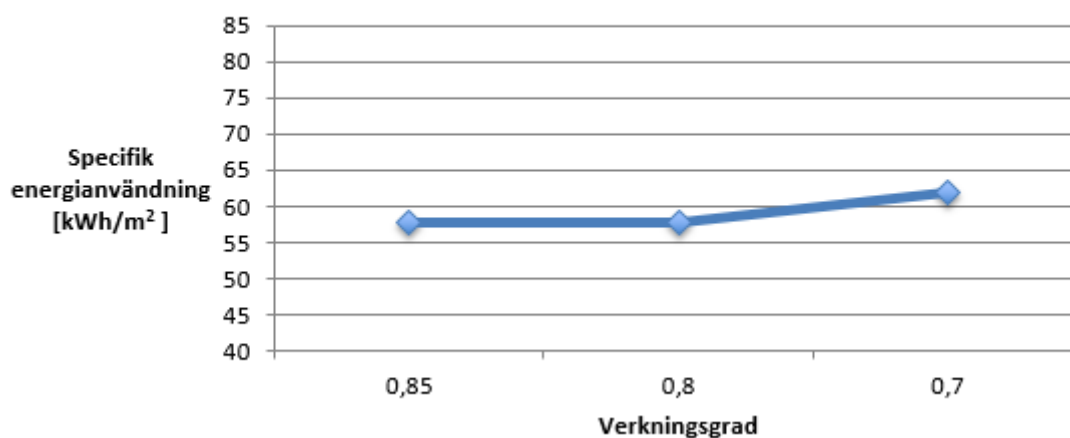
Figur 6-13: Energianvändningen beroende av ventilationen.

Ventilationens inverkan på energianvändningen märks tydligt, se Figur 6-13. Skillnaden mellan minimiflödet enligt BBR och de rekommenderade flödena enligt Enberg (2015) är stora, hela 10 kWh/m². När det kommer till små bostäder blir den extra energianvändningen extra tydlig. Detta beror på att de rekommenderade flödena gäller per lägenhet vilket gör att flödet, och därmed energianvändningen, blir stort per m².

6.3.3 Årsmedeltemperaturverkningsgrad för ventilationens värmeväxlare

Ventilationssystemet på vinden i Clara 13 förväntas bli ett FTX-system. Verkningsgraden på värmeväxlaren i denna typ av system varierar beroende på tillverkare och modell, därför görs en parameterstudie även för verkningsgraden i värmeväxlaren. Värdet antas variera mellan 70-85 %.

Verkningsgrad för värmeväxlare

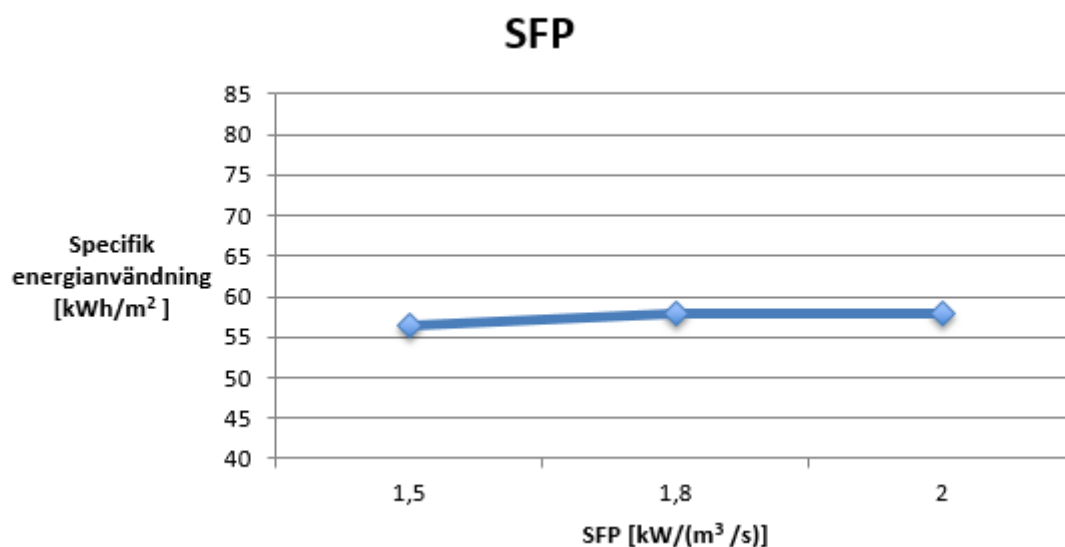


Figur 6-14: Energianvändningen beroende av värmeväxlarens verkningsgrad.

Som väntat ger en förbättrad verkningsgrad på värmeväxlaren en förminskad energianvändning, se Figur 6-14. En förbättring av verkningsgraden till mer än 80 % verkar dock inte ge några synbara utslag.

6.3.4 Specifik fläkteffekt, SFP

Specifik fläkteffekt, SFP, definieras som summan av eleffekten för samtliga fläktar i ventilationssystemet dividerat med största till- eller frånluftsflödet. Enligt BBR 22 bör inte SFP överskrida 2.0 kW/(m³/s) (Boverket, 2015 c). Parameterstudien har gjorts med ett SFP i intervallet 1.5-2.0 kW/(m³/s).

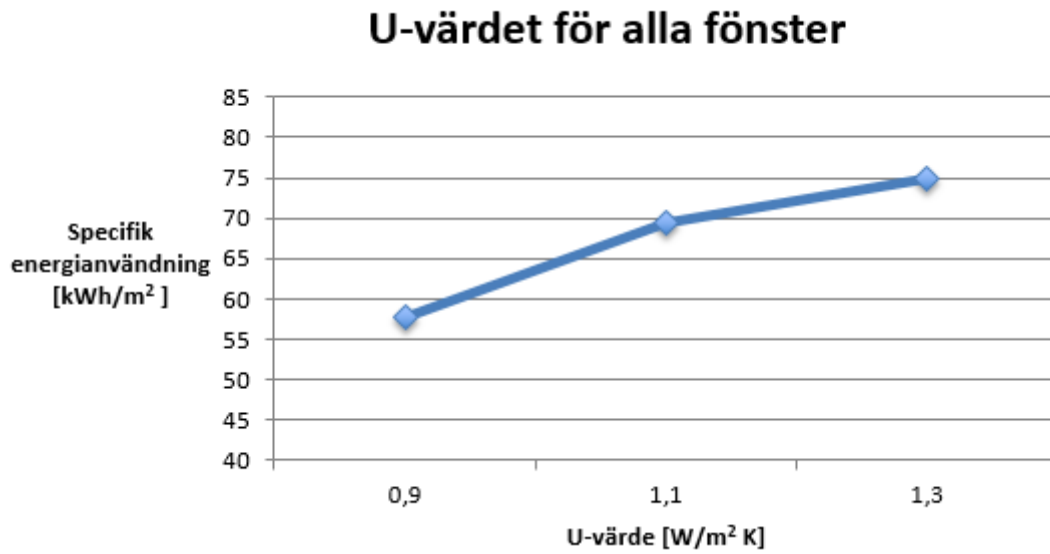


Figur 6-15: Energianvändning beroende av fläktarnas SFP-tal.

Fläktarnas SFP-tal kan enligt Figur 6-15 hjälpa till att förbättra energianvändningen något. Även denna parameter ger dock små utslag vilket innebär att den bör användas som en parameter för att finjustera resultat.

6.3.5 U-värden för fönster

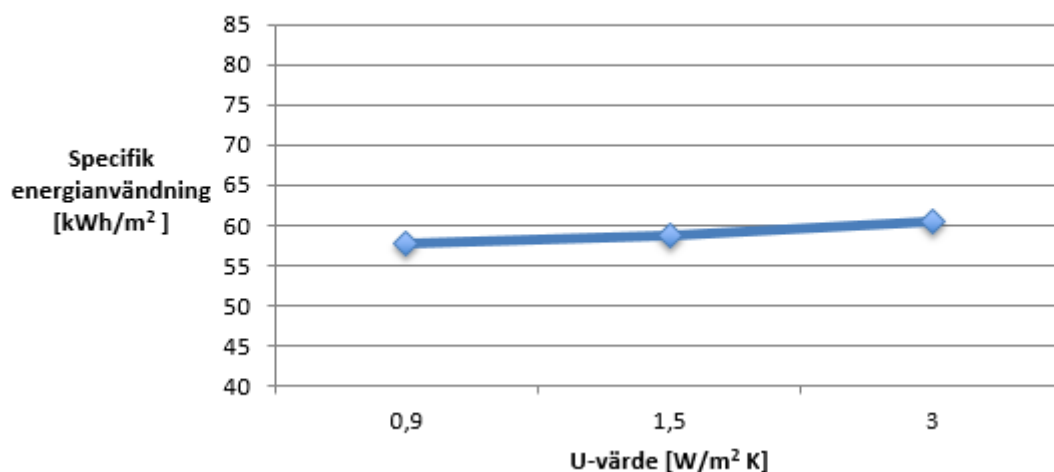
De två fönster som finns på vinden i nuläget sitter i den befintliga takkupan till etagelägenheten. Dessa fönster skulle vid en ombyggnad av vinden troligtvis bytas ut. För att kontrollera skillnaden ett utbyte skulle kunna göra för energianvändningen på vinden görs en parameterstudie. Första alternativet visar ett utbyte till fönster med U-värde $0.9 \text{ W/m}^2\text{K}$, i andra alternativet byts de ut till fönster med U-värde $1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tredje alternativet visar resultatet om originalfönstren behålls. De resterande fönstren på vinden nytillverkas, därför varierar U-värdet på dessa mellan $0.8\text{-}1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Figur 6-16: Energianvändning beroende på alla fönsters U-värde.

Att ändra U-värdet på fönsterna i en byggnad ger som Figur 6-16 visar en stor förändring i resultatet. Viktigt att påpeka är att U-värdets inverkan beror på andelen fönster i byggnaden. Detta visar på att fönsterna kan vara ett bra ställe att börja på vid energieffektivisering av en befintlig byggnad. Det är dock viktigt att påpeka ett byte av alla fönster i en byggnad kan ge större negativ miljöpåverkan ur ett rent resursmässigt perspektiv. Åtgärden kan även vara väldigt kostsam.

U-värdet för fönster i befintlig takkupa

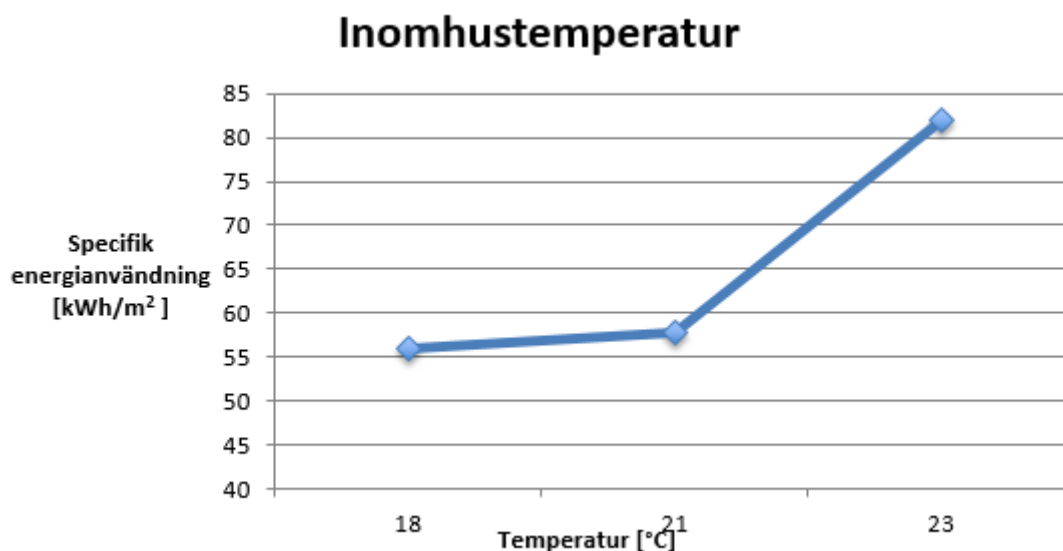


Figur 6-17: *Energianvändning beroende på befintliga fönsters U-värde.*

Figur 6-17 visar inverkan av att byta de två befintliga fönsterna på vinden. Resultatet visar att även ett byte av endast två fönster får effekt på hela byggnadens resultat.

6.3.6 Inomhustemperatur

Inomhustemperaturen beskriver rumsluftens medeltemperatur och är den temperatur som värmesystemet i byggnaden ska hjälpa till att hålla. Vid energiberäkningar rekommenderas ett värde på inomhustemperaturen till 21°C (SVEBY, 2012). För att undersöka hur stor inverkan inomhustemperaturen har på energianvändningen görs en parameterstudie där temperaturen varierar mellan 18-23 °C.



Figur 6-18: *Energianvändning beroende på inomhustemperaturen.*

En ökning av byggnadens inomhustemperatur visar sig ha störst inverkan på energianvändningen av alla parametrar, se Figur 6-18. Eftersom uppvärmning är en stor del av byggnadens

energianvändning bör en höjning av temperaturen rimligtvis ha en stor inverkan på den totala energianvändningen.

7 Analys av fukt i konstruktioner

För att undersöka om valda konstruktionslösningar utsätts för relativa fuktigheter som överstiger materialens fuktkritiska nivåer görs beräkningar i programmet WUFI. WUFI är ett datorberäkningsprogram som simulerar fukt- och värmetransporter i en uppbyggd konstruktionsmodell (WUFI, 2016). Med hjälp av programmet kan fuktkritiska konstruktioner upptäckas i tid, vilket gör att eventuella framtida skador kan förebyggas. Fuktsäkra konstruktioner leder således till både bättre inomhusmiljö och miljövänligare byggnader, eftersom onödig materialanvändning vid skadesaneringar undviks.

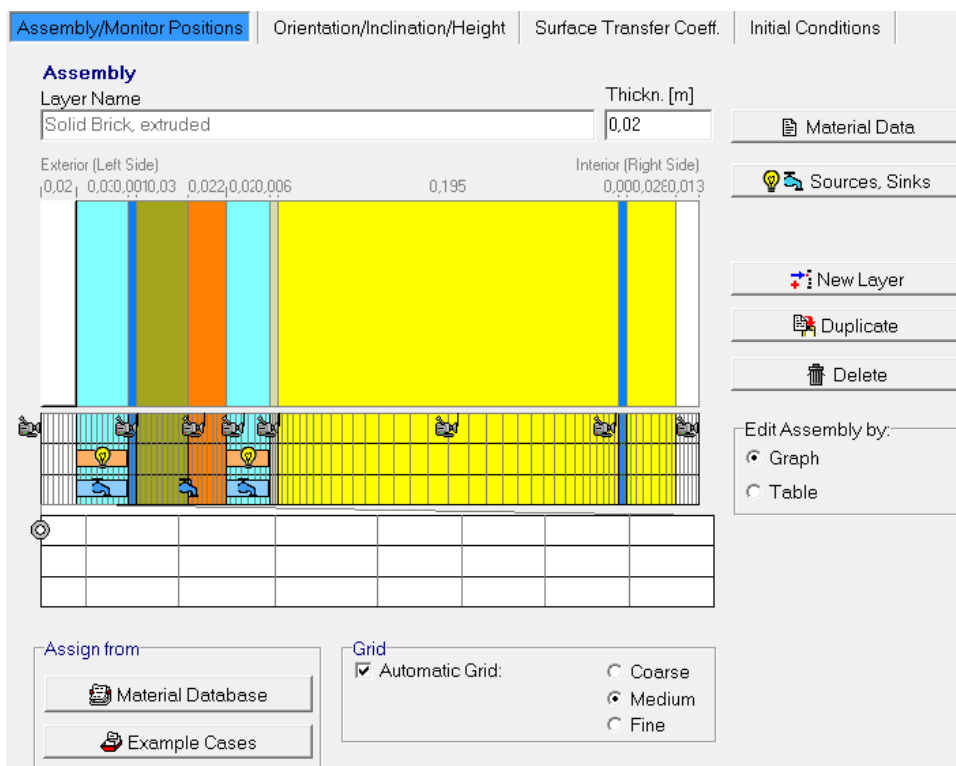
De två lösningsförslagen för Clara 13 har båda simulerats i WUFI för att säkerställa acceptabla fuktnivåer. De byggdelar som simulerats är parallelltaken och ytterväggarna. En parameterstudie har även gjorts för att kontrollera vilka parametrar som påverkar resultatet mest. Samtliga simuleringar har gjorts i 1D-versionen av WUFI.

7.1 Simulering i WUFI - Lösningsförslag 1

Lösningsförslag 1 innebär att den befintliga takstolen behålls. Konstruktionen i detta lösningsförslag blir således tunnare än en modern takkonstruktion. Eftersom konstruktionen, både i ytterväggarna och i parallelltaket, innehåller mycket trämaterial är det viktigt att säkerställa fuktsäkerheten för att undvika problem med till exempel mögel.

7.1.1 Modellering av parallelltak

Figur 7-1 visar modelleringen av parallelltaket i WUFI. De olika materialen illustreras av de olika färgerna och kamerorna i bilden illustrerar de mätpunkter som används för simuleringen. Förutom material kan även speciella fuktkällor, läckage och luftomsättningar läggas in i modellen. Det aktuella parallelltaket har två luftspalter med en viss luftomsättning samt ett inlagt läckage på råsponen.



Figur 7-1: Modellering av parallelltak i WUFI, lösningsförslag 1.

Vid val av material till modellen måste en rad förenklingar göras eftersom inte alla material finns representerade i programmet. I dessa fall väljs material som, i så stor utsträckning som möjligt, har samma egenskaper som verkligheten. Taktäckningen, som i verklig konstruktion består av plåttak upplagd på bär- och ströläckt, modelleras i aktuellt fall som tegelpannor med underliggande luftspalt eftersom plåttak inte finns som alternativ i WUFI. Tegelpannorna har högre porositet och lägre diffusionsmotstånd än plåt. Detta innebär att mer vatten kan ta sig genom taktäckningen i modellen än i verkligheten vilket ger ett resultat på säkra sidan. Tegelpannorna har dock även högre värme- och fuktkapacitet än plåt, vilket troligen också påverkar resultatet. Modellering av taket med tegelpannor ger alltså inte ett helt verklighetstroget resultat. Alla material och deras egenskaper presenteras i Tabell 7-1.

Tabell 7-1: Material i parallelltak, lösningsförslag 1.

Material i WUFI-modell	Tjocklek [mm]	Densitet [kg/m ³]	Porositet [m ³ /m ³]	Värme-kapacitet [J/kgK]	Värme-konduktivitet [W/mK]	Diffusions-motståndsfaktor [-]
Solid brick, extruded	20	1630	0,35	850	0,6	9,5
Air layer, 30mm	30	1,3	0,999	1000	0,18	0,46
PVC roof membrane	1	1000	0,0002	1500	0,16	15000
Roxul Con-Rock	30	146	0,95	850	0,033	1,2
Scandinavian spruce transverse direction	22	420	0,75	1600	0,13	50
Air layer, 25mm	25	1,3	0,999	1000	0,155	0,51
Wood-fibre insulation board 1	6	168	0,88	1700	0,038	3,3
Mineral wool	195	60	0,95	850	0,04	1,3
Vapour retarder (Sd=100m)	1	130	0,001	2300	2,3	100000
Mineral wool	28	60	0,95	850	0,04	1,3
Gypsumboard, interior	13	625	0,73	850	0,2	8,33

Solid brick, extruded

Tegelskiktet är en förenkling av den aktuella taktäckningen med plåt. Skiktet modelleras till en tjocklek som motsvarar en tegelpanna.

Air layer, 30 mm

Det första luftlagret är tänkt att representera luftspalten som bildas under plåttaket. I denna luftspalt kommer troligtvis en god luftväxling finnas, därför har en luftomsättning på 100 oms/h använts i modellen.

PVC roof membrane

Detta lager representerar underlagspappen på taket och bör därför ha ett högt motstånd mot diffusion samt låg porositet.

Roxul ConRock

För att undvika att kondens sker på råsponten läggs ett isolerande skikt av takboard. Denna board håller råsponten varmare och sänker den relativa fuktigheten.

Scandinavian spruce transverse direction

Råspont, som görs av gran, modelleras även i WUFI som gran (spruce). I råsponten modelleras ett läckage på 0.1 % av slagregnmängden enligt RäknaF (Fuktcentrum, 2013).

Air layer, 25mm

Luftspalten i konstruktionen är 25 mm bred. I denna sätts en luftomsättning på 30 oms/h vilket kan anses rimligt i ett parallelltak (Mundt-Petersen, 2015).

Wood-fibre insulation board 1

För att hindra att luftströmmarna i luftspalten går genom mineralullen sätts en board i det yttersta skiktet. Boarden representerar den wellpappsskiva som sitter i luftspalten.

Mineral wool

Isoleringen av parallelltaket görs med mineralull. I verkligheten består detta skikt även av en hel del trä. Eftersom det inte är möjligt att lägga in ett icke-homogent skikt i WUFI förenklas dock detta till endast mineralull.

Vapour retarder (S_d=100m)

Plastfolien bakom glespanelen i taket modelleras med ett högt motstånd för diffusion. S_d-värdet på materialet anger hur ångtätt materialet är angivet i meter. Eftersom plastfolien är väldigt ångtät väljs en plastfolie i WUFI med S_d-värdet 100m. En förenkling har gjorts i detta skikt eftersom inget läckage av inomhusluft har lagts till i modellen. För att få en mer tillförlitlig beräkning bör denna konvektion räknas med.

Mineral wool

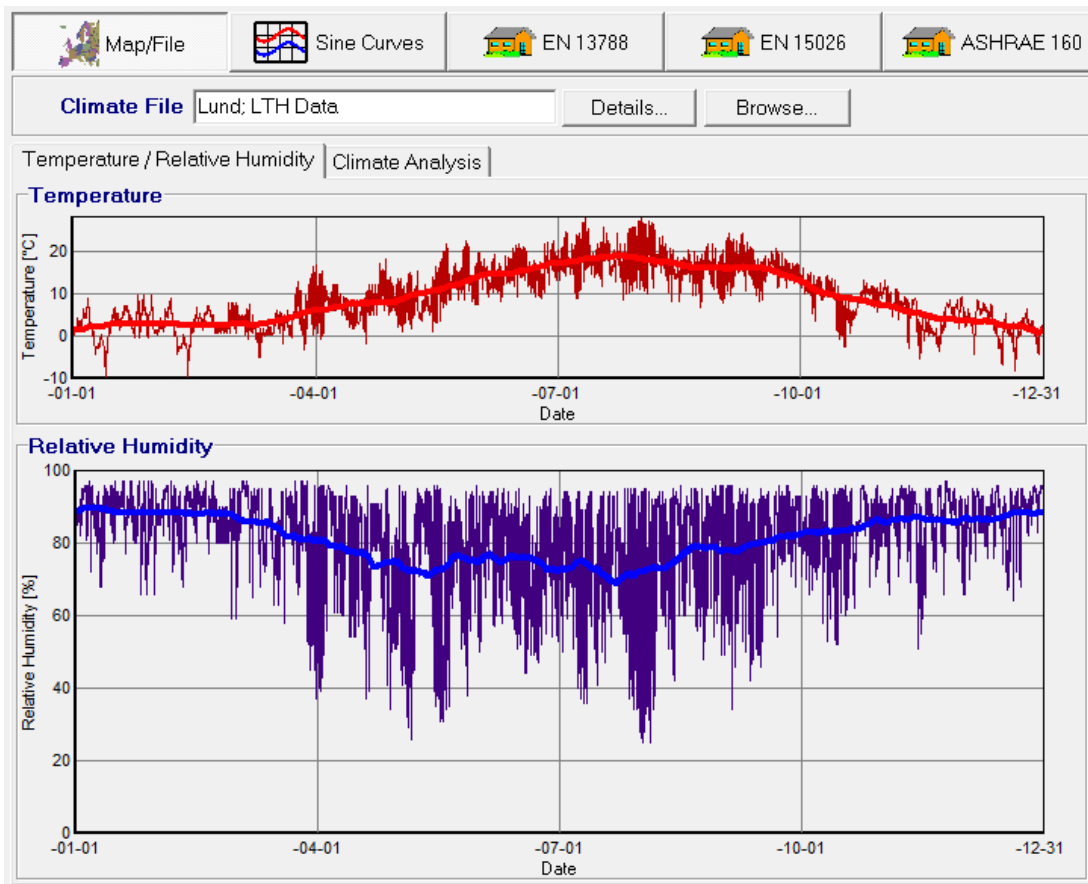
Mellan glespanelen läggs en tunn skiva mineralull. Denna skiva modelleras på samma sätt som det tjocka lager isolering längre in i konstruktionen.

Gypsumboard, interior

Sist och innerst i konstruktionen sitter gipsskivor. För dessa finns ett representativt material i WUFI.

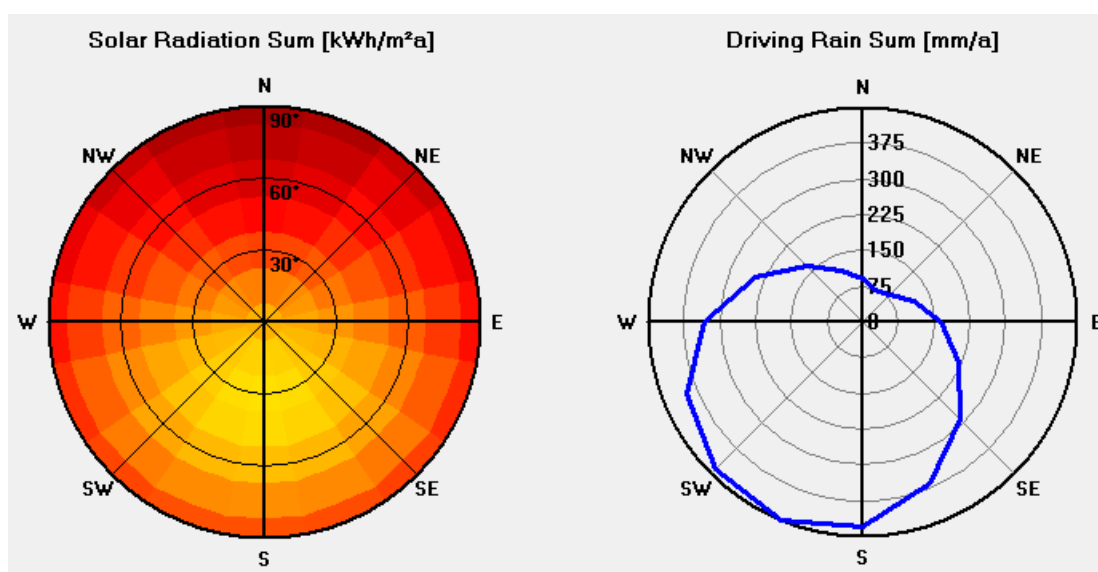
Klimatdata

Byggnaden är som nämnt belägen i Malmö. Vid modelleringen fanns dock ingen klimatdata för just Malmö. Därför användes en klimatfil för Lund som ersättning, denna anses vara representativ även för klimatet i Malmö. I Figur 7-2 visas en bild på utomhustemperaturen samt luftens relativa fuktighet i Lund under ett år.



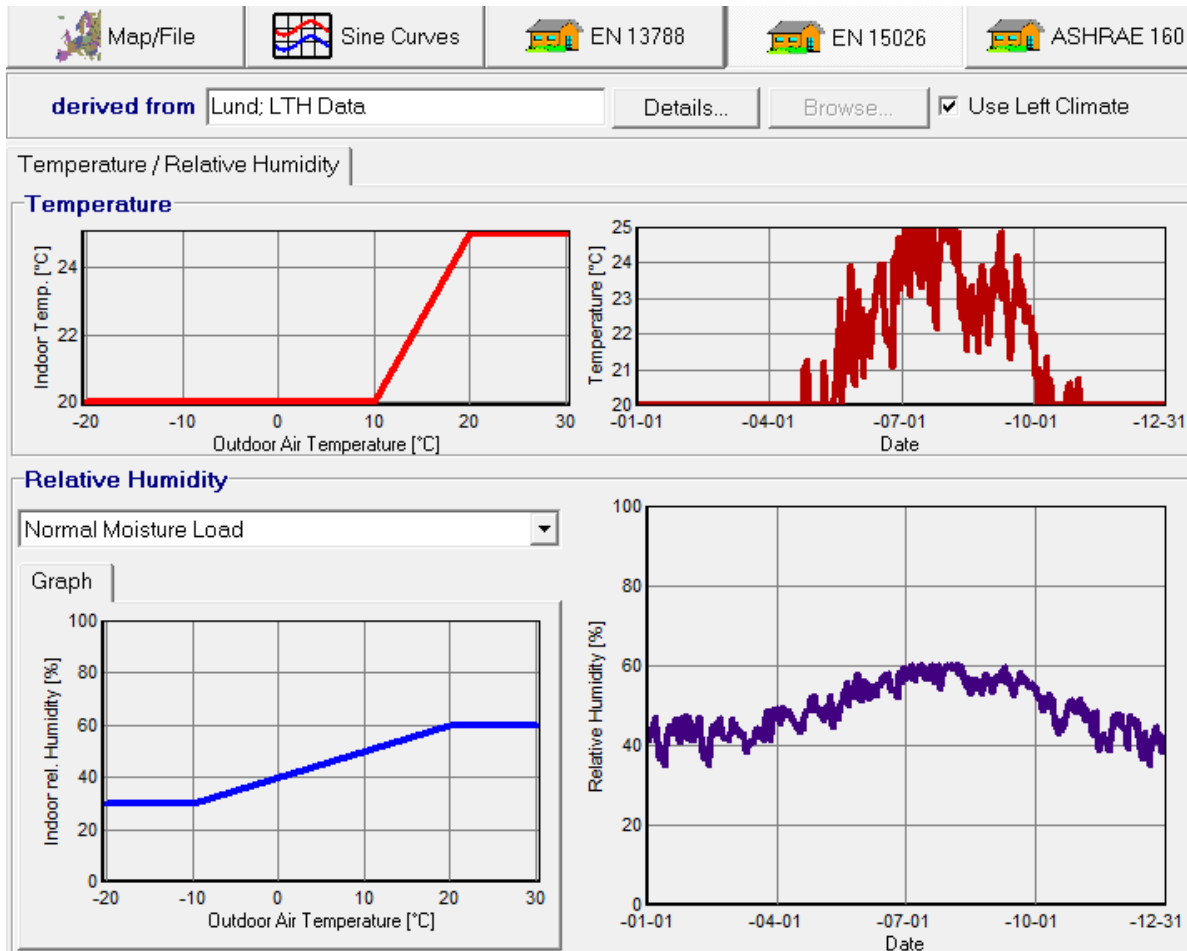
Figur 7-2: Klimatdata, ute. Utdrag ur WUFI.

Figur 7-3 visar hur mycket solinstrålning och slagregn som infaller vid olika riktningar och lutning på byggdelen. I figuren kan det observeras att solinstrålningen för en byggdel med lutningen 30 grader inte skiljer sig så mycket från norr till söder. Mängden solinstrålning skiljer sig dock betydligt mer för en helt vertikal byggdel. Grafen för slagregn visar att det i Lund kommer mest slagregn från riktningarna syd och sydväst.



Figur 7-3: Solinstrålning och slagregnmängd i Lund. Utdrag ur WUFI.

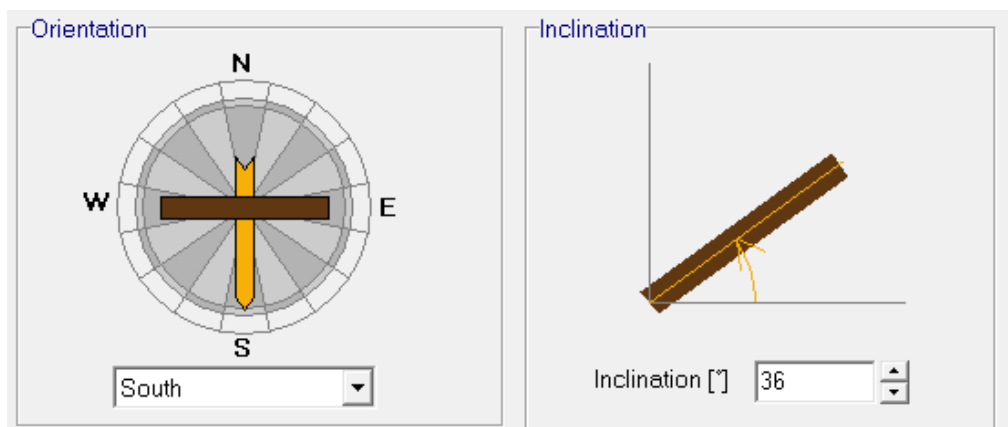
Inomhusklimatet kan i WUFI simuleras på tre olika sätt. Det första sättet, EN 13788, innebär att inomhustemperaturen hålls konstant medan olika fuktighetsklasser kan väljas för relativ fuktighet. I den andra varianten, EN 15026, varierar inomhustemperaturen som en funktion av utomhustemperaturen, den relativa fuktigheten varierar också som en funktion av utomhustemperaturen efter att en fuktbelastning (normal eller hög) valts. Det sista alternativet, ASHRAE 160, förutsätter Air conditioning och att mer information finns angående luftbehandlingssystemets parametrar. I aktuellt fall används EN 15026, se Figur 7-4.



Figur 7-4: Klimatdata för Lund, inne. Utdrag ur WUFI.

Orientering

Orienteringen på parallelltaket skulle kunna sättas till i princip vad som helst eftersom Clara 13 har tak i alla riktningar. För att kunna räkna på ett dimensionerande fall väljs dock riktningen söder. Anledningen till detta är att lutningen på taket gör att solinstrålningen inte skiljer sig så mycket åt beroende på väderstreck. Däremot kommer en betydligt större regnmängd från söder vilket gör att denna riktning på taket utsätts för större fuktbelastning och därmed anses vara dimensionerande.



Figur 7-5: Orientering av lösningsförslag 1.

Initialtillstånd

För att kunna köra simuleringen i WUFI krävs att initialtillstånden för de olika materialen anges. Bland annat anges vilken relativ fukthalt samt vilken temperatur konstruktionen har i simuleringens startläge. Aktuell konstruktion antas ha en initial relativ fuktighet på 80 % samt en temperatur på 20 grader genom alla skikt.

Beräkningsperiod

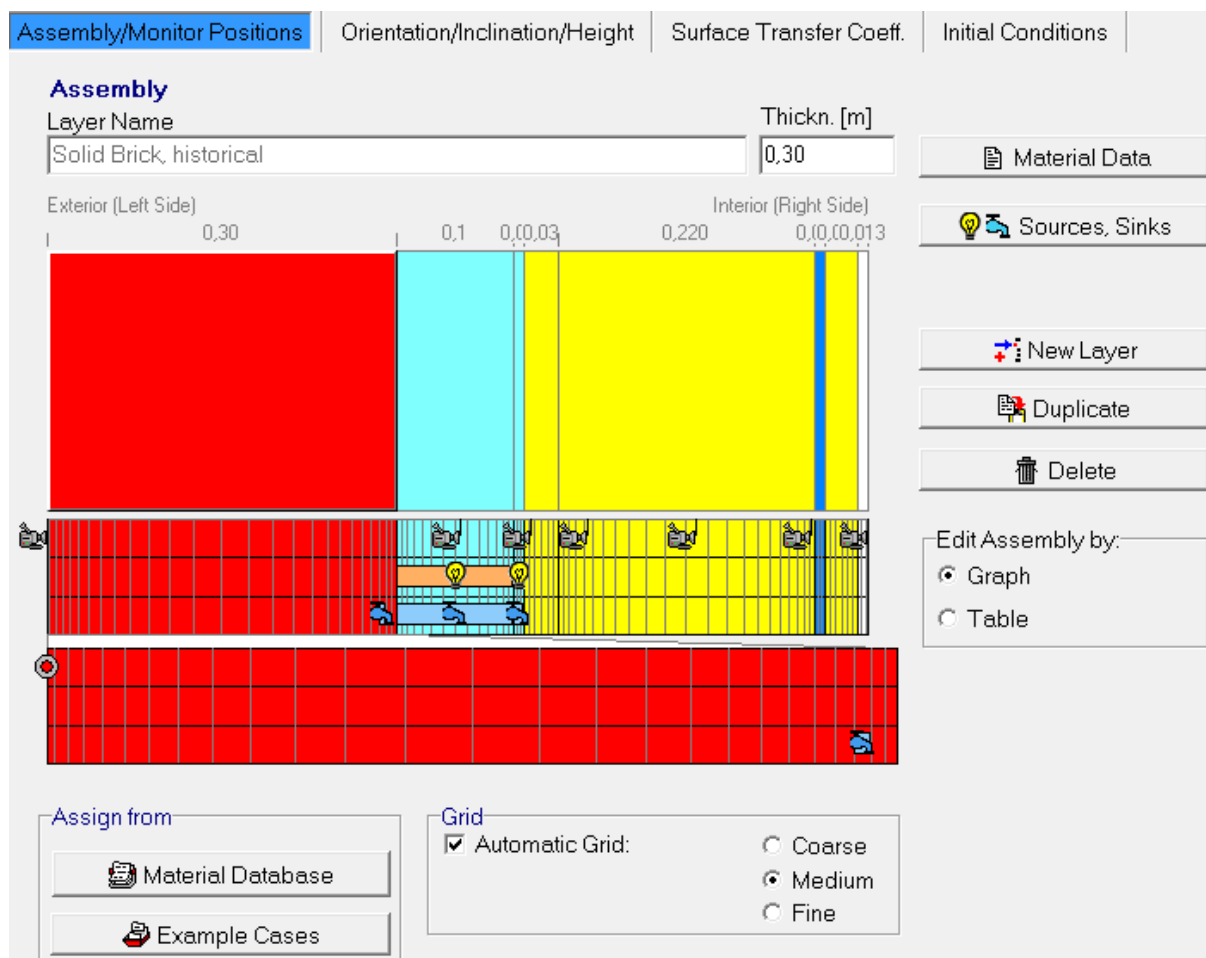
Simuleringen i WUFI görs över tre års tid. Genom att köra programmet över tre år får resultaten en bättre säkerhet och fukthalterna i konstruktionen hinner komma i jämvikt. När det gäller tidsstegen rekommenderas det i programvaran att sätta dessa mellan 10 min och 24 h vid fuktberäkningar. I aktuell beräkning valdes tidssteget 1h för att få en detaljerad simulering utan att programmet blir för långsamt.

7.1.2 Modellering av yttervägg mot tegelmur

I lösningsförslag 1, den förstärkta takstolen, byggs väggkonstruktionen så nära tegelmuren som möjligt för att synliggöra stödbenen. Detta leder till att luftspalten mellan väggen och tegelmuren blir relativt smal. Dessutom gör murpelarna att luftspalten bli ännu smalare på ställen där dessa förekommer. Murpelarna sitter med ett c/c-avstånd på 1.6m och är 400 mm breda. Detta innebär att ungefär 25 % av luftspalten blir smalare. För att förenkla modellen i WUFI görs ett medelvärde av de två luftspaltsbredderna.

$$\text{Luftspaltsbredd} = \frac{180 + 50}{2} = 115 \text{ mm}$$

I Figur 7-6 visas modellen i WUFI. De olika materialens egenskaper presenteras i Tabell 7-2.



Figur 7-6: Modell av yttervägg, lösningsförslag 1.

Materialen som valts för modellen representerar de material som är avsedda för den riktiga konstruktionen i den mån det går. För att simulera värsta fallet har ett regnläckage lagts till på insidan av tegelmuren. Läckaget har antagits vara 0.2 % av slagregnmängden. I rekommendationerna från skriften RäknaF anges 1 % vara ett rimligt värde på inläckage från slagregn för en skalmur (Wallentén, 2013). Anledningen till att inläckaget i dessa beräkningar valts till ett lägre värde är att muren i detta fall inte är en skalmur utan en massiv tegelvägg på 400 mm. Detta anses ge ett större skydd mot regn även om viss andel väntas ta sig in via ventilationshål och annat. Mätställena i konstruktionen har valts på de platser där fuktillståndet är av stor betydelse, till exempel bakom fasadskivan.

Tabell 7-2: Material i yttervägg, lösningsförslag 1.

Material i WUFI-modell	Tjocklek [mm]	Densitet [kg/m ³]	Porositet [m ³ /m ³]	Värmekapacitet [J/kgK]	Värmekonduktivitet [W/mK]	Diffusionsmotståndsfaktor [-]
Solid brick, historical	300	1800	0,31	850	0,6	15
Air layer	115	1,3	0,999	1000	0,59	0,15
XPS Core	30	40	0,95	1500	0,03	100
Mineral Wool	220	60	0,95	850	0,04	1,3
Vapour retarder (Sd=100m)	1	130	0,001	2300	2,3	100000
Mineral Wool	28	60	0,95	850	0,04	1,3
Gypsum-board, interior	13	625	0,73	850	0,2	8,33

Solid brick, historical

Teglet i denna konstruktion har lägre porositet och högre diffusionsmotståndsfaktor än det tegel som används i modellen för taket. Anledningen till detta är att teglet antas vara hårdbränt och därför har lägre porositet.

Air layer

I luftspalten modelleras en luftomsättning på 3 oms/h. En rimlig omsättning bakom konstruktioner med tegelfasad är 0-5 oms/h (Hägerstedt, 2012). Luftomsättningen bakom aktuell fasad antas ligga någonstans där i mellan med 3 oms/h.

XPS Core

Skivmaterialet som används i aktuell konstruktion är en extruderad cellplast. Detta innebär ett relativt ångtätt skikt. Eftersom detta skikt har stor inverkan på slutgiltig fukthalt i konstruktionen har en parameterstudie gjorts på de två lösningsförslagen. I parameterstudien analyseras hur olika skivmaterial påverkar resultatet. Parameterstudien beskrivs i avsnitt 6.

Mineral wool

Mineralullen i väggen antas ha samma egenskaper som den mineralull som använts i parallelltaket.

Vapour retarder (Sd=100m)

Plastfolien i väggen antas ha samma egenskaper som plastfolien i parallelltaket.

Mineral Wool

Precis som i parallelltaket läggs en tunn skiva mineralull mellan glespanelen.

Gypsumboard, interior

Invändigt modelleras gipsskivor med egenskaper för inomhusklimat.

Klimatdata

Samma klimatdata som för parallelltaket används för ytterväggen.

Orientering

Väggen har modellerats i nordlig riktning. Nordlig riktning är ett av de två värsta fallen för en vertikal vägg eftersom detta läge får minst sol. Det andra värsta fallet för en vägg är åt söder eftersom söderriktningen får betydligt mer slagregn. Enligt Mundt-Petersen bör en vägg modelleras i nordlig riktning om luftspalten anses vara väl ventilerad och kapabel att vädra ut eventuell fukt. Väggen bör modelleras i söderriktning om luftspalten är dåligt ventilerad och inte anses kunna vädra bort eventuellt inläckage (Mundt-Petersen, 2015). I aktuellt fall modelleras en nordlig riktning eftersom spalten kommer ventileras med ventilationsgaller i fasaden vilket bör säkerställa en god luftgenomföring. Dessutom är fasaden så pass tjock att regn bör ha svårigheter att ta sig in till luftspalten. Vid besiktning av Clara 13 fanns inga tecken på att regn kunnat ta sig in genom tegelmuren.

För vertikala väggar väljs även byggnadens höjd. Höjden påverkar regnmängden. I Figur 7-7 presenteras de indata som valts.

The image shows a software interface with three main sections:

- Orientation:** A circular compass rose with a yellow arrow pointing North. Below it is a dropdown menu set to "North".
- Inclination:** A diagram of a vertical wall with a yellow arrow indicating its orientation. Below it is a dropdown menu set to "90".
- Building Height/Driving Rain Coefficients:** A checkbox for "Rain load calculation according to ASHRAE Standard 160P" is unchecked. To the left is a diagram of a building with a yellow arrow pointing to a taller, stepped building. To the right are input fields for "R1 [-]" (0) and "R2 [s/m]" (0,1). Below these is a "Note:" section with the formula: $\text{Rain Load} = \text{Rain} * (\text{R1} + \text{R2} * \text{Wind Velocity})$. At the bottom is a dropdown menu set to "Tall Building, middle part, up to 10-20 m".

Figur 7-7: Orientering av yttervägg.

Initialtillstånd

Initialtillstånden för alla skikt antas vara 20 grader och 80 % relativ fuktighet.

Beräkningsperiod

Beräkningsperioden är över tre år med ett tidssteg på 1h.

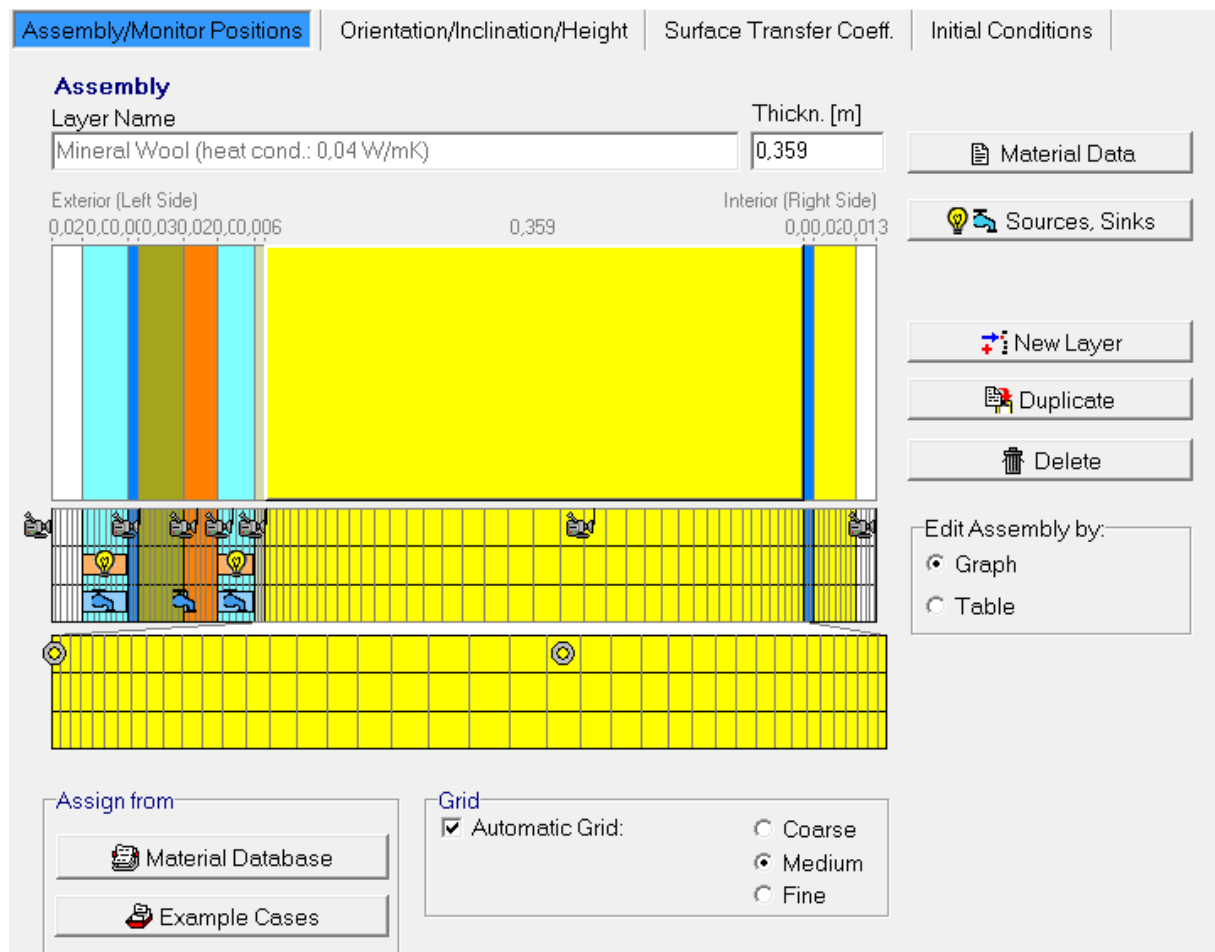
7.2 Simulering i WUFI – Lösningförslag 2

Lösningförslag 2 innebär att en helt ny takstol byggs. Väggarna och taket i denna takkonstruktion är också tjockare än lösningförslag 1 vilket innebär att den fukt som eventuellt tar sig in i konstruktionen får det svårare att ta sig ut. Det innebär även att klimatskärmen blir kallare, vilket i sin tur leder till högre RF. Det blir därför extra viktigt att analysera fuktnivåerna i denna lösning.

7.2.1 Modellering av parallelltak

Parallelltaket i lösningförslag 2 är nästan dubbelt så tjockt som i lösningförslag 1. Detta innebär större risk för höga RF. Av denna anledning har en parameterstudie gjorts på parallelltaket i lösningförslag 2. Parameterstudien presenteras i kapitel 7.3 och studerar en rad olika indata för att kunna förstå vilka parametrar som påverkar resultatet mest.

Nedan visas modellen av takkonstruktionen i WUFI och i Tabell 7-3 presenteras de ingående materialen.



Figur 7-8: Modell av parallelltak i lösningförslag 2.

Tabell 7-3: Material i parallelltak i lösningsförslag 2.

Material i WUFI-modell	Tjocklek [mm]	Densitet [kg/m ³]	Porositet [m ³ /m ³]	Värme-kapacitet [J/kgK]	Värme-konduktivitet [W/mK]	Diffusions-motståndsfaktor [-]
Solid brick, extruded	20	1630	0,35	850	0,6	9,5
Air layer	30	1,3	0,999	1000	0,18	0,46
PVC Roof membrane	1	1000	0,0002	1500	0,16	15000
Roxul Con-Rock	30	146	0,95	850	0,033	1,2
Scandinavian spruce transverse direction	22	420	0,75	1600	0,13	50
Air layer	25	1,3	0,999	1000	0,18	0,46
Wood-fibre insulation board 1	6	168	0,88	1700	0,038	3,3
Mineral wool	365	60	0,95	850	0,04	1,3
Vapour retarder (Sd=100m)	1	130	0,001	2300	2,3	100000
Mineral wool	28	60	0,95	850	0,04	1,3
Gypsumboard, interior	13	625	0,73	850	0,2	8,33

Solid brick, extruded

Se lösningsförslag 1.

Air layer

Se lösningsförslag 1.

PVC Roof membrane

Se lösningsförslag 1.

Roxul ConRock

Se lösningsförslag 1.

Scandinavian spruce transverse direction

Se lösningsförslag 1.

Air layer, 25 mm

Se lösningsförslag 1.

Wood-fibre insulation board 1

Se lösningsförslag 1.

Mineral wool

Två skikt mineralull läggs mellan reglarna med dimensionerna 70×220 och 45×170. Efter att bredden för luftspalt och board räknats bort fås en total isoleringstjocklek på 359 mm. Reglarna kan inte modelleras i WUFI, hela skiktet beräknas som mineralull.

Vapour retarder (Sd=100m)

Se lösningsförslag 1.

Mineral wool

Se lösningsförslag 1.

Gypsumboard, interior

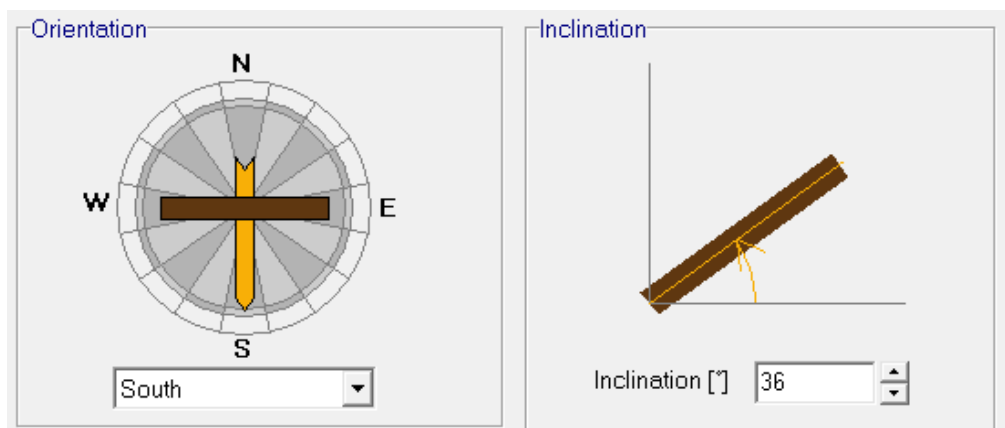
Se lösningsförslag 1.

Klimatdata

Se lösningsförslag 1.

Orientering

Se lösningsförslag 1.



Figur 7-9: Orientering av parallelltak.

Initialtillstånd

Se lösningsförslag 1.

Beräkningsperiod

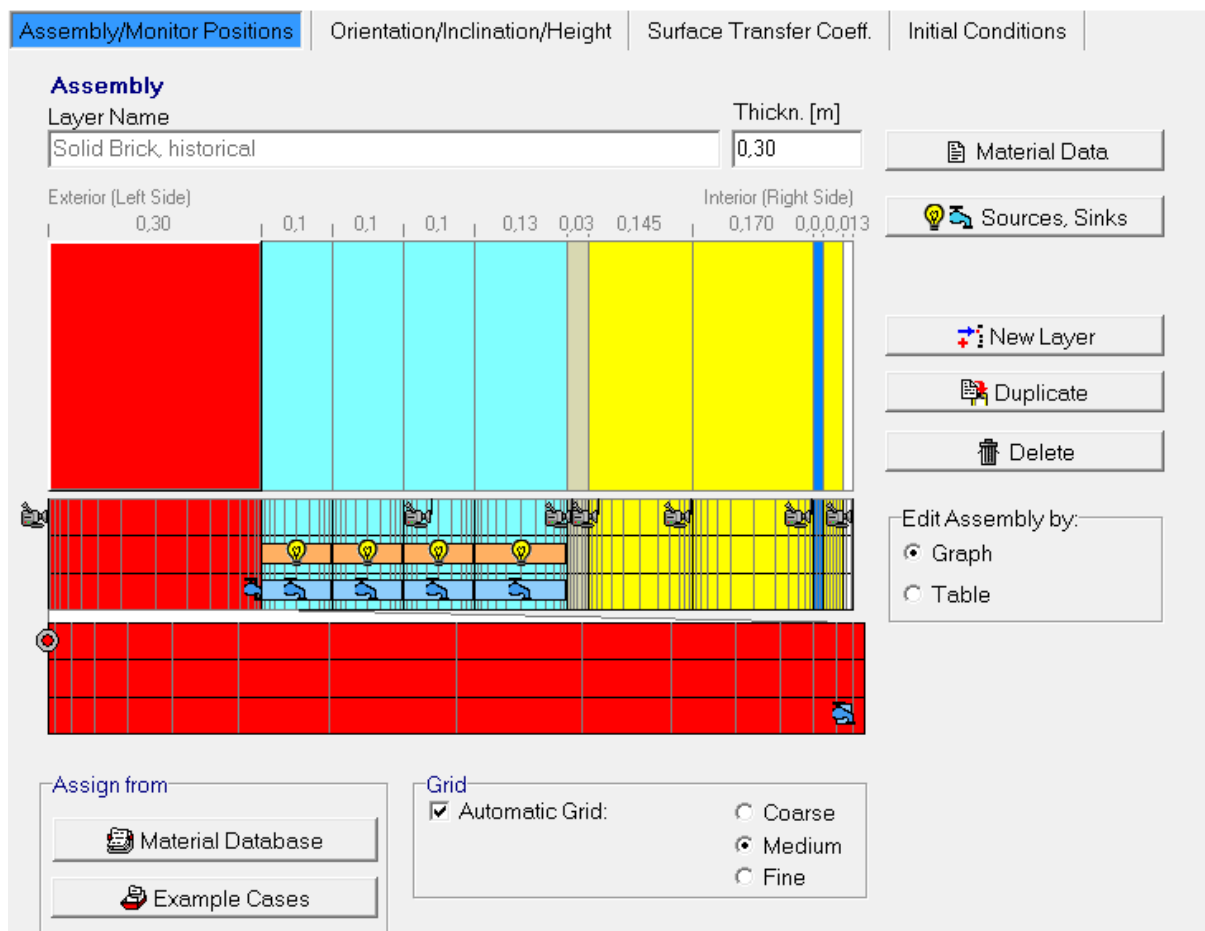
Se lösningsförslag 1.

7.2.2 Modellering av yttervägg mot tegelmur

Den nya ytterväggen som ansluter mot takfoten sitter längre från tegelmuren än väggen i den förstärkta takstolen. Detta innebär att luftspalten blir bredare, i detta fall 500 mm på de bredaste partierna och 370 mm på de ställen där det finns en murpelare. För att kunna modellera luftspalten tas ett medelvärde på de två luftspaltsbredderna enligt:

$$\text{Luftspalt} = \frac{500 + 370}{2} = 435 \text{ mm}$$

Figur 7-10 visar modelleringen av ytterväggen i lösningsförslag 2, Tabell 7-4 beskriver de ingående materialens egenskaper.



Figur 7-10: Modell av yttervägg, lösningsförslag 2.

Tabell 7-4: Material i yttervägg, lösningsförslag 2.

Material i WUFI-modell	Tjocklek [mm]	Densitet [kg/m ³]	Porositet [m ³ /m ³]	Värmekapacitet [J/kgK]	Värmekonduktivitet [W/mK]	Diffusionsmotståndsfaktor [-]
Solid brick, historical	300	1800	0,31	850	0,6	15
Air layer	435	1,3	0,999	1000	0,59	0,15
Wood-fibre insulation board 1	30	168	0,88	1700	0,038	3,3
Mineral Wool	315	60	0,95	850	0,04	1,3
Vapour retarder (Sd=100m)	1	130	0,001	2300	2,3	100000
Mineral Wool	28	60	0,95	850	0,04	1,3
Gypsum-board, interior	13	625	0,73	850	0,2	8,33

Solid brick, historical

Se lösningsförslag 1.

Air layer

Se lösningsförslag 1.

Wood-fibre insulation board 1

Skivmaterialet som används i aktuell konstruktion är en träfiberskiva. Träfiberskivan är relativt ånggenomsläpplig vid jämförelse med XPS:en som användes i väggen på lösningsförslag 1. Vid modelleringen av väggarna i lösningsförslag 1 och 2 observerades att detta skikt har stor inverkan på slutgiltig fukthalt. Därför har en parameterstudie gjorts för de två lösningsförslagen där detta skikt varieras. Parameterstudien analyserar hur olika skivmaterial i luftspalten påverkar resultatet. Parameterstudien beskrivs i avsnitt 7.3.

Mineral wool

Se lösningsförslag 1.

Vapour retarder (Sd=100m)

Se lösningsförslag 1.

Mineral Wool

Se lösningsförslag 1.

Gypsumboard, interior

Se lösningsförslag 1.

Klimatdata

Se lösningsförslag 1.

Orientering

Se lösningsförslag 1.

Initialtillstånd

Se lösningsförslag 1.

Beräkningsperiod

Se lösningsförslag 1.

7.3 Parameterstudie WUFI

En parameterstudie har även gjorts i programmet WUFI. Studier har gjorts på både parallelltaket och ytterväggarna. För parallelltaket har olika parametrar undersökts, bland annat luftspaltens bredd, luftomsättningen i luftspalten och olika väderstreck. Lösningsförslag 2 har använts som referens i parameterstudien för parallelltaket eftersom denna konstruktion är tjockast och därmed också mest kritisk ur fuktsynpunkt.

För ytterväggarna har båda konstruktioner studerats eftersom de båda anses vara i riskzonen för kritiska fuktnivåer. Skillnaden mellan de två lösningsförslagen är att de har olika bred luftspalt samt olika tjock regelkonstruktion med isolering. Den parameter som studerats för ytterväggarna är fasadskivan på utsidan av den isolerade träregelväggen. Fasadskivans syfte är att skydda träreglarna mot fukt samt hålla dem varma, i avsikt att höja den relativa fuktigheten.

7.3.1 Parallelltak

Effekterna av att ändra parametrar i parallelltaket för lösningsförslag 2 presenteras i följande avsnitt. I Tabell 7-5 visas de parametrar som studerats samt inom vilka intervall de ändrats. Tabell 7-6 visar egenskaperna för de olika skivmaterial som används i studien.

Tabell 7-5: Parametrar som studeras i parameterstudie för parallelltak.

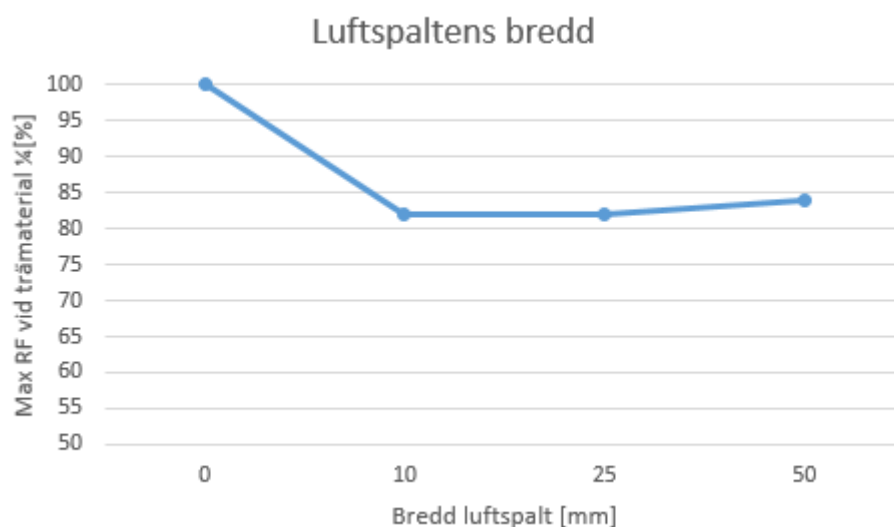
Väderstreck (med läckage)	Väderstreck (utan läckage)	Skivmaterial i luftspalt	Luftomsättning i luftspalt [oms/h]	Bredd på luftspalt [mm]
Norr	Norr	Gips, utvändig	10	0
Söder	Söder	Wood fibre board, hard	30	10
Öst	Öst	Wood fibre insulation board 1	50	25
Väst	Väst	Particle board	100	50

Tabell 7-6: Materialegenskaper för skivmaterial i luftspalt.

Skivmaterial i luftspalt	Densitet [kg/m ³]	Porositet [m ³ /m ³]	Specifik värmekapacitet [J/kgK]	Värme-konduktivitet [W/mK]	Diffusions-motståndsfaktor [-]
Gipsskiva utvändig	675	0,71	850	0,2	8,33
Wood fibre board, hard	959	0,41	1700	0,13	227
Wood fibre insulation board 1	168	0,88	1700	0,038	3,3
Particle board (spånskiva)	660	0,59	1700	0,14	125

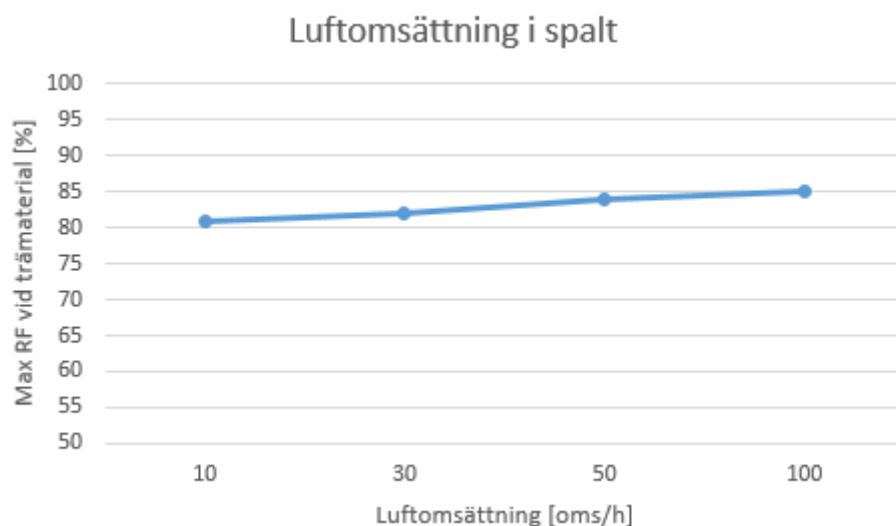
Resultat av parameterstudie

Resultaten av parameterstudien presenteras i diagrammen nedan.



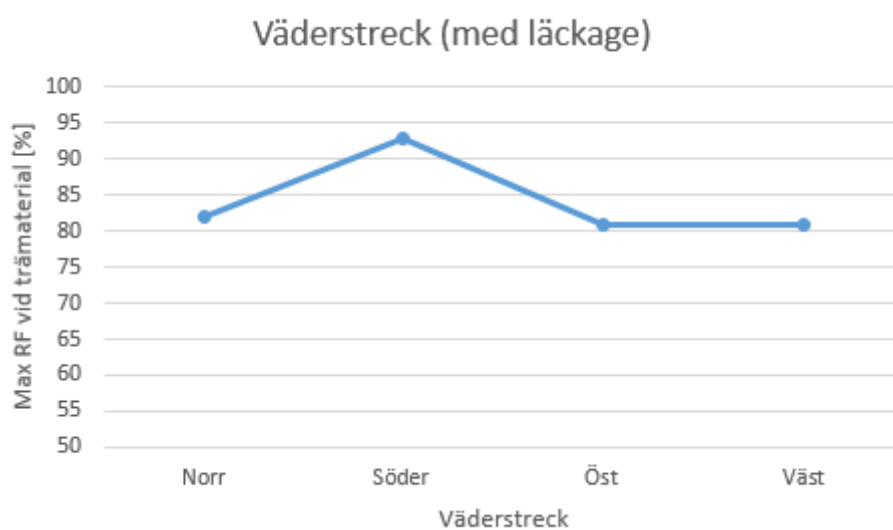
Figur 7-11: Den maximala relativa fuktigheten beroende på luftspaltens bredd.

Figur 7-11 beskriver hur luftspaltens bredd påverkar den relativa fuktigheten i konstruktionen. Utan luftspalten blir det kondens i konstruktionen. Detta beror på att möjligheten för bortventilering av fukt försvinner helt. En ökning av luftspaltens bredd till 10 mm minskar den relativa fuktigheten rejält. Ytterligare ökning till 25 mm gör ingen skillnad i resultatet och ökning av bredden till 50 mm snarare ökar den relativa fuktigheten. Detta skulle kunna förklaras med att en ökning av bredden på spalten sänker temperaturen och därmed ökar den relativa fuktigheten i spalten.



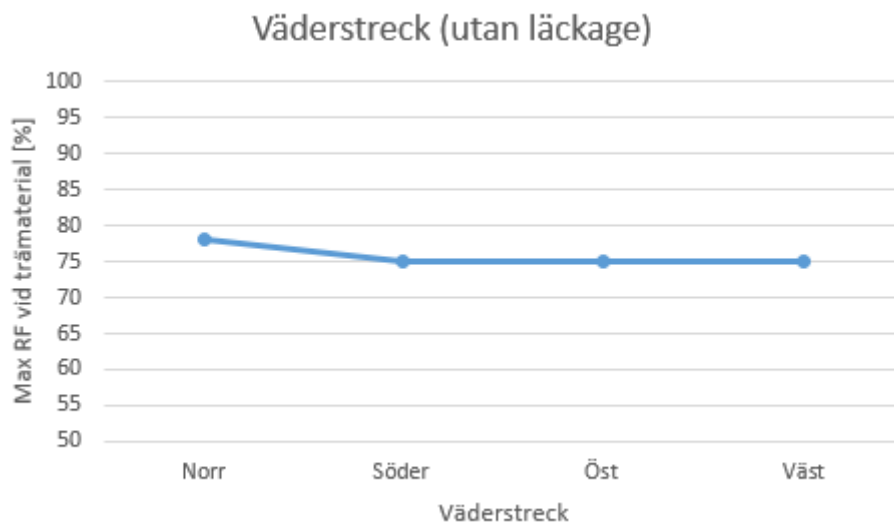
Figur 7-12: Den maximala relativa fuktigheten beroende på luftomsättningen i spalten.

Figur 7-12 beskriver hur den relativa fuktigheten varierar med luftomsättningen i luftspalten. Enligt diagrammet ökar den relativa fuktigheten när omsättningen i luftspalten ökar. Detta resultat stämmer inte alls överrens med Mundt-Petersens avhandling från 2015 vilket tyder på att något blivit fel vid beräkningarna. Ett ökat luftflöde bör enligt Mundt-Petersen minska den relativa fuktigheten (Mundt-Petersen, 2015). Av denna anledning bör parameterstudien av luftomsättningen i spalten inte beaktas som pålitlig information.



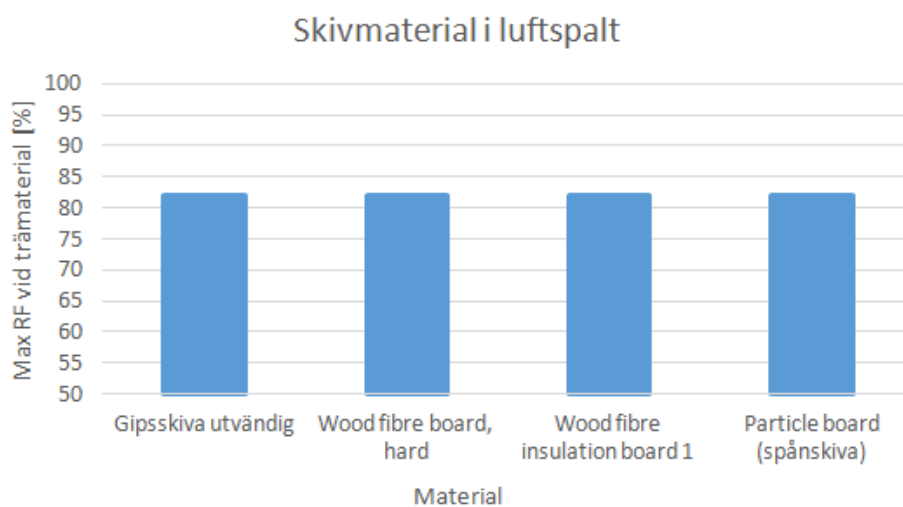
Figur 7-13: Den maximala relativa fuktigheten beroende på väderstreck (med 0,1 % läckage).

Figur 7-13 visar den relativa fuktighetens variation i förhållande till väderstreck. I simuleringen ingår även ett läckage vid råsponden med 0,1 % av slagregnsmängden. En tydlig skillnad syns för söderläget. Anledningen till denna skillnad tros vara att söderläget utsätts för en betydligt högre slagregnsmängd. Med tanke på det simulerade läckaget tros detta spela stor roll för resultatet.



Figur 7-14: Den maximala relativa fuktigheten beroende på väderstreck (utan läckage).

Figur 7-14 beskriver beroendet mellan den relativa fuktigheten och väderstrecken. Det syns tydligt att norrsidan får ett mer kritiskt fukttillstånd än de andra väderstrecken. Detta beror på att norrsidan får mindre solljus vilket leder till sämre uttorkningsförmåga. Observera att resultatet gäller för ett parallelltak utan inläckage.



Figur 7-15: Den maximala relativa fuktigheten beroende på skivmaterialet i luftspalten.

Enligt Figur 7-15 spelar skillnaden i egenskaper för skivmaterialen i luftspalten inte någon större roll för slutresultatet. Simuleringen har genomförts med ett läckage på råsponten med 0,1 % av slagregnmängden.

7.3.2 Ytterväggar

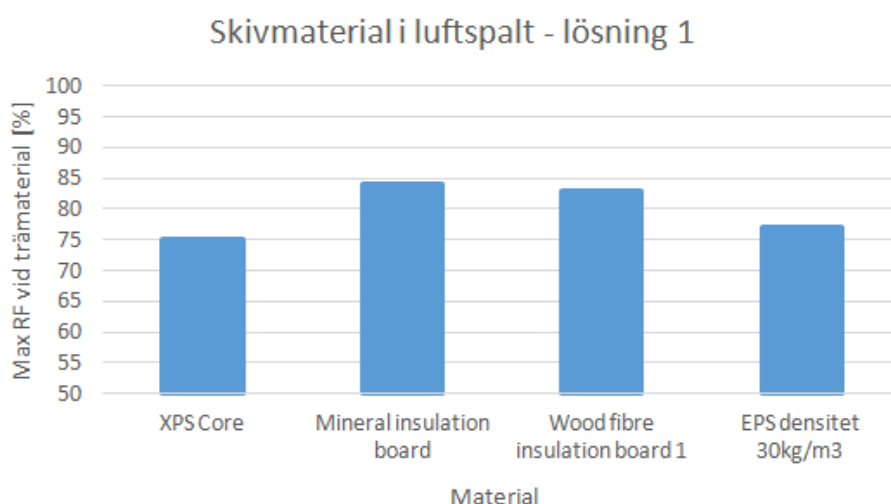
Parameterstudien för ytterväggarna i lösningsförslag 1 och 2 har gjorts för att undersöka hur olika val av egenskaper för fasadskivan påverkar slutresultatet. De fasadskivor som undersökts presenteras i Tabell 7-7.

Tabell 7-7: Materialegenskaper för fasadskiva.

Materialdata	Densitet [kg/m ³]	Porositet [m ³ /m ³]	Specifik värmekapacitet [J/kgK]	Värme-konduktivitet [W/mK]	Diffusionsmotståndsfaktor [-]
XPS Core	40	0,95	1500	0,03	100
Mineral insulation board	115	0,95	850	0,043	3,4
Wood fibre insulation board 1	168	0,88	1700	0,038	3,3
EPS densitet 30 kg/m ³	30	0,95	1500	0,04	50

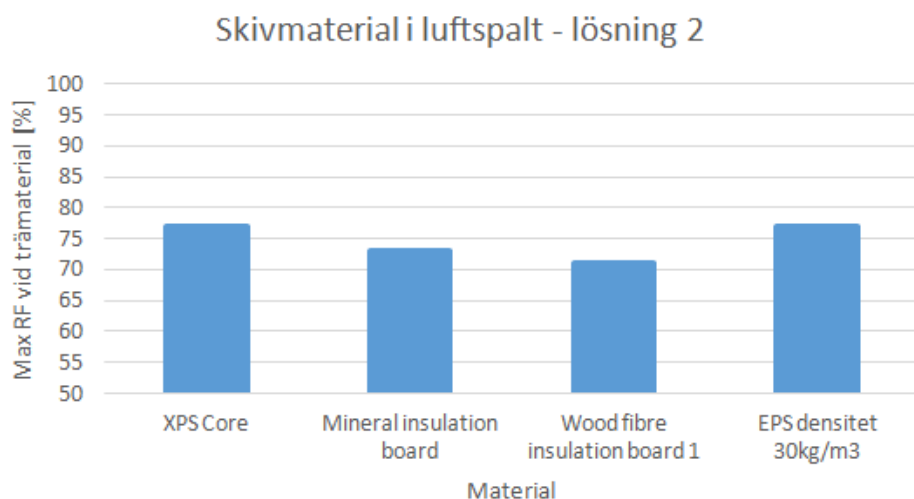
Resultat av parameterstudie

Nedan presenteras resultatet av parameterstudien för fasadskivans inverkan på lösningsförslag 1 och 2.



Figur 7-16: Olika fasadskivors inverkan på den relativa fuktigheten i ytterväggen, lösningsförslag 1.

Figur 7-16 beskriver hur de olika fasadskivorna påverkar den relativa fuktigheten i träregelväggen. Resultatet visar att för lösningsförslag 1 ger de skivor med lägst diffusionsmotstånd de högsta relativa fuktigheterna. Det material, cellplast, med högst diffusionsmotståndsfaktor ger det lägsta värdet. Anledningen till detta resultat tros bero på att luftspaltens höga relativa fuktighet (94 %) bidrar till att en fasadskiva med hög diffusionsmotståndsfaktor hindrar fukten i spalten att ta sig in i väggen. Risken med denna lösning är att eventuellt inläckage bakom fasadskivan tar lång tid att torka ut eftersom att skivan är så tät.



Figur 7-17 Olika fasadskivors inverkan på den relativa fuktigheten i ytterväggen, lösningsförslag 2.

Figur 7-17 visar att lösningsförslag 2 erhåller resultat helt i motsats till resultaten för lösningsförslag 1. För lösningsförslag 2 ger istället de materialen med hög diffusionsmotståndsfaktor en högre relativ fuktighet. Detta beror troligtvis på att den relativa fuktigheten i luftspalten för denna konstruktion är betydligt lägre (82 %) än i lösningsförslag 1. En lägre relativ fuktighet i spalten gör att en mer diffusionsöppen fasadskiva kan tillåta fukt i väggen att torka ut mot spalten.

8 Resultat

I följande kapitel presenteras de resultat som tagits fram med hjälp av datorprogrammen Ramanalys, WUFI och IDA Ice.

8.1 Ramanalys

I Tabell 8-1 och Tabell 8-2 finns moment, normalkraft och upplagskrafter sammanställt för de fem takstolarna. Värdena i tabellen är hämtade från Ramanalys. Data från Ramanalys redovisas i Bilaga F. Värdena i Tabell 8-3 redovisas i kapitel 5.

Tabell 8-1: Störta moment som uppstår i takstolarnas olika delar.

MAX Moment som uppstår					
Del	Befintlig takstol utan stödben (kNm)	Befintlig takstol med stödben (kNm)	Förstärkt takstol utan stödben (kNm)	Förstärkt takstol med stödben (kNm)	Ny takstol (kNm)
Högben	-4.7	-5.3	4.9	-12.9	-2.8
Hanbjälke	0.7	-0.1	1.1	0.2	-0.8
Dragsträva	-	0.1	-	0.1	0.1
Stödben	-	10.8	-	5.8	-0.3

Tabell 8-2: Störta normalkraft som uppstår i takstolarnas olika delar.

MAX Normalkraft som uppstår					
Del	Befintlig takstol utan stödben (kN)	Befintlig takstol med stödben (kN)	Förstärkt takstol utan stödben (kN)	Förstärkt takstol med stödben (kN)	Ny takstol (kN)
Högben	-15.5	-16.8	-20.4	45.0	-13.5
Hanbjälke	-11.1	4.7	-13.9	22.3	12.6
Dragsträva	-	40.2	-	-32.1	-11.9
Stödben	-	-18.3	-	-44.7	-6.7

I Tabell 8-3 sammanställs de största lasterna som påverkar tegelmuren och remstycket i alla takstolarna.

Tabell 8-3: Sammanställning av de största upplagskrafterna som uppstår för de olika takstolarna.

Maxvärde på upplagskrafter					
Anslutning	Befintlig tak-	Befintlig tak-	Förstärkt tak-	Förstärkt tak-	Ny takstol

	stol utan stödben (kN)	stol med stödben (kN)	stol utan stödben (kN)	stol med stödben (kN)	(kN)
Tegelmur vertikalt	3.3	8.2	12.3	30.5	9.5
Tegelmur horisontellt	-	-	-	-	-
Remstycke horisontellt	-	27.5	-	25.9	6.9
Remstycke vertikalt	-	13.5	-	39.4	
Kantbalk vertikalt	-	-	-	-	-
Kantbalk horisontellt	10.4	-	17.0	-	-

8.2 IDA Ice

I detta avsnitt presenteras resultaten för energianvändningen från simuleringarna i IDA Ice. Resultaten jämförs sedan med transmissionsförlusterna genom det befintliga bjälklaget i Clara 13 för att se om en minskning av hela byggnadens energianvändning sker.

8.2.1 Lösningförslag 1

I Tabell 8-4 och Tabell 8-5 nedan presenteras resultatet från simuleringen av lösningförslag 1. Tabell 8-6 visar resultatet sammanställt med de poster som inte beräknats i IDA Ice; fastighetsel, vädringspåslag och tappvarmvatten.

Tabell 8-4: Resultat från IDA Ice, lösningförslag 1. Energianvändning.

Poster tagna från IDA Ice	Energianvändning [kWh/m ² A _{temp}]
Uppvärmning av zoner	31
Värmning av ventilationsluft	<1
Hushållsel	26

Tabell 8-5: Resultat från IDA Ice. Transmissionsförluster genom klimatskalet i lösningförslag 1.

Byggdel	$U_{byggdel} \cdot A_{byggdel}$ [W/K]	$Q_t = \sum(U_{byggdel} \cdot A_{byggdel}) \cdot G_t$ [kWh]	$E_{klimatskal}$ [kWh/m ² A _{temp}]
Väggar	16	1300	4
Tak	84	7000	22
Bjälklag	0	0	0
Fönster	33	2700	8
Köldbryggor	33	2800	9
Totalt	166	13 800	43

För att få fram den specifika energianvändningen för lösningförslag 1 läggs de poster till som inte tagits med i IDA Ice beräkningen, alltså fastighetsel, vädringspåslag och tappvarmvatten. Hushållselen dras bort.

Tabell 8-6: Specifik energianvändning för lösningsförslag 1.

Alla poster	Energianvändning [kWh/m ² A _{temp}]
Uppvärmning av zoner	31
Värmning av ventilationsluft	<1
Hushållsel	26
Fastighetsel	12
Vädringspåslag	4
Tappvarmvatten	25
Totalt	98
Specifik energianvändning, E_{spec}	73
Energiförluster genom bef. vindsbjälklag	- 37
BBR-krav	80

En jämförelse av energiförlusterna genom taket före och efter ombyggnad med lösningsförslag 1 presenteras i Tabell 8-7. I tabellen kan det avläsas att energiförlusterna genom klimatskalet blir större efter ombyggnad. Detta tros bero på att arean av klimatskalet är betydligt större efter ombyggnad.

Tabell 8-7: Jämförelse av klimatskalets energiförluster för lösningsförslag 1 och befintligt bjälklag.

	Befintligt bjälklag	Lösningsförslag 1
Energiförluster genom klimatskal Q_t [kWh]	12 700	13 800
Klimatskalets area [m ²]	342	521

8.2.2 Lösningsförslag 2

I Tabell 8-8 och Tabell 8-9 nedan presenteras resultatet från simuleringen av lösningsförslag 2 i IDA Ice. Tabell 8-10 presenterar resultatet sammanställt med de poster som läggs till i efterhand; fastighetsel, vädringspåslag och tappvarmvatten.

Tabell 8-8: Resultat från IDA Ice, lösningsförslag 2. Energianvändning.

Poster tagna från IDA Ice	Energianvändning [kWh/m ² A _{temp}]
Uppvärmning av zoner	17
Värmning av ventilationsluft	<1
Hushållsel	26

I Tabell 8-9 presenteras transmissionsförlusterna genom konstruktionen i lösningsförslag 2. Vid jämförelse med lösningsförslag 1 syns att alla poster minskat utom posten för väggar. Detta beror troligen på att ytan ytterväggar är större i lösningsförslag 2 eftersom stödbenen sitter längre in och således ger högre väggar.

Tabell 8-9: Resultat från IDA Ice. Transmissionsförluster genom klimatskalet i lösningsförslag 2.

Byggdel	$U_{byggdel} \cdot A_{byggdel}$ [W/K]	$Q_t = \sum(U_{byggdel} \cdot A_{byggdel}) \cdot G_t$ [kWh]	$E_{klimatskal}$ [kWh/m ² A _{temp}]
Väggar	21	1700	6
Tak	39	3200	12

Bjälklag	0	0	0
Fönster	23	1900	7
Köldbryggor	17	1400	5
Totalt	100	8200	30

För att få fram den specifika energianvändningen för lösningsförslag 2 läggs de poster till som inte tagits med i IDA Ice beräkningen, alltså fastighetsel, vädringspåslag och tappvarmvatten. Hushållselen dras bort. Den specifika energianvändningen kan avläsas i Tabell 8-10.

Tabell 8-10: Specifik energianvändning för lösningsförslag 2.

Alla poster	Energianvändning [kWh/m ² A _{temp}]
Uppvärmning av zoner	17
Värmning av ventilationsluft	<1
Hushållsel	26
Fastighetsel	12
Vädringspåslag	4
Tappvarmvatten	25
Totalt	84
Specifik energianvändning, E_{spec}	58
Energiförluster genom bef. vindsbjälklag	- 37
BBR-krav	80

En jämförelse av energiförlusterna genom taket före och efter ombyggnad med lösningsförslag 2 presenteras i Tabell 8-11. I tabellen kan det observeras att ombyggnaden leder till en mindre energiförlust genom klimatskalet även om arean på klimatskalet är större.

Tabell 8-11: Jämförelse av klimatskalets energiförluster för lösningsförslag 2 och befintligt bjälklag.

	Befintligt bjälklag	Lösningsförslag 2
Energiförluster genom klimatskal Q_t [kWh]	12 700	8200
Klimatskalets area [m ²]	342	494

Energianvändningen för hela byggnaden

För att lättare kunna jämföra de två alternativen görs även jämförelse för hur den totala energianvändningen påverkas av en ombyggnad.

För att kunna jämföra energianvändningen för hela byggnaden måste alla värden på energi göras om till enheten kWh eftersom areorna för de olika delarna är olika. Till exempel baseras den rådande specifika energianvändningen för Clara 13 på den uppvärmda arean i dagsläget. Efter en ombyggnation skulle denna area öka med den uppvärmda arean på vinden.

Specifik energianvändning för Clara 13 i dagsläget, hämtad ur energideklaration (ÅF, 2008):

152 kWh/m²A_{temp}, år

Energianvändning för hela året: 181 933 kWh/år (ÅF, 2008)

Detta innebär att A_{temp} i dagsläget beräknas enligt:

$$A_{temp,bef} = \frac{181\,933}{152} = 1197 \text{ m}^2$$

Ny specifik energianvändning för Clara 13 beräknas enligt:

$$E_{spec,ny} = \frac{(E_{bef} + E_{vind} - E_{bjlk})}{(A_{temp,bef} + A_{temp,vind})} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 A_{temp}}, \text{år} \right]$$

Där E_{bef} är energianvändningen för befintlig byggnad [kWh/år]

E_{vind} är energianvändningen för vindsombyggnaden [kWh/år]

E_{bjlk} är energiförlusterna genom bjälklaget [kWh/år]

Tabell 8-12: Sammanställning av energianvändningen för befintlig byggnad och lösningsförslag 1.

	Clara 13 i dagsläget	Vindsombyggnaden, lösningsförslag 1	Bjälklaget i dagsläget
E_{spec} [kWh/m ² A _{temp} ,år]	152	73	37
Fördelat på area A [m ²]	1197	324	342
Energianvändning E [kWh]	181 933	23 490	12 722

$$E_{spec,lös1} = \frac{181\,933 + 23\,490 - 12\,722}{1197 + 324} = 127 \text{ kWh/m}^2 A_{temp}, \text{år}$$

Tabell 8-13: Sammanställning av energianvändningen för befintlig byggnad och lösningsförslag 2.

	Clara 13 i dagsläget	Vindsombyggnaden, lösningsförslag 2	Bjälklaget i dagsläget
E_{spec} [kWh/m ² A _{temp} ,år]	152	58	37
Fördelat på area [m ²]	1197	268	342
Energianvändning [kWh]	181 933	15 544	12 722

$$E_{spec,lös2} = \frac{181\,933 + 15\,544 - 12\,722}{1197 + 268} = 126 \text{ kWh/m}^2 A_{temp}, \text{år}$$

Sammanfattningsvis tyder resultaten på att en ombyggnad, oavsett lösningsförslag, minskar den specifika energianvändningen för hela byggnaden. Det kan även observeras att den specifika energianvändningen för hela byggnaden inte skiljer sig åt så mycket mellan de två lösningsförslagen. Detta beror på att lösningsförslag 1 har en betydligt större uppvärmd area vilket innebär att den specifika energianvändningen minskar. Den uppvärmda arean för lösningsförslag 1 är 324 m² medan den för lösningsförslag 2 endast är 268 m². Vid jämförelse av vindens energianvändning syns dock en klar skillnad mellan lösningsförslag 1 och 2.

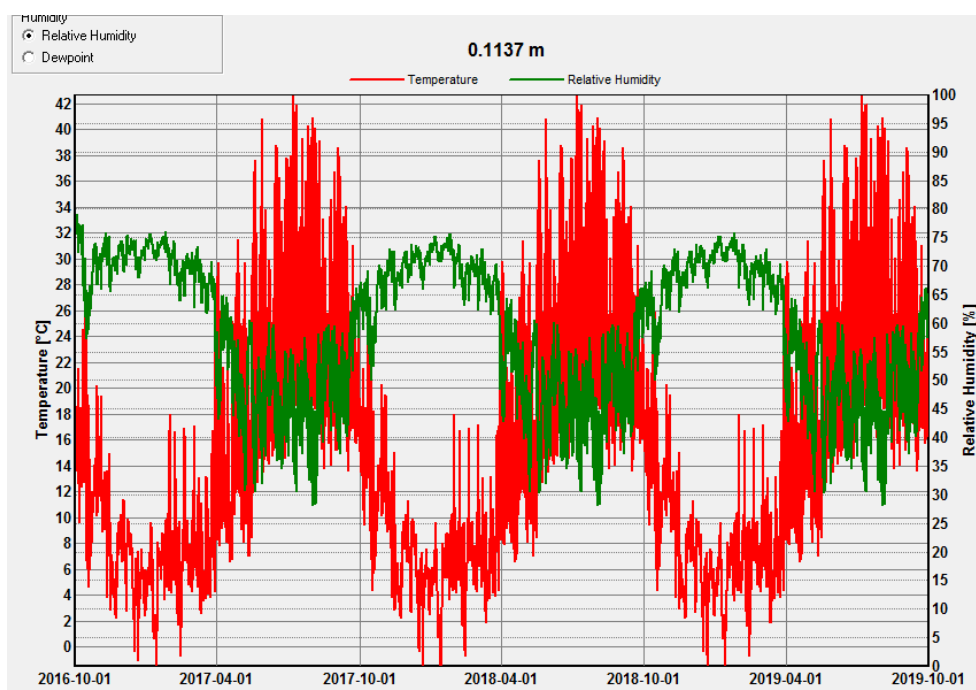
8.3 WUFI

I följande avsnitt presenteras de resultat på relativ fuktighet som tagits fram i programmet WUFI. Resultaten presenteras i tabeller där värdena tagits ur de diagram som ges som resultat i programmet. Diagrammen från WUFI presenteras i bilaga B.

8.3.1 Lösningförslag 1

Tabell 8-14: Maximala relativa fuktigheter i parallelltak, lösningförslag 1.

Mätposition i takkonstruktionen	Maximal relativ fuktighet [%]
Utomhus	100
Bakom underlagspapp (takboard)	100
Råspont	77
Luftspalt	75
Utsidan av isolering	72
Mitten av isolering	60
Bakom plastfolien	69



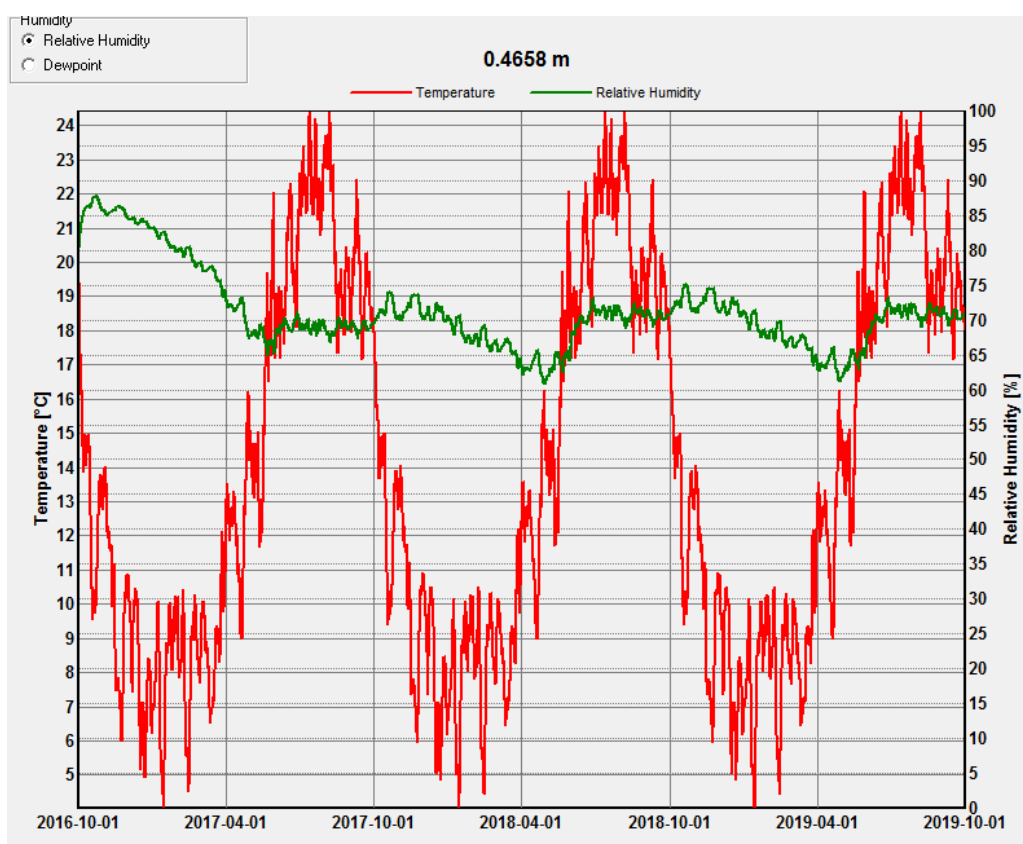
Figur 8-1: Relativ fuktighet i parallelltakets luftspalt, lösningförslag 1.

Parallelltaket i lösningförslag 1 uppnår relativa fuktigheter som ligger i överkant när det gäller kritiska fuktnivåer, se Tabell 8-14. Enligt Boverket bör den kritiska relativa fuktigheten för ett material vara 75 % (Boverket, 2015 c). Parallelltaket överskrider denna nivå i råsponten samt tangerar den i luftspalten mellan reglarna. Eftersom materialens relativa fuktigheter bör ligga inom det högst tillåtna fuktillståndet bör en säkerhetsmarginal dessutom inkluderas. En säkerhetsmarginal skulle göra att både luftspalten, råsponten och utsidan av isoleringen ligger i riskzonen för att överskrida det högst tillåtna fuktillståndet. En intressant aspekt är också långvarigheten på de höga relativa fuktigheterna samt vid vilka temperaturer de uppstår. Det är större risk för fuktskador om fukthalten är hög under lång tid och dessutom uppstår vid

relativt höga temperaturer. I Figur 8-1 kan det observeras att de högsta fuktillstånden uppstår vid låga temperaturer vilket betyder att de troligtvis inte är lika kritiska som om de skulle uppstå vid högre temperatur.

Tabell 8-15: Maximala relativa fuktigheter i yttervägg, lösningsförslag 1.

Mätposition i väggkonstruktionen	Maximal relativ fuktighet [%]
Utomhus	100
Luftspalt	94
Fasadskiva	86
Bakom fasadskiva	75
Mitten av isolering	69
Bakom plastfolien	69



Figur 8-2: Relativ fuktighet bakom fasadskivan ytterväggen, lösningsförslag 1.

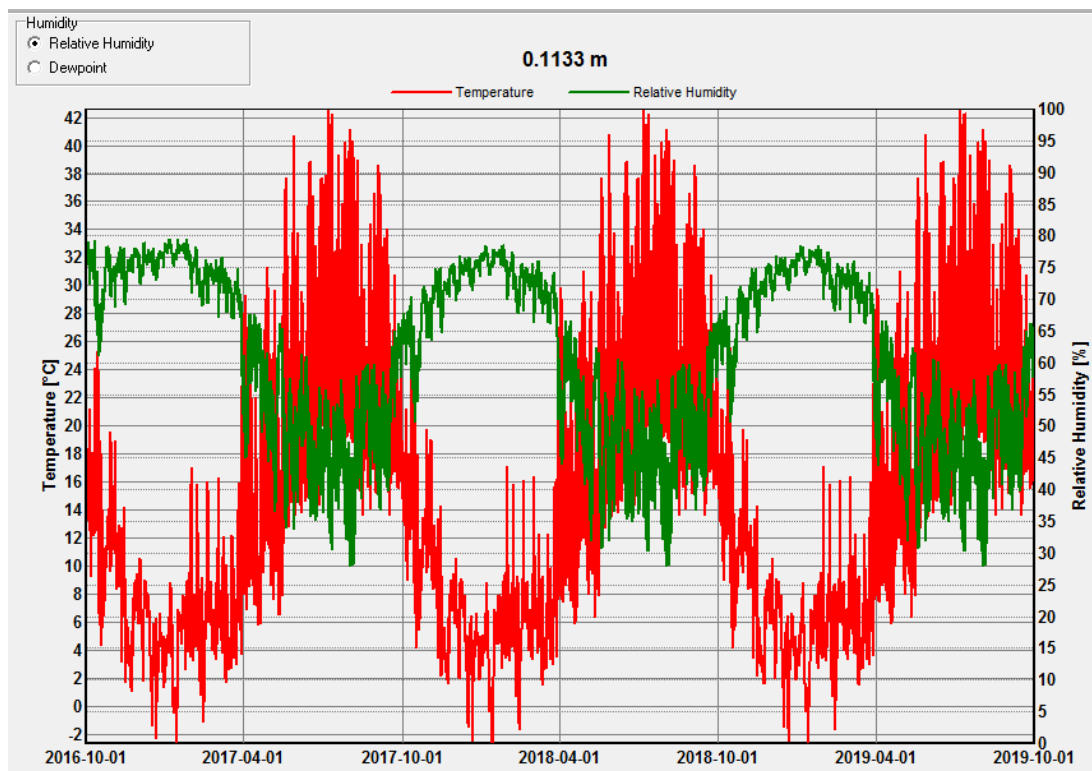
De relativa fuktigheterna i ytterväggen för lösningsförslag 1 ligger på en ganska hög nivå genom hela väggen, speciellt luftspalten har hög relativ fuktighet, se Tabell 8-15. Bakom fasadskivan, som är den mest kritiska punkten på grund av träreglarna, uppstår också ett högt RF på 75 %, se Figur 8-2. Temperaturen vid dessa mätningar är också relativt hög (cirka 19 grader) vilket innebär en risk för mögeltillväxt.

8.3.2 Lösningförslag 2

Tabell 8-16: Maximala relativa fuktigheter i parallelltak, lösningsförslag 2.

Mätposition i takkonstruktionen	Maximal relativ fuktighet [%]
---------------------------------	-------------------------------

Utomhus	100
Bakom underlagspapp (takboard)	100
Råspont	79
Luftspalt	78
Utsidan av isolering	75
Mitten av isolering	55
Bakom plastfolien	61

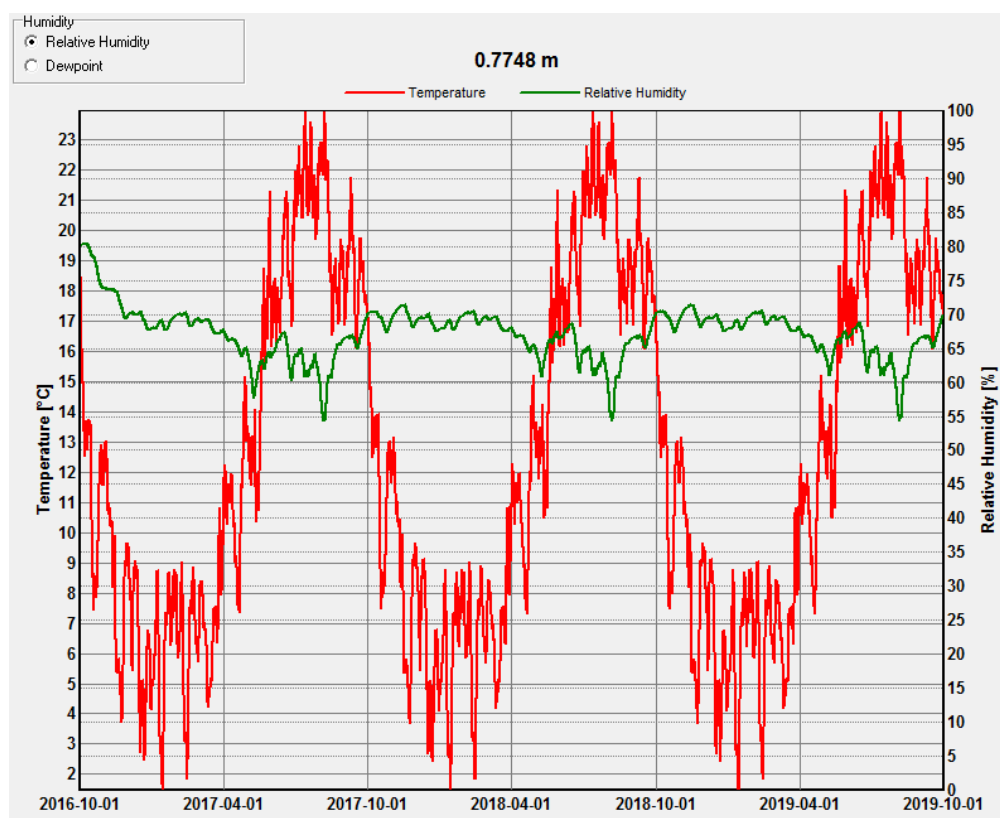


Figur 8-3: Relativ fuktighet i parallelltakets luftspalt, lösningsförslag 2.

De relativa fuktigheterna i parallelltaket på lösningsförslag 2 är även dem höga. Luftspalten har en maximal relativ fuktighet på cirka 78 % vilket är högre än för lösningsförslag 1 och även för högt med tanke på träreglarna. Värt att nämna är dock att de högsta relativa fuktigheterna sker under tidsperioden med de lägsta temperaturerna (runt 10 grader). Detta innebär att risken för mögeltillväxt minskar något.

Tabell 8-17: Maximala relativa fuktigheter i yttervägg, lösningsförslag 2.

Mätposition i väggkonstruktionen	Maximal relativ fuktighet [%]
Utomhus	100
Luftspalt	82
Fasadskiva	78
Bakom fasadskiva	72
Mitten av isolering	63
Bakom plastfolien	59



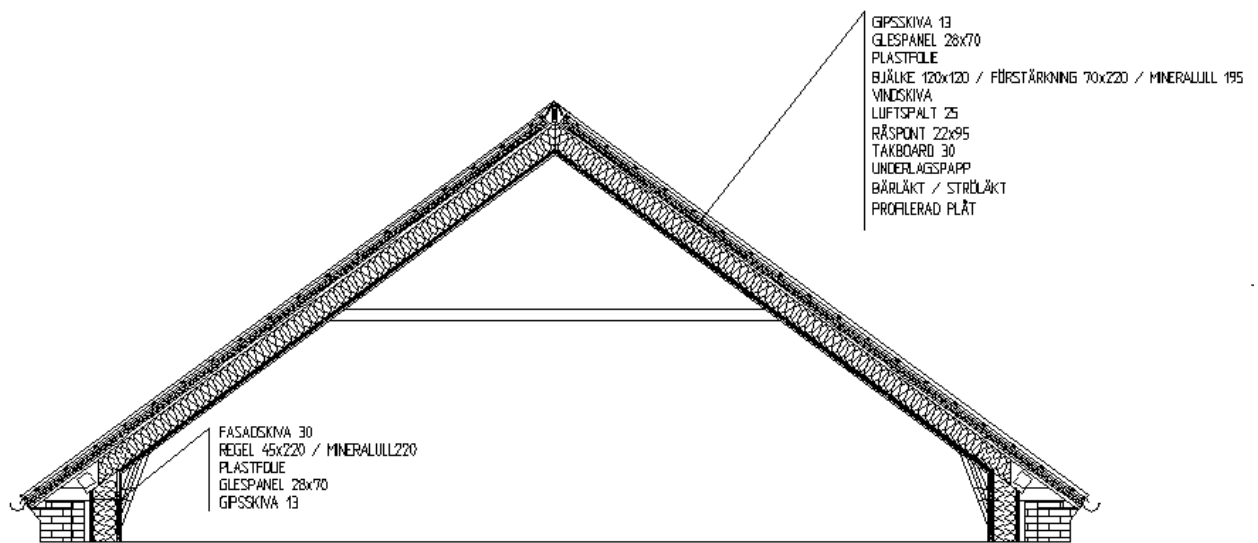
Figur 8-4: Relativ fuktighet bakom fasadskivan i ytterväggen, lösningsförslag 2

Ytterväggen i lösningsförslag 2 har lite lägre relativa fuktigheter än ytterväggen i lösningsförslag 1, se Tabell 8-17. Anledningen till att den relativa fuktigheten är lägre skulle kunna bero på att luftspalten är större. Bakom fasadskivan, se Figur 8-4, är de relativa fuktigheterna tämligen stabila med cirka 70 % RF vilket är under den kritiska nivån.

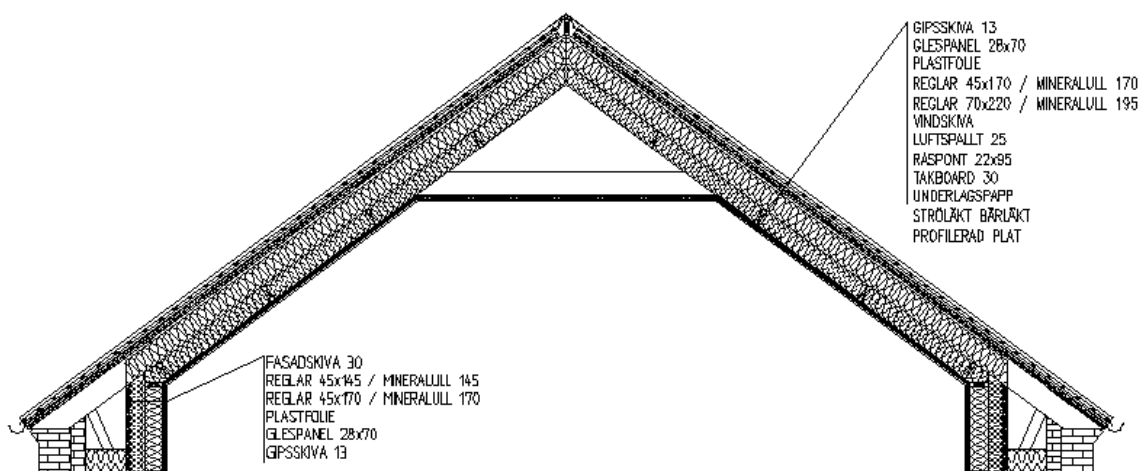
För att kunna göra en mer säker utvärdering av konstruktionerna i lösningsförslag 1 och 2 bör vidare analys göras med WUFI-Bio och exempelvis Folosdiagram. Med dessa redskap kan sambandet mellan relativ fuktighet och aktuell temperatur studeras närmare vilket ger mer säkra antaganden kring risken för mikrobiell påväxt.

8.4 Ritningar

Nedan presenteras slutgiltiga ritningar på lösningsförslag 1 och 2.



Figur 8-5: Resultat, lösningsförslag 1.



Figur 8-6: Resultat, lösningsförslag 2.

9 Diskussion

9.1 Allmänna myndighetskrav

Vid om- och nybyggnad finns rikstäckande myndighetskrav. Dessa krav preciseras i BBR 22 som bygger på Plan- och Bygglagen samt Plan- och byggförordningen. Kraven för nybyggnad ska i den mån det är möjligt följas även vid ombyggnad.

Myndighetskraven tillämpas av stadsbyggnadskontor vid ansökan om bygglov. Eftersom varje stadsbyggnadskontor har olika mycket kunskap och ibland egna krav kan det vara olika svårt att få igenom ett bygglov i olika kommuner. Detta betyder att samhällsbyggandet påverkas mycket av hur varje kommun jobbar.

När det kommer till bygglovsansökan för lösningsförslag 1 och 2 finns en stor skillnad. I lösningsförslag 2 ersätts den befintliga takkonstruktionen med en helt ny konstruktion. Detta skulle kunna ge problem vid en bygglovsansökan eftersom den befintliga byggnaden då inte bevaras.

9.2 Utformning av takkonstruktioner och hur detta påverkar de olika fokusområdena

Vid framtagandet av lösningsförslagen upptäcktes hur mycket de olika fokusområdena energi, fukt och bärighet påverkar varandra. Till exempel påverkas isoleringsmängden i stor utsträckning av dimensionerna på takstolarnas byggdelar. I lösningsförslag 1 begränsades isoleringstjockleken av förstärkningens dimensioner. I lösningsförslag 2 gjordes en påbyggnad med korsande regler för att kunna öka isoleringsmängden. Denna påbyggnad gjorde i sin tur att takstolarna blev mer belastade och högre utnyttjade.

Hur takkonstruktionen utformas påverkar även hur mycket yta som kan utnyttjas på vindsvåningen. Om takkonstruktionen är tjock sänks takhöjden vilket leder till att en minskad boyta får tillgodoräknas. Mindre uthyrningsbar boyta leder till att fastighetsägaren får mindre inkomster. Av de lösningsförslag som undersökts i arbetet ger lösningsförslag 2 mindre boyta på grund av att stödbenen är vertikala och att takkonstruktionen är tjockare. Den uthyrningsbara boytan blir cirka 40 m² mindre. Å andra sidan ger lösningsförslag 2 en mindre energianvändning vilket i längden leder till minskade utgifter.

Även fuktillstånden i konstruktionerna påverkas starkt av isoleringsmängden. Studien visar på att en tjockare konstruktion med mer isolering även utsätts för högre relativ fuktighet i delar av konstruktionen. Det krävs alltså att alla parametrar finns med i åtanke redan i projekteringsstadiet för att erhålla en så optimal lösning som möjligt.

Förutom de tre fokusområdena finns vid ombyggnad ytterligare en dimension som behöver tas hänsyn till, den befintliga byggnaden. Den befintliga byggnaden sätter ramarna för hur ombyggnaden kan utformas. I den aktuella studien påverkas ombyggnaden främst av takstolens utformning och egenskaper. Att behålla den befintliga takkonstruktionen innebär att antaganden om vilka egenskaper denna har behöver göras. För att kunna göra denna typ av antaganden krävs erfarenhet inom området. Eftersom författarna varken har erfarenhet inom området eller har kunnat utföra den omfattande utredning som hade behövt göras finns en del osäkerheter i resultatet. Om de befintliga takstolarna bevaras bör till exempel bjälklaget brytas upp för att kontrollera hur förbanden utförts. För att få en bättre bild av hur fukten varierar i de befintliga takstolarnas tvärsnitt bör även fuktmätningar göras i större omfattning eftersom

endast ytfuktkvoten kunnat kontrolleras i detta arbete. Även skador som sprickor och angrepp från trägnagande insekter bör utredas närmare.

9.3 Bärighet

Ju större egentygnd takkonstruktionen har desto större påverkan har den på den befintliga byggnaden. Detta arbete har avgränsats till att bara studera inverkan på vindbjälklaget och uppbygganden av tegelmuren på vinden. Om takkonstruktionens egentygnd efter ombyggnad blir så stor att den anses ge en väsentlig lastökning bör även grunden och hela byggnadens bärande system kontrolleras.

För lösningsförslag 2 har en principskiss på förbandet mellan dragsträva, stödben och bjälken i bjälklaget utformats. Principskissen bygger på att takstolarna är direkt förbundna med bindbjälkarna. Om c/c-avståndet i bjälklaget inte är 600 mm som antaget måste takstolarnas c/c-avstånd anpassas utefter bjälklaget. Ett alternativ är att låta ett nytt remstycke införas eller fler bindbjälkar läggas in. Om c/c-avståndet ändras medför det att lasterna ändras vilket innebär att lasteffekterna på takstolen blir annorlunda.

De antaganden som gjorts angående hur bjälklaget och tegeluppbyggnaden tar upp de horisontella lasterna är baserade på att bjälklaget och uppbyggnaden ser ut på ett specifikt sätt. Detta gjordes för att förenkla och generalisera. Fokus ligger på metod och inte resultat. Beräkningarna utgår från att takstolarna är helt symmetriska och att muruppbyggnaden på långsidorna är identiska. Detta är inte fallet för referensobjektet eftersom muren endast är uppbyggd på ena sidan. Att muren inte är uppbyggd på den andra sidan leder till att takstolen utformats på ett annorlunda sätt där. Eftersom det finns en stor takkupa på den befintliga vinden är även takstolarna där utformade på ett annat sätt än vad som står beskrivet i rapporten. Vid den befintliga takkupan har originalhanbjälkarna sågats av och ersatts med nya hanbjälkar som sitter längre upp, denna utformning har alltså förenklats bort i rapporten.

Ingen av de befintliga takstolarna klarar dagens normkrav, varken den med eller utan stödben. Detta kan tyckas konstigt eftersom takstolarna ser ut att fungera bra i dagsläget. Vid kontroll mot Eurokod läggs dock partialkoefficienter på som säkerhetsmarginal, att takstolarna inte klarar kraven behöver därför inte betyda att de inte håller. Då båda takstolarna var relativt långt från att klara kraven finns anledning att tro att det finns brister i modelleringen. Det finns flera steg i modelleringen som kan vara fel och för mycket på säkra sidan. En 3D-konstitution har analyserats i ett 2D-program och många antaganden har gjorts angående den horisontella lastens uppdelning. Antagandet om att all horisontell last från takstolarna utan stödben belastar dragsträvorna är på säkra sidan. I verkligheten kan det vara så att en del av den horisontella lasten tas upp av tegelväggen. Den horisontella lasten kan föras över till tegelmuren både direkt via friktion mellan högben och tegelmur men även mellan kantbalk och tegelmur då denna vilar på muruppbyggnaden. Antagandet om hur takstolarna är placerade på kantbalken ger även maximal stödreaktion och är på säkra sidan. Hur horisontell last överförs till dragsträvan kunde studerats närmare. Om den horisontella lasten inte kan överföras och förbandet ger efter kan tegelmuren bli mer belastad.

Hur styvheten på kantbalken varierar har en stor betydelse för hur momentfördelningen i högbenen ser ut i den befintliga takstolen. Vid beräkning av kantbalkens styvhet gjordes endast en grov uppskattning som inte tog hänsyn till att kantbalken inte belastas i dess huvudriktningar. För att få en bättre uppfattning om hur den vertikala lasten fördelades skulle en noggrannare

beräkning gjorts. Styvheten varierar beroende på var takstolen går ner i kantbalken. Om en 3D-modell gjorts kunde detta ha blivit mer realistiskt modellerat.

De akustiska kraven kommer troligen att påverka bjälklagets utformning vid ombyggnad eftersom bjälklaget blir lägenhetsskiljande. Kraven för stegljud i BBR kommer troligen inte att uppfyllas om det befintliga bjälklaget inte ändras. Olika typer av lösningar kan användas för att förbättra de akustiska egenskaperna, detta kan påverka hur bjälklaget tar upp horisontell last.

Värdet på moment i högbenen skiljer sig mycket åt mellan lösningsförslag 1 och 2. För den förstärkta takstolen med stödben blir största momentet i högbenen cirka sex gånger så stort som för den nya takstolen. Storleken på momentet kan bero på facklängden, styvheten i stöden samt lasten. För den förstärkta takstolen är den horisontella punktlasten troligen en stor bidragande faktor till detta resultat.

9.4 Energi

När det kommer till energiberäkningarna finns en del saker som påverkar resultatet relativt mycket och som alltså skulle kunna ändra resultaten i rapporten. Lägenhetsindelningen kan till exempel påverka resultatet eftersom ventilationsflödena ökar per lägenhet. Många små lägenheter ger alltså ett ökat energibehov i förhållande till ett färre antal större lägenheter.

Energiberäkningarna innehåller även en rad antaganden. Det befintliga bjälklagets uppbyggnad samt värmetekniska egenskaper har i allra högsta grad antagits, vilket ger en stor osäkerhet i jämförelserna av energianvändningen efter ombyggnad. Köldbryggorna i byggnaden är en annan parameter som endast antagits och som delvis påverkar resultatet.

För att underlätta beräkningarna i IDA Ice har själva värmesystemet inte valts eller dimensionerats. Istället har ett idealt värmesystem använts. Av denna anledning har inte hänsyn tagits till frågor som till exempel; klarar undercentralen av ytterligare fler radiatorer? Var ska eventuella radiatorer placeras ut? Och klarar befintliga pumpar av att försörja vinden? Hänsyn har inte heller tagits till hur ventilationssystemet i byggnaden skulle se ut. Till exempel om varje lägenhet ska ha ett eget aggregat eller om alla ska ha ett gemensamt.

Resultatet av energiberäkningarna visar att båda lösningsförslagen ger i princip samma specifika energianvändning för hela byggnaden. Det är dock viktigt att poängtera att vinden i lösningsförslag 2 använder betydligt mindre energi än den i lösningsförslag 1, se Tabell 9-1.

Tabell 9-1: Jämförelse av energianvändning för lösning 1 och 2.

	Specifik energianvändning för hela Clara 13 innan ombyggnad [kWh/m ²]	Specifik energianvändning för hela Clara 13 [kWh/m ²]	Specifik energianvändning för varje lösningsförslag [kWh/m ²]
Lösningsförslag 1	152	127	72
Lösningsförslag 2		126	58

9.5 Fukt

För beräkningarna i WUFI görs även en hel del antaganden. Framst vid skapandet av materiallagren eftersom detta sätter förutsättningarna för fukttransporten i konstruktionen. Materialen som väljs i modellen är många gånger en grov förenkling av verkligheten och desto fler

lager, desto fler antaganden om konstruktionens egenskaper. Ett exempel på detta är parallelltakens plåttak. Plåttaken måste förenklas till tegelpannor vilket bidrar till en stor felkälla i beräkningen. Till exempel blir det ofta kondens på undersidan av plåttak under klara nätter, denna egenskap försvinner vid modellering av taket med tegelpannor.

Ytterväggarna i WUFI-modellen har också modellerats med en rad osäkerheter, både när det kommer till material och fukt/luftkällor. Omsättningen i luftspalten är ett stort osäkerhetsmoment och vid en eventuell ombyggnad är det viktigt att säkerställa god luftväxling i denna. Detta blir speciellt viktigt i lösningsförslag 1 eftersom luftspalten i denna lösning är smalare. Resultaten visar att alla delar i konstruktionerna ligger på gränsen till kritiska fuktnivåer eller precis under. Detta visar på att vid en ombyggnad av vinden måste mer vikt läggas vid fuktsäkerhetsprojekteringen för att säkerställa att dessa blir säkrare. Eftersom materialen har så pass stor inverkan på resultatet, vilket visas tydligt i parameterstudien, bör materialen vid en eventuell ombyggnad väljas med omsorg.

Förutom osäkerheterna i materialens egenskaper görs en del förenklingar när det kommer till detaljutformningen i lösningsförslag 1. Eftersom stödbenen i denna lösning ska gå genom väggen skapas många ställen för tänkbara luftläckage. Luftläckagen skulle kunna göra att fuktig inomhusluft läcker in till kallare delar av konstruktionen och kondenserar där. Detta tas det inte hänsyn till i beräkningarna vilket gör att värdena är på osäkra sidan.

Klimatdatafilen som används i WUFI är en annan parameter som ger ett resultat på osäkra sidan. I denna fil har extremvärden från mätningar tagits bort och ett medelvärdesår skapats. Dessa klimatdata körs sedan i en loop för att simulera flera år i WUFI.

Slutligen är det viktigt att nämna att för att kunna göra en mer säker utvärdering av fuktillstånden i konstruktionerna bör analys göras med WUFI-Bio och till exempel Folosdiagram.

10 Slutsats

I detta kapitel presenteras slutsatsen av arbetet. Slutsatsen presenteras utifrån de frågeställningar som legat till grund för arbetet.

10.1 Allmänt

Vad finns det för allmänna krav vid ombyggnad? Med krav menas myndighetskrav med huvudfokus på energi, fukt och bärighet.

Vid ombyggnad finns rikstäckande myndighetskrav. Dessa krav preciseras i BBR 22 som bygger på Plan- och Bygglagen och Plan- och byggförordningen.

Vilken typ av takkonstruktion är lämplig och hur påverkar den de olika fokusområdena?

För referensobjektet och många andra byggnader från samma tidsepok är det lämpligt att använda svenska takstolar som primärt bärande system om vinden ska utnyttjas som boendeyta. Takstolens utformning och dimension påverkar i hög grad isoleringsmängden som i sin tur påverkar fuktsäkerheten och energianvändningen. Hur fuktförhållandena ser ut i konstruktionen påverkar även takstolens hållfasthetsegenskaper och därmed lasteffekterna.

För- och nackdelar med lösningsförslagen

Att bevara de befintliga takstolarna ger dels ett kulturhistoriskt värde och dels ett estetiskt tilltalande uttryck. Lösningen ger en större uthyrningsbar yta, vilket innebär större potentiella inkomster. Dessutom blir den totala byggnadens specifika energianvändning lika liten som för den helt nya takkonstruktionen. Båda lösningsförslagen klarar kraven i BBR 22.

Ur fuktsynpunkt är den största skillnaden mellan lösningsförslagen tjockleken på konstruktionen. En tjockare konstruktion leder till en kallare klimatskärm, vilket i sin tur skapar högre relativa fuktigheter. Därför anses parallelltaket i den förstärka konstruktionen mer fuktsäker. När det kommer till fuktsäkerheten i ytterväggarna kan den nya takkonstruktionen lättare utformas fuktsäkert eftersom luftspalten bakom väggen kan göras bredare.

Om den befintliga konstruktionen bevaras behövs nya lösningar tas fram för hur den horisontella lasten ska tas omhand. Förstärkningar av högben och stödben behöver göras och förband i bjälklag undersökas. För den nya takkonstruktionen behövs inte lika mycket besiktningar och kontroller utföras. Det blir lättare att styra vart lasten ska ta vägen och hur den ska påverka den befintliga byggnaden.

10.2 Bärighet

Hur tas horisontella laster upp av byggnaden?

Horisontella laster tas upp av muruppbyggnaden, bjälkarna i bjälklaget och tvärgående bärande väggar. Hur den horisontella lasten delas upp är svårt att avgöra. En liten del av den horisontella lasten kan tas upp av muruppbygganden resterande tas upp av bindbjälkar i bjälklaget. Vid asymmetrisk belastning uppnås inte jämnvikt i bjälkarna och då förs horisontell last till tvärgående bärande väggar via skivverkan i golvet.

Förstärkt konstruktion

Hur fungerar den befintliga takkonstruktionen?

Takkonstruktionen fungerar som en helhet då takstolarna utan stödben och takstolarna med stödben är sammanförda med en kantbalk. Den horisontellt utåtriktade lasten från högbenen förs in från takfoten via en dragsträva till stödben och remstycke som är förbundet med bjälkar i bjälklag.

Hur stor blir den procentuella lastökningen av egentygden vid ombyggnad?

Egentygden för den befintliga takstolen är 0.13 kN/m. Den förstärkta konstruktionens egentygnd är 0.56 kN/m. Den procentuella lastökningen är alltså 331 %.

Hur påverkar den ökade belastningen tegelmuren och vindsbjälklaget?

Tegelmuren och bjälklaget belastas med vertikal och horisontell last från takstolarna. När tegelmurens kapacitet är uppnådd går all horisontell last till bjälkarna i bjälklaget. Bjälkarna utsatt för en ökad dragbelastning på grund av den horisontella utåtriktade lasten. Lasteffekterna av den vertikala ökade belastningen blir böjning och tvärkraft.

Vilka lasteffekter uppstår i de olika delarna av takstolen?

För takstolen utan stödben blir fältmoment relativt stort mellan hanbjälke och takfot. Hanbjälken stöttar högbenet så fältmomentet reduceras. Högbenen och hanbjälken blir båda belastade med tryckande normalkraft. Då takstolarna med stödben belastas med horisontell last från takstolarna utan stödben visar resultat att detta leder till stora problem för takstolen. Vid stora vind- och snölasten blir den horisontella stödreaktionen från takstolen med stödben mycket stor. Denna modelleras som en punktlast som verkar på dragsträvan. Punktlasten leder till att högbenens nedre del blir dragna och även hanbjälken. Att hanbjälken blir dragen innebär att slitningar på befintligt förband kommer bli stora. Förbandet är i första hand konstruerat föra att utsättas för tryck. Vid konstant drag kommer förbindaren bli mycket utsatt då det är endast den som kan ta upp dragkrafter. Den stora punktlasten leder även till att stödbenen utsätts för ett mycket stort moment och behöver förstärkas.

Det resultat som uppnåtts i denna modellering visar på att en annan lösning på hur den horisontella lasten ska tas upp bör tas fram. Alternativet är att göra en 3D-modell av det primära bärande systemet och för att kunna analysera hur de horisontella lasterna går. Om en ny lösning behövs för att ta hand om de horisontella lasterna kan ett alternativ vara att lägga till stödben på de takstolar som inte har de.

Nya takstolar

Hur fungerar takkonstruktionen?

Det primära bärande systemet består av svenska takstolar som var och en tar upp den belastning som de utsätts för. Alla takstolar har samma geometri och består av högben, hanbjälke, dragsträva och stödben. Dragsträvan för in de horisontellt utåtriktade krafterna direkt till bjälkar i bjälklaget.

Hur stor blir den procentuella lastökningen av egentygden vid ombyggnad?

Den nya konstruktionens egentygnd är 0.56 kN/m precis som den förstärkta och därmed blir den procentuella lastökningen samma det vill säga 331 %.

Hur påverkar den ökade belastningen tegelmuren och vindsbjälklaget?

I Resultat kan avläsas att den vertikala upplagskraften på muruppbbyggnad och remstycke är relativt liten i jämförelse med den förstärkta takstolens upplagskrafter. Detta tas upp i diskussionen.

Vilka lasteffekter uppstår i de olika delarna av takstolen?

För takstolen utan stödben belastas högbenen av transversell utbredd last och axiell last. Lasteffekterna blir att moment och tryckande normalkraft verkar samtidigt på högbenen. Högbenen stötts av stödben och hanbjälke. Stödbenet utsätts för en tryckbelastning för de flesta lastfall och så även hanbjälken. Dragsträvorna belastas med dragande normalkraft för majoriteten av lastfall.

10.3 Energi

Hur mycket kommer byggnadens totala energibehov att påverkas av det förändrade vindsutrymmet?

Byggnadens specifika energianvändning minskar från 152 till cirka 127 kWh/m²,år vid en vindsombyggnad enligt lösningsförslag 1. Om ombyggnaden görs enligt lösningsförslag 2 hamnar energianvändningen runt 126 kWh/m²,år.

Hur kommer vindsombyggnader att påverkas av framtida energikrav?

Exakta värden på de framtida kraven för specifik energianvändning är inte bestämda. Det står dock klart att det kommer nya och hårdare krav så snart som år 2021. Detta väntas i framtiden även påverka större ombyggnader då dessa, i den mån det är möjligt, ska följa kraven för nybyggnad.

10.4 Fukt

Hur ska anslutningen mellan takfot och yttervägg utformas fuktsäkert?

Vid utformning av anslutningen mellan takfot och yttervägg är det viktigt att göra en fuktsäkerhetsprojektering oavsett om en ny takkonstruktion byggs eller den befintliga används.

För att undvika svåra anslutningar vid takfoten på den befintliga takstolen kan en bra lösning vara att skapa en vertikal yttervägg med ett kallt vindsutrymme vid takfoten, en så kallad kattvind. Det är dock viktigt att vindsutrymmet ventileras och är tillräckligt brett för att kunna transportera bort eventuell fukt. Särskilt viktigt är också att välja rätt material på utsidan av träregelväggen, mot vindsutrymmet. Parameterstudien visar att olika material i denna del av konstruktionen ger mycket varierande resultat när det gäller fuktsäkerheten. I lösningsförslag 1 presterade fasadskivan i väggkonstruktionen med hög diffusionsmotståndsfaktor bäst utifrån fuktsäkerhet. Detta beror troligtvis på att luftspalten i denna lösning får mycket höga fuktnivåer.

I en ny konstruktion finns inte lika mycket befintligt att ta hänsyn till, vilket gör att anslutningar kan utformas med större frihet. Anslutningar kan alltså utarbetas på ett mer fuktsäkert sätt redan från början. I takstolar med muruppbbyggnader blir det dock fortfarande en svårighet att ansluta den nya väggen på ett bra sätt mot tegelväggen. Av denna anledning kan det även i denna konstruktion vara en bra lösning med vertikala ytterväggar och luftspalt bakom. Efter-

som en ny takstol inte behöver anpassas till befintliga stödben kan luftspalten bakom ytterväggen göras större vilket leder till en mer säker konstruktion.

Vilka fuktproblem kan uppstå vid isolering av taket?

De fuktproblem som kan uppstå vid isolering av taket är främst inläckage av regn samt kondensation av fuktig inomhusluft. Takkonstruktionens uppbyggnad har stor betydelse för hur effekten av dessa inläckage blir. En tjockare konstruktion blir betydligt känsligare för inläckage eftersom klimatskärmen blir kallare vilket orsakar en högre relativ fuktighet. Dessutom får fukt som tar sig in i en tjock konstruktion svårare att torka ut.

Hur byggs takkonstruktionen upp med tilläggsisolering?

Tilläggsisolering av takkonstruktioner kan göras på en rad olika sätt. I aktuella lösningsförslag har isoleringen lagts mellan takstolarna i parallelltaket. Detta innebär att tjockleken på isoleringen begränsas av dimensionerna på takstolarna. Den förstärkta takstolen begränsas i aktuell lösning även av den estetiska parametern eftersom stödbenen och hanbjälken ska vara synliga. Om stödbenen ska kunna vara synliga kan till exempel inte en för tjock yttervägg användas.

Vid ombyggnad med en helt ny takstol kan dimensionerna på takstolarna istället anpassas efter den isoleringsmängd som önskas. Detta ger helt andra förutsättningar att bygga en tjockare konstruktion som i sin tur leder till mindre energiförluster. I aktuell konstruktion läggs isoleringen i två korsande skikt. Det första skiktet går mellan takstolarna och det andra skiktet mellan tvärgående regler fastsatta i takstolarna. Detta skapar en tjockare konstruktion samtidigt som köldbryggorna bryts.

Hur påverkar den aktuella fukthalten i takstolen konstruktionen?

I aktuell konstruktionen uppmättes inga förhöjda fukthalter. Vid ombyggnad är det dock ändå viktigt att göra fuktmätningar för att säkerställa att inga fuktiga material byggs in. Förhöjda fukthalter kan bidra till både försämrade hållfasthet, mikrobiell påväxt och sämre inomhusmiljö.

10.5 Checklista för vindsombyggnad i flerbostadshus från 1900-talets början

- ✓ En grundlig utredning av byggnadens stomkapacitet bör göras. Om ombyggnaden väntas ge en väsentligt ökad belastning bör även grundens kapacitet kontrolleras.
- ✓ Det bör även utredas närmare om det är genomförbart att uppnå gällande BBR-krav.
- ✓ Detaljplanen bör undersökas för att säkerställa att inget förbud finns mot vindsombyggnader.
- ✓ En skadeutredning bör göras för att upptäcka eventuella skadedjur, fuktskador eller sprickor.
- ✓ För att kostnadseffektivisera bör andra åtgärder göras i samband med vindsombyggnaden, till exempel byta fönster i hela bostadshuset.
- ✓ Om förråden är placerade på vinden bör en ny lokalisering av dessa hittas.
- ✓ Viktigt att tänka på är att det är den ursprungliga konstruktionen som sätter ramarna för vad som kan göras och vilka krav som kan uppnås.

11 Fortsatta studier

Nedan ges några förslag till vidare studier som skulle behöva göras inom området.

- Undersökning av hur utförandet vid vindsombyggnader bör gå till, till exempel hantering av bygglaster.
- Hur förband i äldre takstolar kan överföra laster samt hur skicket på dessa bedöms. Undersökning av olika förstärkningsmetoder kan även göras.
- Skillnad i dagsljusfaktor mellan takfönster och takkupor.
- Hur mycket påverkas grundläggningen av en ombyggnad/tillbyggnad.
- Undersökning av hur utvändigt tilläggsisolering av taket skulle kunna utföras samt vilka effekter detta ger.

Referenser

Abel, E. & Elmroth, A., 2012. *Byggnaden som system*. 3:e upplagan red. Lund: Studentlitteratur.

Andersson, C. o.a., 2009. *Att tilläggsisolera hus – fakta, fördelar och fallgropar*. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/FolderContents.mvc/Download?ResourceId=2829> [Använd 16 april 2016].

Arnstad, I., 2006. Stort sug efter vindar landet runt. *Bo bättre*.

Bergström, M., 1930. *Byggmästaren : tidskrift för arkitektur och byggnadsteknik*. Stockholm: Bröderna Lagerströms förlag.

Bjerking, S.-E., 1974. *Hur bostadshusen byggdes 1880-1940*, Stockholm: Statens institut för byggforskning.

Bokalders, V., 2011. *Isolering inte bara en värme fråga*. <http://www.byggnadsvard.se/byggnadskultur/isolering/isolering-inte-bara-en-varme-fraga> [Använd 1 mars 2016].

Bokalders, V. & Block, M., 2014. *Byggekologi, kunskaper för ett hållbart byggande*. Upplaga 3 red. u.o.:Svensk byggtjänst.

Boverket, 2006. *Allmänna råd om ändring av byggnad, BÄR*. <http://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/publikationer/2006/allmanna-rad-om-andring-av-byggnad-bar/> [Använd 6 april 2016].

Boverket, 2008. *Regelsamling för byggande, BBR*, Karlskrona: Boverket.

Boverket, 2012. *Bostadsbristen ur ett marknadsperspektiv*, Karlskrona: Boverket.

Boverket, 2014 a. *Guide för bygglov och byggprocessen*. <http://www.boverket.se/sv/om-boverket/guider/guide-for-bygglov-och-byggprocessen/> [Använd 29 februari 2016].

Boverket, 2014 b. *Högsta tillåtna fuktillstånd BBR 6:52 och 6:53*. <http://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/om-fukt-i-byggnader/nyproduktion--fuktsakerhetsprojektering/hogsta-tillatna-fukttillstand-bbr-652-och-653/> [Använd 7 april 2016].

Boverket, 2015 a. *EKS – Boverkets konstruktionsregler*. <http://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/eks---bfs-201110/> [Använd 16 04 2016].

Boverket, 2015 b. *Förslag till svensk tillämpning av nära-nollenergibyggnader*. <http://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/publikationer/2015/forslag-till-svensk--tillampning-av-nara-nollenergibyggnader/> [Använd 10 mars 2016].

Boverket, 2015 c. *Publikationer*.

<http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2015/regelsamling-for-byggande-bbr-2015.pdf>

[Använd 25 februari 2016].

Byggnadsforskning, 1990. *Äldre murverkshus*. Stockholm: Statens råd för Byggnadsforskning.

Carling, O., 1992. *Dimensionering av träkonstruktioner*. Göteborg: Tryckeri Balder.

Elmarsson, B. & Nevander, L.-E., 2006. *Fukthandbok. Praktik och Teori*. Upplaga 3 red. Stockholm: Svensk Byggtjänst.

Enberg, H., 2015. *Minimikrav på luftväxling. En tolkning av Boverkets Byggregler, Arbetsmiljöverkets föreskrifter, Folkhälsomyndighetens allmänna råd och andra dokument*. Upplaga 10 red. u.o.:H. Enberg Ventilationskonsult AB.

Energimyndigheten, 2007. *Söka efter projekt och publikationer*. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/.../Download?ResourceId=2832>

[Använd 20 maj 2016].

Energimyndigheten, 2015. *Uppvärmning*.

<http://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/hemmet/uppvarmning/>

[Använd 15 maj 2016].

EQUA, 2016. *Start: IDA Indoor climate and Energy*. <http://www.equa.se/en/ida-ice>

[Använd 10 05 2016].

Eriksson, E., 2001. *Den moderna staden tar form*. Stockholm: Ordfront Förlag.

Europeiska Unionen, 2010. *EUROPEISKA UNIONENS RÅD*.

[http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/cls/cons_cons\(2010\)05386\(ev3\)/cons_cons\(2010\)05386\(rev3\)_sv.pdf](http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/cls/cons_cons(2010)05386(ev3)/cons_cons(2010)05386(rev3)_sv.pdf)

[Använd 10 02 2016].

Folkhälsomyndigheten, 2014. *Publicerat material: Föreskrifter och allmänna råd: FoHMFS*.

<http://www.folkhalsomyndigheten.se/documents/publicerat-material/foreskrifter1/fohmfs-2014-18.pdf>

[Använd 23 03 2016].

Fuktcentrum, 2013. *ByggaF-metoden*. <http://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg-och-hjaelpmedel/fuktsaekert-byggande/byggaf-metoden/>

[Använd 10 maj 2016].

Gross, T. H. H., 1991. *Träbyggnadshandbok 2 Tak*. Malmö: Träinformation och Träteck.

HSB, 2015. *HSB Malmö*. www.hsb.se/malmo/om-boende/vara-hyresratter/vara-hyresfastigheter/malmo-innerstad/

[Använd 18 februari 2016].

HSB, 2015. *Våra hyresfastigheter*. <https://www.hsb.se/malmo/om-boende/vara-hyresratter/vara-hyresfastigheter/>

[Använd 15 mars 2016].

- Hägerstedt, S. O., 2012. *Fuktsäkra träkonstruktioner, Vägledning för utformning av träbaserade väggar*, Lund: Lunds universitet.
- Höglund, J., 1988. *Studier av infästningar av takfönster vid vindsinredningar*, Stockholm: Institutionen för byggnadsteknik, KTH.
- Isaksson, T. & Mårtensson, A., 2010. *Byggekonstruktion, Regel och formelsamling*. Lund: Studentlitteratur.
- Isaksson, T., Mårtensson, A. & Thelandersson, S., 2014. *Byggekonstruktion*. Upplaga 2:5 red. Lund: Studentlitteratur AB .
- Isover, 2016. *Isover: produkter: isover easy träregelskiva 37 c600*. <http://www.isover.se/products/isover-easy-traregelskiva-37-c600> [Använd 13 04 2016].
- Jensen, L & Warfvinge, C, 2001. *Värmebehovsberäkning. Kursmaterial Installationsteknik FK*. <http://www.hvac.lth.se/fileadmin/hvac/files/varmebeh.pdf>. [Använd 2 maj 2016].
- Karpestam, P., 2013. *Bostäder, rörlighet och ekonomisk tillväxt*, Karlskrona: Boverket.
- Levin, P., 2008. *Energieffektiva flerbostadshus - erfarenheter*, Stockholm: BeBo.
- Malmö stad, 2016. *Detaljplanprocessen*. <http://malmo.se/stadsplaneringtrafik/stadsplaneringvisioner/detaljplaner/detaljplaneprocessen.4.476cfe0814d2ef3bd18faf0.html> [Använd 26 februari 2016].
- Malmö Stadsbyggnadskontor, 1983. *Detaljplaner*. http://kartor.malmo.se/asp/Planer/Planer_lmvm.asp?PLAN=PL1583 [Använd 1 mars 2016].
- Malmö Stadsbyggnadskontor, 2013. *Råd och riktlinjer*. http://malmo.se/download/18.7acbdba51446ef6eb0ea45e/1395393187207/Inredng+av+vind+till+bostad_2013.pdf [Använd 25 februari 2016].
- Mundt-Petersen, S. O., 2015. *Moisture Safety in Wood Frame Walls, Blind evaluation of the hygrothermal calculation tool WUFI using field measurements and determination of factors affecting the moisture safety*, Lund: Byggnadsfysik, LTH Lunds Tekniska Högskola.
- Norén, B., 1959. *Takstolar av trä*. Norrköping: Statens nämnd för byggnadsforskning.
- Paulsson, A., Einarsson, T. & Bloohm, L., 1986. *Takstolsboken*. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning.
- Petersson, B.-Å., 2009. *Byggnaders klimatskärm, fuktsäkerhet, energieffektivitet, beständighet*. Upplaga 2 :Studentlitteratur.
- Plannja, 2016. *Produkter: profiler stål: Plannja Sinus 18*. <http://www.plannja.se/husagare-bygghandel/produkter/profiler-stal/plannja-sinus-18/> [Använd 13 04 2016].

Ranby, H. o.a., 1992. *Malmö stads historia, sjätte delen / 1939-1990*. Arlöv: Redaktionskommittén.

Regeringskansliet, 2015. *Mål för energieffektivisering*. <http://www.regeringen.se/regeringspolitik/energi/energieffektivisering/mal-for-energieffektivisering/>
[Använd 4 april 2016].

Sandin, K., 2010. *Praktisk Byggnadsfysik*. Upplaga 1:4 red. Lund: Studentlitteratur AB.

Skogsindustrierna, 2010. Historiska träförband i svenska takstolar. *Träinformation*, mars.

Skogsindustrierna, 2010. Historiska träförband i svenska takstolar. *Trä information*, september.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2016. *Dagsljus*.
https://www.sp.se/sv/index/services/lighting_environment/daylight/Sidor/default.aspx
[Använd 1 mars 2016].

SP, 2007. *Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen*.
<https://www.sp.se/sv/units/energy/eti/Documents/Lufttat%20Tidning7.pdf>
[Använd 8 maj 2016].

Statens energimyndighet, 2015. *Energistatistik för flerbostadshus 2014, Energy statistics for multi-dwelling buildings in 2014*. ES 2015:04, Eskilstuna: Statens energimyndighet.

Stockholms stad, 2011. *Remiss*. <http://www.stockholm.se/ByggBo/Bygglov/a-o-lanksidor/Remiss/>
[Använd 1 April 2016].

Strusoft, 2016. *Strusoft: Win statik: frame analysis*. www.strusoft.com
[Använd 04 04 2016].

SVEBY, 2012. *Brukarindata Bostäder*. Upplaga 1 red. Stockholm: Sveby.

Swedish Standard Institute, 2008. *Bygghälsökriterier och byggnadsdelar - Värmemotstånd och värmegenomgångskoefficient - Beräkningsmetod*, Stockholm: SIS Förlag AB.

Swedish Standard Institute, 2009. *Standard SS-EN 1995-1-1*. file:///fs-n.net.lth.se/home/vov11mst/Downloads/SS-EN_1995-1-1_2004.pdf

Swedish standards institute, 2004. *Standard - Svensk Standard SS-EN 1995-1-1:2004*.
file:///C:/Users/sk159584/Downloads/SS-EN_1995-1-1_2004.pdf
[Använd 14 mars 2016].

Swedish standards institute, 2005. *Eurokod 1, laster på bärverk, Del 1-3, Allmänna lastersnölaster*, Stockholm: SIS Förlag AB.

Swedish Standards Institute, 2007. *Bygghälsökriterier och byggnadsdelar - Värmemotstånd och värmegenomgångskoefficient - Beräkningsmetod (ISO 6946:2007)*. 2 red. Stockholm: SIS Förlag AB.

Swedish Standards Institute, 2009. *E-nav: mina standarder: SS-EN 1995*. www.enav.com
[Använd 19 maj 2016].

- Swedish standards institute, 2011. *SS-EN-1991-1-1*, Stockholm: SIS Förlag AB.
- Swedish standards institute, 2011. *Standarder*. <file:///C:/Users/skl59584/Documents/EC-1,%201-1,egentyngd,%20nyttiglat.pdf>
[Använd 02 april 2016].
- Swedish Standards Institute, 2008. *SS-EN-1991-1-4*, u.o.: Swedish standards institute.
- Svenskt trä, 2013. *Hantera virket rätt, beställning, hantering och lagring*, Stockholm: u.n.
- Sveriges centrum för nollenergihus, 2012. *FEBY 12*. <http://www.nollhus.se/feby-12>
[Använd 10 maj 2016].
- Theelin, C., 2010. Historiska träförband i svenska takstolar. *Träinformation*.
- Almqvist, T., Johansson, H. & Simonsson, L., 1997. *Vad folket byggde, Ett utkast till folkrörelsernas byggnadshistoria*. Stockholm: Sveriges Arkitektmuseum.
- Träguiden, 2003. *Fukt och belastning*. <http://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper/mekaniska-egenskaper1/fukt-och-belastning/?previousState=101000>
[Använd 01 03 2016].
- TräGuiden, 2003. *Mikroorganismer*. <http://www.traguiden.com/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper/bestandighet1/mikroorganismer1/>
[Använd 3 maj 2016].
- Träguiden, 2003. *Sadeltak*. <http://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktiv-utformning/stomme/tak/sadeltak/>
[Använd 01 03 2016].
- Träguiden, 2003. *start: konstruktion: konstruktiv utformning: stomme: stabilisering- Tak*. <http://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktiv-utformning/stomme/tak/stabilisering--tak/>
[Använd 28 04 2016].
- Träinformation och Träteknik, 1991. *Tak*. 2 red. Malmö: Institutet för träteknisk forskning.
- Tyréns, 2015. *Studentbostäder, en föutsättning för tillväxt*, Stockholm: Stockholms studentbostäder, student bostadsföreningen.
- Wallentén, P., 2013. *RäknaF*. http://www.fuktcentrum.lth.se/fileadmin/fuktcentrum/PDF-filer/2013/Infodag_2013_lund/Raekna_F_presentation.pdf
[Använd 20 maj 2016].
- Westman, T., 1984. *Så byggdes husen 1880-1980*. 2:a upplagan red. Stockholm: Stockholms stadsbyggnadskontor och statens råd för byggnadsforskning.
- Williams, L. & Blomberg, I., 2005. *Tjugotalshuset idag*. Stockholm: Formas.
- von Schéele, C., 2010. *Skåne bygger, slutrapport*, Malmö: Länsstyrelsen i skåne län.

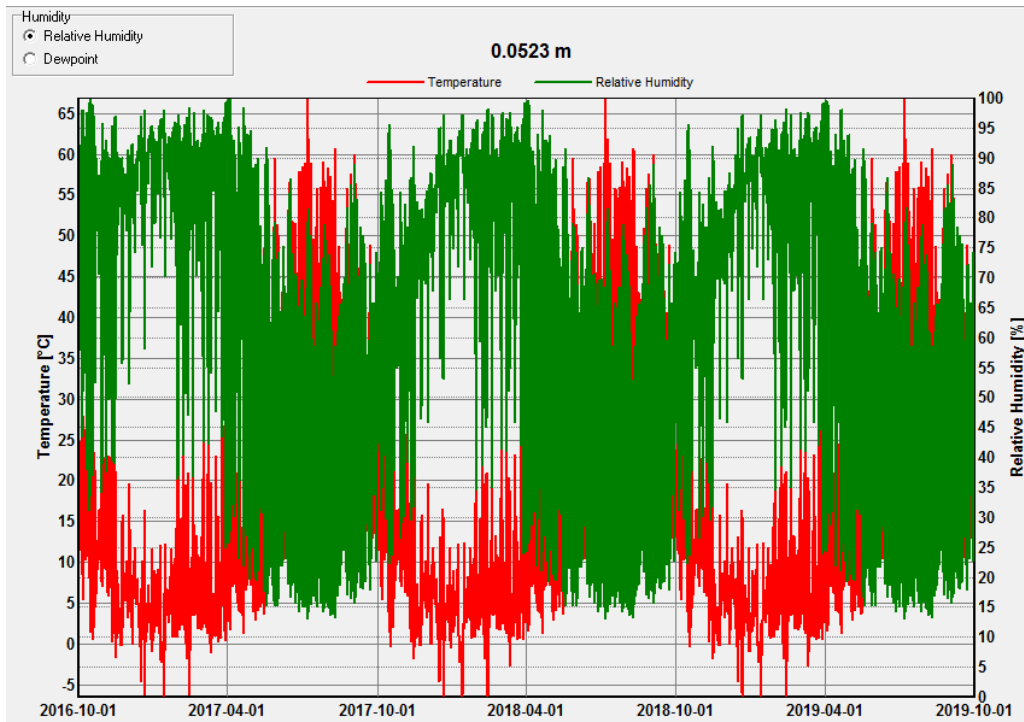
WUFI, 2016. *What is WUFI?*. <https://wufi.de/en/software/what-is-wufi/>
[Använd 10 maj 2016].

ÅF, 2008. *Rapport, Energideklarering. Clara 13 Kungsgatan 2, 21151 Malmö*, Malmö: ÅF.

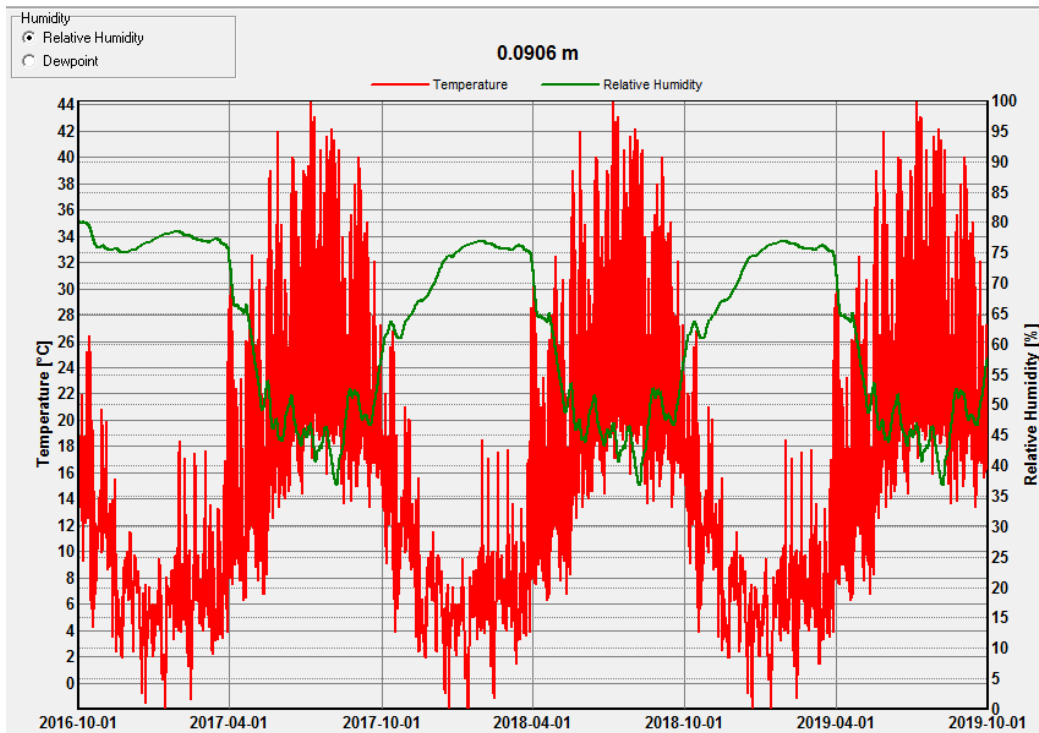
Bilaga B Resultatdiagram - WUFI

B.1 Lösningsförslag 1

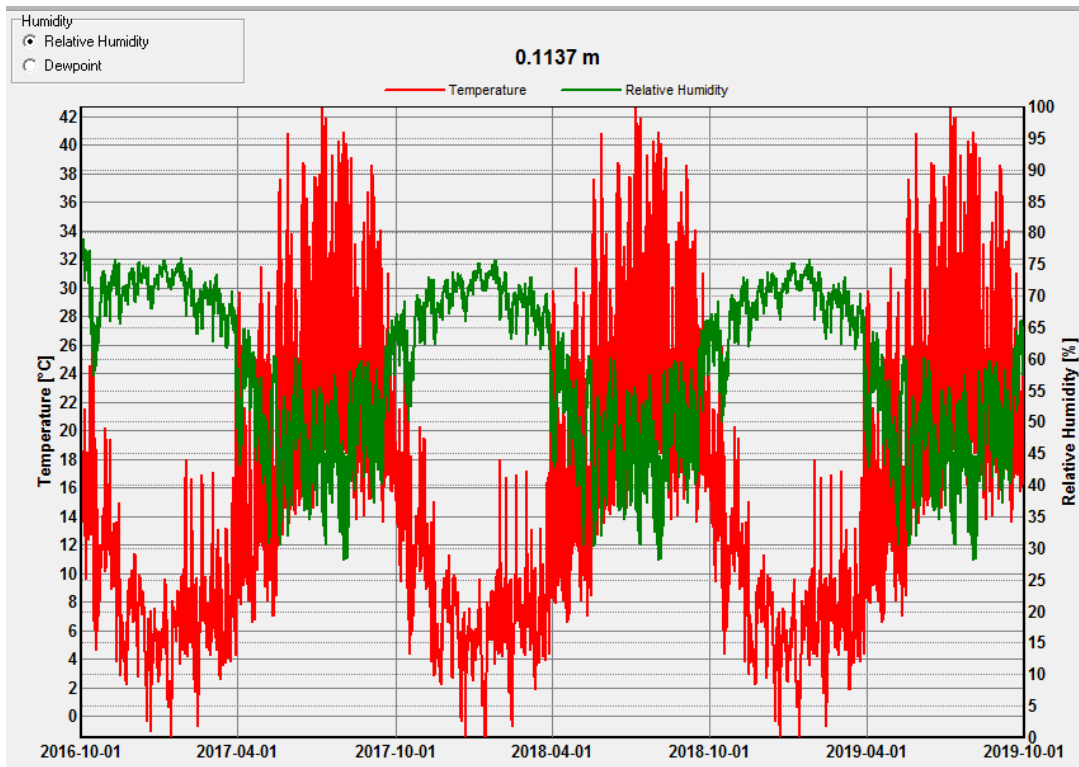
B.1.1 Parallelltak



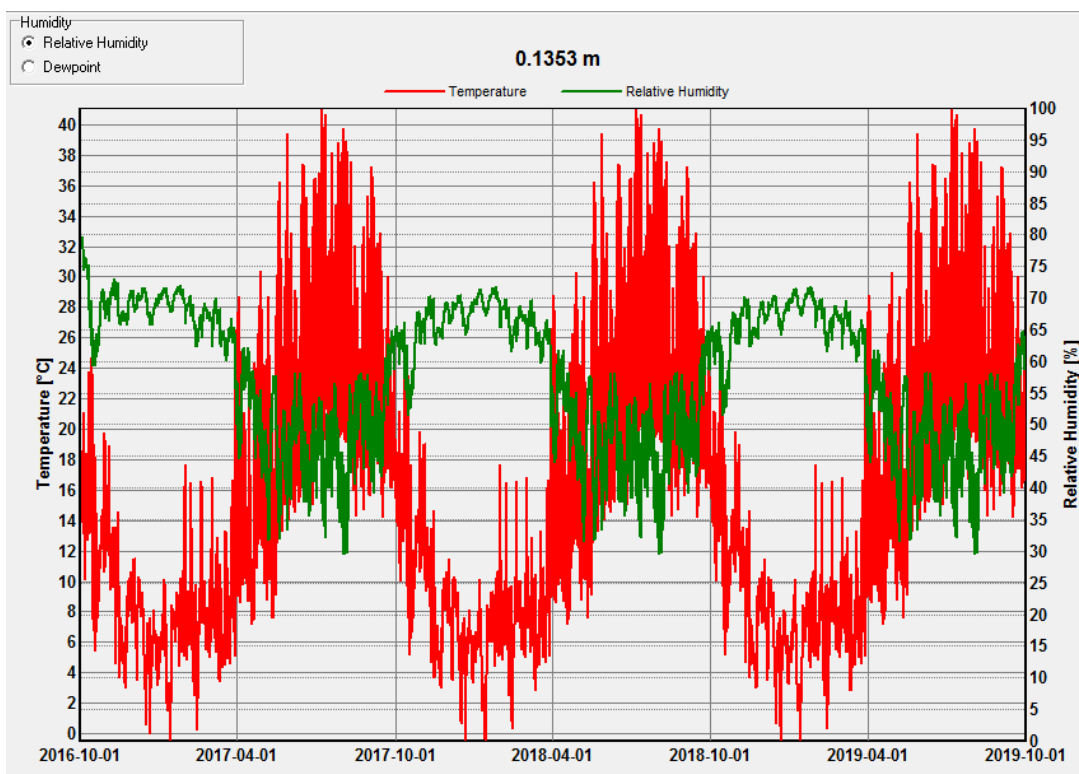
Figur B-0-2: Relativ fuktighet bakom underlagspapp.



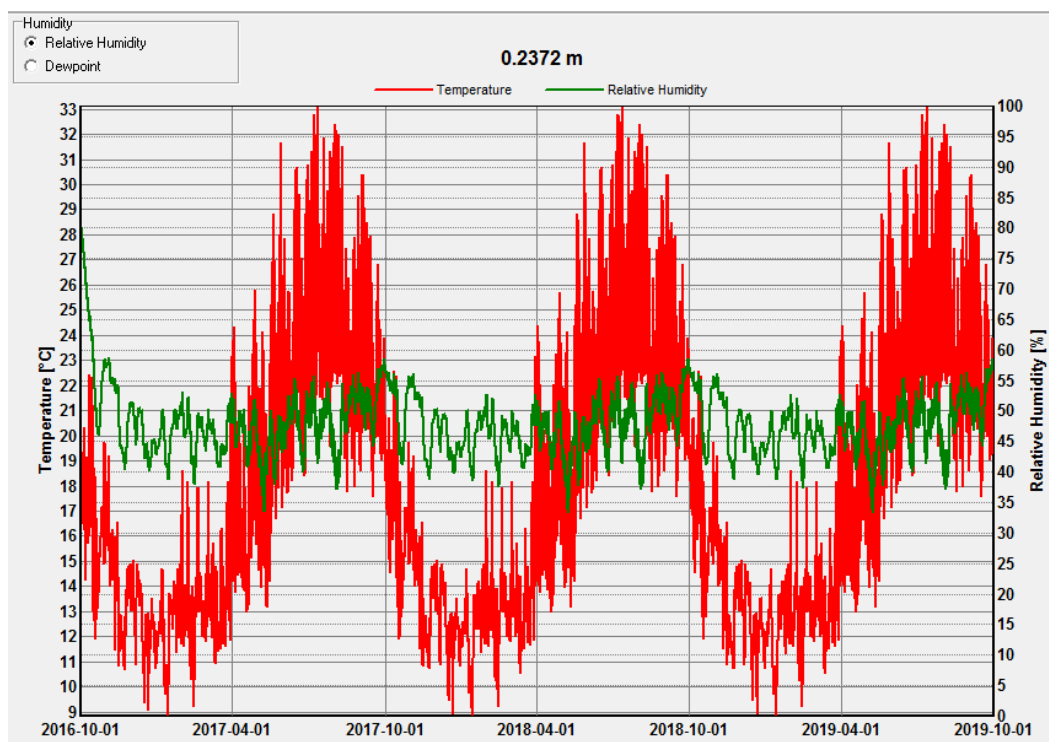
Figur B-0-3: Relativ fuktighet i råsponten.



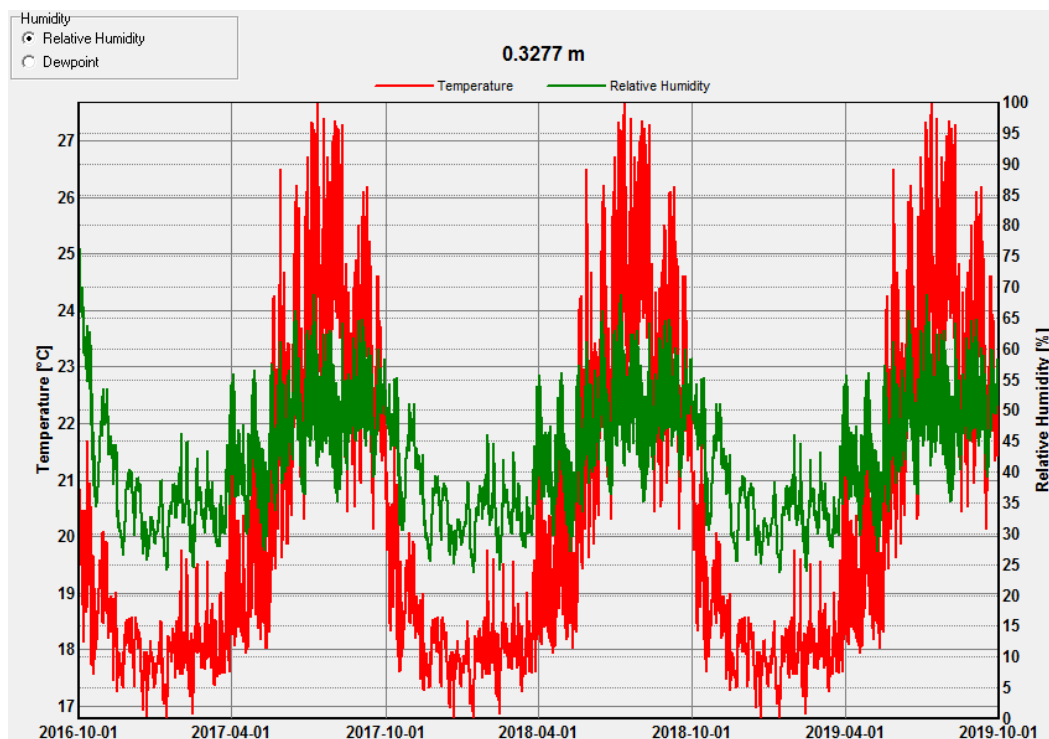
Figur B-0-4: Relativ fuktighet i luftspalt.



Figur B-0-5: Relativ fuktighet på utsidan av mineralullen.

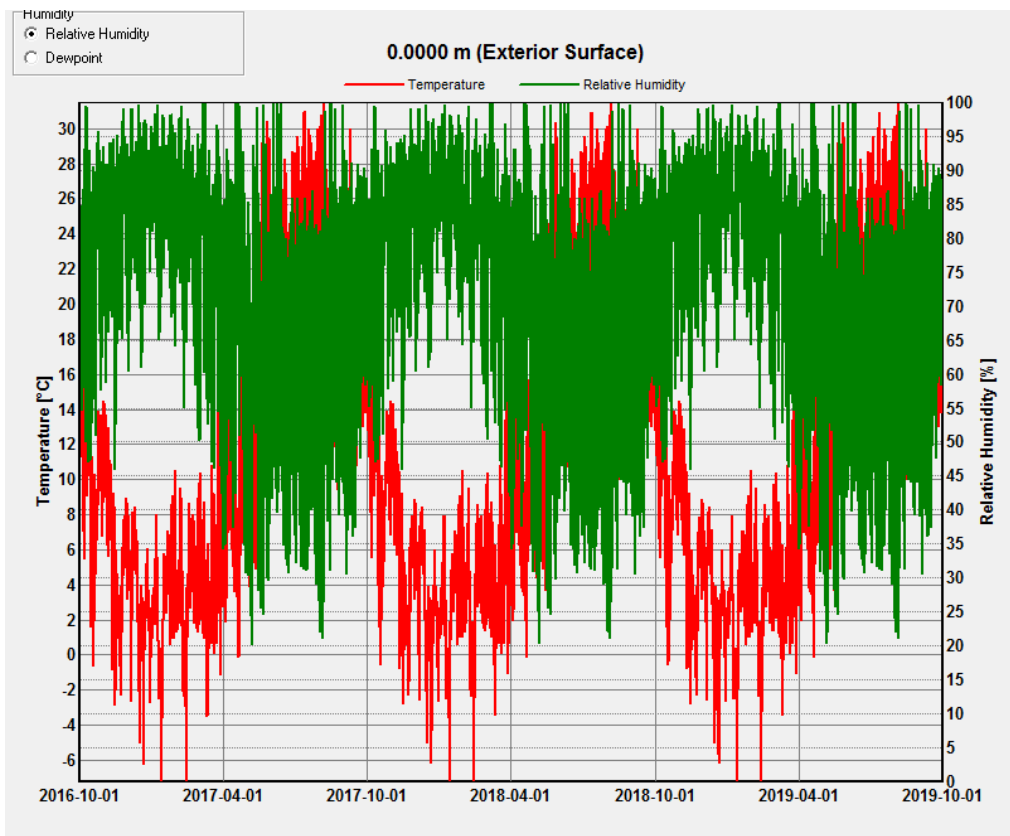


Figur B-0-6: Relativ fuktighet i mitten av mineralullsskiktet.

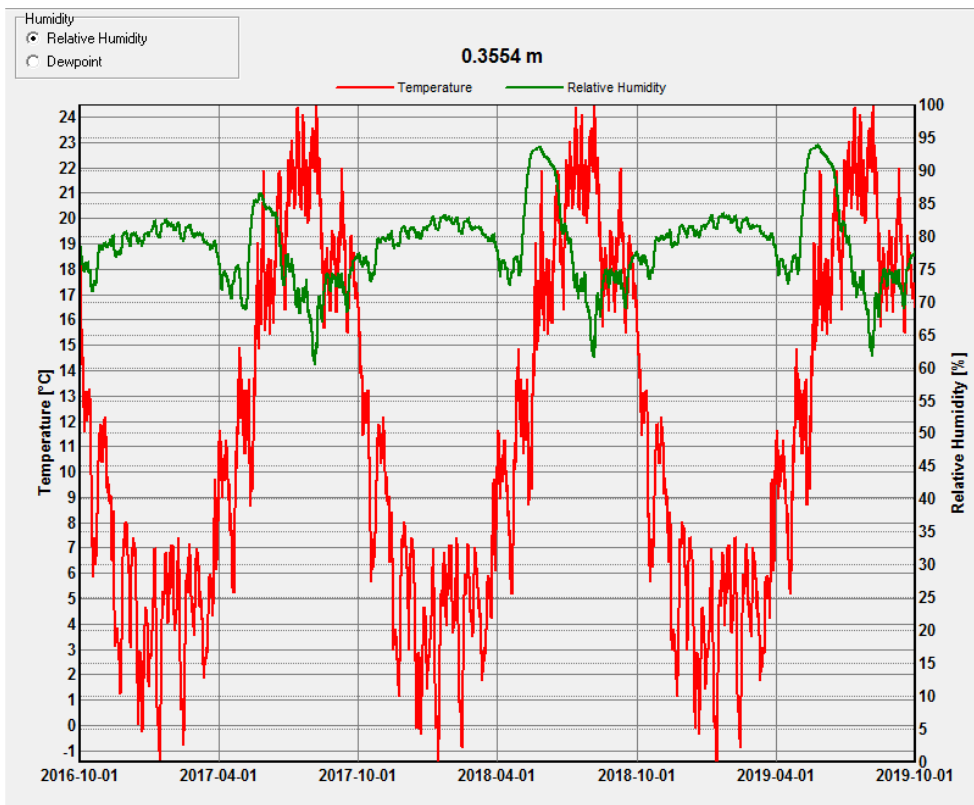


Figur B-0-7: Relativ fuktighet bakom plastfolien.

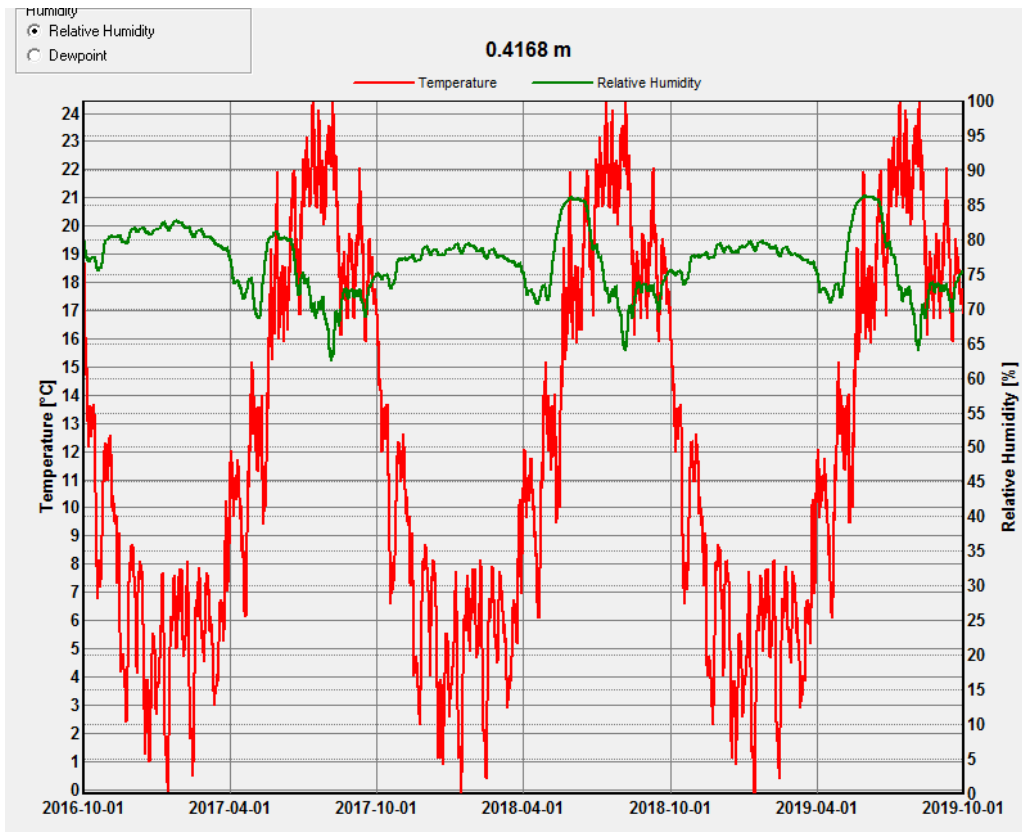
B.1.2 Vagg mot takfot



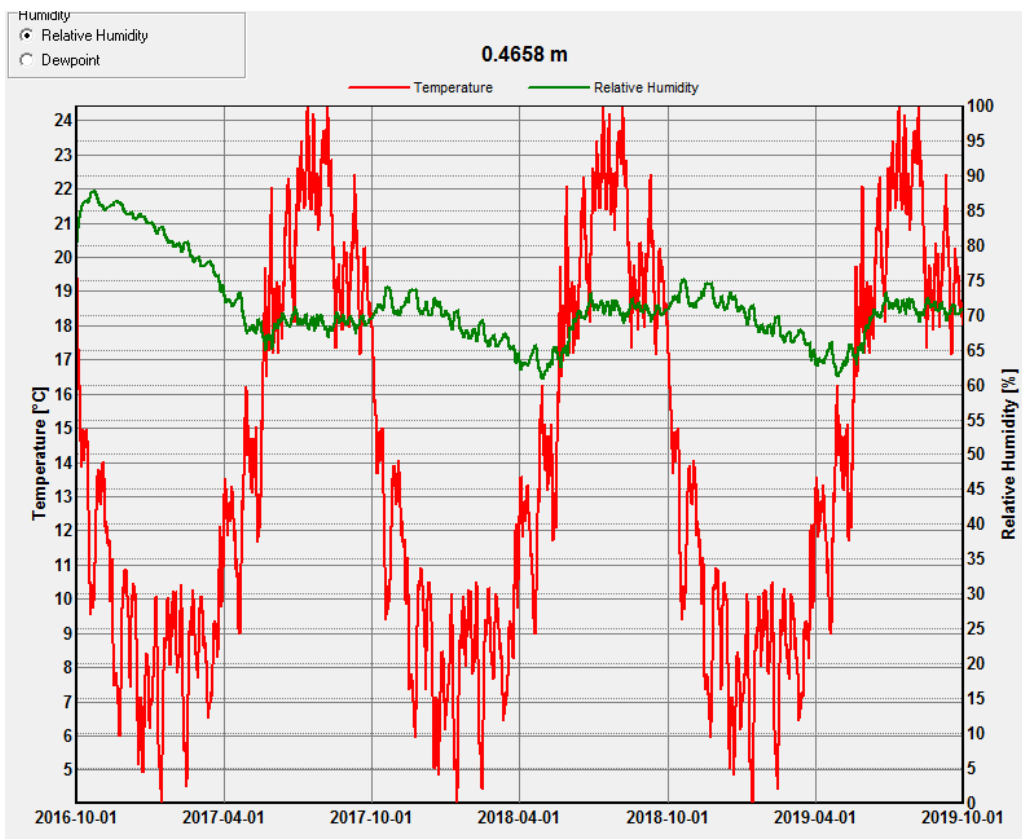
Figur B-0-8: Relativ fuktighet utomhus.



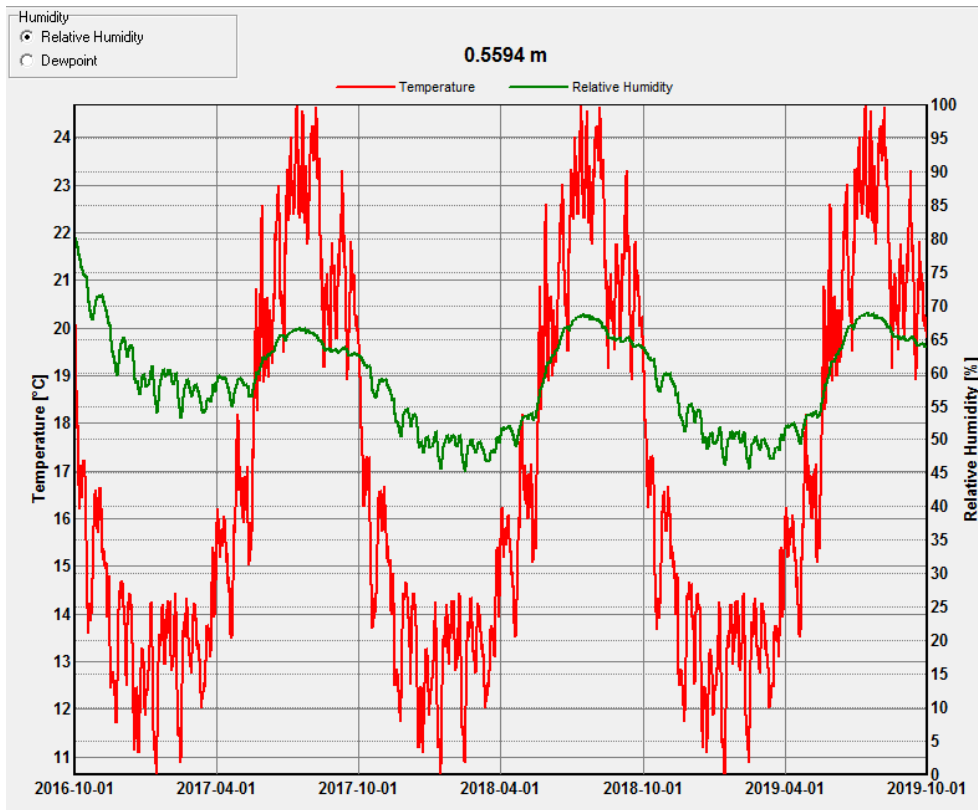
Figur B-0-9: Relativ fuktighet i luftspalt.



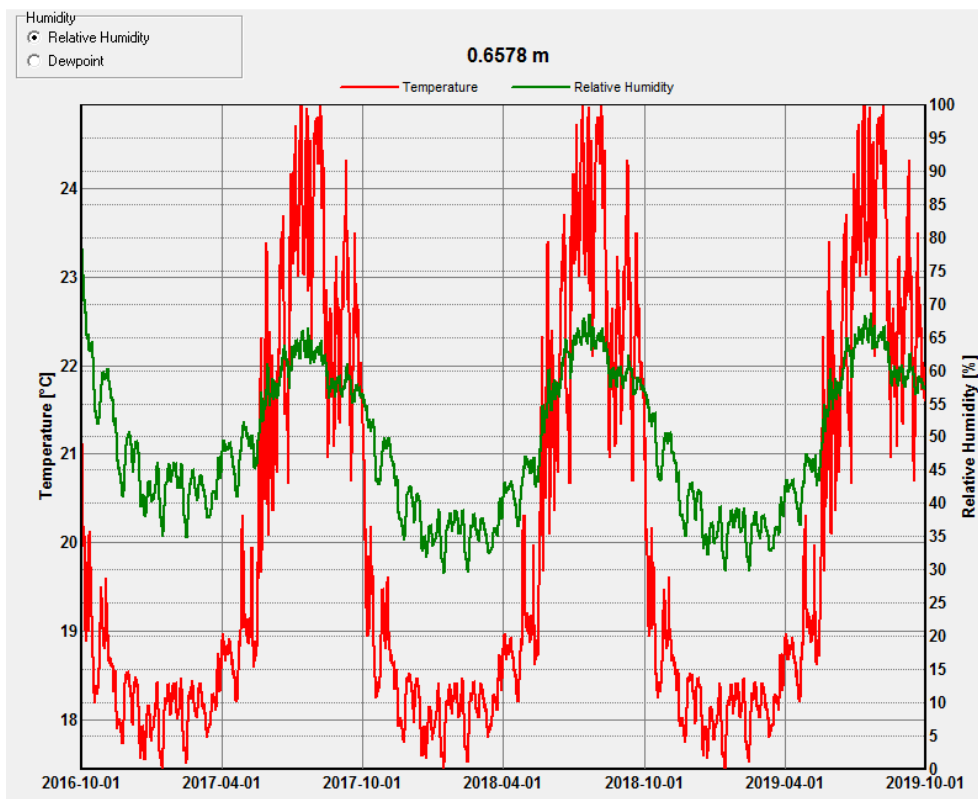
Figur B-0-10: Relativ fuktighet på fasadskiva.



Figur B-0-11: Relativ fuktighet bakom fasadskiva.



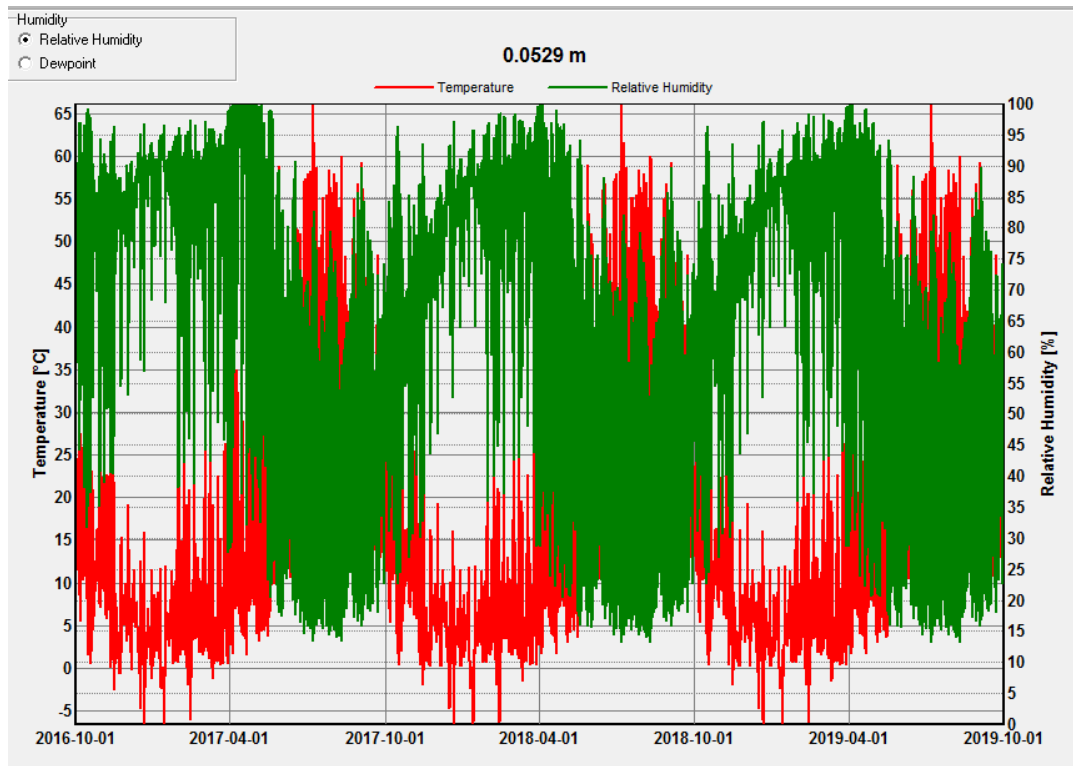
Figur B-0-12: Relativ fuktighet i mitten av isoleringen.



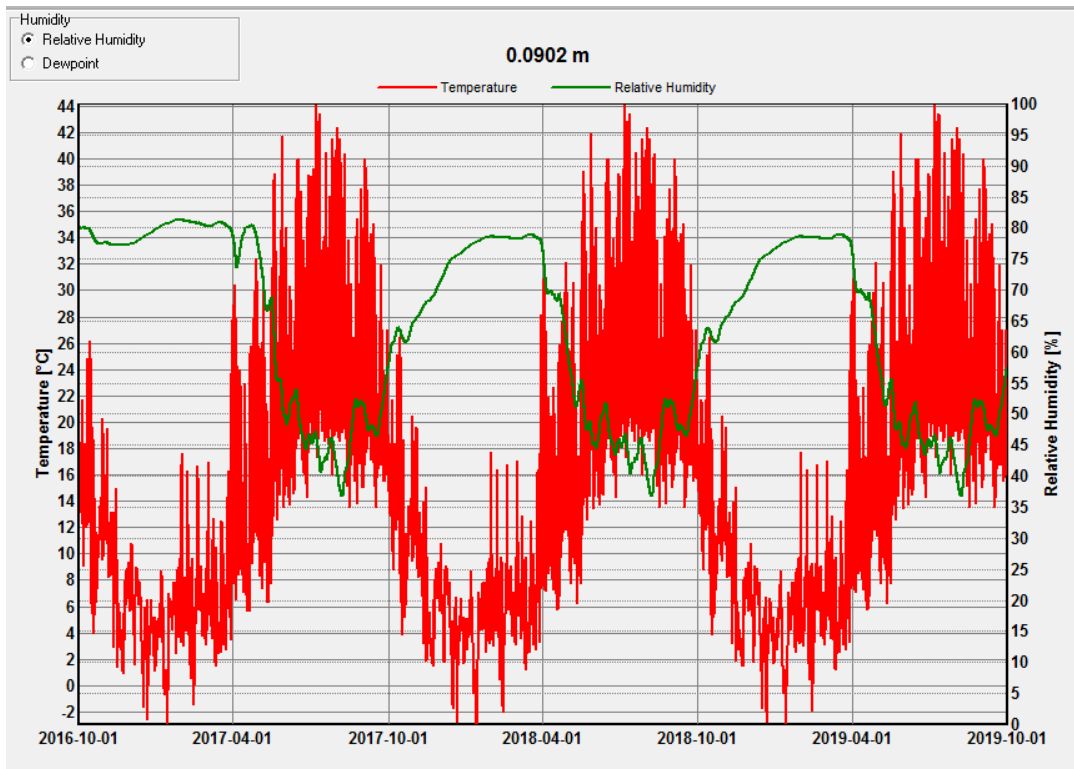
Figur B-0-13: Relativ fuktighet bakom plastfolien.

B.2 Lösningsförslag 2

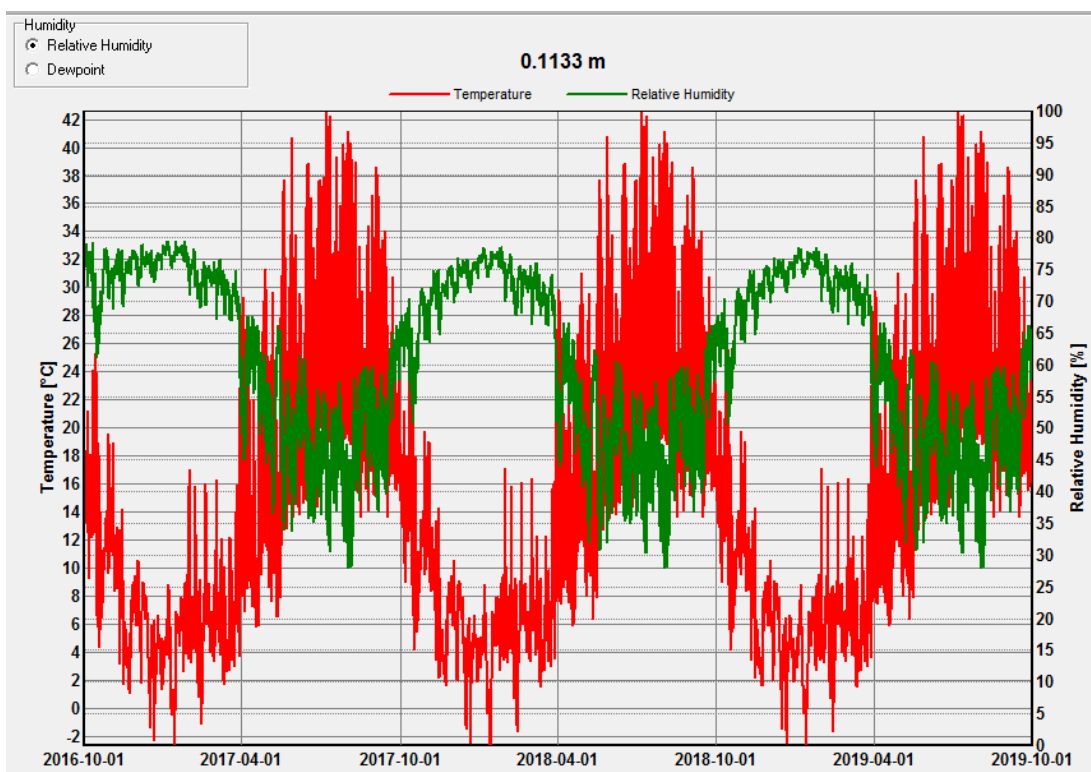
B.2.1 Parallelltak



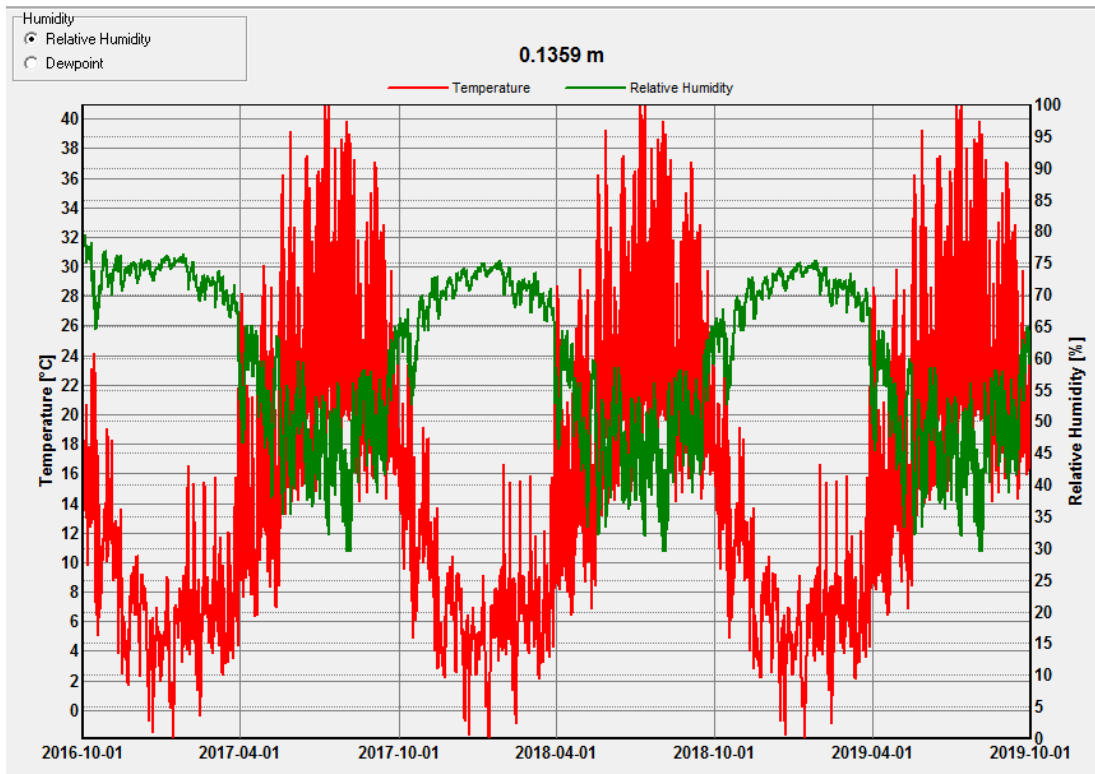
Figur B-0-14: Relativ fuktighet bakom underlagspapp.



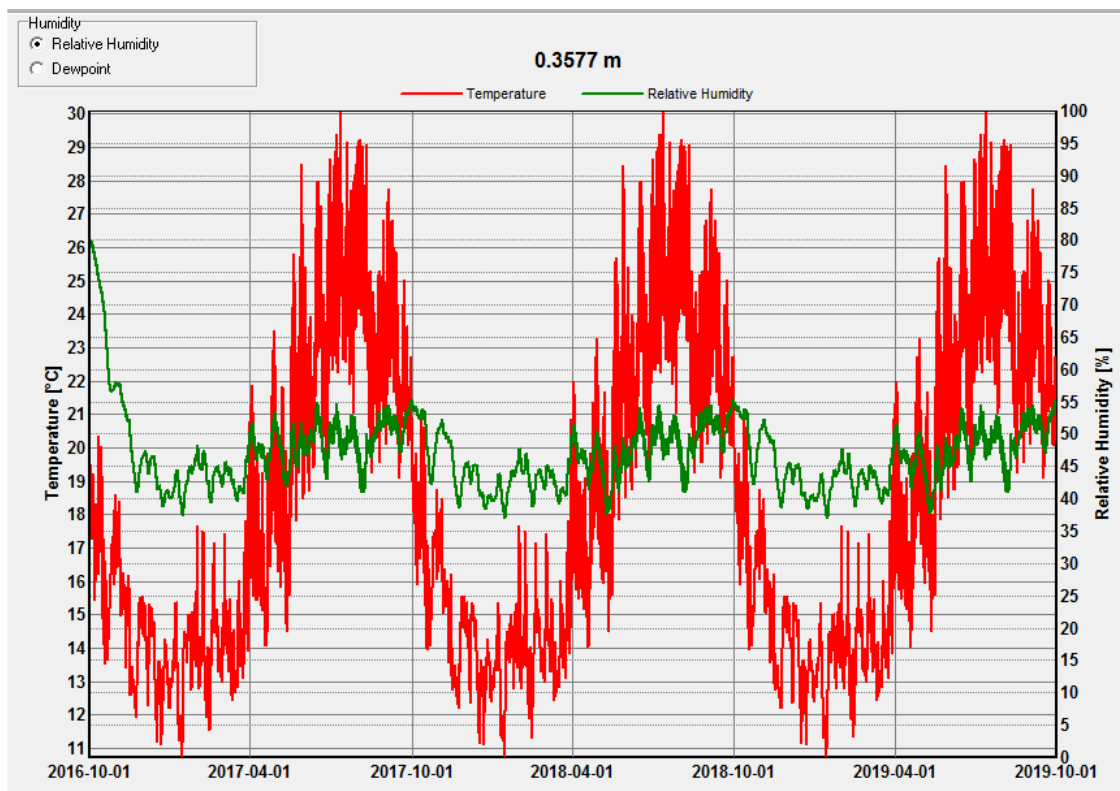
Figur B-0-15: Relativ fuktighet i råspont.



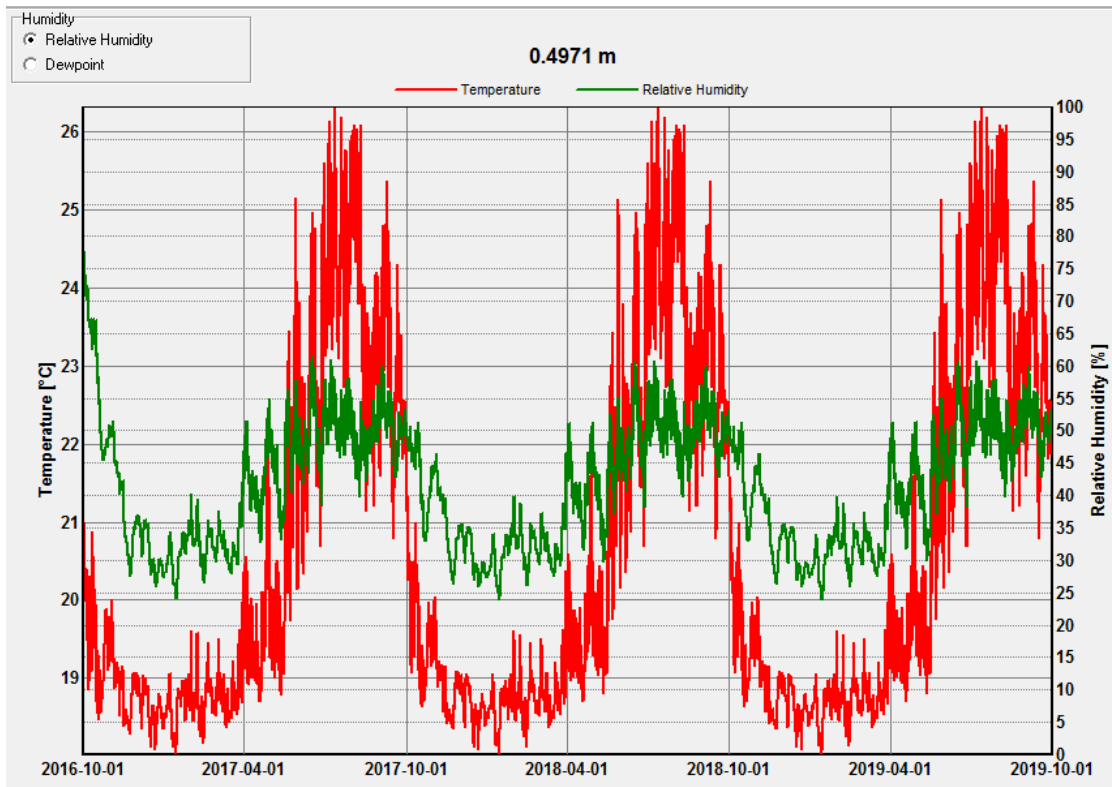
Figur B-0-16: Relativ fuktighet i luftspalt.



Figur B-0-17: Relativ fuktighet på utsidan av mineralullen.

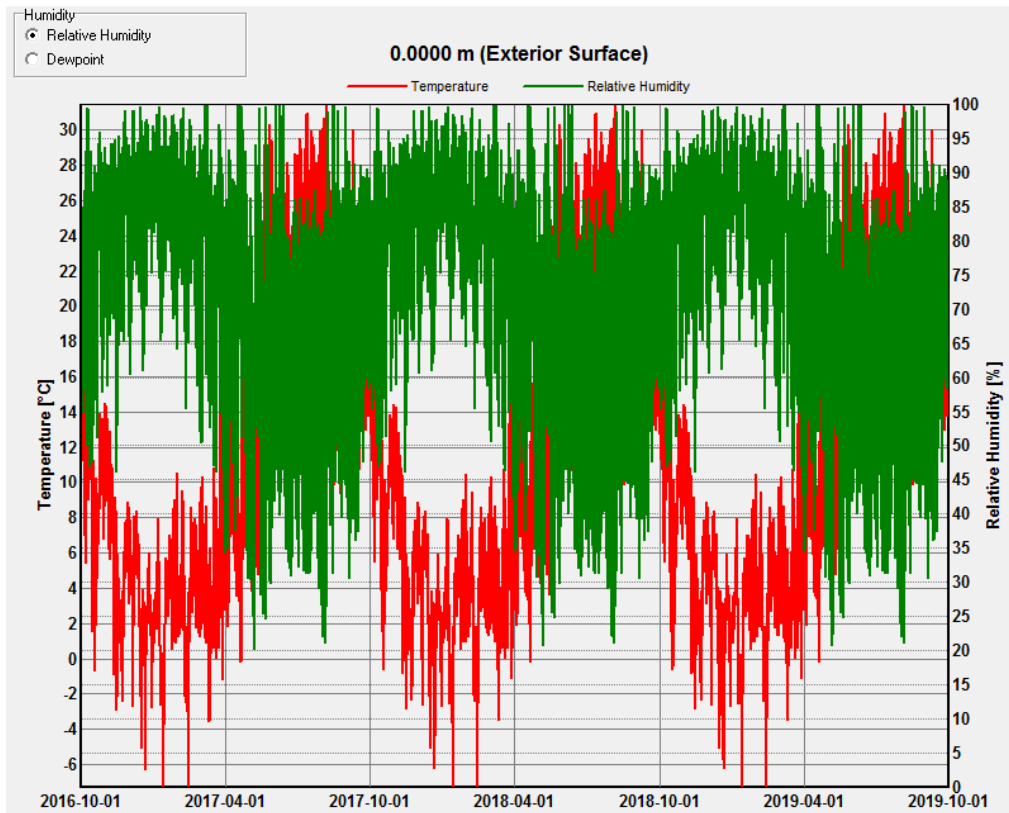


Figur B-0-18: Relativ fuktighet i mitten av mineralullsskiktet.

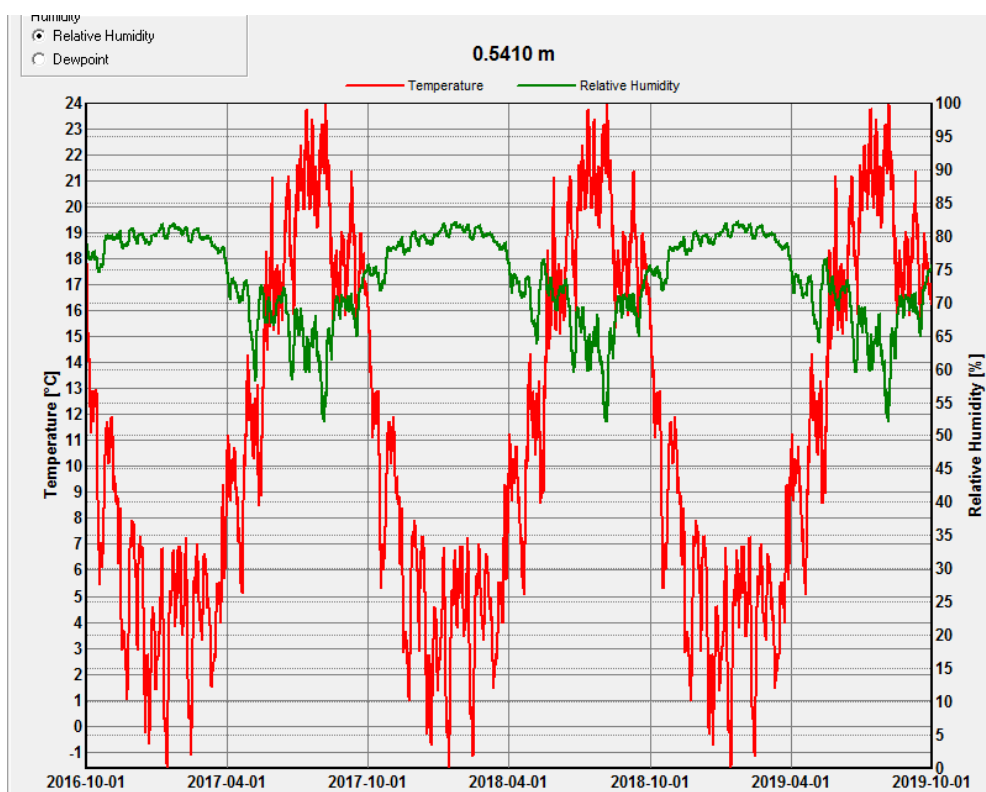


Figur B-0-19: Relativ fuktighet bakom plastfolie.

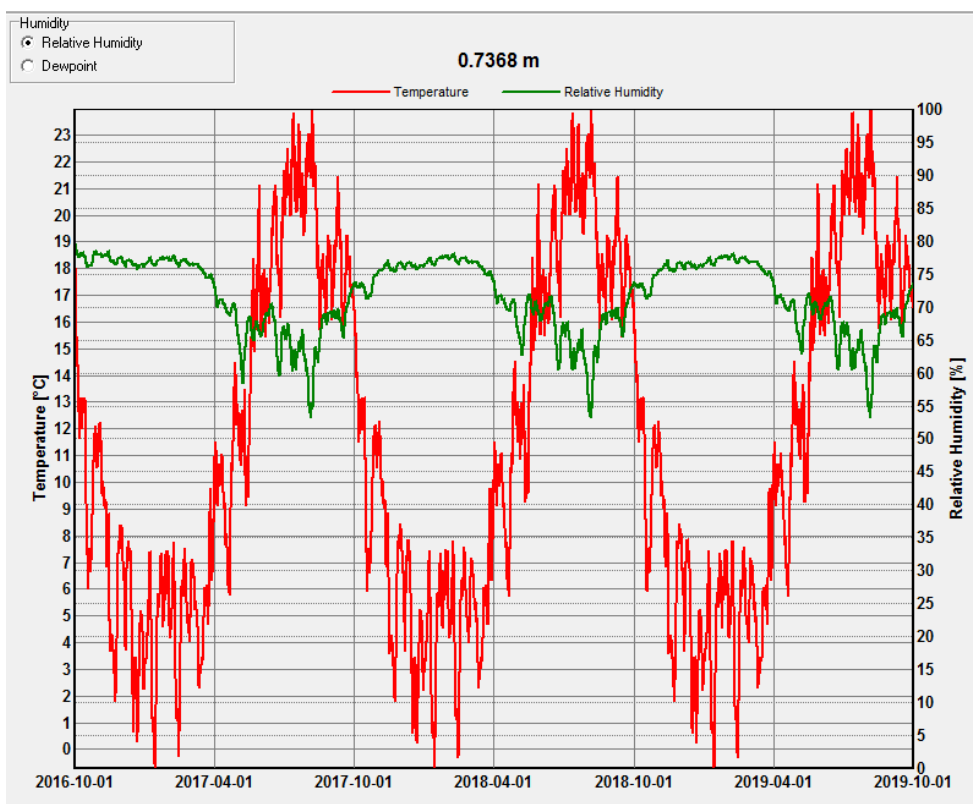
B.2.2 Vagg mot takfot



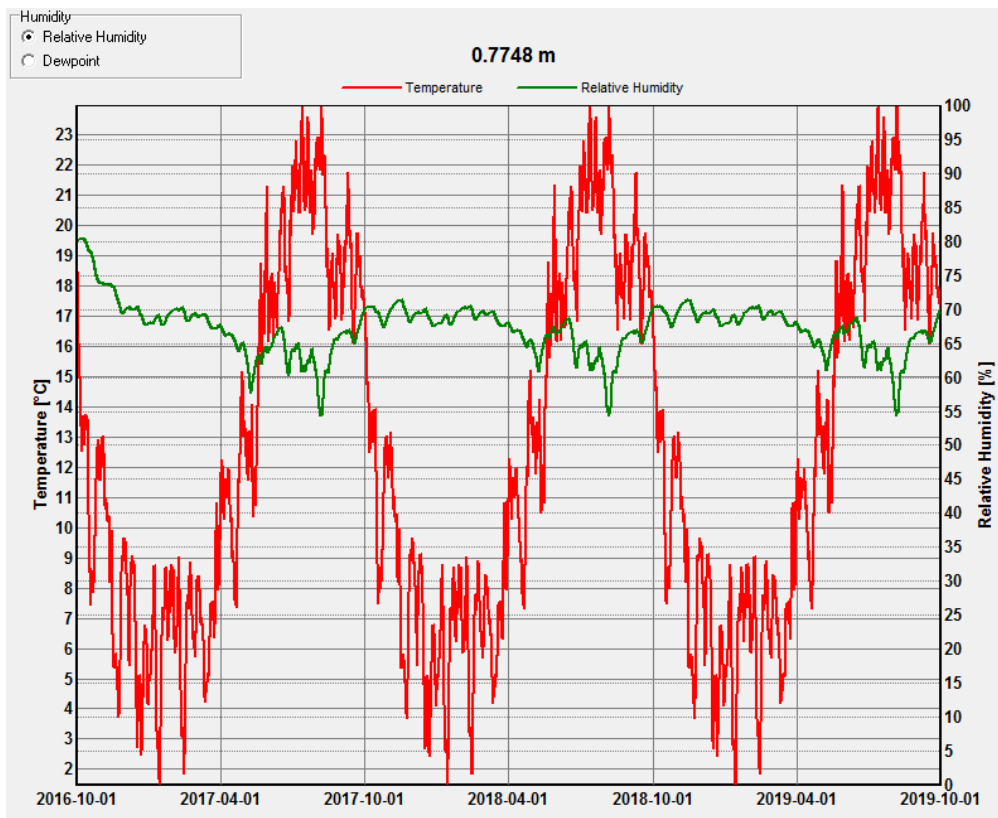
Figur B-0-20: Relativ fuktighet utomhus.



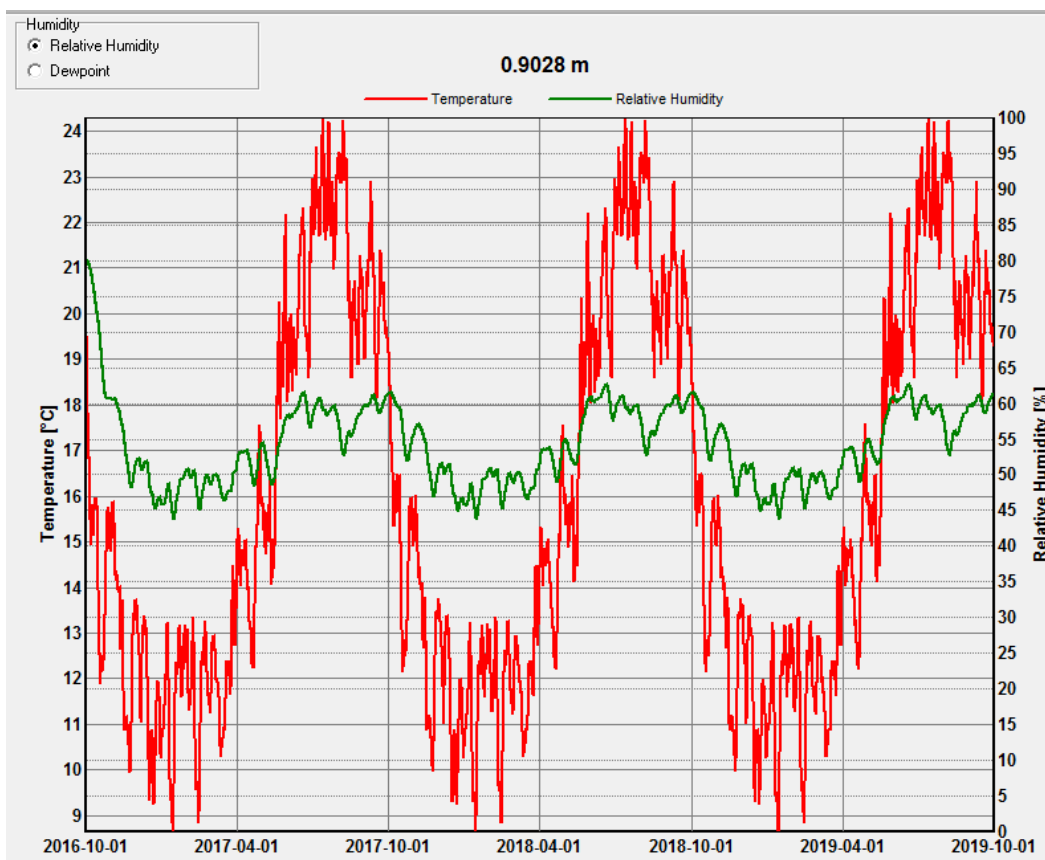
Figur B-0-21: Relativ fuktighet i luftspalt.



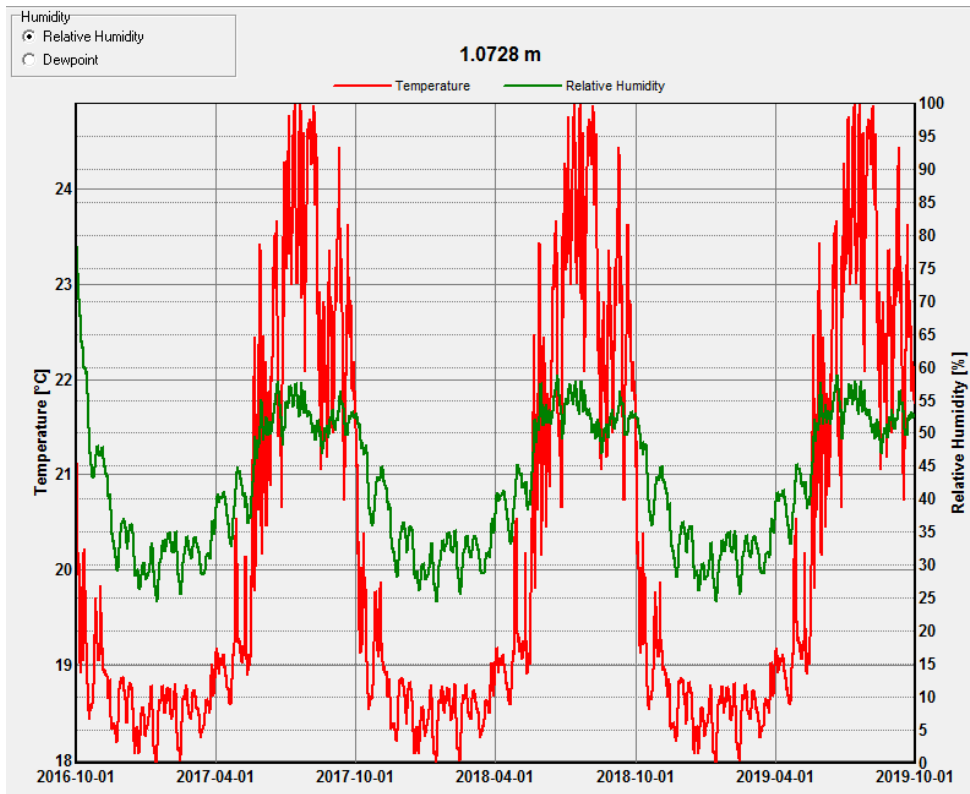
Figur B-0-22: Relativ fuktighet på fasadskiva.



Figur B-0-23: Relativ fuktighet bakom fasadskiva.



Figur B-0-24: Relativ fuktighet i mitten av isoleringen.



Figur B-0-25: Relativ fuktighet bakom plastfolie.

Bilaga C Karakteristiska laster

Europeisk konstruktionsstandard används för alla beräkningar om inget annat anges i den nationella bilagan som ges ut av Boverket (Boverket, 2015 a). Den nationella bilagan anger som namnet antyder bestämmelser som är specifika för Sverige. I den nationella bilagan visas när rekommendation från Eurokod ska tillämpas och när nationella val gjorts. I denna finns värden på bland annat snölast på mark och referensvindhastigheter för olika plaster i Sverige.

C.1 Permanent last

C.1.1 Installationer

Det som ingår i installationer är ventilation- och elinstallationer och innertak. Denna last försummas vid denna beräkning då den anses påverka förhållandevis lite.

C.1.2 Egentyngd

För framtagning av egentyngd används SS-EN-1991-1-1 (Swedish standards institute, 2011). Egentyngden av ett byggnadsverk klassificeras som permanent bunden last.

Den sammanlagda egentyngden av bärverksdelar och icke bärande delar bör betraktas som en last i lastkombinationer. Den sammanlagda egentyngden beräknas utifrån nominella mått och karakteristiska värden för tunghet.

För referensobjektet beräknas en sammanlagd egentyngd för den befintliga takkonstruktionen, en för den förstärkta och en för den nya konstruktionen. Det är alltså tre olika värden på egentyngden som ska beräknas. För den befintliga konstruktionen kommer takstolarna, ribborna och taktäckningen att ingå i egentyngden. För den förstärkta konstruktionen ingår takstolarna med förstärkning, isolering, taktäckning, läkt, innertak och råspont i egentyngden. Den nya konstruktionen kommer att bestå av korsade regler av konstruktionsvirke med mellanliggande isolering, råspont, läkt, innertak och taktäckning. Då fokus ligger på att beräkna hur mycket last takstolarna utsätts för kommer alla laster beräknas som en linjelast på takstolen.

Egentyngd befintlig konstruktion

Taktäckningen består av profilerad plåt. Vikten på takplåten antas vara $m = 5.7 \text{ kg/m}^2$ (Plannja, 2016). Antagandet har gjorts utifrån att ta en liknande profil som den som är på det befintliga taket. Tyngden från plåten blir då

$$q_{\text{plåt}} = m \cdot g = 5.7 \cdot 9.81 = 55.9 \text{ N/m}^2 = 0.06 \text{ kN/m}^2$$

Ribborna är av dimension $33 \times 54 \text{ mm}$ och sitter på ett cc-avstånd på 100 mm på ena takhalvan men har på andra takhalvan ett cc-avstånd som är ca 300 mm . Egentyngden för dessa ribbor försummas då en lägre egentyngd för den befintliga konstruktionen är ett antagande på säkra sidan. Detta görs för att säkerställa att konstruktionen håller för den ökade belastningen.

Takstolen antas vara av konstruktionsvirke i klass C18 med tunghet $\gamma = 3.8 \text{ kN/m}^3$ som är hämtad från tabell A.3 i Annex A i SS-EN-1991-1-1 (Swedish standards institute, 2011). Bjälkarna är av dimension $120 \times 120 \text{ mm}$. För att beräkna en linjelast i kN/m multipliceras tungheten med tvärsnittsarean dvs

$$q_{\text{takstol}} = A_{\text{tvärsnitt}} \cdot \gamma = 0.12 \cdot 0.12 \cdot 3.8 = 0.05 \text{ kN/m}$$

Sammanlagd karakteristisk egentyngd beräknas som

$$q_{tot,befintlig} = c/c \cdot q_{plåt} + q_{takstol} = 1.25 \cdot 0.06 + 0.05 = 0.13 \text{ kN/m}$$

Egentyngd förstärkt konstruktion

Takstolarna förstärks med en regel i konstruktionsvirke på ena sidan. I den förstärkta konstruktionen tillkommer last då takkonstruktionen byggs upp med isolering mellan takstolarna, råspont som spikas på takstolarna och ströläkt och bärläkt.

Förstärkningen av takstolen består av regler av konstruktionsvirke i klass C24 med dimension 45 x 200 mm. Dessa har en tunghet på $\gamma = 4.2 \text{ kN/m}^3$ enligt tabell A.3 i SSEN-1991-1-1 (Swedish standards institute, 2011). Egentyngden från förstärkningen ges av

$$q_{förstärkning} = \gamma \cdot A_{tvärsnitt} = 4,2 \cdot 0.045 \cdot 0.2 = 0.04 \text{ kN/m}.$$

Isoleringen består av mineralull med en tjocklek på 195 mm. Densiteten på en regelskiva i mineralull är $\rho = 15 \text{ kg/m}^3$ (Isover, 2016). Den utbredda lasten beräknas som

$$q_{mineralull} = \rho \cdot g \cdot tjocklek = 15 \cdot 9.81 \cdot 0.195 = 28.69 \text{ N/m}^2 = 0.03 \text{ kN/m}^2.$$

Läktens vikt antas försumbar. Råsponten antas vara av kvalitet C14 och har en tunghet på

$\gamma = 3.5 \text{ kN/m}^3$ enligt tabell A.3 i SSEN-1991-1-1 (Swedish standards institute, 2011). Råsponten har en tjocklek på 21 mm. Den utbredda karakteristiska lasten från råsponten ges av

$$q_{råspont} = \gamma \cdot tjocklek = 3.5 \cdot 0.021 = 0.07 \text{ kN/m}^2.$$

Innertaket består av en gipsskiva med tjocklek 13 mm som fästs på glespanel 28x70 som i sin tur är fästs i takstolarna. Tungheten på gipsen tas från tabell A.7 i SSEN-1991-1-1 (Swedish standards institute, 2011). Tungheten på gipsen är $\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$. Glespanelens egentyngd försummas. Den utbredda lasten från egentyngden på gipsen beräknas som

$$q_{gips} = \gamma \cdot t_{gips} = 15 \cdot 0.013 = 0.2 \text{ kN/m}^2$$

cc-avståndet mellan takstolarna är varierande men det största avståndet är 1.25 m. För att få en utbredd linjelast i kN/m multipliceras mineralullen, plåten, gipsen och råsponten med c/c-avståndet. Sammanlagd karakteristisk egentyngd på takstolen beräknas som

$$q_{tot,förstärkt} = q_{takstol} + q_{förstärkning} + 1.25 \cdot (q_{mineralull} + q_{plåt} + q_{gips} + q_{råspont}) = 0.05 + 0.04 + 1.25 \cdot (0.03 + 0.06 + 0.2 + 0.07) = 0.54 \text{ kN/m}$$

Egentyngd ny konstruktion

Den nya takkonstruktionen består av korsande regler med mineralull emellan, råspont, läkt, plåttak, glespanel och gips. Högbenen kommer belastas av punktlaster från de korsande reglarna. En linjelast beräknas på högbenen från taktäckning, råspont och egentyngden av reglarna, och en punktlast som kommer påverka högbenen där de korsande reglarna sitter det vill säga med ett c/c avstånd på 1.2 m.

Takstolens högben består av konstruktionsvirke i dimension 45x220 med kvalitet C24. Dessa har en tunghet på $\gamma = 4.2 \text{ kN/m}^3$ enligt tabell A.3 i SSEN-1991-1-1 (Swedish standards institute, 2011). Egentyngden från högbenen ges av

$$q_{högben} = \gamma \cdot A_{tvärsnitt} = 4.2 \cdot 0.07 \cdot 0.22 = 0.065 \text{ kN/m}.$$

Som stödben, stickbjälke och hanbjälke används regler av konstruktionsvirke med en dimension på 45x220 och hållfasthetsklass C24. Egentyngden för stickbjälken, hanbjälken och stödbenet beräknas som

$$q_{stödben} = \gamma \cdot A_{tvärsnitt} = 4.2 \cdot 0.045 \cdot 0.220 = 0.04 \text{ kN/m}$$

Råspont och läkt har samma egentyngd som för den förstärkta konstruktionen dvs

$$q_{råspont} = 0.07 \text{ kN/m}^2$$

Isoleringen består av mineralull med en tjocklek på totalt 365 mm. Samma värde på mineralullens densitet används som vid den förstärkta konstruktionen, $\rho = 15 \text{ kg/m}^3$. Lasten från isoleringen delas upp i en utbredd last och punktlaster då en del av isoleringen ligger mellan de tvärgående reglarna som verkar som punktlaster på högbenen. Då en luftspalt ska få plats blir isoleringens tjocklek mellan högbenen 195 mm. Den utbredda lasten beräknas enligt

$$q_{\text{mineralull}} = \rho \cdot g \cdot t_{\text{mineralull}} = 15 \cdot 9.81 \cdot 0.195 = 28.69 \text{ N/m}^2 = 0.03 \text{ kN/m}^2$$

punktlasterna beräknas längre ned för de korsande reglarna, innertaket och isoleringen.

Taktäckningen består av plåt med samma profil som används för det befintliga taket, vilket ger egentyngden $q_{\text{plåt}} = 0.06 \text{ kN/m}^2$.

Innertaket för den nya takkonstruktionen kommer bestå av samma innertak som för den förstärkta konstruktionen, det vill säga glespanel och gipsskivor och även för denna försummas egentyngden av glespanelen dvs

$$q_{\text{gips}} = 0.195 \text{ kN/m}^2$$

För den nya konstruktionen så kommer c/c avståndet att vara 1.2 m mellan alla takstolar. För att den utbredda lasten ska bli en linjelast multipliceras lasten från mineralull, taktäckningen och råsponten med c/c avståndet. Den karakteristiska egentyngden från trätakkonstruktionen beräknas som

$$q_{JUB} = q_{\text{högben}} + 1,2 \cdot (q_{\text{mineralull}} + q_{\text{plåt}} + q_{\text{råspont}}) = 0.065 + 1.2 \cdot (0.03 + 0.06 + 0.07) = 0.26 \text{ kN/m}^2$$

Punktlasterna från innertak, regler och isolering beräknas som

$$P_{\text{innertak}} = \frac{\left(\rho_{\text{regel}} \cdot A_{\text{tvärsnitt}} + \frac{c}{c} \cdot (t_{\text{isolering}} \cdot m_{\text{isolering}} \cdot g + q_{\text{gips}}) \right) c}{c} \\ = (4.2 \cdot 0.045 \cdot 0.17 + 1.2 \cdot (0.17 \cdot 15 \cdot 9.81 + 0.195 \cdot 10^{-3})) 1.2 = 0.36 \text{ kN}$$

Om punktlast och jämnt utbredd last lägg ihop blir den totala utbredda lasten

$$q_{\text{tot.ny}} = \frac{0.36}{1.2} + 0.26 = 0.56 \text{ kN/m}$$

C.2 Variabel last

C.2.1 Snölast

Referensobjektet befinner sig i Malmö i tätt bebyggt terräng. Takets lutning är $\alpha = 30^\circ$.

För beräkning av snölasten används SS-EN-1991-1-3 (Swedish standards institute, 2005)

Snölast klassificeras som variabel bunden last.

För att beräkna snölasten används ekvationen

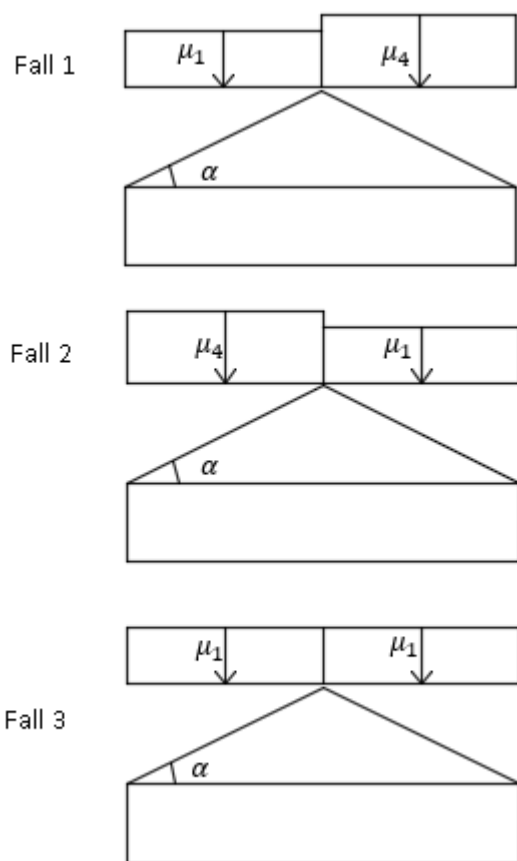
$$s = \mu_i C_e C_t s_k$$

där μ_i är snölastens formfaktor och beror på takets lutning och tas fram för sadeltak från figur C-3a i EKS 10 (Boverket, 2015 a). Figur A1 visar ett diagram för hur μ_1 och μ_4 ändras för olika taklutningar. För taklutningen $\alpha = 30^\circ$ är $\mu_1 = 0.8$ och $\mu_4 = 0.9$.

C_e är exponeringsfaktorn och beror på hur exponerad byggnaden är, denna sätts till 1.0 för området som referensobjektet befinner sig då det ses som normal topografi där snö endast blåser av i undantagsfall. I SS-EN-1991-1-3.

C_t är den termiska koefficienten och ska beakta minskningen av snölast på tak med hög värmegenomgångskoefficient. För referensobjektet sätts $c_t = 1.0$ då taket i den befintliga konstruktionen är kallt och i den nya kommer taket isoleras så att värmeövergångskoefficienten inte understiger $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ som är gränsvärdet för att denna formfaktor inte ska påverka belastningssituationen.

s_k är det karakteristiska värdet för snölast på mark och fås från EKS 10 figur C-2 (Boverket, 2015 a). Värdet för snölast på mark varierar mellan 5.5 och 1.0. För Malmö är $s_k = 1.0 \text{ kN/m}^2$.



Figur C-1: lastfall för snölast.

Lastfördelningen på sadeltak illustreras i figur C-3b i EKS 10 (Boverket, 2015 a). I figur C-1 visas de olika lastfallen. Då avståndet mellan takstolarna är som störst 1.25 m kommer lasten att multipliceras med c/c-avståndet. Snölasten beräknas per horisontell längdenhet till skillnad från egentynghden som är beräknad per lutande längdenhet, detta på grund av att dessa laster läggs in på detta sätt då de ska användas i Ramanalys. En sammanställning av värden på snölasten visas i Tabell C-1.

Tabell 2: Snölast på sadeltak.

Fall	Del av tak	Snölast (s) kN/m
1	Vänster	1,0
1	Höger	1,13
2	Vänster	1,13
2	Höger	1,0
3	Vänster	1,0
3	Höger	1,0

C 2.2 Vindlast

För beräkning av vindlasten används SS-EN-1991-1-4 (Swedish Standard Institute, 2008)

Enligt SSEN-1991-4, 3.3(1) bör vindlasten betraktas som variabel bunden last. Den karakteristiska referenshastigheten som används överstigs med 2 % sannolikhet under ett år (SS-EN 1990, 4.1.2)

För att beräkna vindlasten behövs byggnadens höjd, bredd och längd och taklutning och vilken terrängtyp den befinner sig i. Dessa förutsättningar presenteras nedan för referensobjektet.

Byggnadshöjd tillnock, $z = 14$ m

Bredd, $b = 10$ m

Längd, $l = 28$ m

Taklutning $\alpha = 30^\circ$

I figur 4.1 i SSEN-1-4 (Swedish Standards Institute, 2008) visas de olika terrängtyperna. För aktuellt referensobjekt används terrängtyp IV då byggnaden befinner sig i stadsmiljö där de flesta byggnaderna runt om är högre än 15 meter.

För referensobjektet är det vindlasten på en takstol som beräknas. Vindlasten på långsidan kommer att belasta takytan men både tryck och sug. Vindlasten på gaveln belastar bara takytan med ett sug. Det är både utvändigt vindlast och invändigt vindlast som belastar takstolen.

Utvändig vindlast w_e beräknas med

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

Invändig vindlast w_i beräknas med

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$$

där q_p är det karakteristiska hastighetstrycket och hämtas ur tabell C-10a i EKS 10 (Boverket, 2015 a). För att få ett värde på denna behövs referensvindhastigheten v_b , byggnadshöjden och terrängtypen. Referensvindhastigheten v_b fås ur figur C-4 i EKS 10 (Boverket, 2015 a). Då referensobjektet är beläget i Malmö är referensvindhastigheten $v_b = 26$ m/s. De olika terrängtyperna beskrivs i tabell 4.1 i SSEN-1991-1-4 (Swedish Standards Institute, 2008). För referensobjektet används terrängtyp IV då medelhöjden på byggnaderna runt om är större än 15 m och minst 15 % av arean runt om är bebyggd. Byggnadshöjden är 14 m. Med dessa parametrar kända kan det karakteristiska hastighetstrycket interpoleras fram till

$$q_p = 0.53 \text{ kN/m}^2.$$

z_i är referenshöjden för invändig vindlast och z_e är referenshöjden för utvändigt vindlast.

c_{pe} är formfaktorn för utvändigt vindlast och beräknas i avsnitt "formfaktorer vindlast"

c_{pi} är formfaktorn för invändig vindlast och beräknas i avsnitt "formfaktorer vindlast"

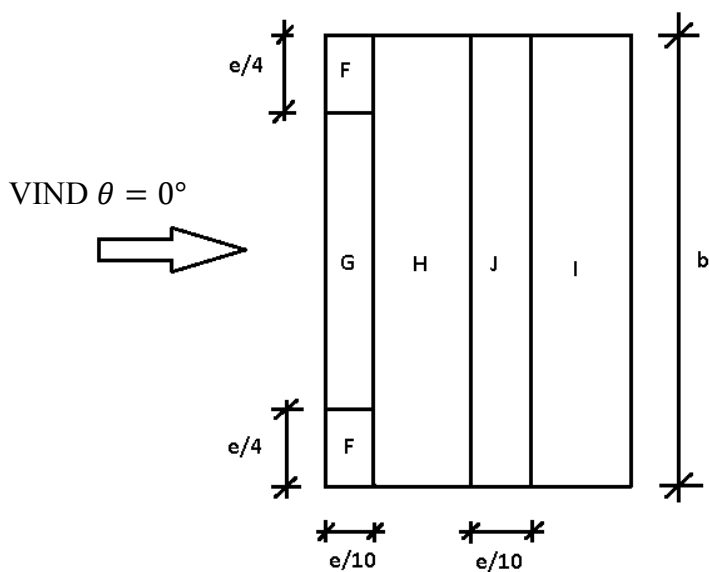
Formfaktorer vindlast

De invändiga och utvändiga formfaktorerna (c_{pi} , c_{pe}) behövs för att kunna beräkna den utvändiga och invändiga vindlasten som påverkar takstolen. Nettovindlasten är den totala vindlasten som påverkar takstolen där den utvändiga och invändiga vindlasten läggs ihop.

De verkar samtidigt och läggs ihop för att skapa värsta fallet för tak och väggar.

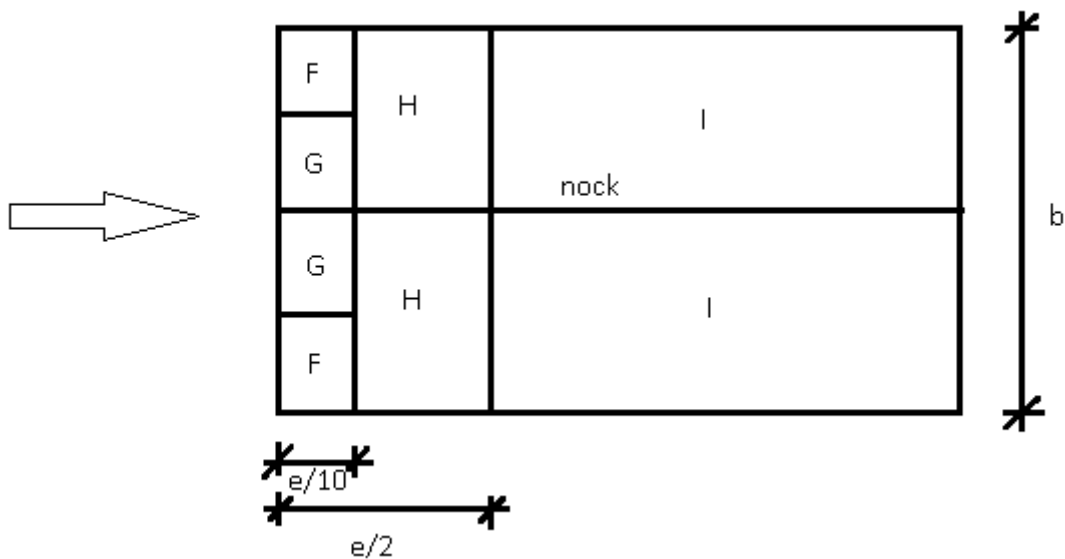
För ytor större än 1 m^2 används formfaktor c_{10} enligt rekommendation från EKS 10 (7.2.1(1) Anm 2) (Boverket, 2015 a).

Taket delas in i olika zoner för vindriktning $\theta = 0^\circ$ enligt figur 7.8 SSEN-1991-1-4 (Swedish Standards Institute, 2008). En bild av zonindelningen har gjorts i Figur C-2.



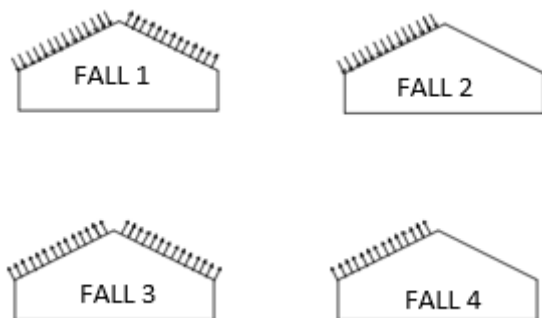
Figur C-2: Zonindelning med vindriktning $\theta = 0^\circ$.

Takets zonindelning för vindriktning 90° visas i Figur C-3. Då det är belastningen på en takstol som ska tas fram beräknas vindlasten i varje zon för att sedan välja den värst belastade zonen. För vind mot gavel kommer symmetrisk vindbelastning ske i form av sug.



Figur C-3: Zonindelning för vindriktning $\theta = 90^\circ$.

De olika zonerna har olika formfaktorer. För vindriktning $\theta = 0^\circ$ visas dessa i Tabell C-2 som kommer från 7.4a SSEN-1991-1-4 (Swedish Standards Institute, 2008). För vindriktning 90° så visas formfaktorerna i tabell 3 som är tagen från tabell 7.4b SSEN-1991-1-4 (Swedish Standards Institute, 2008). Vindens riktning ändras snabbt i vindriktningen $\theta = 0^\circ$ och taklutningen 30° . Genom att ta det största respektive minsta värdet för c_{10} för lä- och lovertssidan kan fyra olika fall tas fram. En förenkling har gjorts för de båda takhalvorna och de värsta fallen för respektive takhalva har valts. Vindlasten verkar vinkelrätt mot taket till skillnad från egentynghden som verkar vertikalt. De fyra fallen illustreras i Figur C-4



Figur C-4: Lastfall, utväändig vindlast med vindriktning $\theta = 0^\circ$.

För vind på gavel kommer endast sug att uppstå. Då gaveln på referensobjektet inte är helt vertikal så försummas zon F och G och formfaktorerna för zon H används. Detta resulterar i att det endast blir ett fall för vind på gavel där det endast är symmetrisk sug. Detta fall visas i figur C- 5.



Figur C-5: Lastfall utvändig vindlast med vindriktning $\theta = 90^\circ$.

Tabell C-3: Formfaktorer för vindriktning 0° för sadeltak med taklutning 30° .

Taklutning α	Zon för vindriktning $\theta = 0^\circ$									
30°	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	

Tabell C-4: Formfaktorer för vindriktning 90° för sadeltak med taklutning 30° .

Taklutning α	Zon för vindriktning $\theta = 90^\circ$							
30°	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	

För utvändig vindlast med ritningen $\theta = 0^\circ$ har tidigare konstaterats att det finns fyra olika fall det vill säga fyra olika sätt som takstolen kan belastas med utvändig vindlast. Värdet på vindlasterna för de fyra olika fallen tas fram genom att ta det största respektive minsta värdet för de olika takhalvorna.

I tabell 4 är de olika utvändiga vindlasterna sammanställda för de fyra fallen med vindriktning $\theta = 0^\circ$. Här har en förenkling gjorts där det värsta fallet för varje takhalva valts, det vill säga att ingen hänsyn har tagits till att takhalvorna består av olika zoner. I tabell 5 är de olika fallen sammanställda för vindriktning $\theta = 90^\circ$. Dessa värden beräknas med ekvation nedan. Vindlasten är beräknad vinkelrät mot takytan till skillnad mot för egentynghden som är vertikal. Detta för att lasterna ska användas i Ramanalys där de läggs in på det viset.

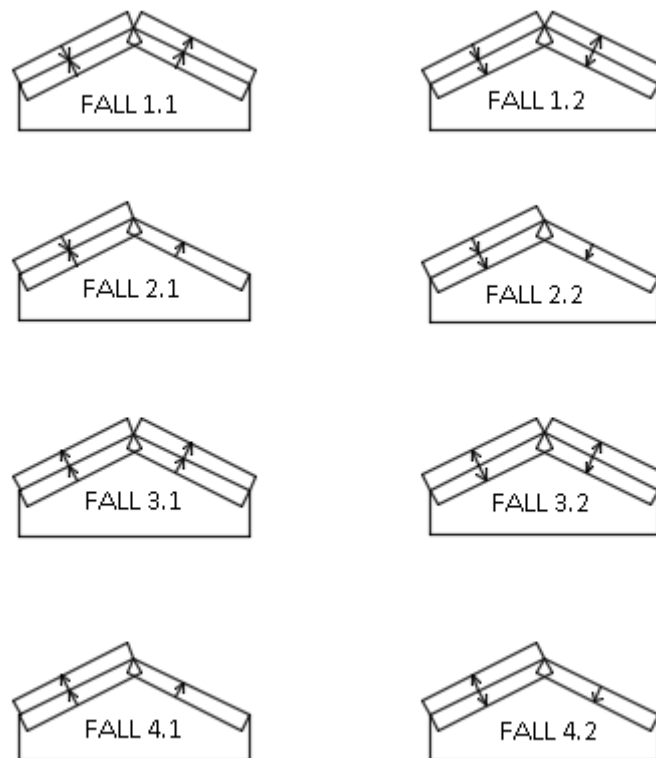
$$w_e = q_p(z_e)c_{pe}$$

$$q_p = 0.53 \text{ kN/m}^2$$

Tabell C-5: Sammanställning av vindlast för vindriktning 0°.

FALL	Vindlast på lovertssidan (kN/m ²)	Vindlast på läsidan (kN/m ²)
1	$0,7 \cdot 0,53 = 0,37$	$-0,5 \cdot 0,53 = -0,27$
2	$0,7 \cdot 0,53 = 0,37$	$0 \cdot 0,53 = 0$
3	$-0,5 \cdot 0,53 = -0,27$	$-0,5 \cdot 0,53 = -0,27$
4	$-0,5 \cdot 0,53 = -0,27$	$-0,5 \cdot 0,53 = -0,27$
5	$-0,8 \cdot 0,53 = -0,42$	$-0,8 \cdot 0,53 = -0,42$

När den invändiga vindlasten ska läggas på kommer det att bli dubbelt så många fall då det antingen kan vara negativt eller positivt inomhustryck. I Figur C-6 illustreras dessa åtta fall för vindlast på långsidan.



Figur C-6: Lastfall för invändig och utvändigt vindlast.

Den totala vindlasten på lä- och lovertssidan för vindriktning $\theta = 0^\circ$ och $\theta = 90^\circ$ är sammanställd för de nio fallen i tabell C-5. Då det är vindlasten som en takstol utsätts för så beräknas den utbredda vindlasten genom att multiplicera den utbredda lasten med den bredd som takstolen ska ta upp last från, det vill säga c/c-avståndet. c/c-avståndet är som störst 1.25 m. Den invändiga formfaktorn är för positivt inomhustryck $c_{pi} = +0.2$ och för negativt inomhustryck $c_{pi} = -0.3$. Som figur C-6 visar så motverkar den invändiga vindlasten den utvändiga vindlasten ibland och ibland samverkar de. Positivt värde betyder nedåtriktad vindlast i Tabell C-5.

Tabell C-6: Vindlast på lä- och lovertssidan för vindriktning 0° och för 90°.

Fall	Nettovindlast på lovertssidan (kN/m)	Nettovindlast på läsidan (kN/m)
1.1	$(0,7 - 0,2) \cdot 0,53 \cdot 1,25 = 0,33$	$(-0,5 - 0,2) \cdot 0,53 \cdot 1,25 = -0,46$
1.2	$(0,7 - (-0,3)) \cdot 0,53 \cdot 1,25 = 0,66$	$(-0,5 - (-0,3)) \cdot 0,53 \cdot 1,25 = -0,13$
2.1	$(0,7 - 0,2) \cdot 0,53 \cdot 1,25 = 0,33$	$0,2 \cdot 0,53 \cdot 1,25 = -0,13$
2.2	$(0,7 - (-0,3)) \cdot 0,53 \cdot 1,25 = 0,66$	$(0,7 + 0,3) \cdot 0,52 \cdot 1,25 = 0,66$
3.1	$(-0,5 - 0,2) \cdot 0,53 \cdot 1,25 = -0,46$	$(-0,5 - 0,2) \cdot 0,53 \cdot 1,25 = -0,46$
3.2	$(-0,5 - (-0,3)) \cdot 0,53 \cdot 1,25 = -0,13$	$(-0,5 - (-0,3)) \cdot 0,53 \cdot 1,25 = -0,13$
4.1	$(-0,5 - 0,2) \cdot 0,53 \cdot 1,25 = -0,46$	$-0,2 \cdot 0,53 \cdot 1,25 = -0,13$
4.2	$(-0,5 - (-0,3)) \cdot 0,53 \cdot 1,25 = -0,13$	$0,3 \cdot 0,53 \cdot 1,25 = 0,20$
5.1	$(-0,2 - 0,8) \cdot 0,53 \cdot 1,25 = -0,66$	$(-0,2 - 0,8) \cdot 0,53 \cdot 1,25 = -0,66$

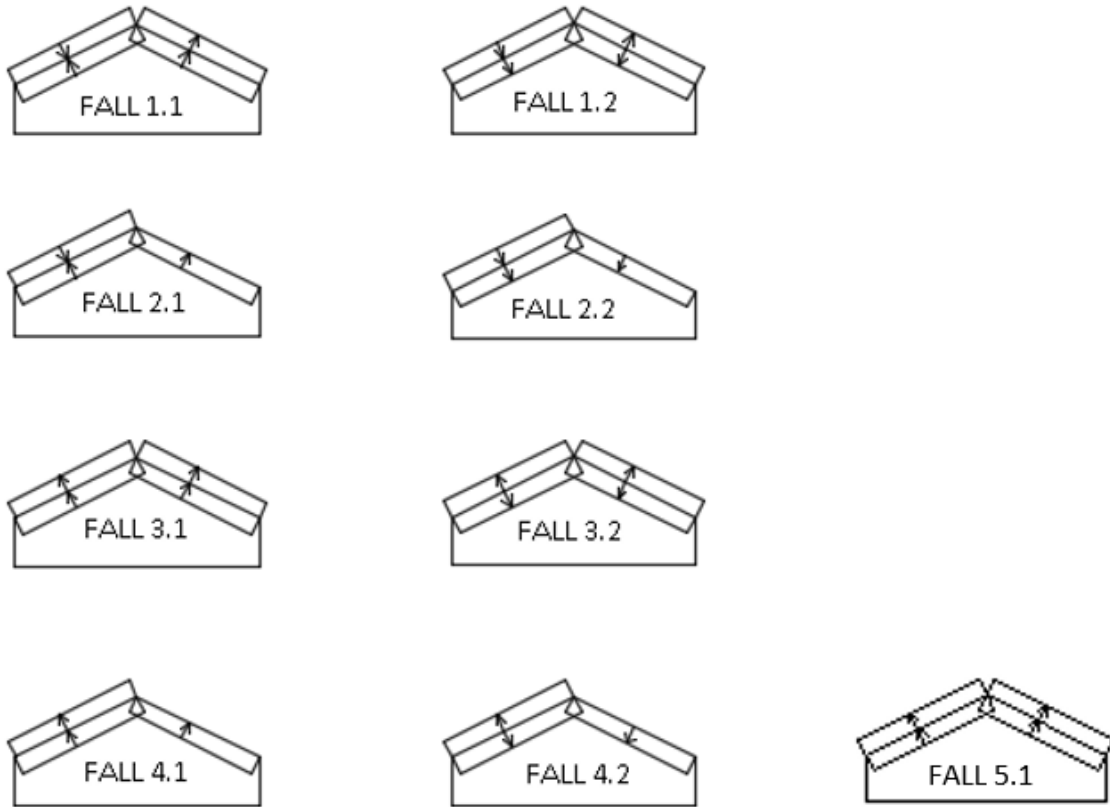
Bilaga D Lastfall

De laster som påverkar takstolarna är snö, Vind och egentyngd. För vindlasten finns tio olika baslastfall. För snölasten finns tre olika baslastfall och för egentyngheten endast ett. Då dessa baslastfall ska kombineras för att ge värsta fallet kommer möjliga antalet kombinationer att bli 90 stycken. Att kontrollera alla dessa lastfall anses inte nödvändigt då det går att utesluta merparten av dessa. För att inte utesluta något lastfall som kan vara dimensionerande kommer alla baslastfall läggas in i Ramanalys. De kontrolleras genom att dimensionerande lastfall kan avläsas för moment, tvärkraft, normalkraft och normalspänning. De baslastfall som kontrolleras visas i Tabell D-1 som också visar vilka lastfall som är dimensionerande för något element. Lastfallen kontrolleras på den befintliga takstolen. Last från snö och vind verkar på takstolens högben. Egentyngheten från takkonstruktionen verkar också på högbenen medens hanbjälke, stödben och dragsträva endast belastas med dess egentyngd.

Tabell D-1: Lastfall som är dimensionerande för något element.

Nr	Lastfall	Dimensionerande
1	Egentyngd	X
2	Egentyngd + snö Fall1	X
3	Egentyngd + snö Fall2	X
4	Egentyngd + snö Fall3	
5	Egentyngd + vind 1.1	X
6	Egentyngd + vind 1.2	X
7	Egentyngd + vind 2.1	
8	Egentyngd + vind 2.2	X
9	Egentyngd + vind 3.1	X
10	Egentyngd + vind 3.2	
11	Egentyngd + vind 4.1	X
12	Egentyngd + vind 4.2	X
13	Egentyngd + vind 5.1	X

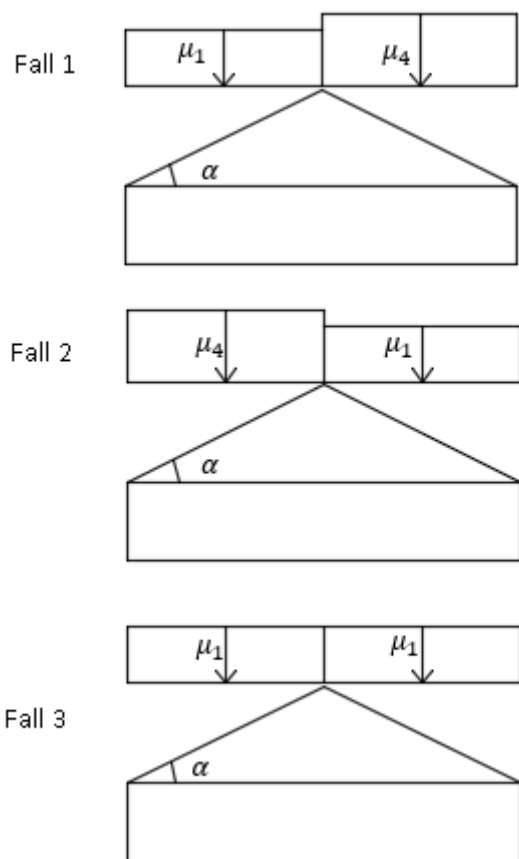
Ur Tabell D-1 konstateras att tre lastfall kan uteslutas. I Figur D-1 visas alla baslastfall för vind och i D-2 visas alla baslastfall för snö. Tabell D-2 visar karakteristiska värden på vindlasten och Tabell D-3 visar värden på karakteristiska laster för snö. De baslastfall som samverkar på respektive takhalva kombineras för att få den största asymmetriska lastsituationen. I detta fall är det fall 1.1, 1.2 och 2.2 för vind som kombineras med snö fall 2. Vindlasten ger endast symmetrisk belastning då sug uppstår på båda takhalvorna. Denna belastning motverkar egentyngheten och endast det lastfall som ger störst som används det vill säga att fall 3.1 utesluts då den uppåtriktade vindlasten är mindre än fall 5.1 se D-2.



Figur D-1: Lastfall vind.

Tabell D-2: Vindlast på lä- och lovertssidan.

Fall	Vindlast på lovertssidan (kN/m)	Vindlast på läsidan (kN/m)
1.1	0,33	-0,46
1.2	0,66	-0,13
2.1	0,33	-0,13
2.2	0,66	0,66
3.1	-0,46	-0,46
3.2	-0,13	-0,13
4.1	-0,46	-0,13
4.2	-0,13	0,20
5.1	-0,66	-0,66



Figur E-2: Snölastfall

Tabell D-3: Snölast på sadeltak

Fall	Del av tak	Snölast (s) kN/m
1	Vänster	1,0
1	Höger	1,13
2	Vänster	1,13
2	Höger	1,0
3	Vänster	1,0
3	Höger	1,0

De slutgiltiga lastfallen som kontrolleras visas i Tabell D-4 För alla lastfall där Där vindlast och snölast kombineras blir en last huvudlast och en last övrig last, detta beskrivs i bilaga E, dimensionerande laster.

Tabell D-4: Lastfall som används vid modellering.

Nr	Lastfall
1	Egentyngd
2	Egentyngd + snö Fall1
3	Egentyngd + snö Fall2
4	Egentyngd + vind 1.1
5	Egentyngd + vind 1.2
6	Egentyngd + vind 2.2
7	Egentyngd + vind 3.1
8	Egentyngd + vind 4.1
9	Egentyngd + vind 4.2
10	Egentyngd + vind 5.1
11	Egentyngd + vind 1.1+ snö Fall 2
12	Egentyngd + vind1.2 + snö fall 2
13	Egentyngd + vind 2.2 + snö fall 2

Bilaga E Dimensionerande laster i Brottgränstillstånd

För beräkning av dimensionerande laster används partialkoefficientmetoden i SS-EN 1990. För beräkning i brottgränstillstånd används partialkoefficienten γ_d där denna varierar beroende på vilken säkerhetsklass som sätts på byggnadsverksdelen (Boverket, 2015 a). Då konsekvensen vid brott i takstolen anses ha stor risk för personskador ansätts säkerhetsklass 3. Säkerhetsklass 3 ger ett värde på partialkoefficienten på $\gamma_d = 1.0$.

Enligt EKS 10 ska laster i bruksgränstillstånd dimensioneras enligt tabell B-2 (Boverket, 2015 a). För varaktiga och tillfälliga laster används ekvation 6.10. Den kombination som ger en ogynnsam lastsituation brukas för permanent last. För permanent används lastkombinationen

$$G = \gamma_d 1.1 G_{kj, sup}$$

Då mer än en variabel last förekommer samtidigt sätts en last till huvudlast och de övriga till övriga laster. Huvudlasten reduceras inte av något gaffelvärde. För huvudlasten beräknas dimensionerande last enligt

$$Q = \gamma_d 1.5 Q_{k,1}$$

$Q_{k,1}$ är den variabla karakteristiska lasten

För övriga laster används lastkombination nedan då lasten är ogynnsam.

$$Q = \gamma_d 1.5 \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Gaffelvärdet $\psi_{0,i}$ hämtas ut tabell B-1 i EKS 10 (Boverket, 2015 a). För vind är gaffelvärdet $\psi_{0,i} = 0.3$ och för snö är gaffelvärdet $\psi_{0,i} = 0.6$ då $1.0 < s_k < 2.0 \text{ kN/m}^2$.

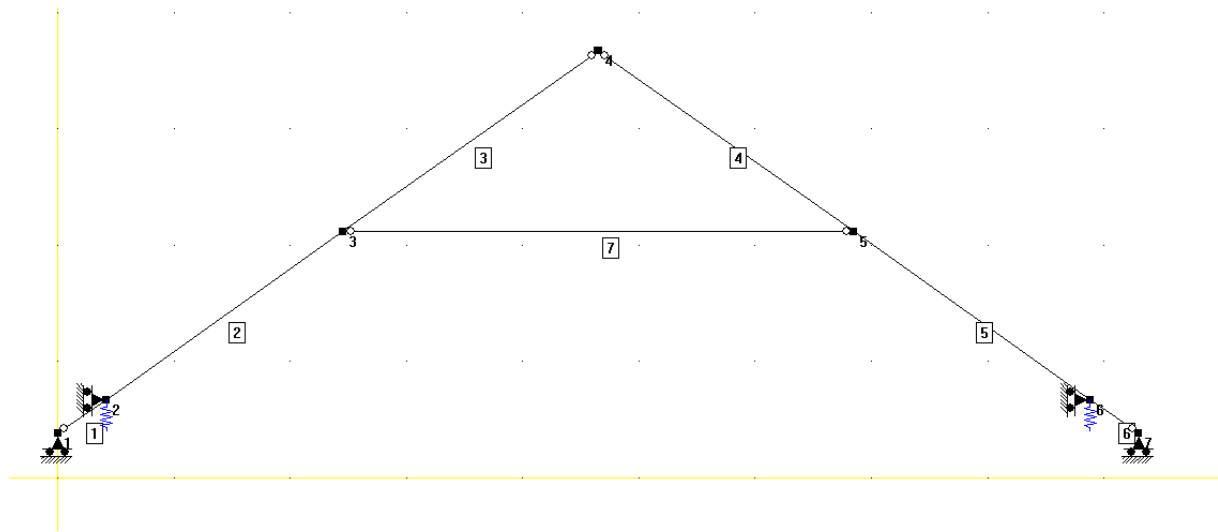
De karakteristiska lasterna är framtagna i Bilaga C, karakteristiska laster. Vilka laster som ska kombineras visas i bilaga D lastfall. Ett exempel på hur den dimensionerande brottslasen beräknas visas för lastfall 11 där egentyngd, snö och vind kombineras. För detta lastfall sätts vinden till huvudlast och egentyngden är tagen för den förstärkta konstruktionen. Den dimensionerande lasten beräknas för lovertssidan som

$$\begin{aligned} Q_d &= \gamma_d 1.1 G_{k, förstärkt takstol} + \gamma_d 1.5 Q_{k, vind 1.1, loverttsida} + \gamma_d 1.5 \psi_{0,i} Q_{k, snö fall 2} \\ &= 1.0 \cdot 1.1 \cdot 0.54 + 1.0 \cdot 1.5 \cdot 0.33 + 1.0 \cdot 1.5 \cdot 0.6 \cdot 1.13 = 2.11 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Vid modellering skrivs dessa lastkombinationer in för alla lastfall som kontrolleras.

Bilaga F Data från Ramanalys

F.1 Befintlig takstol utan stödben



Figur F-1: Geometri befintlig takstol utan stödben.

Tabell F-1: Koordinaterna till geometri för befintlig takstol utan stödben.

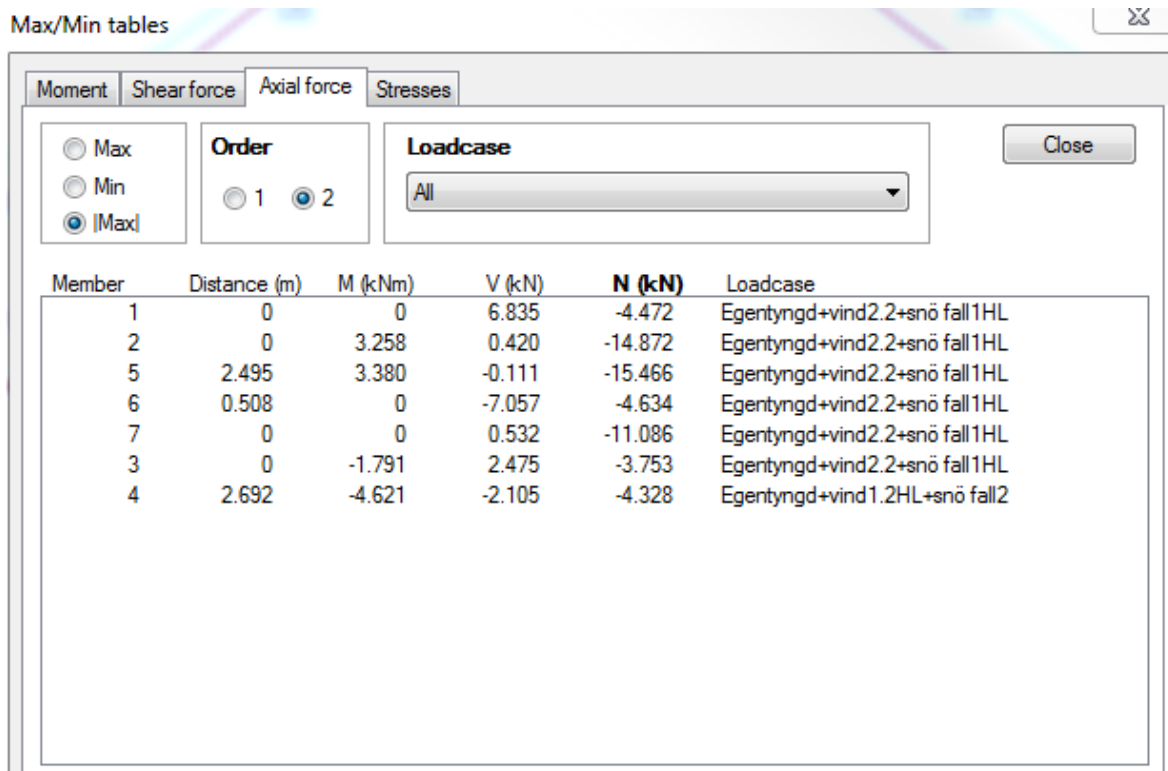
Nod	x-led (m)	y-led (m)	Stöd x-led	Stöd y-led	Fjäder x-led kN/m	Fjäder y-led kN/m
1	0	0.383		R		
2	0.420	0.669	R			61
3	2.453	2.117				
4	4.651	3.671				
5	6.849	2.117				
6	8.881	0.669	R			61
7	9.301	0.383		R		

Tabell F-2: Indata geometri och tvärsnitt för befintlig takstol utan stödben.

Element	Nod 1	Nod 2	Tvärsnitt (mm)	Materialkvalitet
1	1	2	120x120	C18
2	2	3	120x120	C18
3	3	4	120x120	C18
4	4	5	120x120	C18
5	5	6	120x120	C18
6	6	7	120x120	C18
7	3	5	100x100	C18

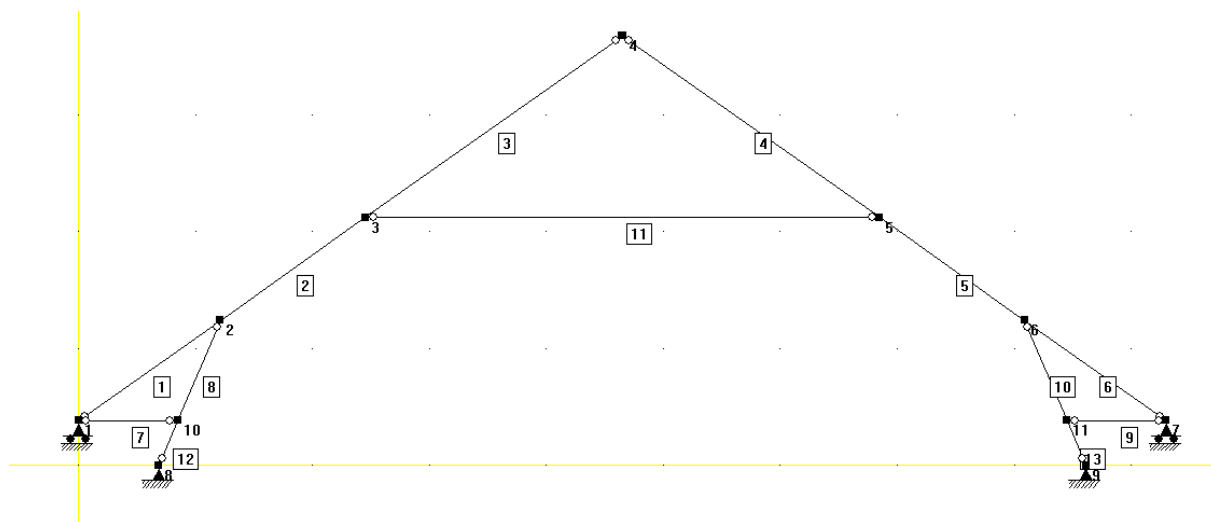
Member	Distance (m)	M (kNm)	V (kN)	N (kN)	Loadcase
1	0.508	3.261	5.979	-4.081	Egentyngd+vind2.2+snö fall1HL
2	1.123	3.787	-0.079	-10.088	Egentyngd+vind1.2HL+snö fall2
5	0	-4.694	3.116	-11.403	Egentyngd+vind1.2HL+snö fall2
6	0	3.383	-6.236	-4.199	Egentyngd+vind2.2+snö fall1HL
7	2.198	0.691	0	-11.356	Egentyngd+vind2.2+snö fall1HL
3	1.077	2.494	-0.083	-1.000	Egentyngd+vind1.2HL+snö fall2
4	2.692	-4.694	-2.244	-4.158	Egentyngd+vind1.2HL+snö fall2

Figur F-2: Dimensionerande moment för befintlig takstol utan stödben.



Figur F-3: Dimensionerande normalkraft för befintlig takstol utan stödben.

F.2 Befintlig takstol med stödben



Figur F-4: Geometri befintlig takstol med stödben.

Tabell F-3: Koordinater och upplag för befintlig takstol med stödben.

nod	x-led (m)	y-led (m)	Stöd x-led	Stöd y-led	Fjädrer x-led kN/m	Fjädrer y-led kN/m
1	0	0.383		R	35	
2	1.212	1.240				

3	2.453	2.117				
4	4.651	3.671				
5	6.849	2.117				
6	9.301	1.240				
7	9.301	0.383		R	35	
8	0.687	0	R	R		
9	8.614	0	R	R		
10	0.849	0.383				
11	8.452	0.383				

Tabell F-4: Indata geometri och tvärsnitt för befintlig takstol med stödben.

Element	Nod 1	Nod 2	Tvärsnitt (mm)	Materialkvalitet
1	1	2	120x120	C18
2	2	3	120x120	C18
3	3	4	120x120	C18
4	4	5	120x120	C18
5	5	6	120x120	C18
6	6	7	120x120	C18
7	1	10	120x120	C18
8	10	2	120x120	C18
9	11	7	120x120	C18
10	11	6	120x120	C18
11	3	5	100x100	C18
12	8	10	120x120	C18
13	9	11	120x120	C18

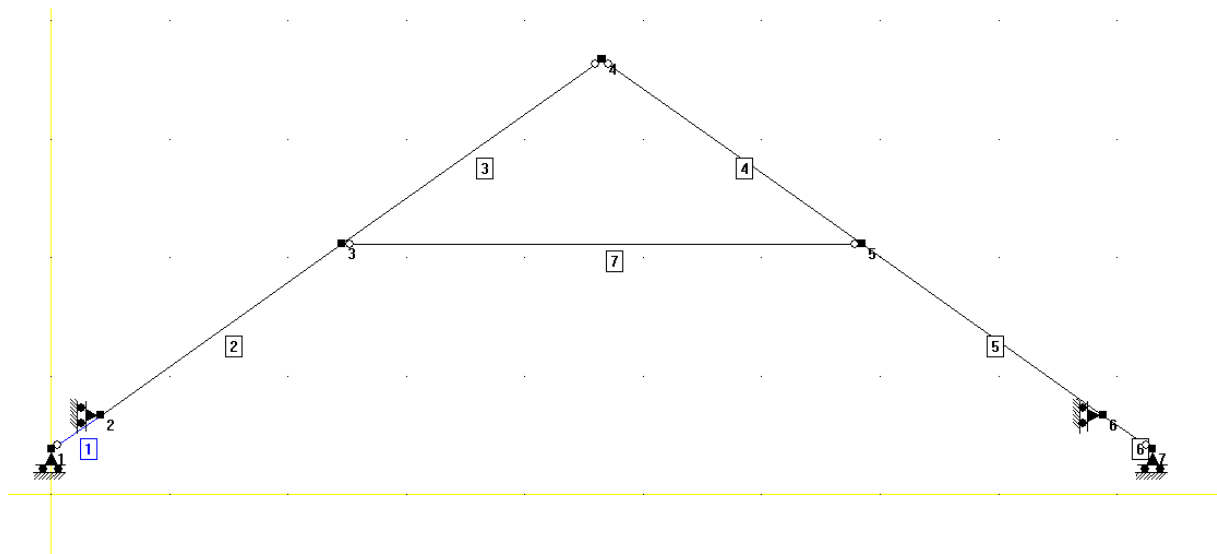
Member	Distance (m)	M (kNm)	V (kN)	N (kN)	Loadcase
1	1.484	-5.318	-4.606	-2.353	Egentyngd+vind 1.2+snö fall2HL
2	0	-5.318	6.168	-3.611	Egentyngd+vind 1.2+snö fall2HL
3	0.808	3.007	0.020	-5.162	Egentyngd+vind 1.2+snö fall2HL
4	1.884	2.680	0.006	-5.507	Egentyngd+vind 2.2+snö fall 1HL
5	1.519	-5.197	-5.770	-3.790	Egentyngd+vind 2.2+snö fall 1HL
6	0	-5.197	4.157	-7.789	Egentyngd+vind 2.2+snö fall 1HL
7	0.420	-0.060	-0.155	7.210	egentyngd+snö fall 1
8	0	-8.735	9.194	-4.699	Egentyngd+vind 2.2+snö fall 1HL
9	0.429	-0.072	-0.184	38.005	Egentyngd+vind 1.2+snö fall2HL
10	0	10.827	-11.906	6.543	Egentyngd+vind 1.2HL+snö fall2*ga
11	2.198	0.141	0	-3.273	Egentyngd+vind 1.1+snö fall2HL
12	0.416	-8.735	-20.579	-17.402	Egentyngd+vind 2.2+snö fall 1HL
13	0.416	10.827	25.772	-9.503	Egentyngd+vind 1.2HL+snö fall2*ga

Figur F-5: Dimensionerande moment för befintlig takstol med stödben.

Member	Distance (m)	M (kNm)	V (kN)	N (kN)	Loadcase
1	1.484	-0.934	-1.143	12.676	egentyngd+vind 1.1
2	0	-1.537	2.068	-8.257	Egentyngd+vind 1.1+snö fall2HL
3	0	2.423	1.419	-5.872	Egentyngd+vind 1.2+snö fall2HL
4	2.692	2.187	-1.222	-6.216	Egentyngd+vind 2.2+snö fall 1HL
5	1.519	-0.770	-0.827	-8.472	Egentyngd+vind 1.1+snö fall2HL
6	1.484	0	2.025	-16.833	Egentyngd+vind 1.2HL+snö fall2*ga
7	0.420	-0.057	0.146	32.048	Egentyngd+vind 2.2+snö fall 1HL
8	0	-3.343	3.305	-13.055	Egentyngd+vind 1.2HL+snö fall2*ga
9	0.429	-0.070	-0.180	40.216	Egentyngd+vind 1.2HL+snö fall2*ga
10	0.931	0	-4.954	11.505	egentyngd+vind 1.1
11	2.198	0.067	0	4.722	Egentyngd+vind 3.1+snö fall2HL
12	0	0	-19.290	-18.291	Egentyngd+vind 1.2+snö fall2HL
13	0	0	24.246	-16.539	Egentyngd+vind 2.2+snö fall 1HL

Figur F-6: Dimensionerande normalkraft för befintlig takstol med stödben.

F.3 Förstärkt takstol utan stödben



Figur F-7: Geometri förstärkt takstol utan stödben.

Tabell F-5: Koordinater och upplag för förstärkt takstol utan stödben.

nod	x-led (m)	y-led (m)	Stöd x-led	Stöd y-led	Fjäder x-led kN/m	Fjäder y-led kN/m
1	0	0.383		R		
2	0.420	0.669	R			
3	2.453	2.117				
4	4.651	3.671				
5	6.849	2.117				
6	8.881	0.669	R			
7	9.301	0.383		R		

Tabell F-6: Indata geometri och tvärsnitt för förstärkt takstol utan stödben.

Element	Nod 1	Nod 2	Tvärsnitt (mm)	Materialkvalitet
1	1	2	120x120+45x220	C18
2	2	3	120x120+45x220	C18
3	3	4	120x120+45x220	C18
4	4	5	120x120+45x220	C18
5	5	6	120x120+45x220	C18
6	6	7	120x120+45x220	C18
7	3	5	120x120	C18

Max/Min tables

Moment | Shear force | Axial force | Stresses

Max
 Min
 |Max|

Order: 1 2

Loadcase: All

Close

Member	Distance (m)	M (kNm)	V (kN)	N (kN)	Loadcase
1	0.508	5.005	9.284	-6.372	Egentyngd+vind1.2+snö fall2HL
2	0.125	5.025	0.029	-19.444	Egentyngd+vind1.2+snö fall2HL
5	2.495	4.994	0.472	-20.670	Egentyngd+vind2.2+snö fall1HL
6	0	4.996	-9.319	-6.348	Egentyngd+vind2.2+snö fall1HL
7	2.198	1.360	0	-15.069	Egentyngd+vind2.2+snö fall1HL
3	0	-2.794	3.011	-4.952	egentyngd+snö fall1
4	2.692	-4.885	-2.948	-5.292	Egentyngd+vind1.2HL+snö fall2

Figur F-8: Dimensionerande moment för förstärkt takstol utan stödben.

Max/Min tables

Moment Shear force Axial force Stresses

Max Min |Max|

Order 1 2

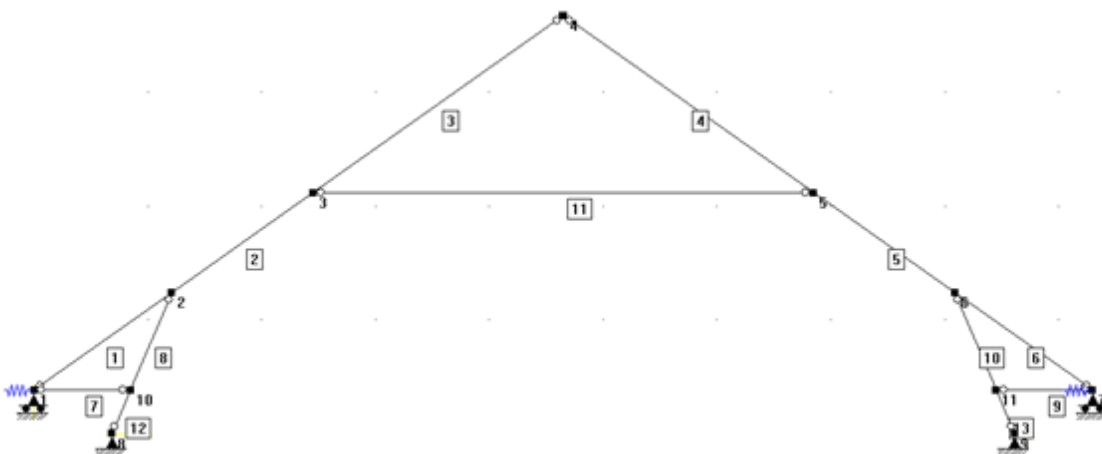
Loadcase All

Close

Member	Distance (m)	M (kNm)	V (kN)	N (kN)	Loadcase
1	0	0.001	10.413	-6.947	Egentyngd+vind1.2+snö fall2HL
2	0	4.877	-0.331	-20.012	Egentyngd+vind2.2+snö fall1HL
5	2.495	4.994	0.472	-20.670	Egentyngd+vind2.2+snö fall1HL
6	0.508	0.001	-10.341	-6.923	Egentyngd+vind2.2+snö fall1HL
7	0	-0.008	1.045	-15.069	Egentyngd+vind2.2+snö fall1HL
3	0	-2.599	3.415	-4.977	Egentyngd+vind2.2+snö fall1HL
4	2.692	-3.687	-3.248	-5.466	Egentyngd+vind1.2+snö fall2HL

Figur F-9: Dimensionerande normalkraft för förstärkt takstol utan stöbber.

F.4 Förstärkt takstol (45x220) med stöbber



Figur F-10: Geometri förstärkt takstol med stöbber.

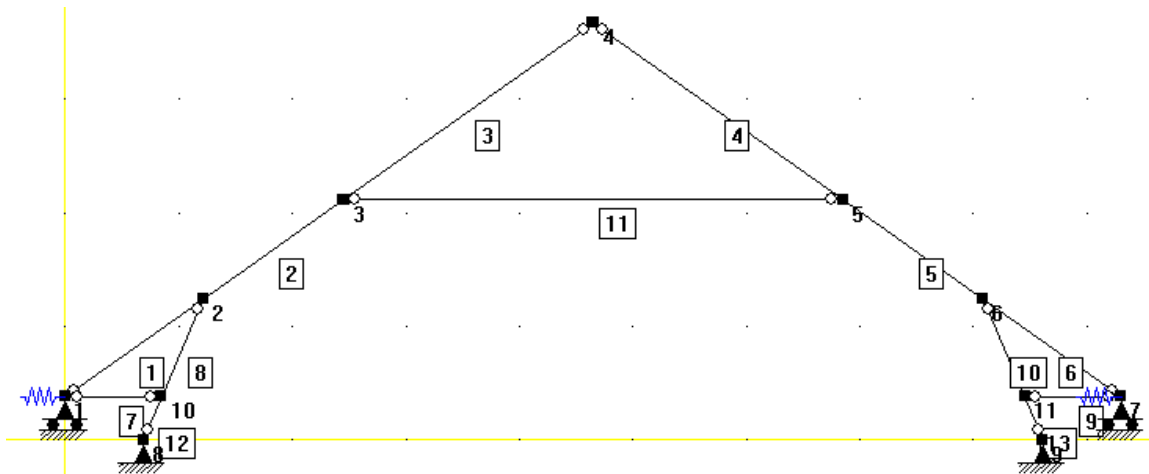
Tabell F-7: Koordinater och upplag för förstärkt takstol med stödben.

nod	x-led (m)	y-led (m)	Stöd x-led	Stöd y-led	Fjäder x-led kN/m	Fjäder y-led kN/m
1	0	0.383	R	R	35	
2	1.212	1.240				
3	2.453	2.117				
4	4.651	3.671				
5	6.849	2.117				
6	9.301	1.240				
7	9.301	0.383	R	R	35	
8	0.687	0		R		
9	8.614	0		R		
10	0.849	0.383				

Tabell F-8: Indata geometri och tvärsnitt för förstärkt takstol med stödben.

Element	Nod 1	Nod 2	Tvärsnitt (mm)	Materialkvalitet
1	1	2	120x120+45x220	C18
2	2	3	120x120+45x220	C18
3	3	4	120x120+45x220	C18
4	4	5	120x120+45x220	C18
5	5	6	120x120+45x220	C18
6	6	7	120x120+45x220	C18
7	1	10	120x120	C18
8	10	2	120x120	C18
9	11	7	120x120	C18
10	11	6	120x120	C18
11	3	5	100x100	C18
12	8	10	120x120	C18
13	9	11	120x120	C18

F.5 Förstärkt takstol (70x220) med stödben



Figur F-11: Geometri ytterligare förstärkt takstol med stödben.

Tabell F-9: Koordinater och upplag för ytterligare förstärkt takstol med stödben.

nod	x-led (m)	y-led (m)	Stöd x-led	Stöd y-led	Fjäder x-led kN/m	Fjäder y-led kN/m
1	0	0.383	R	R	35	
2	1.212	1.240				
3	2.453	2.117				
4	4.651	3.671				
5	6.849	2.117				
6	9.301	1.240				
7	9.301	0.383	R	R	35	
8	0.687	0		R		
9	8.614	0		R		
10	0.849	0.383				

Tabell F-10: Indata geometri och tvärsnitt för ytterligare förstärkt takstol med stödben

Element	Nod 1	Nod 2	Tvärsnitt (mm)	Materialkvalitet
1	1	2	120x120+70x220	C18
2	2	3	120x120+70x220	C18
3	3	4	120x120+70x220	C18
4	4	5	120x120+70x220	C18
5	5	6	120x120+70x220	C18
6	6	7	120x120+70x220	C18
7	1	10	120x120	C18
8	10	2	120x120	C18
9	11	7	120x120	C18
10	11	6	120x120	C18
11	3	5	100x100	C18
12	8	10	120x120	C18
13	9	11	120x120	C18

Max/Min tables

Moment | Shear force | Axial force | Stresses

Max
 Min
 |Max|

Order: 1 2

Loadcase: All

Member	Distance (m)	M (kNm)	V (kN)	N (kN)	Loadcase
1	1.484	-12.875	-10.269	37.733	egentyngd+snö fall2+PL
2	0	-12.875	14.306	5.885	egentyngd+snö fall2+PL
5	1.519	-12.836	-14.269	5.825	egentyngd+snö fall1+PL
6	0	-12.836	10.240	37.594	egentyngd+snö fall1+PL
7	0.420	-0.036	-0.343	-24.712	egentyngd+snö fall1+PL
8	0	-3.713	2.933	-38.745	egentyngd+snö fall1+PL
9	0.429	-0.061	0.344	-18.911	Egentyngd+vind1.1HL+snö fall2*ga
10	0	5.778	-5.186	-29.430	Egentyngd+vind1.1HL+snö fall2*ga
11	2.198	0.149	0	-3.425	Egentyngd+vind2.2HL+snö fall1*ga
12	0.416	-3.713	-8.166	-43.728	egentyngd+snö fall1+PL
13	0.416	5.779	13.113	-37.385	Egentyngd+vind1.1HL+snö fall2*ga
3	0	8.224	-0.668	-6.710	Egentyngd+vind1.1HL+snö fall2*ga
4	2.692	6.879	0.179	-9.568	egentyngd+snö fall1+PL

Figur F-12: Dimensionerande moment för ytterligare förstärkt takstol med stödben.

Max/Min tables

Moment | Shear force | Axial force | Stresses

Max
 Min
 |Max|

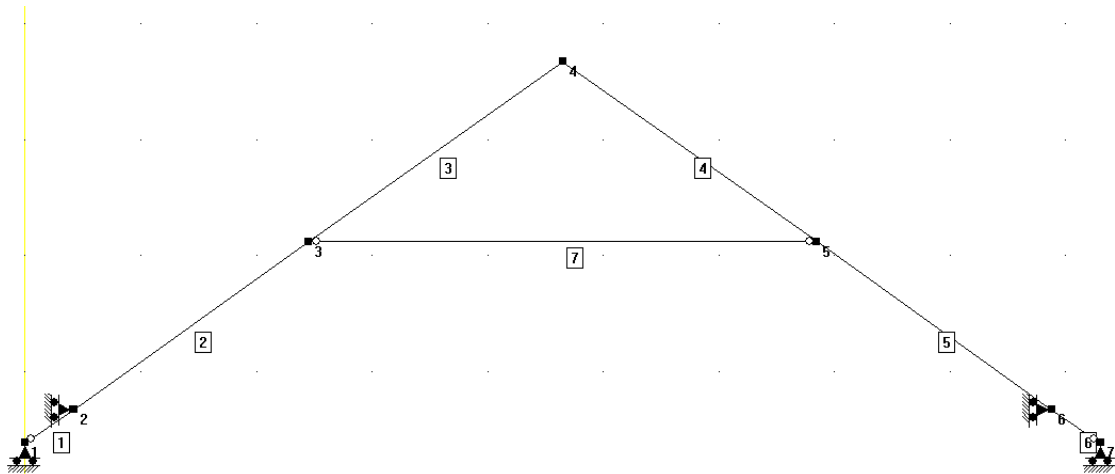
Order: 1 2

Loadcase: All

Member	Distance (m)	M (kNm)	V (kN)	N (kN)	Loadcase
1	1.484	-11.361	-9.279	44.997	Egentyngd+vind1.1HL+snö fall2*ga
2	1.520	6.423	11.056	11.737	Egentyngd+vind3.1HL+snö fall2*ga
5	0	6.304	-11.006	11.771	Egentyngd+vind3.1HL+snö fall2*ga
6	0	-12.836	10.240	37.594	egentyngd+snö fall1+PL
7	0	0	0.328	-32.121	Egentyngd+vind1.1HL+snö fall2*ga
8	0	-1.135	0.581	-42.203	Egentyngd+vind1.1HL+snö fall2*ga
9	0.429	-0.034	0.344	-25.291	egentyngd+snö fall1+PL
10	0	3.545	-2.751	-39.848	egentyngd+snö fall1+PL
11	2.198	0.036	0	22.259	Egentyngd+vind3.1HL+snö fall2*ga
12	0	0	-9.175	-44.742	egentyngd+snö fall2+PL
13	0	0	9.128	-44.627	egentyngd+snö fall1+PL
3	0	6.904	-0.188	-9.579	egentyngd+snö fall2+PL
4	2.692	6.879	0.179	-9.568	egentyngd+snö fall1+PL

Figur F-13: Dimensionerande normalkraft för ytterligare förstärkt takstol med stödben.

F.6 Förstärkt takstol (70x220) utan stödben



Figur F-14: Geometri ytterligare förstärkt takstol utan stödben.

Tabell F-11: Koordinater och upplag för ytterligare förstärkt takstol utan stödben.

nod	x-led (m)	y-led (m)	Stöd x-led	Stöd y-led	Fjäder x-led kN/m	Fjäder y-led kN/m
1	0	0.383		R		
2	0.420	0.669	R			
3	2.453	2.117				
4	4.651	3.671				
5	6.849	2.117				
6	8.881	0.669	R			
7	9.301	0.383		R		

Tabell F-12: Indata geometri och tvärsnitt för ytterligare förstärkt takstol utan stödben.

Element	Nod 1	Nod 2	Tvärsnitt (mm)	Materialkvalitet
1	1	2	120x120+70x220	C18
2	2	3	120x120+70x220	C18
3	3	4	120x120+70x220	C18
4	4	5	120x120+70x220	C18
5	5	6	120x120+70x220	C18
6	6	7	120x120+70x220	C18
7	3	5	100x100	C18

Max/Min tables

Moment | Shear force | Axial force | Stresses

Max
 Min
 |Max|

Order: 1 2

Loadcase: All

Member	Distance (m)	M (kNm)	V (kN)	N (kN)	Loadcase
1	0.508	4.968	9.213	-6.371	Egentyngd+vind1.2+snö fall2HL
2	0.125	4.990	0.040	-19.208	Egentyngd+vind1.2+snö fall2HL
5	2.495	4.968	0.414	-20.410	Egentyngd+vind2.2+snö fall1HL
6	0	4.969	-9.268	-6.348	Egentyngd+vind2.2+snö fall1HL
7	2.198	1.072	0	-13.938	Egentyngd+vind2.2+snö fall1HL
3	0	-2.391	2.583	-5.530	egentyngd+snö fall1
4	2.692	-4.352	-2.486	-5.821	Egentyngd+vind1.2HL+snö fall2

Figur F-15: Dimensionerande moment för ytterligare förstärkt takstol utan stödben.

Max/Min tables

Moment | Shear force | Axial force | Stresses

Max
 Min
 |Max|

Order: 1 2

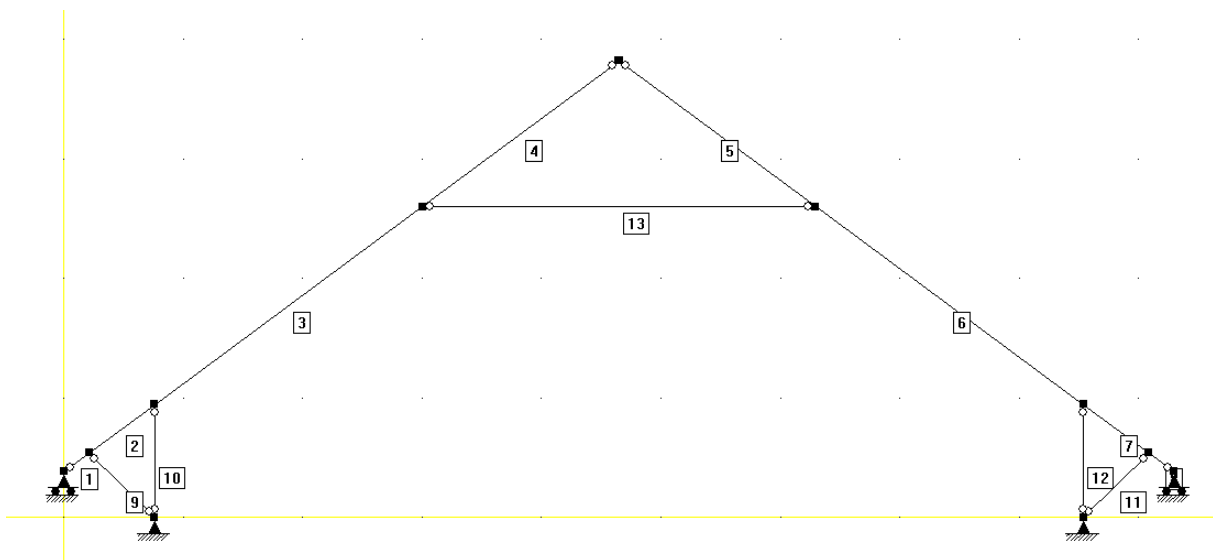
Loadcase: All

Close

Member	Distance (m)	M (kNm)	V (kN)	N (kN)	Loadcase
1	0	0	10.341	-6.947	Egentyngd+vind1.2+snö fall2HL
2	0	4.852	-0.269	-19.752	Egentyngd+vind2.2+snö fall1HL
5	2.495	4.968	0.414	-20.410	Egentyngd+vind2.2+snö fall1HL
6	0.508	0	-10.290	-6.923	Egentyngd+vind2.2+snö fall1HL
7	0	-0.004	0.835	-13.938	Egentyngd+vind2.2+snö fall1HL
3	0	-2.168	2.871	-5.641	Egentyngd+vind2.2+snö fall1HL
4	2.692	-2.176	-2.929	-6.079	Egentyngd+vind2.2+snö fall1HL

Figur F-16: Dimensionerande normalkraft för ytterligare förstärkt takstol utan stödben.

F.7 Ny takstol



Figur F-17: Geometri ny takstol.

Tabell F-13: Koordinater och upplag för ny takstol..

Nod	x-led (m)	y-led (m)	Stöd x-led	Stöd y-led	Fjäder x-led kN/m	Fjäder y-led kN/m
1	0	0.383		R		
2	0.213	0.540				
3	0.760	0.944				
4	3.004	2.600				
5	4.650	3.820				
6	6.296	2.600				
7	8.540	0.944				
8	9.087	0.540				
9	9.300	0.383		R		
10	0.760	0	R	R		
11	8.540	0	R	R		

Tabell F-14: Indata geometri och tvärsnitt för ny takstol.

Element	Nod 1	Nod 2	Tvärsnitt (mm)	Materialkvalitet
1	1	2	70x220	C24
2	2	3	70x220	C24
3	3	4	70x220	C24
4	4	5	70x220	C24
5	5	6	70x220	C24
6	6	7	70x220	C24
7	7	8	70x220	C24
8	8	9	70x220	C24
9	2	10	45x95	C24
10	10	13	45x170	C24
11	11	8	45x95	C24
12	11	7	45x170	C24
13	4	6	45x220	C24

Max/Min tables					
Moment					
Shear force					
Axial force					
Stresses					
<input type="radio"/> Max <input type="radio"/> Min <input checked="" type="radio"/> Max		Order <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2		Loadcase All	
Close					
Member	Distance (m)	M (kNm)	V (kN)	N (kN)	Loadcase
1	0.265	2.099	7.687	-5.702	Egentyngd+Snö fall 3
2	0.680	-2.489	-5.237	-2.509	Egentyngd+vind1.2HL+snö fall 2
3	0	-2.787	4.262	-9.867	Egentyngd+vind1.2HL+snö fall 2
4	1.019	1.048	0.024	-2.090	Egentyngd+vind1.2HL+snö fall 2
5	2.049	-0.979	-1.308	-4.110	Egentyngd+vind1.2HL+snö fall 2
6	0	-1.766	1.714	-9.296	Egentyngd+vind1.2HL+snö fall 2
7	0.680	2.324	2.987	-8.860	Egentyngd+vind1.2HL+snö fall 2
8	0	2.445	-9.094	-6.705	Egentyngd+vind1.2HL+snö fall 2
10	0.944	-0.298	-0.186	-11.940	Egentyngd+vind1.2HL+snö fall 2
9	0	0.100	-0.179	12.549	Egentyngd+Snö fall 3
11	0.769	0.121	0.239	12.412	Egentyngd+vind1.2HL+snö fall 2
12	0.944	0.224	0.099	-10.480	Egentyngd+Snö fall 3
13	3.292	-0.788	-0.600	-6.058	Egentyngd+vind1.2HL+snö fall 2

Figur F-18: Dimensionerande moment för ny takstol.

Max/Min tables					
Moment					
Shear force					
Axial force					
Stresses					
<input type="radio"/> Max <input type="radio"/> Min <input checked="" type="radio"/> Max		Order <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2		Loadcase All	
Close					
Member	Distance (m)	M (kNm)	V (kN)	N (kN)	Loadcase
1	0	0	8.179	-5.978	Egentyngd+Snö fall 3
2	0	1.999	-4.557	-7.818	Egentyngd+Snö fall 3
3	0	-1.702	2.830	-13.482	Egentyngd+Snö fall 3
4	0	-0.638	2.067	-4.662	Egentyngd+Snö fall 3
5	2.049	-0.596	-2.046	-4.648	Egentyngd+Snö fall 3
6	2.789	-1.757	-2.789	-13.453	Egentyngd+Snö fall 3
7	0.680	2.324	2.987	-8.860	Egentyngd+vind1.2HL+snö fall 2
8	0.265	0	-9.388	-6.860	Egentyngd+vind1.2HL+snö fall 2
10	0	0.020	-0.473	-11.959	Egentyngd+vind1.2HL+snö fall 2
9	0	0.100	-0.179	12.549	Egentyngd+Snö fall 3
11	0.769	0.108	0.199	12.550	Egentyngd+vind1.2+snö fall 2HL
12	0	0.009	0.347	-10.499	Egentyngd+Snö fall 3
13	0	-0.013	0.157	-6.705	Egentyngd+Snö fall 3

Figur F-19: Dimensionerande normalkraft för ny takstol.

Bilaga G Beräkning av U-värden för lösningsförslag 1 & 2

G.1 Lösningsförslag 2 - Ny takkonstruktion

För att kunna ge programmet rätt indata när det gäller takets isoleringsförmåga måste U-värdet för de olika takdelarna beräknas. U-värdet beräknas enligt:

$$U = \frac{1}{R_{Si} + R_1 + R_2 + \dots + R_N + R_{Se}} \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Där R_{Si} , är värmeövergångsmotstånd på insidan

$R_{1..N}$, är värmemotstånd för de olika materialen

R_{Se} , är värmeövergångsmotstånd på utsidan

Parallelltak

Taket utformas som ett parallelltak ända upp i nocken. Även hanbjälken isoleras vilket gör att U-värdet för det horisontella taket blir bättre. De ingående skikten i parallelltaket, deras värmekonduktivitet λ samt deras tjocklek d presenteras i Tabell G-1.

Tabell G-1: Material i parallelltak.

Material nytt tak	λ [W/mK]	d [mm]
Gips	-	13
Glespanel/mineralull	0,14/0,04	28x70
Plastfolie	-	-
Mineralull skikt 1	0.04	170
Reglar skikt 1 (c/c 1200)	0.14	45x170
Mineralull skikt 2	0.04	195
Reglar skikt 2 (c/c 1200)	0.14	70x220
Vindpapp	-	-
Luftspalt	-	25
Råspont	0.14	22
Isolerskiva	0.04	30
Plåttak	-	-

Eftersom taket är uppbyggt med takstolar och reglar med mellanliggande isolering måste u-värdet för dessa skikt viktas fram beroende på andelen reglar och isolering. Denna viktning kan göras på två olika sätt, λ -värdesmetoden och U-värdesmetoden. Metoderna ger två ytterligheter på U-värdet, där λ -metoden ger ett för högt U-värde. För att vara på den säkra sidan används därför λ -metoden (Sandin, 2010).

I aktuell konstruktion finns två skikt med isolering och reglar. Dessa skikt har olika tjocklek men samma centrumavstånd mellan reglarna. λ -värdet för dessa skikt kommer därför bli samma.

λ -värdesmetoden

$$\lambda_{res} = \alpha \lambda_{isol} + \beta \lambda_{regel}$$

α , ytandel isolering

β , ytandel regler

Värmekonduktiviteten för skikt 1

$$\alpha = \frac{1200-45}{1200} = 0.96$$

$$\beta = 1 - 0.96 = 0.04$$

$$\lambda_{skikt\ 1\&2} = 0.04 \cdot 0.14 + 0.96 \cdot 0.04 = 0.044 \text{ W/mK}$$

Värmekonduktiviteten för skikt 2

$$\alpha = \frac{1200-70}{1200} = 0.94$$

$$\beta = 1 - 0.94 = 0.06$$

$$\lambda_{skikt\ 1\&2} = 0.06 \cdot 0.14 + 0.94 \cdot 0.04 = 0.046 \text{ W/mK}$$

Värmekonduktiviteten för skikt med glespanel

Det innersta skiktet med isolering är det med glespanel i dimensionen 28x70. Glespanelen sitter med ett c/c-avstånd på 400 mm. I följande beräkning tas värmekonduktiviteten för detta skikt fram.

α , ytandel isolering

β , ytandel glespanel

$$\alpha = \frac{400-70}{400} = 0.83$$

$$\beta = 1 - 0.83 = 0.17$$

$$\lambda_{isol./gles} = 0.17 \cdot 0.14 + 0.83 \cdot 0.04 = 0.057 \text{ W/mK}$$

Värmemotstånd i parallelltak

Värmemotståndet beräknas med hjälp av materialets tjocklek och värmekonduktivitet. I Tabell G-2 redovisas värmemotståndet för de olika skikten. Dessa summeras för beräkning av U -värdet.

När det gäller den ventilerade luftspalten antas värmemotståndet för skikten utanför spalten vara noll. Värmeövergångsmotståndet ut mot luftspalten sätts till samma motstånd som värmemotståndet inne, det vill säga $0.10 \text{ m}^2\text{K/W}$ för tak (Sandin, 2010).

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

$$R_{skikt\ 1} = \frac{0.170}{0.044} = 3.86 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{skikt\ 2} = \frac{0.195}{0.046} = 4.24 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Tabell G-2: Värmemotstånd i parallelltak.

Material	R [m ² K/W]
Motstånd inne	0.10
Glespanel/mineralull	0.49
Regel + isolering, skikt 1	3.86
Regel + isolering, skikt 2	4.24
Luftspalt + takbeläggning	0
Motstånd ute	0.10
ΣR	8.79

Parallelltakets U-värde

$$U = \frac{1}{8.79} = 0.11 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Vägg mot takfot

I den nya konstruktionen kommer stöbbenet i takstolen bilda en yttervägg ut mot vinden vid takfoten. Stöbbenet har dimensionen 45x145. De ingående materialen i väggen samt deras materialparametrar presenteras i Tabell

Tabell G-3: Material i vägg mot takfot.

Material	λ [W/mK]	d [mm]
Gips	-	13
Glespanel/mineralull	0,057	28x70
Plastfolie	-	-
Mineralull skikt 1	0.04	170
Reglar skikt 1 (c/c 600)	0.14	45x170
Mineralull skikt 2	0.04	145
Reglar skikt 2 (c/c 600)	0.14	45x145
Fasadboard	0.04	30
Tjocklek vägg	-	386
Luftspalt	-	500
Tegel	0.60	300

Värmekonduktiviteten för skikt 1 och 2

$$\beta_{regel} = \frac{45}{600} = 0.075 \text{ (7.5 \%)}$$

Eftersom väggen även består av horisontella regler bör procentandelen för reglarna vara något större, därför antas regelandelen vara 10 %.

$$\alpha_{isolering} = 1 - 0.1 = 0.9 \text{ (90 \%)}$$

$$\lambda_{skikt 1\&2} = 0.1 \cdot 0.14 + 0.9 \cdot 0.04 = 0.05$$

Värmemotstånd i ny vägg mot takfot

För de två skikten med regler beräknas det totala värmemotståndet med hjälp av den uträknade värmekonduktiviteten. När det kommer till vinden bakom väggen antas denna ge ett mot-

stånd dels från luftspalten, dels från tegelväggen. Beräkning av luftspaltens och tegelväggens värmemotstånd görs nedan. Alla motstånd presenteras i Tabell G-4.

Värmemotståndet för det ouppvärmda utrymmet bakom väggen beräknas enligt svensk standard SS-EN ISO 6946:2007 (Swedish Standard Institute, 2008).

$$R_u = \frac{A_i}{\sum_k (A_{ek} U_{ek}) + 0.33nV} \text{ [m}^2\text{K/W]}$$

R_u , värmemotståndet för tegelväggen och vindsutrymmet [$\text{m}^2\text{K/W}$]

A_i , totala arean mellan det ouppvärmda utrymmet och inneklimatet [m^2]

A_{ek} , arean på de element som ligger mellan det ouppvärmda utrymmet och utemiljön [m^2]

U_{ek} , U-värdet för de element mellan det ouppvärmda utrymmet och utemiljön [$\text{W/m}^2\text{K}$]

n , omsättning luft per timme [oms/h]

V , volymen av det ouppvärmda utrymmet [m^3]

U-värdet för tegelväggen beror precis som för de andra materialen på dess tjocklek och värmekonduktivitet.

$$R_{tegelvägg} = \frac{0.3}{0.6} = 0.5 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_{tegelvägg} = \frac{1}{0.5} = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Omsättningen luft per timme rekommenderas att sättas till 3oms/h om inget annat anges. Areorna och volymen av utrymmet beräknas genom att ett snitt görs genom konstruktionen. Eftersom utrymmet inte är kvadratisk görs en del förenklingar. Hela ytterkonstruktionen antas ha samma U-värde som tegelväggen och utrymmet förenklas till en höjd på 1 m och en spalt-tjocklek som representerar halva den verkliga luftspaltens bredd på 500 mm, dvs. 250 mm. Beräkningarna görs över en längd meter.

$$A_i = 1 \cdot 0.386 = 0.386 \text{ m}^2$$

$$A_{ek} = 1 \cdot 0.3 = 0.3 \text{ m}^2$$

$$n = 3 \text{ oms/h}$$

$$V = 1 \cdot 0.250 \cdot 1 = 0.250 \text{ m}^3$$

$$R_u = \frac{0.386}{0.3 \cdot 2 + 0.33 \cdot 3 \cdot 0.250} = 0.46 \text{ [m}^2\text{K/W]}$$

$$R_{skikt 1} = \frac{0.170}{0.05} = 3.4 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{skikt 2} = \frac{0.145}{0.05} = 2.9 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Tabell G-4: Värmemotstånd i vägg mot takfot.

Material	$R \text{ [m}^2\text{K/W]} \frac{d}{\lambda}$
Motstånd inne	0.13

Gips	-
Glespanel/mineralull	0.49
Plastfolie	-
Skikt 1	3.4
Skikt 2	2.9
Fasadboard (diff. öppen)	0.75
Motstånd luftspalt och tegel- vägg	0.46
Motstånd ute	0.04
ΣR	8.17

Väggens U-värde

$$U = \frac{1}{8,17} = 0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$$

G.2 Lösningsförslag 1 - Förstärkt takkonstruktion

Parallelltak

Takstolen förstärks med balkar i dimensionerna 45x220. Mellan balkarna isoleras konstruktionen med mineralull i tjockleken 195 mm för att även möjliggöra en luftspalt på 25 mm. För att minska risken för kondens i luftspalten läggs en isolerande takboard på råsponten. I Tabell G-5 redovisas materialparametrar för parallelltaket.

Tabell G-5: Material i parallelltaket, förstärkt konstruktion.

Material	λ [W/mK]	d [mm]
Gips	-	13
Glespanel/mineralull	0.057	28x70
Plastfolie	-	-
Mineralull, skikt 1	0.04	195
Nya reglar och bef. takstol, skikt 1	0.14	220 (120 bef. takstol)
Luftspalt	-	25
Råspont	-	22
Takboard	0.04	30
Plåttak	-	

Värmekonduktiviteten för skiktet med reglar och mineralull

Total area för skiktet: $1.2 \cdot 0.22 = 0.264 \text{ m}^2$

Regelandel: $0.07 \cdot 0.22 + 0.12 \cdot 0.12 = 0.030 \text{ m}^2$

$$\beta_{regel} = \frac{0.030}{0.264} = 0.11$$

$$\alpha_{isolering} = 1 - 0.11 = 0.89$$

$$\lambda_{res} = 0.11 \cdot 0.14 + 0.89 \cdot 0.04 = 0.051$$

Värmemotstånd i parallelltak

Värmemotstånden i konstruktionen redovisas i Tabell . Motståndet för de skikt som är utanför luftspalten försummas. Värmeövergångsmotståndet på både insidan och utsidan av konstruktionen har värdet $0.10 \text{ m}^2\text{K/W}$, vilket gäller för tak (Sandin, 2010).

Tabell G-76: Värmemotstånden i parallelltaket, förstärkt konstruktion.

Material	R [m ² K/W]
Motstånd inne	0.10
Gips	-
Glespanel/mineralull	0.49
Plastfolie	-
Takstol + isolering	4.31
Luftspalt	-
Råspont	-
Takboard	-
Plåttak	-
Motstånd ut mot luftspalt	0.10
ΣR	5.00

Parallelltakets U -värde

$$U = \frac{1}{5.00} = 0.20 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Vägg mot takfot

I den förstärkta konstruktionen sätts ytterväggen så långt in att delar av stödbenet blir synligt i lägenheterna. Luftspalten mellan tegelmuren och väggen ventileras med ventiler genom tegelmuren, främst för att skapa ett luftflöde i spalten och minska risken för kondens. De befintliga stödbenen i väggen bildar köldbryggor. Stödbenen sitter med ett c/c-avstånd på 3.6m och i beräkningarna förenklas dessa till en stående regel med dimensionen 120x120. De ingående materialen i väggen presenteras i Tabell G-7.

Tabell G-7: Material i vägg mot tegelmur, förstärkt konstruktion.

Material	λ [W/mK]	d [mm]
Gips	-	13
Glespanel/mineralull	0.057	28x70
Plastfolie	-	-
Mineralull	0.04	220
Regel c/c 600	0.14	70x220
Fasadboard	0.04	30
Luftspalt	-	70
Tegel	0.6	300

Värmekonduktiviteten skiktet med reglar och mineralull

$$\text{Total area för skiktet: } 0.220 \cdot 3.6 = 0.79 \text{ m}^2$$

$$\text{Regelarea: } 70 \cdot 220 \cdot 6 + 0.12 \cdot 0.12 \text{ (stödben)} = 0.11 \text{ m}^2$$

$$\beta_{regel} = \frac{0.11}{0.79} = 0.13 \text{ (13 \%)}$$

Eftersom väggen även består av horisontella regler bör procentandelen för reglarna vara något större, därför antas regelandelen vara 18 %.

$$\alpha_{isolering} = 1 - 0.18 = 0.82 \text{ (82 \%)}$$

$$\lambda_{res} = 0.18 \cdot 0.14 + 0.82 \cdot 0.04 = 0.058$$

Värmemotstånd

Värmemotståndet i väggen består dels av de skikt som träregelväggen är uppbyggd av, dels den luftspalt och tegelmur som finns bakom väggen. Värmemotståndet för luftspalten beräknas enligt svensk standard SS-EN ISO 6946:2007 (Swedish Standard Institute, 2008).

$$R_{spalt} = \frac{1500 - A_v}{1000} R_{T,u} + \frac{A_v - 500}{1000} R_{T,v}$$

A_v , öppningsarean för ventilerna per längdmeter ($500 < A_v < 1500 \text{ mm}^2$)

$R_{T,u}$, motståndet för en oventilerad luftspalt

$R_{T,v}$, motståndet för en väl ventilerad luftspalt

$R_{T,u}$ hämtas ur tabell 2 i standarden och kan sättas till ett värde av $0.18 \text{ m}^2\text{K/W}$.

$R_{T,v}$ kan sättas till motsvarande $R_{si} = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$ eftersom förhållandena kan liknas med utemiljö.

A_v beräknas genom att anta att ventilerna är i storleken $65 \times 250 \text{ mm}$. Denna storlek innebär en area på $16\,250 \text{ mm}^2$ per ventil. Ventilöppningarna är dock mindre eftersom ventilen består av galler av stålplåt. Den effektiva arean på öppningen beräknas genom en reduktionsfaktor på 0.2 för pressad stålplåt (Elmarsson & Nevander, 2006).

$$A_{ventil} = 16\,250 \cdot 0.2 = 3250 \text{ mm}^2$$

Ventilerna placeras var tredje meter vilket ger öppningsarean:

$$A_v = 1083 \text{ mm}^2/\text{längdmeter}$$

$$R_{spalt} = \frac{1500 - 1083}{1000} \cdot 0.18 + \frac{1083 - 500}{1000} \cdot 0.13 = 0.15 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Värmemotståndet för tegelväggen beror precis som för de andra materialen på dess tjocklek och värmekonduktivitet.

$$R_{tegelvägg} = \frac{0.3}{0.6} = 0.5 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{regelvägg} = \frac{0.220}{0.058} = 3.79 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Tabell G-8: Värmemotstånd i vägg mot tegelmur, förstärkt konstruktion.

Material	R [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] $\frac{d}{\lambda}$
Motstånd inne	0.13
Gips	-
Glespanel/mineralull	0.49
Plastfolie	-
Reglar + mineralull	3.79
Fasadboard	0.75
Luftspalt	0.15
Tegelvägg	0.50
Motstånd ute	0.04
ΣR	5.85

Väggens U -värde

$$U = \frac{1}{5.85} = 0.17 \text{ W/m}^2\text{K}$$