

Skivverkan i oisolerade plåttak



Morgan Mamlöf och Robert Andersson

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lund Universitet, 2007

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Box 118
221 00 LUND

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

Skivverkan i oisolerade plåttak

Stressed skin diaphragm action in an non-insulated sheet metal roof

Morgan Mamlöf och Robert Andersson

Lund, 2007

Rapport TVBK-5152
ISSN 0349-4969
ISRN: LUTVDG/TVBK-07/5152+34p

Examensarbete
Handledare: Sven Thelandersson
Extern handledare: Arne Emilsson
Oktober 2007

Sammanfattning

Denna rapport belyser hur ett oisolerat plåttak verkar när det utsätts för omväxlande värme och kyla. Det som sker är att plåten expanderar och kontraherar vilket kan leda till att skador eller brott uppstår i plåtarnas infästningar. Detta skapar problem när plåttaket används för byggnadens horisontalstabilisering. Rapporten fokuserar på en specifik konstruktionstyp som är mest använd i branschen. Bakgrunden är att det finns för lite undersökningar kring detta och de beräkningsverktyg som finns är något bristfälliga.

I rapporten undersöks hur en temperaturväxling påverkar takets konstruktion och resultatet jämförs med de riktlinjer som anges i normerna. En teoretisk beräkningsmodell för att uppskatta storleken hos längdändring i plåten har använts. Indata till denna modell är information som lufttemperatur, luftfuktighet, solinstrålning och markutsrålning. Vidare har experimentella undersökningar utförts med hjälp av MTS provningsmaskin på LTH. En sektion av ett tak innefattande primärbalk, sekundärbalk av limträ och en profilerad takplåt har testats i fullskala. I testerna simuleras den belastning som uppkommer i plåtens infästning inklusive cyklisk belastning.

Resultatet från dessa tester visar att hålkantsbrott uppstår. Detta leder inte till nämnvärt försämrad stomstabilisering, alltså att konstruktionen tappar i bärförmåga. Problem är i stället att läckage uppstår genom de hål som uppstår i plåten. När det gäller dimensionering av denna typ av konstruktion bör det göras med hänsyn till cyklisk belastning. Efter att brott uppstått i plåten kommer konstruktionen att tappa i hållfasthet i takt med de temperaturväxlingar som därefter sker. Ett reducerat värde för brottgränsen på ca 25 % är rimligt m.h.t. cyklisk belastning.

Den maximala längden på plåten som används i branschen är 12 m, vilket analysen har utgått från. Det kan ifrågasättas om en konstruktion av typen oisolerat plåttak kan utföras med så långa spännvidder. Antingen bör man gå ner i spännvidd eller acceptera ett visst hålkantsbrott som får kompenseras med en annan typ av infästning.

Abstract

This report shows how a non-insulated sheet metal roof behaves when it is exposed to varying temperatures. What happens is that the sheet metal expands and contracts which can lead to damages in the sheet metal fasteners. This causes problems when the roof is meant to stabilize for horizontal forces on the building. This report focuses on a specific construction type that is the most common in the industry. The background for this report is that there is not much investigation done concerning this area and that the existing design tools are insufficient.

In the report we investigate how the changes in temperature affect the roof and then the results are compared with the guidelines set in the standards. A theoretical model is used for calculating the changes in length for the sheet metal roof. Input data for this model are air temperature, humidity and solar radiation. Experimental investigations have been made with help of an MTS test machine at LTH. A section of the roof containing the supporting beams by glued laminated timber and a profiled sheet have been tested in full scale. In the tests we simulated the stress that occurs in the sheet metal fasteners including cyclic load.

The results from the tests show that tearing failure occurs in the sheet metal plate. This does not lead to instability of the structure. The problem is instead that leakage occurs in the holes due to the tearing failure. When it comes to designing this type of structure, cyclic load must be considered. When tearing first occurs the structure will lose strength due to the changes in temperature that follows. A reduced value for the tensile strength of approximately 25 % is reasonable due to cyclic load.

The maximum length for sheet metal that is used in the industry is 12 m. This is what we have used in our analysis. It can be questioned if a structure with a non-insulated sheet metal roof can have such a large span. Either the span has to be reduced or some embedding will be accepted that must be compensated with another type of fasteners.

Förord

Föreliggande examensarbete, 20 poäng, är gjort vid avdelningen för Konstruktionsteknik på Väg- och vattenbyggnad, Lunds Tekniska Högskola.

Vi vill tacka vår handledare Sven Thelandersson, professor i konstruktionsteknik som har varit behjälplig under arbetets gång och kommit med goda uppslag och konstruktiv kritik.

Vi vill även tacka initiativtagaren till detta examensarbete Arne Emilsson, konstruktör på Limträteknik AB som har varit generös med material och ritningar samt många goda råd och tips.

Per-Olof Rosenkvist som är forskningsingenjör vill vi också rikta ett stort tack till för hans behjälplighet vid våra testförsök och de synpunkter och uppslag som vi fått.

Lund, sommaren 2007

Robert Andersson

Morgan Malmlöf

Innehållsförteckning

1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Metod och genomförande.....	2
1.4 Avgränsningar	2
2. Oisolerat plåttak	3
2.1 Litteraturstudie	3
2.2 Konstruktionsutförande.....	3
2.3 Konstruktionens verkningssätt	4
3 Termiska effekter på plåttak.....	6
3.1 Längdändring av plåten	6
3.1.1 Metod 1	6
3.1.2 Metod 2	10
3.2 Längdändring i limträbalkarna	10
3.2.1 Längdändring av temperatur.....	10
3.2.2 Längdändring av fuktkvot	11
3.3 Total längdändring i taket.....	12
3.3.1 Beräkningsgång och resultat	13
4 Experimentell undersökning.....	14
4.1 Material och uppställning	14
4.2 Drag till brott.....	17
4.3 Drag med cyklisk belastning	18
5 Fältstudie	19
5.1 Byggnad	19
5.2 Observationer	19
6 Resultat.....	22
6.1 Tolkning av resultat från försöken	22
6.2 Cyklisk belastning	22
6.3 Hålkantsbrott	23
6.4 Termiska effekter	26
7 Diskussion	27
8 Slutsatser	28
Referenser.....	29
Bilaga	30

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Bakgrunden till detta arbete är att det inom byggbranschen tas för lite hänsyn till den expansion och kontraktion som uppkommer i plåttak i samband med temperaturskiftningar. Det gäller i synnerhet oisolerade plåttak som till skillnad från isolerade utsätts för en större temperaturdifferens. Det är mycket vanligt att takskivan utnyttjas för stabilisering av enplansbyggnader. Det finns normer och riktlinjer för hur detta ska hanteras, men det finns en hel del frågetecken huruvida dessa riktlinjer är tillfyllest vid oisolerade plåttak.

De normer och riktlinjer som finns att tillgå behandlar till stor del plåttak som vilar på en stålstomme. Det är också osäkert om samma principer kan tillämpas för plåttak på trästomme. Det som skiljer sig i dessa två konstruktionstyper är att i fallet plåttak på stålstomme samverkar utvidgningar och kontraktioner med varandra. I fallet plåttak på trästomme blir det lite annorlunda då trä har en större värmetröghet och dessutom är fukt känsligt. Detta finns inte beskrivet i tillgängliga normer eller riktlinjer.

1.2 Syfte

Syftet med rapporten är att undersöka en specifik konstruktionstyp som i branschen är en standardkonstruktion för hur ett oisolerat plåttak byggs. Målet är att klargöra hur konstruktionen uppför sig för en given temperaturlast, samt att presentera en metodik för hur man verifierar detta. Frågor man kan ställa sig är:

- Är den temperaturdifferens som uppkommer på ett oisolerat plåttak som anges i facklitteraturen rimlig?
- Går det att applicera de normer och riktlinjer som finns gällande plåttak med stålstomme även för en limträstomme?
- Om den standardkonstruktion som undersöks inte uppfyller kraven, vad blir i så fall konsekvenserna och hur ska i stället en sådan konstruktion utföras?

1.3 Metod och genomförande

En litteraturundersökning har gjorts som visar att det inte finns några tidigare underökningar angående detta, åtminstone inte som är publicerade.

En beräkningsmetodik föreslås för att uppskatta hur mycket plåten rör sig i förhållande till den underliggande primärbalken. Plåtens längdutvidgningskoefficient är tagen från materialdata och har inte undersökts. Temperaturer och andra klimatdata är hämtade från fuktcentrum [1] på LTH. Parametrar som är aktuella är lufttemperatur, solstrålning, luftfuktighet och markutstrålning.

Vidare har en testmodell för den aktuella konstruktionstypen tillverkats. Principen är att med hjälp av provningsmaskinen simulera deformationen i plåten. Sammanlagt har 10 provkroppar med samma utförande testats. Syftet är att ta fram data som beskriver utmattning, brott och eftergivlighet.

1.4 Avgränsningar

Det finns en mängd aspekter att analysera inom detta område. Följande avgränsningar har gjorts:

- Endast en konstruktionstyp med en uppsättning material och mått har analyserats.
- Den lastöverförande zonen vid gaveln har testats. De infästningar som inte ska ta stomstabiliserande laster har som regel en annan utformning och undersöks inte här.
- Klimatdata gäller bara för Sverige och för ett begränsat antal orter.
- Utvärdering av lastnedräkningar, dvs. snö, vind och egenvikter har inte gjorts. Detta tillsammans med att enbart en specifik konstruktion är behandlad innebär att resultatet i rapporten enbart ger en fingervisning. Det är sedan upp till den enskilde konstruktören att omsätta dessa resultat till sin specifika byggnad.
- Längdändring beräknas enbart i den profilerade plåtens längdriktning. Tvärsprofileringen tas längdändringen upp av profilens vinkeländring och beaktas därför inte i rapporten.

2. Oisolerat plåttak

2.1 Litteraturstudie

Den litteratur som ligger till grund för arbetet är främst Torsten Höglunds *Stabilisering genom skivverkan* [2]. En längdändring Δv av ett oisolerat plåttak beräknas enligt:

$$\Delta v = 0,5 * L_{skpl} * \alpha_{plåt} * \Delta T_{plåt}$$

där L_{skpl} är plåttaketets längd i den styva riktningen mellan skarvar. Plåtens längdutvidgningskoefficient $\alpha_{plåt}$ är $12 * 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Temperaturskillnaden $\Delta T_{plåt}$ är också hämtad ur [2], men det värdet är i sin tur hämtat från *Tunnplåtsnorm* [3]. Där ges ett antal riktvärden för temperaturdifferenser som man kan räkna med. Dessa redovisas i *Tabell 2.1*.

Yta	Isolerad byggnad där stommen har brukstemperaturen +20 C°		Oisolerad konstruktion	
	Max	Min	Max	Min
Svart	+65	-60	+40	-10
Mörk	+60	-60	+40	-10
Mycket ljus, vit	+35	-55	+25	-10
Förzinkad	+75	-65	+50	-10
Aluminium	+55	-60	+35	-10

Tabell 2.1 Dimensionerande extremvärden för temperaturer i isolerade plåttak på stålstomme

2.2 Konstruktionsutförande

Den vanligaste konstruktionslösningen för tak i en hallbyggnad med limträ är att den primära bärande stommen består av limträbalkar. Sekundärbärningen eller takåsarna är också av limträ dock av klenare dimension. Takåsarna har vanligen ett centrumavstånd på en till tre meter. Takåsarna är infästa till primärbärningen med spikbeslag. Ovanpå takåsarna skruvas TRP takplåt. Vid gavlar och långsidor monteras vindkryss för att föra ner vindlasten till grunden.

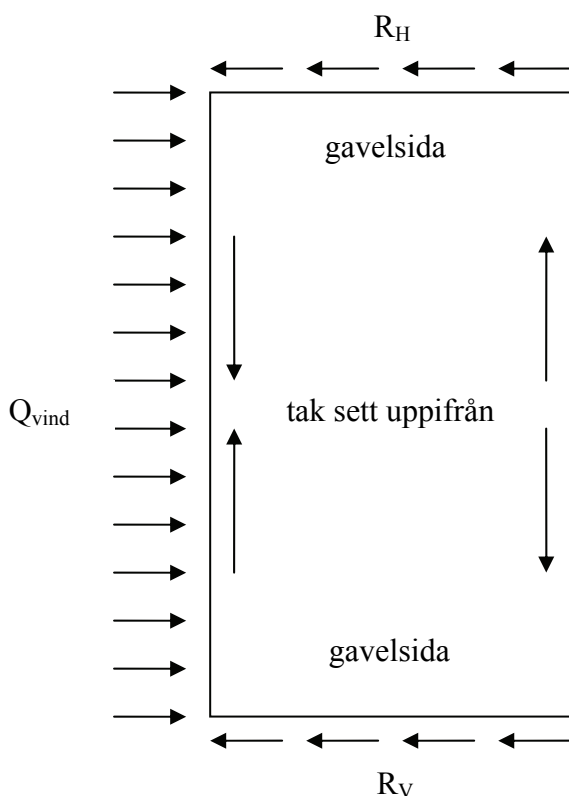
Konstruktionen som har undersökts består av svart takplåt 0,7 mm tjock, med 12 meters plåtlängder med beteckningen LLP 20 ifrån Lindab [4]. Plåtskruven är 6.5 x 51 mm och beteckningen A21F Unifast ifrån Lindab. Takåsen är av limträ med dimensionen 56 x 225 mm L 40. Limträet som användes till primärbärningen är 115 x 225 mm L40. Till infästningen mellan takås och limträ användes två vinkelbeslag ifrån Joma med beteckningen 402 M. Måtten på vinkelbeslagen är 90 x 105 x 3 mm. I varje vinkelbeslag spikades 10 + 10 st ankarspik 40 x 4,0 mm.

2.3 Konstruktionens verkningsätt

Det som sker i denna takkonstruktion när plåten expanderar och kontraherar är att den utsätts för en materialutmattning. Testerna ska utröna vilken del av konstruktionen som går till brott först och vid vilken belastning. Två typer av tester har utförts för att verifiera detta, dels drag till brott och dels cyklisk belastning. Det senare är mest relevant, då det speglar verkligheten bättre än monoton belastning. Ett plåttak av denna typ utsätts för både dygns- och årscykliskt utmattningsförlopp. Tanken med de cykliska försöken är att se hur konstruktionen beter sig med tiden och då framförallt när den vid ett tillfälle gått till brott.

För att ta upp vindbelastning mot denna konstruktion utnyttjas skivverkan i takplåten. Den del av takplåten som får störst påkänning av skjuvkrafter är vid gavlarna. Vindlasterna förutsätts föras ned till grunden via gavelväggarna. Reaktionskrafterna i gavlarna är märkta R_H och R_V . Skruvarna som sitter fästskruvade i de yttersta åsarna vid gavlarna får störst skjuvkraftspåkänning. Den temperaturväxling som sker i plåten bidrar till att belasta skruvarna.

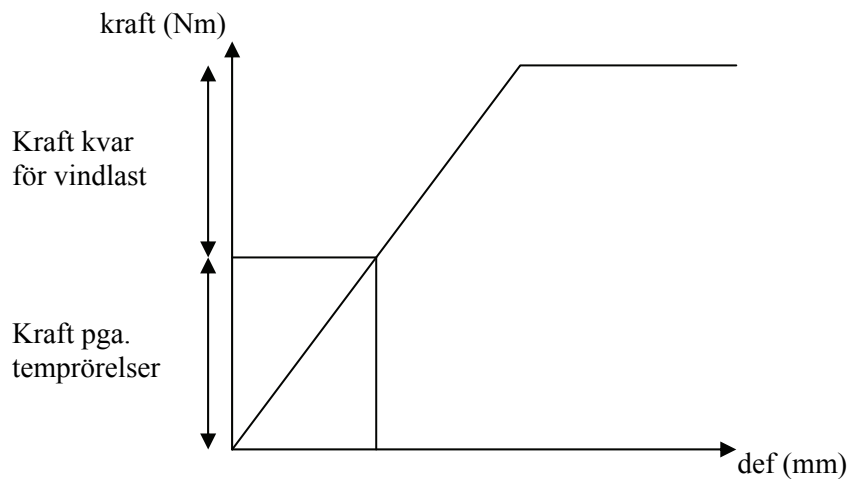
För vår konstruktion är det främst infästningarna i gavelplåten som ska ta last. En illustration av detta syns nedan i *Figur 2.1* och som analogi kan den kraftsituation som uppkommer jämföras med en jämnt utbredd belastad balk där $Q_{\text{vind}} = R_V + R_H$.



Figur 2.1 Spänningsfördelning på tak

Skivverkan i oisolerade plåttak

Den totala kraften som ska föras ned i gaveln antas fördelas jämnt på samtliga skruvar. Den deformation som blir i de yttersta skruvarna i gavelplåten pga temperaturändringar kommer att ta kraft i anspråk från snö och vindlaster etc. Konstruktionen kan ta en viss kraft innan den går till brott och ju mer kraft som tas i anspråk av temperaturändringar desto mindre blir kvar för övriga laster. Detta illustreras med följande principfunktion enl. *Figur 2.2*.



Figur 2.1 Kraft-deformationssamband för skruvförband

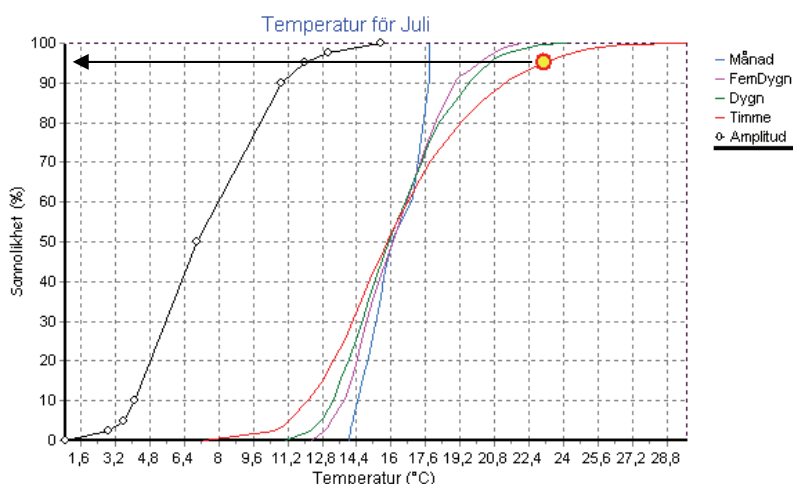
3 Termiska effekter på plåttak

3.1 Längdändring av plåten

En viktig aspekt i detta arbete är att undersöka hur temperaturerna i ett plåttak kan variera. Temperaturändringar ger kontraktion respektive expansion av plåten vilket påverkar de infästningar som bär upp taket. Eftersom korrugerad plåt studeras, är främst rörelserna i plåtens längdriktning aktuella. Den andra riktningen är inte av intresse då den korrugerade plåten ger med sig så pass mycket i profilerna att krafter i denna riktning kommer att bli försumbara. Vi har använt två statistiska metoder för att få fram relevant temperaturdata.

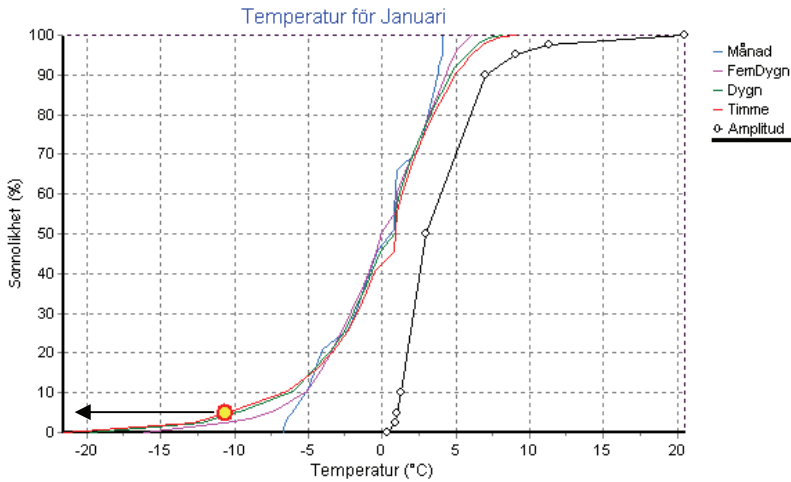
3.1.1 Metod 1

Men denna metod har vi analyserat klimatdata som är sammanställda av Fuktcentrum på LTH och som i sin tur bygger på uppgifter från SMHI för tio orter i Sverige mellan åren 1961 och 1990. Här används timmedelvärden för temperaturer eftersom plåtens rörelser följer direkt med i temperaturändringarna, p.g.a. plåtens låga värmetröghet. Samtliga timmedelvärden för hela perioden 1961 till 1990 är plottade i en fördelningskurva. För att få fram en max- och en mintemperatur ur denna kurva används 95 % respektive 5 % - fraktilen för juli resp. januari enl. *Figur 3.1 och 3.2*.



Figur 3.1 95 % - fraktilen för Sturup/Malmö

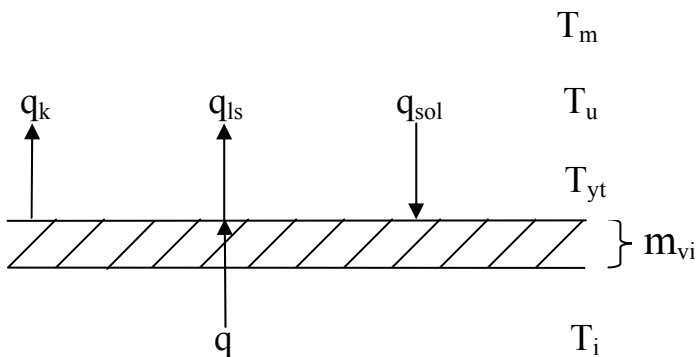
Skivverkan i oisolerade plåttak



Figur 3.2 5 % - fraktilen för Sturup/Malmö

Flera faktorer bidrar till den slutliga temperaturen på plåttaket. Vi har beaktat lufttemperatur, solinstrålning och vindhastighet. Vi förutsätter att ett stationärt förhållande råder, dvs att längdändringen i plåten följer den yttemperatur som räknas fram, alltså att plåten inte lagrar värme eller kyla och att temperaturen tvärs igenom plåten är konstant. När det gäller solinstrålning räknar vi med maxvärdet när vi ska få fram maxtemperaturen och minimivärdet när vi ska få fram mintemperaturen. Med vindhastigheten resonerar vi likadant, fast här blir det minvärdet vi tittar på när vi ska få fram maxtemperaturen och maxvärdet när vi ska få fram mintemperaturen. Två fall är undersökta. Fall 1 är en helt oisolerad plåt och fall 2 är med en isolering under plåten. Plåtens tjocklek är 0.7 mm och isoleringen är 100 mm tjock.

I *ekv 3.1* [5] beskrivs den ekvation som använts för att få fram den sökta temperaturdifferensen. Två yttemperaturer T_{yt} beräknas ur *ekv 3.1*, en maxtemp och en mintemp sett över året. Detta ger sedan den sökta temperaturdifferensen. Ekvationen kan härleds ur följande värmebalans vid en ytteryta enl. *Figur 3.3*.



Figur 3.3 Värmebalans vid en ytteryta

Vid stationära förhållanden ges följande värmebalans vid yttertan.

q_{sol} (kortvågig strålning) + q (värmeflöde) = q_k (konvektion) + q_{ls} (långvågig strålning)

Men insatta värden [5] på delflödena erhålles.

$$\alpha_{sol} * I_{sol} + \frac{T_i - T_{yt}}{m_{vi}} = \alpha_k (T_{yt} - T_u) + \alpha_s (T_{yt} - T_{ms})$$

Ur denna ekvation kan yttemperaturen lösas till:

$$T_{yt} = \frac{\alpha_{sol} * I_{sol} * \cos(5) + T_i / m_{vi} + \alpha_s * T_{ms} + \alpha_k * T_u}{1 / m_{vi} + \alpha_s + \alpha_k} \quad \text{ekv 3.1}$$

T_{yt}	=	Plåttakets yttemperatur (C°)
T_u	=	Uteluftens temperatur. Avläses ur Fuktcentrums data. (C°)
T_i	=	Inneluftens temperatur (C°). Fall 1. Sätts lika med T_u vid oisolerat tak. Fall 2. Sätts till 20 C° vid isolerat tak
α_{sol}	=	Absorptans. 0,9 för svart plåttak. (-)
I_{sol}	=	Infallande solstrålning. Avläses ur Fuktcentrums data. (W/m ²)
cos(5)	=	Vi ansätter en taklutning på 5°
α_s	=	Värmeövergångskoefficient, $4 * \epsilon * \sigma \left(\frac{T_{ms} + T_y}{2} + 273 \right)^3$ (W/m ²) $\epsilon = 0,97$, emmitans (-) $\sigma = 5,7 * 10^{-8}$, Boltzmanns konstant, (W/m ² *K ⁴)
α_k	=	Påtvungad konvektion (W/m ² *K) $6 + 4 * u$ för $u < 5$ m/s $7,41 * u^{0,78}$ för $u > 5$ m/s $u =$ vindhastighet, Avläses ur Fuktcentrums data (m/s)
T_{ms}	=	Långvågig strålning (C°) $1,2 * T_u - 14$, motstrålande temperatur vid molnfri himmel. (vid mintemp) T_u , motstrålande temperatur vid helmulen himmel (vid maxtemp)
m_{vi}	=	Totalt värmemotstånd för taket. (m ² *C°/W) Fall 1. $m_{vi} = 0,15$ (ventilerad plåttak [6]) + $0,17$ (övergångsmotstånd) = $0,32$ Fall 2. $m_{vi} = 0,1/0,036$ (1 dm tjock mineralull, plåten försummas) = $2,78$

Skivverkan i oisolerade plåttak

Temperaturdifferenserna för de tio orterna ges i *Tabell 3.1* nedan. Största temperaturdifferensen på plåttaket är i Falun och är på 87,2 C°. I fall 2, dvs när en isolering läggs under plåten blir den 94,5 C°.

	Temp _{max}	Temp _{min}	I _{sol,max}	I _{sol,min}	u _{max}	u _{min}	ΔT_{yt} Fall 1	ΔT_{yt} Fall 2
Sturup/Malmö	23,1	-10,6	810,8	5,8	7,60	0,90	74,30	80,98
Ronneby	24,2	-11,4	799,5	6,6	6,75	0,43	79,98	88,23
Säve/Göteborg	23,4	-12,0	807,1	4,8	7,20	0,50	79,57	87,67
Jönköping	23,8	-15,4	817,2	4,1	6,80	0,55	83,40	91,33
Karlstad	24,3	-16,6	814,4	5,1	6,15	0,54	85,06	92,92
Bromma/Stockholm	24,9	-14,5	807,1	4,6	6,27	0,72	81,38	88,45
Söderhamn	22,9	-18,1	789,7	4,9	6,00	0,41	85,40	93,98
Frösön/Östersund	21,6	-22,3	734,4	1,9	6,14	0,43	85,32	93,00
Luleå	22,1	-24,8	718,3	0,6	6,45	0,45	87,17	94,52
Kiruna	20,6	-25,8	617,5	0,0	6,82	0,46	81,27	87,61

Tabell 3.1 Metod 1

3.1.2 Metod 2

Denna metod bygger på data vi fått från SMHI och där beskrivs bara lufttemperaturer. Övrig information är hämtad från Fuktcentrums klimatdata. Falsterbo, Falun och Arjeplog finns inte med i Fuktcentrums data, där har vi tagit information från närliggande orter. Det som skiljer metod 2 ifrån metod 1 är att den baseras på max- och mintemperaturerna för respektive år. Det år som har störst differens är det som har använts här.

Temperaturdatan ifrån SMHI består av ca 8 momentanvärden/dygn och sträcker sig under en 30 till 40-års period. Ifrån varje dygn tas max- respektive mintemperaturen ut och placeras i vardera en vektor. Vektorerna som får 365 värden plottas upp i en fördelningskurva på samma sätt som i metod 1 och därefter tas 98 % respektive 2 % - fraktilerna fram. Resultatet ges av *Tabell 3.2* nedan. Falun har den största temperaturdifferensen på 94,0 C° för ett oisolerat plåttak.

	Temp _{max}	Temp _{min}	I _{sol,max}	I _{sol,min}	u _{max}	u _{min}	ΔT _{yt} Fall 1	ΔT _{yt} Fall 2
Jönköping	20,0	-19,1	817,2	4,1	6,8	0,55	83,86	92,07
Bromma/Stockholm	22,5	-17,9	807,1	4,6	6,27	0,72	82,69	89,92
Luleå	20,3	-29,7	718,3	0,6	6,45	0,45	90,49	97,94
Falsterbo	22,1	-8,5	810,8	5,8	7,60	0,90	71,33	78,09
Falun	25,0	-24,9	789,7	4,9	6,00	0,41	93,96	101,98
Arjeplog	22,0	-30,4	617,5	0,0	6,82	0,46	87,09	93,28

Tabell 3.2 Metod 2

3.2 Längdändring i limträbalkarna

De limträbalkar som plåttaket vilar på genomgår längdändringar också. Dels beror det på temperaturändringar, dels på fuktkvotsändringar.

3.2.1 Längdändring av temperatur

När det kommer till längdändringen av temperaturen räknar man med en längdutvidgningskoefficient $\alpha_{\text{limträ}}$ på $5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Längdändringen i trä och plåten följs åt i samma riktning. Dock är längdändringen i trä betydligt långsammare än i plåten om man tittar på korta tidsintervall eftersom trä har en större värmetröghet. Med tanke på denna värmetröghet är det lämpligt att använda månadsmedelvärdena för temperaturerna eftersom trä aldrig kommer att nå de momentana extremvärdena. Det får som följd att skillnaden i längd mellan trä och plåten blir som störst på vintern respektive sommaren, alltså vid extremvärdena.

Det är enbart lufttemperaturen man räknar med här. Temperaturen kring balkarna kommer dock att ändras en del om man tittar på ett dygn, detta pga. av den värme som plåttaket alstrar. Men balkarnas värmetröghet gör att detta inte kommer att inverka. Utgångspunkten är ett helt oisolerat tak. Det finns alltså ingen isolering verken på ovan- eller undersidan av plåten. De lufttemperaturer som är aktuella för beräkningarna redovisas i *Tabell 3.3*.

Skivverkan i oisolerade plåttak

	$\Delta T_{\text{limträ}}$
Sturup/Malmö	17,0
Ronneby	17,9
Säve/Göteborg	17,9
Jönköping	18,9
Karlstad	21,0
Bromma/Stockholm	20,4
Söderhamn	21,2
Frösön/Östersund	21,6
Luleå	26,3
Kiruna	25,3
Falsterbo	17,0
Falun	21,2
Arjeplog	26,3

Tabell 3.3 Lufttemperaturer

3.2.2 Längdändring av fuktkvot

Längdändringen pga. fukt sker som en funktion av fuktkvoten. Fuktkvoten fås ur träts sorptionskurva [8] som där är relaterad till den relativa fuktigheten. Fuktkvoten blir som högst på vintern då den relativa fuktigheten är som störst och den blir som minst på sommaren. Vid avläsning i sorptionskurvan kan det antas att uppfuktning sker på vintern och att avfuktning sker på sommaren. De relativa fuktigheterna för resp ort ges av Fuktcentrums data. Med tanke på träts värmetröghet vid längdändring är det månadsmedelvärdena som ligger till grund för beräkningarna. Eftersom det är ett oisolerat tak styrs fuktkvoten av utomhusklimatet.

Längdändringen som sker med fuktändringen beskrivs enligt följande formel och redovisas i *Tabell 3.4*.

$$\Delta\alpha = \frac{u_2 - u_1}{u_f} * \alpha_f$$

$\Delta\alpha$	=	Krympning från vinter till sommar (%)
u_2	=	Fuktkvot, vinter (kg/kg)
u_1	=	Fuktkvot, sommar (kg/kg)
u_f	=	Fibermättnadspunkten (%) 30 % för gran. Gäller för samtliga orter
α_f	=	Maximal krympning i fiberriktning (%) 0,3 % för gran. Gäller för samtliga orter

	RF _{vinter}	RF _{sommar}	u_2	u_1	$\Delta \alpha$
Sturup/Malmö	90,7	71,8	22	17	0,05
Ronneby	88,5	72,8	20	17	0,03
Säve/Göteborg	87,2	71,9	19	17	0,02
Jönköping	88,6	68,8	20	16	0,04
Karlstad	84,7	65,9	18	15	0,03
Bromma/Stockholm	87,5	65,4	19	15	0,04
Söderhamn	85,1	70,1	18	17	0,01
Frösön/Östersund	83,0	65,3	17	15	0,02
Luleå	85,1	65,0	18	15	0,03
Kiruna	82,3	63,9	17	15	0,02
Falsterbo	90,7	71,8	22	17	0,05
Falun	85,1	70,1	18	17	0,01
Arjeplog	85,1	65,0	18	15	0,03

Tabell 3.4 Längdändring

3.3 Total längdändring i taket

Den totala längdändringen i taket blir summan av de tidigare nämnda faktorerna. Det längsta standard plåtlängd som används är tolv meter, vilket är det vi räknar med. För ett aluminiumtak bör plåtlängden inte överstiga sex meter. Det ger dock samma resultat då aluminiums längdutvidgningskoefficient är dubbelt så stor. I den formel för längdutvidgning som rekommenderas i *Stabilisering genom skivverkan* används koefficienten 0,5. Anledningen till det är att då man räknar på hela plåtlängden så tittar man på de yttersta kanterna på plåten och en tänkt ”noll-linje” dras på mitten där ingen längdändring sker. Det är dock inte säkert att denna linje alltid kommer att vara belägen i mitten av plåten. Det kan till och med vara så att den blir helt förskjutet till någon av kanterna, då blir koefficienten 1,0. Anledningen till detta är vindlaster, taklutningen och en osymmetrisk styvhet vid takåsarnas infästning i konstruktionen. I denna rapport sätts den till 0,7.

Den temperatur vid vilken plåten monteras måste också beaktas. Det är inte gjort i *Stabilisering genom skivverkan*. För detta krävs ytterligare en koefficient. Om plåten monteras vid någon av extremtemperaturerna sätts koefficienten till 1,5. Om den monteras mitt emellan sätts den till 1,0. Ett rimligt värde är 1,2 vilket används i denna rapport.

3.3.1 Beräkningsgång och resultat

Den ekvation vi använder för att få fram den totala längdändringen av en tolv meter lång plåt är följande:

$$\Delta v = 0,7 * 1,2 * L_{skpl} * (\alpha_{plåt} * \Delta T_{plåt} - \alpha_{limträ} * \Delta T_{limträ} + \Delta \alpha / 100)$$

Δv	=	Total längdändring av takplåtens ytterkanter (mm)
0,7	=	Koefficient för plåtens centrumlinje
1,2	=	Koefficient för plåtens monteringsstemperatur
L_{skpl}	=	Takplåtens totalängd (mm)
$\alpha_{plåt}$	=	Längdutvidningskoefficient plåt, $12 * 10^{-6}$ (K^{-1})
$\Delta T_{plåt}$	=	Temperaturskillnad på plåten (C°) ΔT_{vt} för fall 1 resp fall 2
$\alpha_{limträ}$	=	Längdutvidningskoefficient limträ, $6 * 10^{-6}$ (K^{-1})
$\Delta T_{limträ}$	=	Temperaturskillnad runt limträbalkarna (C°)
$\Delta \alpha$	=	Längdändring av fuktkvot (%)

När den totala längdändringen av taket räknas fram används den högsta temperturdifferensen för samtliga orter. En del orter har värden som refererar till både årstemperaturer och det för intervallet 1961 till 1990. Med samtliga antaganden gjorda blir den totala längdändringen i taket de värden som redovisas i *Tabell 3.5*

	Δv Fall 1 (mm)	Δv Fall 2 (mm)
Sturup/Malmö	13,00	13,81
Ronneby	11,62	12,61
Säve/Göteborg	10,56	11,54
Jönköping	12,98	13,94
Karlstad	12,04	12,99
Bromma/Stockholm	12,80	13,67
Söderhamn	10,06	11,09
Frösön/Östersund	11,03	11,96
Luleå	12,38	13,28
Kiruna	10,32	11,08
Falsterbo	12,64	13,46
Falun	11,09	12,06
Arjeplog	11,97	12,72

Tabell 3.5 Total längdändring

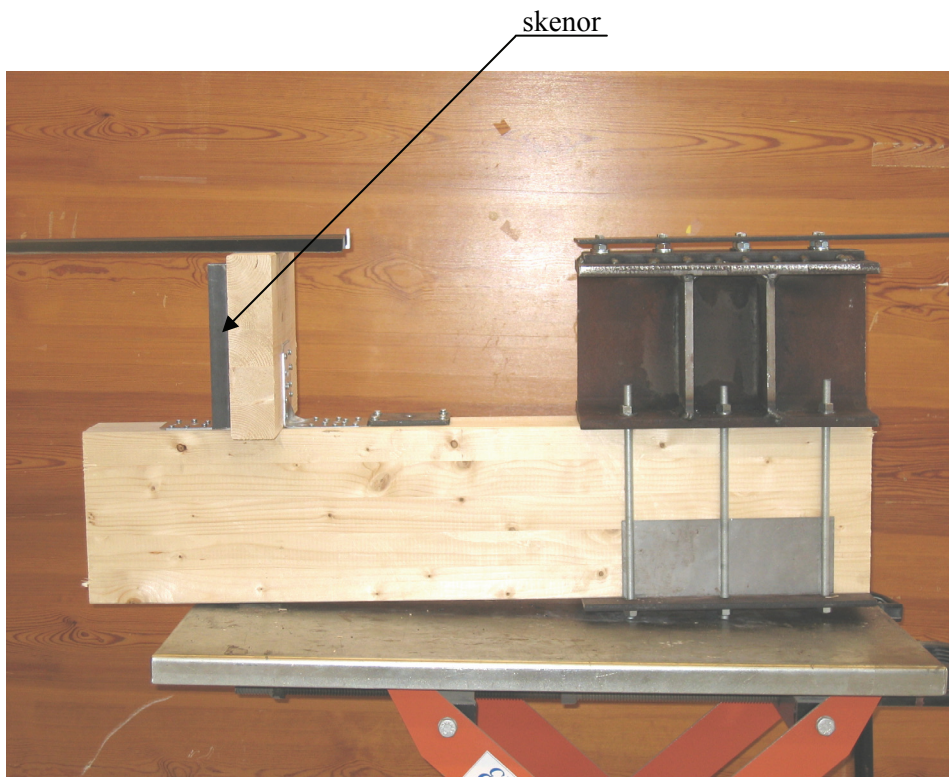
Vad som är intressant att notera är att längdändringen inte skiljer sig nämnvärt åt beroende på ort. Det innebär att det inte behövs några specifika riktlinjer angående regioner för hur oisolerade plåttak ska konstrueras. I fallet med isolering under plåttaket blir längdändringen knappt 1 mm mer.

4 Experimentell undersökning

4.1 Material och uppställning

Den testmodell som är utformad skall simulera ett snitt ur takkonstruktionen. Den består av en primärbalk, en sekundärbalk dvs. takåsen och en takplåt enl. *Figur 4.1*. Snittet är den yttersta takåsen på den gavel som för ner lasterna från taket till stommen. Totalt är tio försök gjorda. Det första försöket var ett provtest och finns inte med i utvärderingen. Fyra försök avser cyklisk last, fyra beskriver enbart drag till brott och ett är gjort med ett annorlunda spikmönster som ger en eftergivligare infästning.

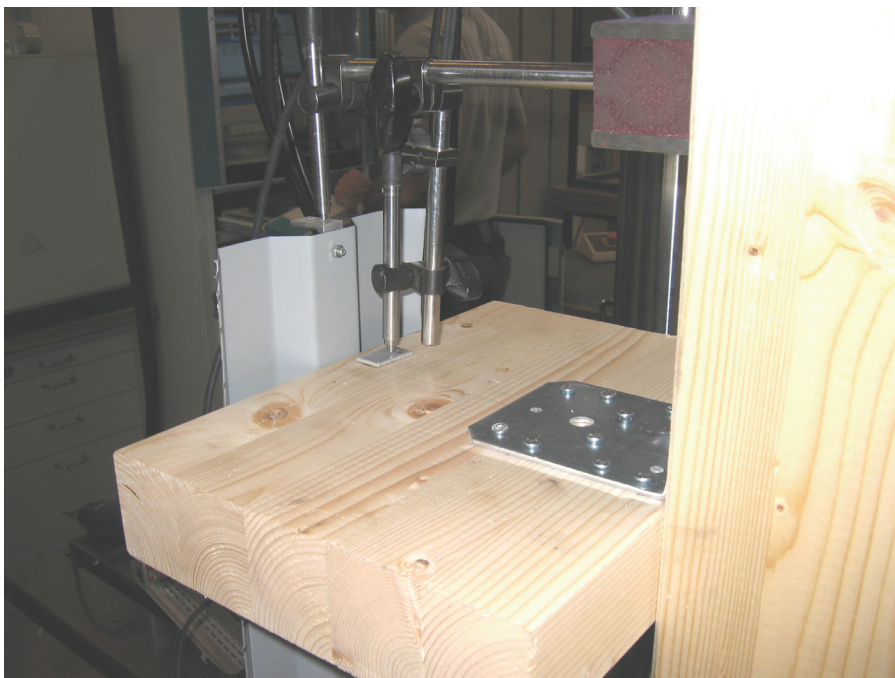
Det som syns på bilden nedan är en bit av primärbalken, sekundärbalken och takplåten. Skenorna på sekundärbalken är till för att förhindra brott i balken eftersom detta inte inträffar för en riktig balk. Den stora I-profilen som sitter fastskruvad i högra änden är bara till för att man ska kunna spänna fast konstruktionen i maskinen. Uppe på I-profilen finns en stålprofil fastsvetsad som ligger helt i linje med plåten för att undvika excentriciteter.



Figur 4.1 Försöksuppställning

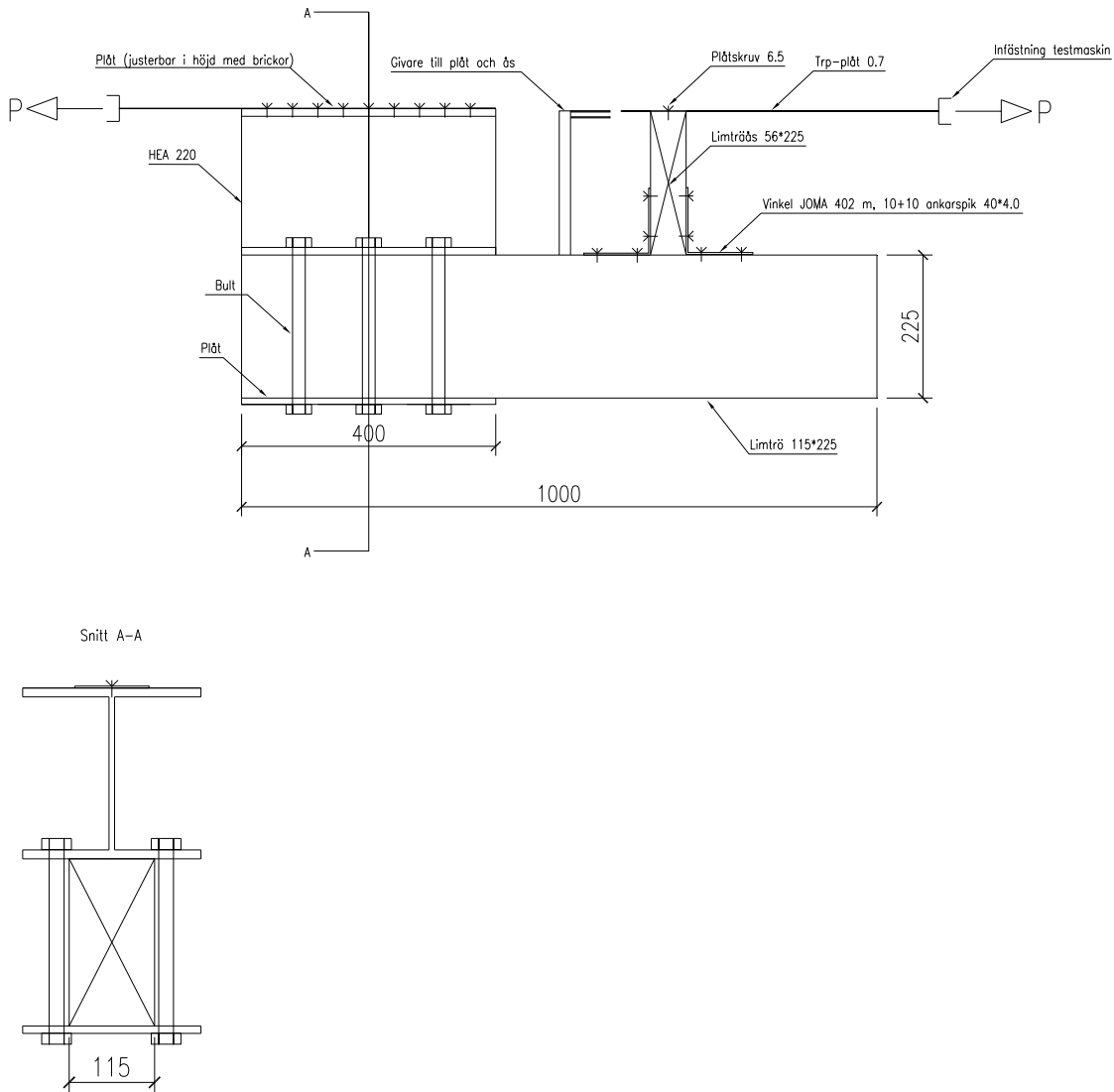
Skivverkan i oisolerade plåttak

I *Figur 4.2* nedan syns de två givare som registrerar deformationerna. Den ena mäter mot plåten och den andre mot takåsen. Förskjutningarna mäts relativt en punkt på primärbalken. Det relevanta att titta på är kraft mot deformation i skruvförbandet. Skillnaden mellan plåtens och sekundärbalkens rörelse beskriver deformationen i skruvförbandet mellan plåt och trä. I bilagan redovisas även diagram som visar deformationen mot tiden. Det framgår att plåtens och maskinens rörelse skiljer sig marginellt åt. Om I-profilen tillsammans med primärbalken skulle vara helt styv i sin konstruktion hade linjerna legat på varandra.



Figur 4.2 Givarnas placering

I *Figur 4.3* beskrivs samtliga mått och material som är väsentliga för testerna.



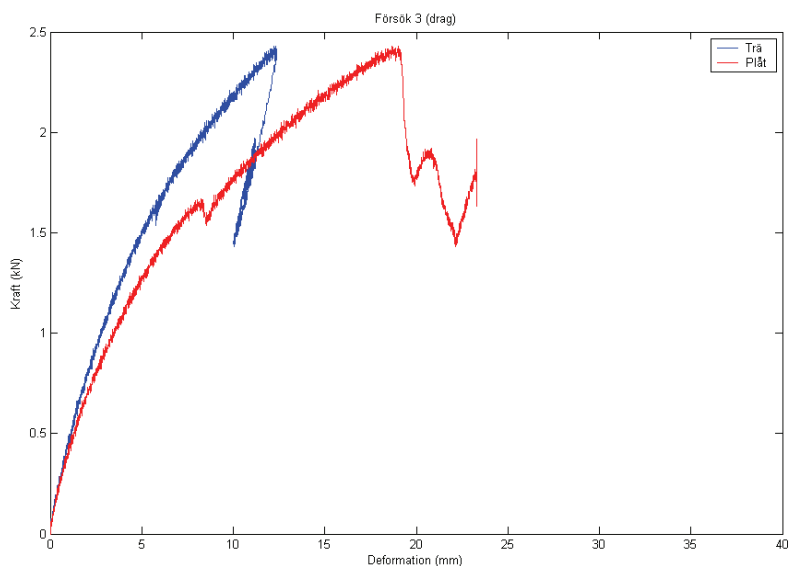
Figur 4.3 Ritning över försöksuppställningen

4.2 Drag till brott

Dessa fem tester är gjorda i en serie. Här dras konstruktionen till brott med en konstant hastighet på 1 mm/minut utan avbrott. Testet är helt deformationsstyrt på basis av provningsmaskinens rörelse. Ett av dessa tester hade ett annat spikningsmönster i vinkelbeslagen än de andra. De två spiken som sitter i de innersta hålen på vinkelbeslaget är här placerade i de två näst innersta enl. *Figur 4.4*. Arbetskurvan som redovisas i *Figur 4.5* är i från detta test. De övriga fyra finns i bilagan.



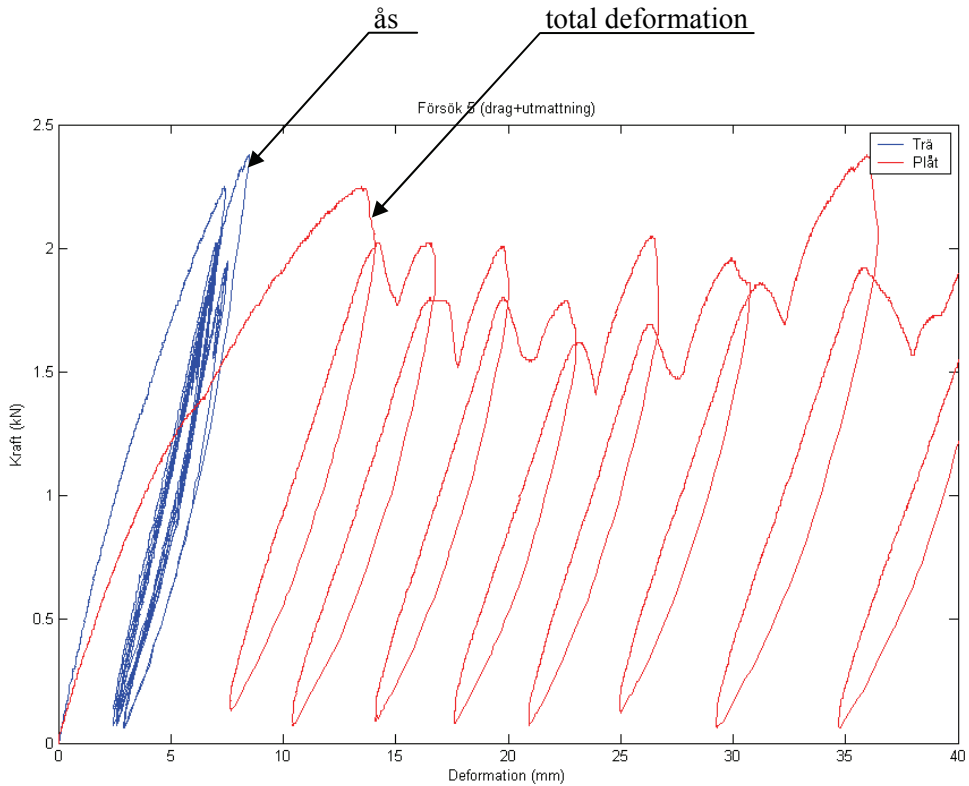
Figur 4.4 Eftergivligt spikningsmönster



Figur 4.5 Arbetskurva för eftergivligt spikningsmönster

4.3 Drag med cyklisk belastning

För att undersöka hur ett utmattningförlopp ser ut gjordes fyra försök. För att simulera detta ökades kraften till sitt maxvärde, varefter avlastning skedde. Detta utfördes sedan i ett antal cykler till dess att deformationen var minst 30 mm. Dessa tester är en kombination av både kraft- och deformationsstyrning. Cyklerna där man släpper resp. lägger på kraft görs helt manuellt. Ett av testerna ses i *Figur 4.6*.



Figur 4.6 Drag och utmattning

5 Fältstudie

5.1 Byggnad

För att se hur ett oisolerat plåttak har klarat av att stå emot de påfrestningar som det utsätts för gjordes ett studiebesök. Fältstudien utfördes hos Optimera på Sallerupsvägen i Malmö, gamla Malmö Trä. Dessa byggnader uppfördes 1986 efter att de gamla brunnit ner. Konstruktionen skiljer sig något ifrån den standardkonstruktion som har analyserats i detta examensarbete. Skillnaden är att takåsarna ligger emellan primärbärningen där de är fastsatta med balkskor, vilket innebär mindre eftergivlighet hos åsarna. Eftersom eftergivligheten är mindre hos åsarna så resulterar det i att takplåten får ta större del av den termiska längdutvidgningen. Vid större eftergivlighet hos åsarna, så tar åsarna en del av längdutvidgningen. Takplåten är vit vilket innebär att temperaturdifferenserna inte blir lika stora som om det hade varit svart takplåt. Det skall dock noteras att med tiden blir plåten nedsmutsad och får en allt mörkare nyans, såvida den inte rengörs vilket inte gjorts i detta fall.

5.2 Observationer

Det område som vi studerade på taket var där vindkryssen ansluts och det är där de största påfrestningarna finns. Undertill i det studerade området fanns det flera ställen där man tydligt kan se spår av vattenläckage, se *Figur 5.1*. Uppe på taket var det inte svårt att hitta ställen där det fanns skador både på plåten och på dess infästningar. På ett flertal ställen fanns det både hålkantsbrott, avrostade skruvar eller skruvar som delvis hade börjat lossna ifrån plåten, se *Figurer 5.2* och *5.3*. I *Figur 5.2* syns tydligt på det avlånga hålkantsbrottet att skadan uppkommit när plåten expanderat och kontraherat.

Där vattnet droppar igenom takplåten och träffar träkonstruktionen kommer det ventilerande luft till. Eftersom det kommer ventilerande luft är det ingen risk för mögelskador dock finns det stor risk att rötskador uppstår i träet vilket resulterar i konstruktionens hållfasthet reduceras.



Figur 5.1 Vattenläckage



Figur 5.2 Hålkantsbrott

Skivverkan i oisolerade plåttak



Figur 5.3 Skruv som lossnat pga. hålkantsbrott

6 Resultat

6.1 Tolkning av resultat från försöken

Vad som går att konstatera av samtliga försök är att det uppstår hålkantsbrott i plåten. Varken skruv eller limträ går till brott. Hålkantsbrottet växer i samma takt som den deformation som konstruktionen utsätts för, man kan säga att skruven ”tuggar” sig igenom plåten, se *Figur 6.1*. Detta brott initieras vid en deformation mellan 10 och 15 mm och vid en pålagd kraft mellan 2,0 och 2,5 kN. Det är bara vid försök 3, alltså den med annorlunda spikmönster som brott uppstår vid en högre totaldeformation. Där uppstår brottet vid 15 – 20 mm deformation. I detta fall bidrar den större deformationen i limträåsen till en större total förskjutning vid maxlast.

Vid jämförelse med de deformationer i plåten som ges av de termiska effekterna visar diagrammen att brott kan uppstå enbart pga. termiska effekter. Det extremfall som då hänvisas till är det med en plåtlängd på 12 m, svart plåt och en deformation på 13,0 mm, se avsnitt 3.3.1.



Figur 6.1 Hålkantsbrott

6.2 Cyklisk belastning

Med den uppställning som används kan man bara belasta i ena riktningen av plåten. Som visas i *Figur 4.6* (total deformation), går plåten inte tillbaka till sitt ursprungsläge när den avlastas eller att maxpunkten passerats. För varje ny lastcykel ökas deformationen i skruvförbandet samtidigt som förbandet tappar något i styrka.

6.3 Hålkantsbrott

Utifrån de värden där plåten går till hålkantsbrott har ett dimensionerande värde beräknats. Det är alltså baserat på de första topparna i diagrammen och det är 9 st sammanlagt. Beräkningsgången är hämtad ur Boverkets handbok *Dimensionering genom provning* [8] och ser ut enligt följande:

Storhet	Resultat	Beskrivning
γ_m	1,0	Partialkoefficient förutsatt att toleranserna är så snäva att måttavvikelser inom toleransgränserna har liten betydelse för konstruktionens bärförmåga
γ_n	1,2	Partialkoefficient för säkerhetsklass. SK 3
$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	2,32	Medelvärde beräknat på $n = 9$ provtagningar. x_i = enskilt mätvärde försök nr i (kN) $x_1 = 2,34$ $x_2 = 2,43$ $x_3 = 2,40$ $x_4 = 2,25$ $x_5 = 2,14$ $x_6 = 2,30$ $x_7 = 2,59$ $x_8 = 2,17$ $x_9 = 2,30$
$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$	0,14	Standardavvikelse
$V = \frac{s}{\bar{x}}$	0,06	Variationskoefficient
k_{pn}	2,14	Beror på aktuell fraktil $p = 0,05$ och en konfidensnivå på 75 %
$F_k = \bar{x}(1 - k_{pn}V)$	2,03	Karakteristiskt värde (kN)
$F_d = \frac{F_k}{\gamma_m \gamma_n}$	1,69	Dimensionerande värde (kN)

Det som ges av denna beräkning är ett dimensionerande värde på 1,69 kN. Detta kan jämföras med ett dimensionerande värde på 1,77 kN som Lindab använder sig av för exakt samma plåt och konstruktion. Deras materialdata avser plåt mot stål. I våra försök är det plåt mot trä som är aktuellt. Rent principiellt är det ingen skillnad då det är enbart i plåten brott uppstår.

Tre separata tester är dock gjorda för att utesluta eventuell osäkerhet kring detta. De är utförda enligt samma principer som de tidigare testerna och det är bara drag till brott som är aktuellt. Diagrammen från dessa försök finns också i bilagan.

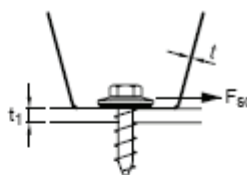
Det framgår där att brottgränsen är något högre än vid försöken stål mot trä, men dock marginellt. Det dimensionerande värdet kommer att ligga ca 4,3 % lägre än de 1,77 kN som anges av Lindab. Ett utdrag ur Lindabs katalog kan ses i *Tabell 6.1*. Den plåt som har använts i försöken ges ett dimensionerande värde på 2,12 kN enligt tabellen. 1,77 kN erhålls genom division med 1,2 eftersom vi använder oss av säkerhetsklass 3.

Byggskruvar, Skjuvkraft

Dimensioneringsvärdet F_{sd} kN/skruv.

Både hålkantbrott och skjuvbrott i skruven beaktas.

Säkerhetsklass 1.



Nom t mm	Vid beräk- ning t mm	Sträck- gräns N/mm ²	Skruvdiameter 4,2 mm		Skruvdiameter 4,8 mm		Skruvdiameter 5,5 mm		Skruvdiameter 6,3 mm	
			$t_1 = t$	$t_1 \geq 2,5 t$	$t_1 = t$	$t_1 \geq 2,5 t$	$t_1 = t$	$t_1 \geq 2,5 t$	$t_1 = t$	$t_1 \geq 2,5 t$
0,4	0,32	250	0,26	0,54	0,28	0,61	0,30	0,70	0,32	0,81
0,5	0,41	250	0,38	0,69	0,40	0,79	0,43	0,90	0,48	1,03
0,6	0,52	250	0,52	0,86	0,56	0,98	0,60	1,12	0,64	1,29
0,7	0,60	350	0,93	1,41	1,00	1,61	1,07	1,85	1,14	2,12
0,8	0,73	350	1,25	1,72	1,34	1,96	1,43	2,25	1,53	2,58
1,0	0,93	250	1,29	1,56	1,38	1,79	1,47	2,05	1,58	2,34
1,0	0,93	350	1,80	2,19	1,93	2,50	2,08	2,86	2,21	3,28
1,2	1,13	350	2,41	2,66	2,58	3,04	2,76	3,48	2,95	3,99
1,5	1,42	250	2,39	2,39	2,60	2,73	2,78	3,12	2,97	3,58
1,5	1,42	350	3,03*	3,03*	3,63	3,82 3,64	3,89	4,37	4,16	5,01
2,0	1,91	350	3,03*	3,03*	4,16 3,64	4,16 3,64	5,72 5,20	5,72 5,20	6,49	6,74
2,5	2,40	350	3,03*	3,03*	4,16 3,64	4,16 3,64	5,72 5,20	5,72 5,20	7,80 6,76	7,80 6,76

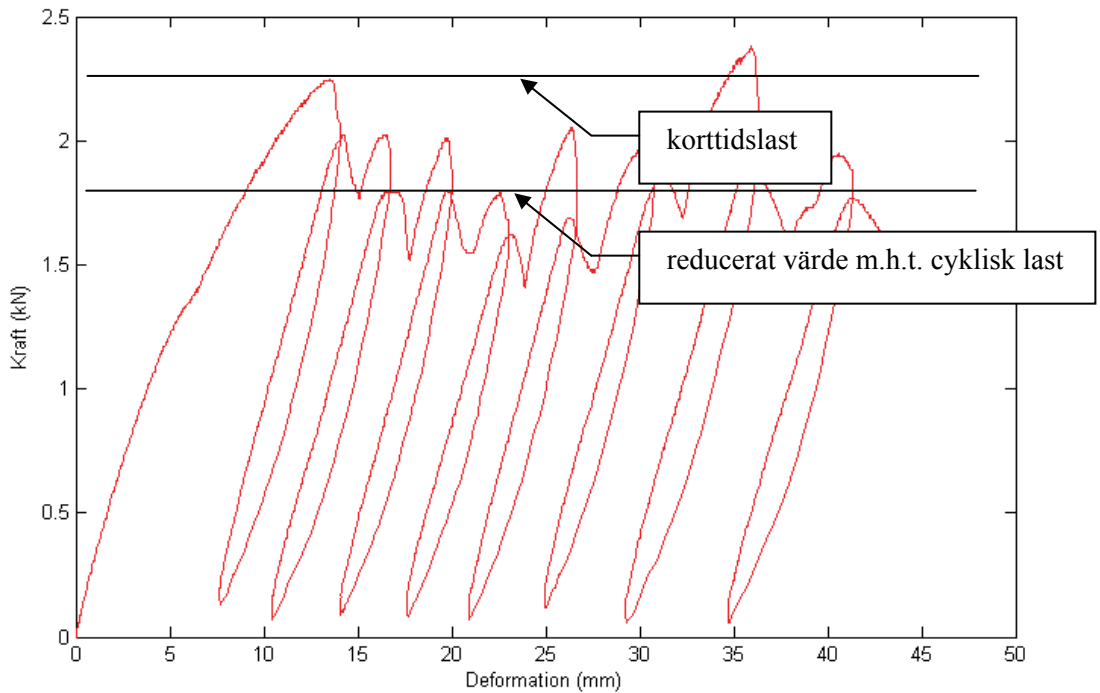
I området med talpar i tabellen respektive märkt * är skjuvbrott i skruven avgörande.

Värdet till vänster i varje talpar gäller kolstålskruvar och till höger rostfria skruvar.

Tabell 6.1 Dimensionerande värde på skruvar från Lindab

Skivverkan i oisolerade plåttak

Det framgår av *Figur 6.1* att brottgränsen för plåten går vid ca 2,2 kN. Detta är vid korttidslast då ingen hänsyn är tagen till cyklisk belastning. Eftersom konstruktionen tappar i hållfasthet redan efter en cykel bör en reduktion m.h.t. detta beaktas. En rimlig brottgräns i detta fall kan vara 1,7 kN, vilket är en reduktion på ca 25 %.



Figur 6.1 Cyklisk belastning, försök 5

6.4 Termiska effekter

I *Stabilisering genom skivverkan* ges längdändringen i plåten av uttrycket $\Delta v = 0,5 * L_{skpl} * \alpha_{plåt} * \Delta T_{plåt}$. I denna rapport ges den av $\Delta v = 0,7 * 1,2 * L_{skpl} * (\alpha_{plåt} * \Delta T_{plåt} - \alpha_{limträ} * \Delta T_{limträ} + \Delta \alpha / 100)$. Med indata som anges i kapitel 3 för Sturup/Malmö blir längdändringen 13,0 mm med denna rapport uttryck. Det ska jämföras med 3,6 mm som ges av *Stabilisering genom skivverkans* uttryck. Det innebär att resultatet blir nästan 4 gånger högre enligt vår analys. Detta beror dels på att temperaturdifferenserna enligt vår analys är större och dels på effekterna av träts fuktrörelser.

En viss reduktion i styrka fås om konstruktionen går till brott genom cyklisk belastning. Då fungerar inte takets skivverkan fullt ut, vilket är särskilt kritiskt när taket utsätts för en stor vindlast. Kombinationen av temperaturväxlingar och vindpåverkan under byggnadens livstid gör att denna typ av belastning är fullt realiserbar i praktiken. Observationer i fält styrker denna slutsats. Ett sätt att undvika en nedsatt bärförmåga är att kombinera takets skivverkan med traditionella krysstag som verkar i takets plan.

7 Diskussion

Vad som framgår av rapporten är att den konstruktionstyp vi har tittat på har brister. Det går att konstatera att konstruktionen inte går till brott i den bemärkelse att den tappar i hållfasthet och gör konstruktionen osäker. Däremot är risken för sekundära effekter stor, framförallt kan hålkantsbrott uppstå i plåten. Det kan leda till vattenläckage som i sin förlängning kan orsaka rost på skruvarna. För att undvika problem med denna konstruktionstyp bör man i första hand undvika ett oisolerat tak med för stora spännvidder. En annan lösning kan vara att man gör infästningar mera eftergivliga. En annan variant är att föra ner lasterna vid gavlarna på en betydligt mindre sträcka på mitten av plåten och inte som här längs hela gaveln. Problemet med det är att det blir många infästningar/skruvar som då ska få plats på en kort sträcka.

En variant om man ska tillåta ett visst hålkantsbrott är att man använder en större tätningsbricka på skruven som kan stå emot ett läckage. Här bör man ta hänsyn till att ett visst slitage kommer att ske mellan tätningsbricka och plåt. En annan möjlighet är att fästa plåten helt och hållet underifrån. Det sker lämpligast med en svetsad/limmad infästning mellan plåt och ås. Fördelen med detta är att man undviker att perforera plåten så att hålkantsbrott och läckage undviks helt. Det man får beakta är dock att den deformation som tidigare skett vid hålkantsbrottet kommer att föras över på åsen som då deformeras mera.

Rapportens syfte är att analysera ett oisolerat plåttak och då är det dessa resultat som huvudsakligen behandlats. Vad som framgår av rapporten är att ett isolerat plåttak ger en längre längdändring av plåten. Men den skillnaden är dock så marginell att den kan försummas i sammanhanget.

8 Slutsatser

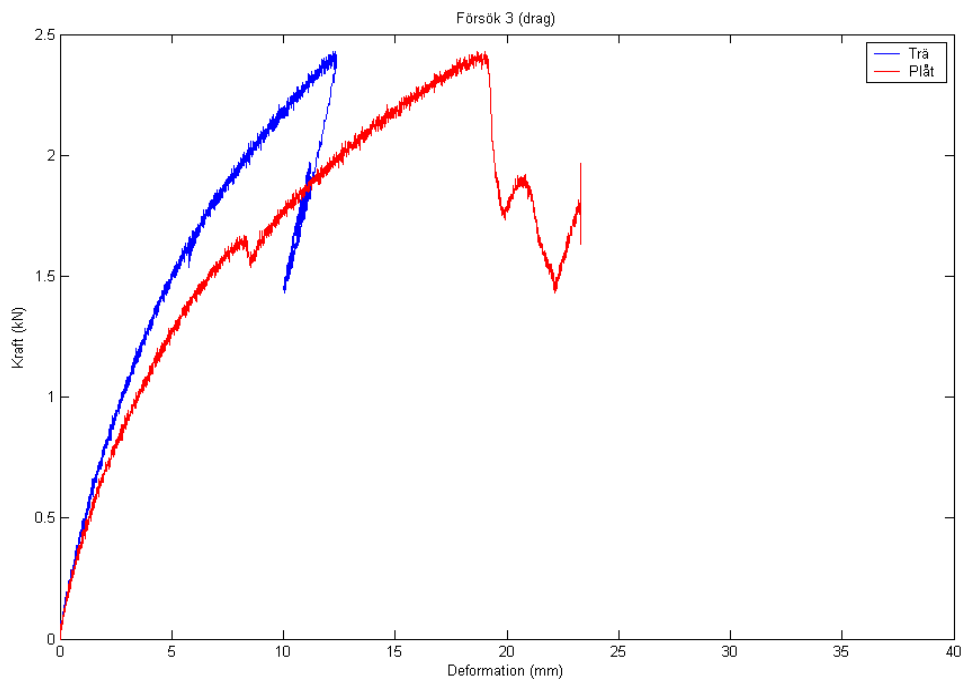
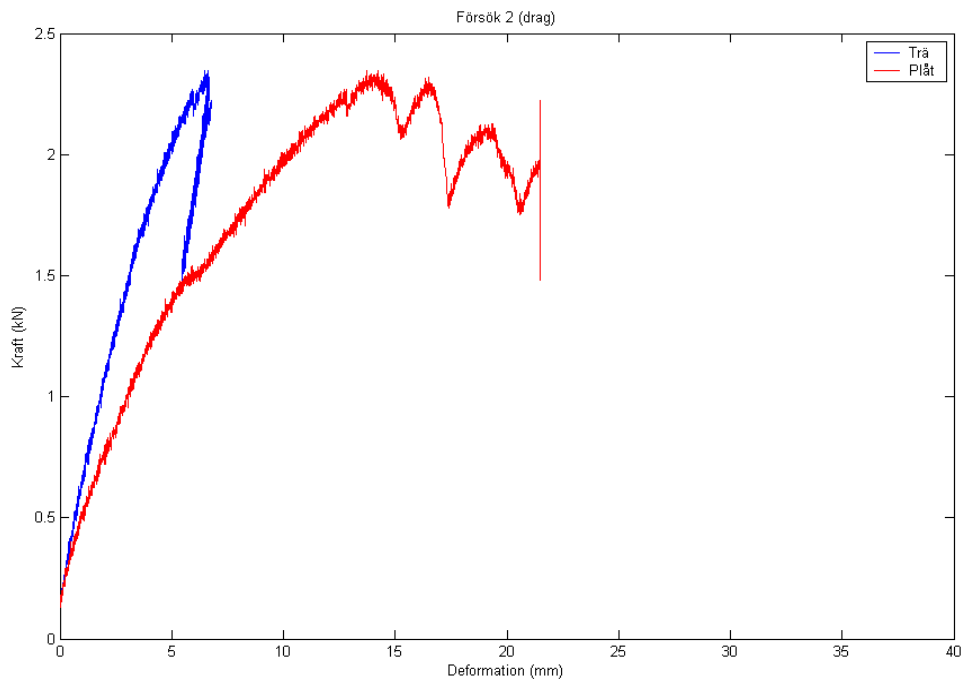
Från de teoretiska och experimentella analyserna kan följande slutsatser dras:

- Stora spännvidder med oisolerade plåttak bör undvikas. Det kan leda till hålkantsbrott vid skruvfästningarna när plåten expanderar och kontraherar pga. temperaturväxlingar. Hålkantsbrott i plåten kan leda till vattenläckage som med tiden ger en nedsättning i hållfasthet eftersom skruvarna rostar. Antingen kompletteras ett sådant tak med en isolering eller så utformas infästningarna med en större eftergivlighet.
- Även en viss skepsis bör iaktas för de riktlinjer som det hänvisas till i normerna. I Torsten Höglunds *Stabilisering genom skivverkan* ges en knapphändig beräkningsgång för hur längdändringen av ett oisolerat plåttak skall tas fram. Det är främst de angivna max- och mintemperaturerna som kan ifrågasättas. Där ges en temperaturskillnad på 50 C°. I denna rapport ges 94 C° som största skillnad.
- Dimensionering av denna typ av konstruktion bör göras med hänsyn till cyklisk belastning. Efter att brott uppstått i plåten kommer konstruktionen att tappa i hållfasthet i takt med de temperaturväxlingar som sker. En rimlig reduktion för brottgränsen m.h.t. cyklisk belastning är 23 %.
- Ett isolerat plåttak ger en något större längdändring av plåten än ett oisolerat. Denna skillnad ligger i storleksordningen 1 mm och kan helt försummas.
- En slumpmässigt vald fältstudie utfördes på Optimera på Sallerupsvägen i Malmö. Där observerades precis den typ av hålkantsbrott som beskrivs här i rapporten. Det bekräftar att det finns problem med just denna typ av konstruktion.
- Avslutningsvis kan man konstatera att en princip som gäller i många byggtekniska sammanhang visar sig stämma även här. Nämligen den att man bör sträva efter en konstruktion där samma material används. Här har en konstruktion med ett plåttak på en trästomme analyserats. Plåt och trä beter sig olika både när det gäller temperatur och fukt. Plåt utvidgas inte av fukt som trä gör och har inte samma värmetröghet. Det leder till att plåtens och träts längdändringar inte sker i fas med varandra. Konsekvenserna blir att påfrestningen på infästningarna blir större.

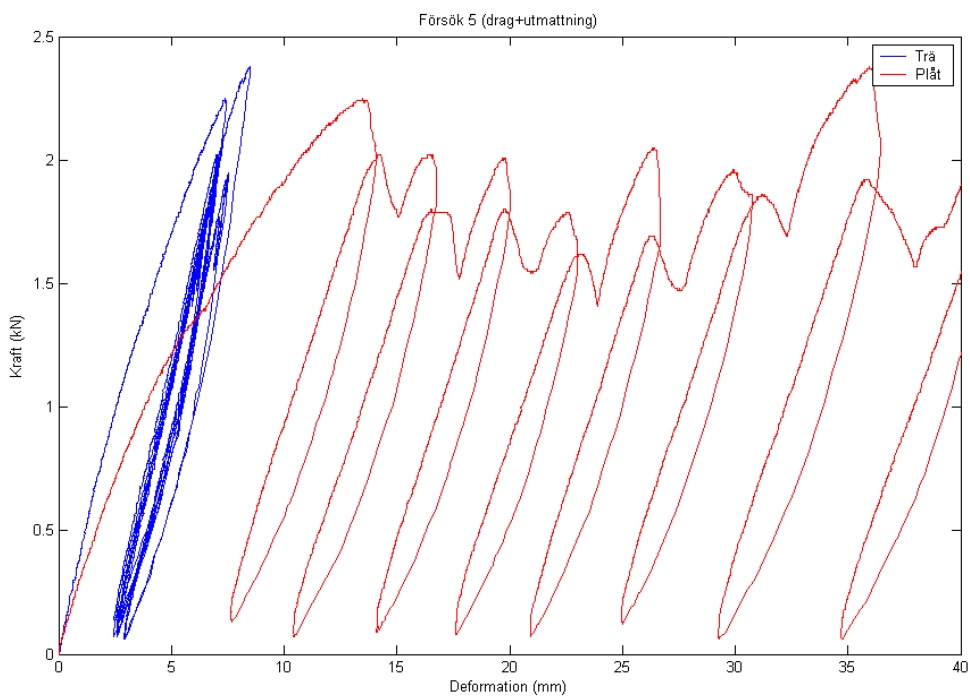
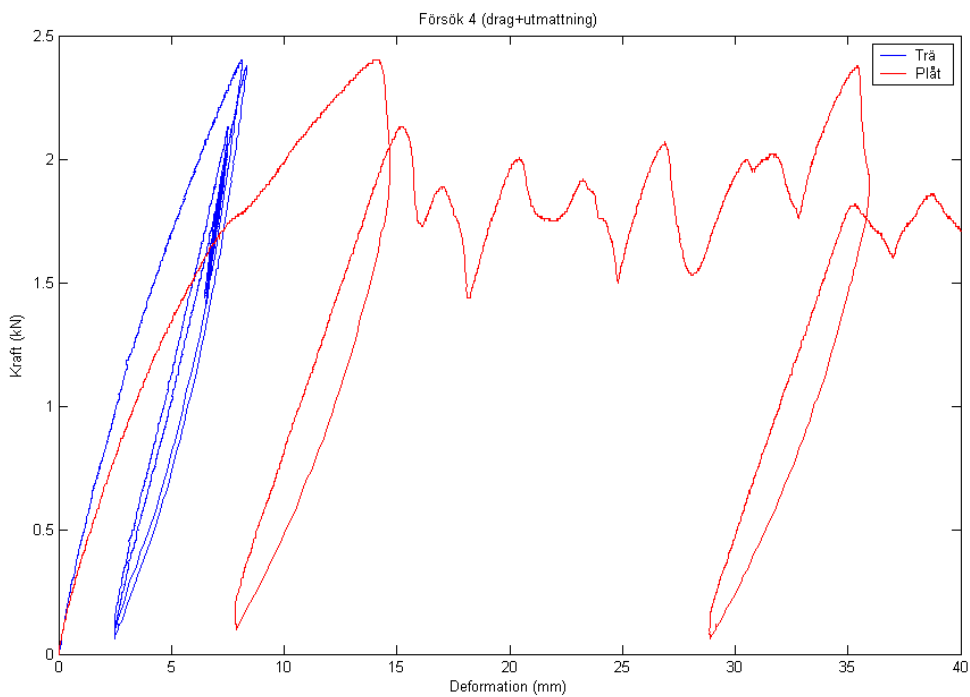
Referenser

- [1] www.fuktcentrum.lth.se (2007)
- [2] Stabilisering genom skivverkan. Torsten Höglund. Stålbyggnadsinstitutet. ISBN 91-7127-027-2 (2000)
- [3] Tunnbränsnorm. Statens stålbyggnadskommitté. BURK-nummer 970313. (1980)
- [4] Lindab. Tak-väggkatalogen. (2000)
- [5] Utdrag ur värme, Johan Cleasson, Lars Erik Nevander, Kenneth Sandin. Kompendium byggnadsfysik, Lund (1984)
- [6] Byggteknik, Gösta Hamrin. ISBN 91-86852-18-3 (1996)
- [7] Fukthandboken. Lars Erik Nevander, Bengt Elmarsson. AB Svensk Byggtjänst. (1994)
- [8] Dimensionering genom provning. ISBN 91-7147-124-3. (1994)

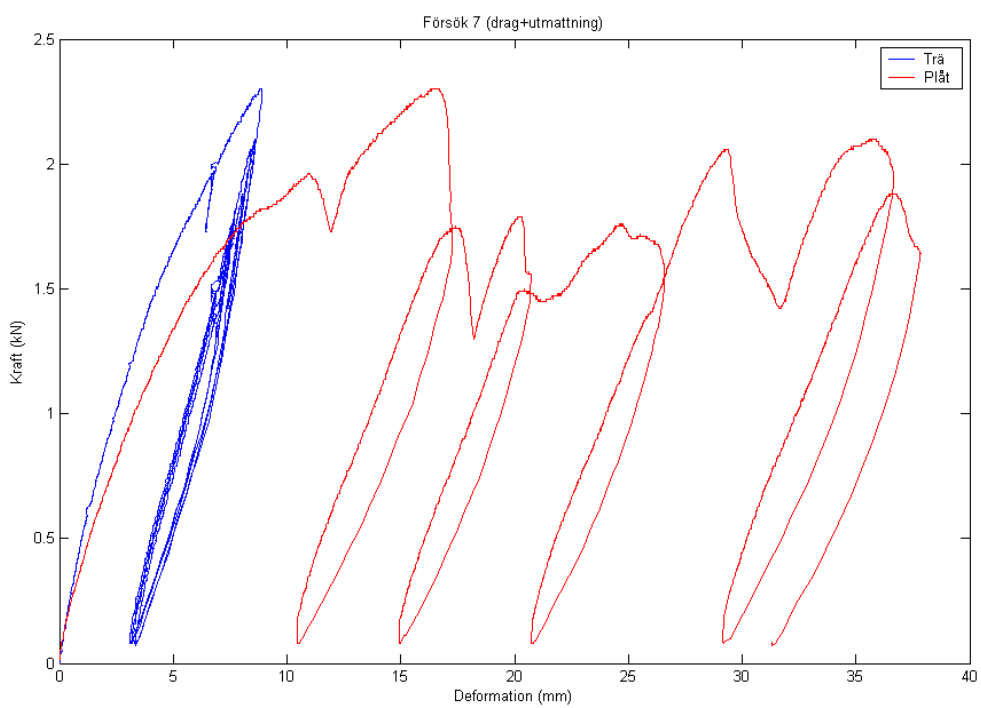
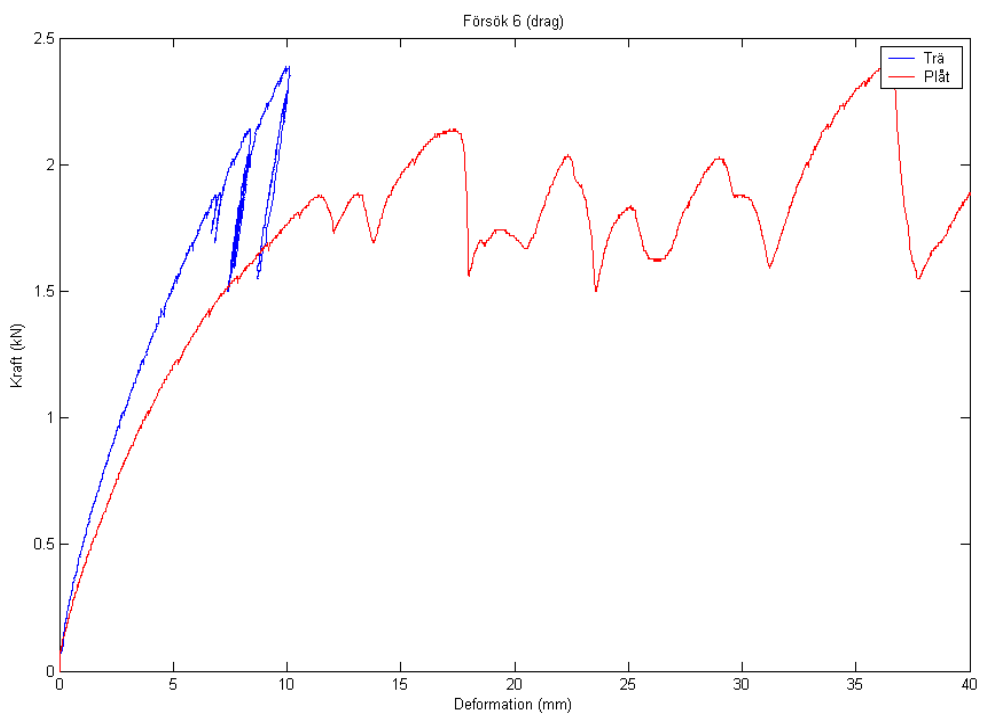
Bilaga



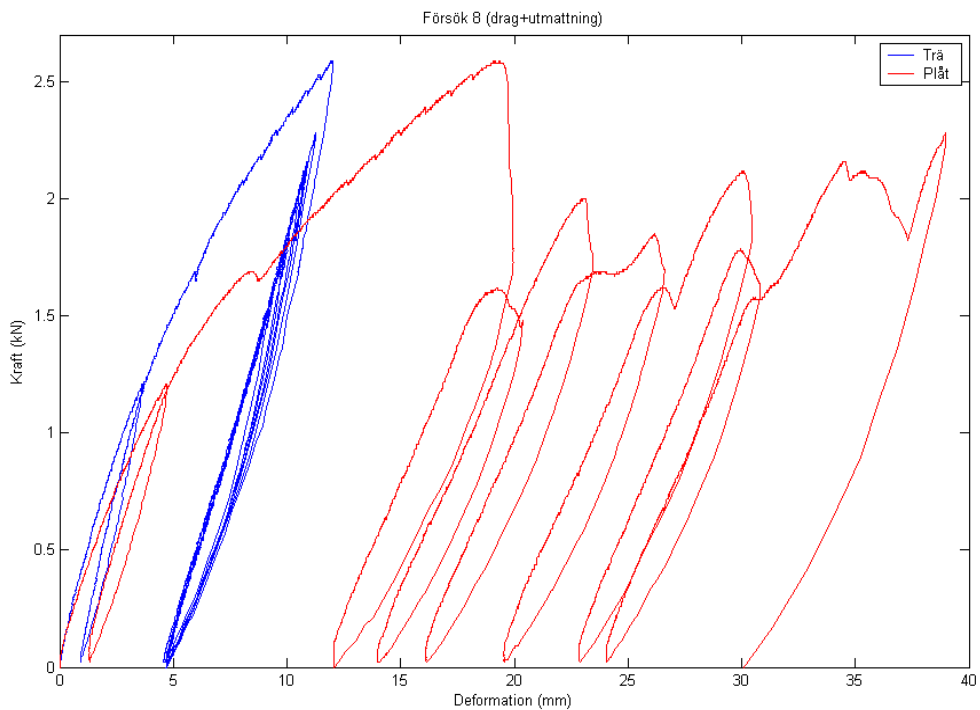
Skivverkan i oisolerade plåttak



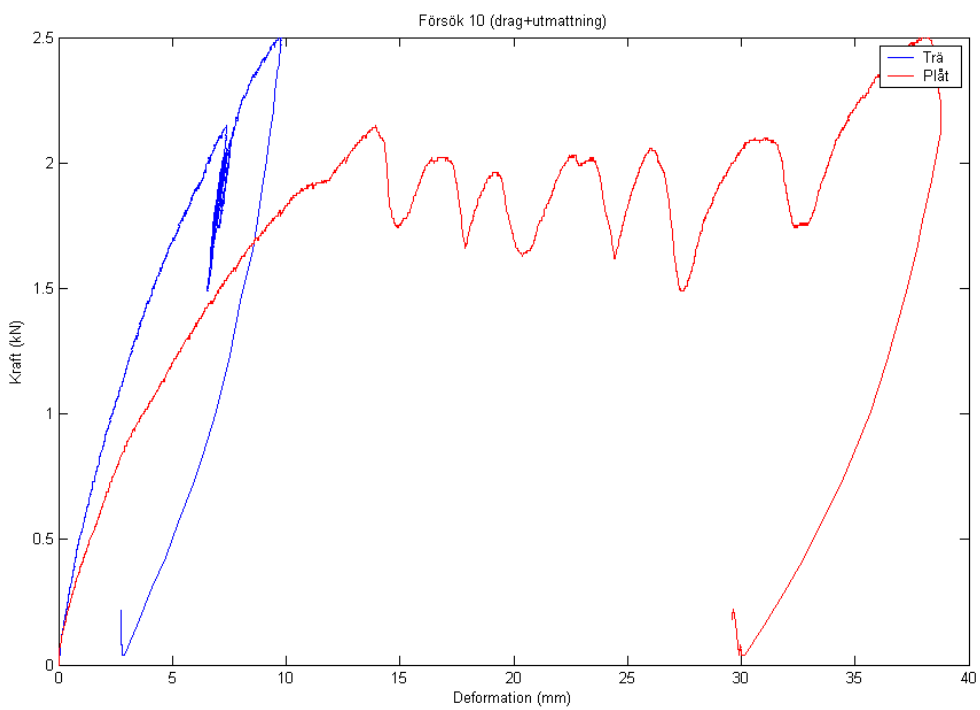
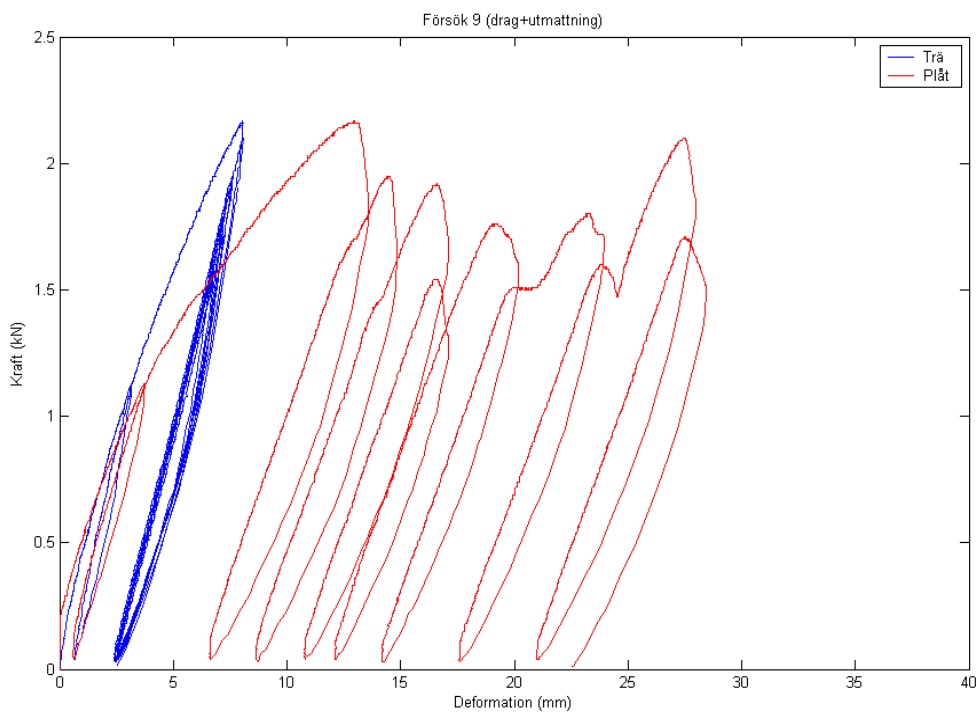
Skivverkan i oisolerade plåttak



Skivverkan i oisolerade plåttak



Skivverkan i oisolerade plåttak



Skivverkan i oisolerade plåttak

