



RAPPORT

RAPPORT-ID: 6178671-005 rev.01

Författare Hanna Bruce	Datum 2019-04-15
Telefon direkt +46 10 505 44 59	Projekt-ID 6178671
Mobil/Email +46 76 146 31 22 hanna.bruce@afconsult.com	Rapport-ID 6178671-005 rev.01
Granskad Mikael Fridlund	Godkänd Carl Sjöberg

Utvärdering av tegelfäste till Windon AB

Sammanfattning

Windon har tagit fram ett infästningssystem för solpaneler. I detta ingår en profil vilken paneler fästes till samt olika takfästen anpassade efter olika takbeläggningar. Windon önskar undersöka kapaciteten för systemets olika komponenter. I denna rapport är fästet som används för infästning i tak med tegelpannor analyserat, kallat tegelfäste. Resultat för fästet då det belastas med framtagna dimensionerande vindlast presenteras.

Analyserna visar att spänningar över de tillåtna uppträder för samtliga typer av tegelfästen då de belastas med last enligt rapport *6178671-001_rev.01*. Olinjära analyser visar att då panelerna monteras liggande fås inga kvarstående deformationer för den karakteristiska lasten medan då de monteras stående fås kvarstående deformationer vid last på 1612 N. Deformationerna växer därefter kraftigt med ökande last men havererar ej då total last lagts på.

Skrivkapaciteter och hållkantryck är ej dimensionerande. Den dimensionerande utdragskapaciteten för infästning till trä är dock för liten för att klara dimensionerande last.



RAPPORT

RAPPORT-ID: 6178671-005 rev.01

Rapportshistorik

Rev.	Orsak / ändring / sektion	Granskad		Godkänd	
		Datum	Sign.	Datum	Sign.
01	Första utgåvan	2019-04-15	MK	2019-04-15	CS



RAPPORT

RAPPORT-ID: 6178671-005 rev.01

Innehåll

1	INLEDNING.....	4
1.1	Bakgrund	4
1.2	Omfattning	4
2	GEOMETRI	5
3	NORMER OCH DIMENSIONERINGSKRITERIA.....	5
4	MATERIAL.....	6
5	LASTER	6
6	FE-MODELL	7
7	SKRUVAR OCH HÅLKANTTRYCK	8
8	RESULTAT	9
8.1	FE-modell.....	9
8.2	Skruvar och hålkanttryck.....	12
9	SLUTSATSER.....	13



RAPPORT

RAPPORT-ID: 6178671-005 rev.01

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Windon har tagit fram ett system för infästning av solpaneler till tak. Solpanelerna fästes till infästningsprofiler som löper under solpanelsraderna. Denna profil är densamma oavsett takbeläggning medan infästningarna för profil till takkonstruktion varierar beroende på takbeläggning. I denna rapport undersöks kapaciteten för takfästet som används för tak med tegelpannor.

1.2 Omfattning

Rapporten innehåller beräkning av tegelfästet då panelerna belastas med vindsug. Inga beräkningar för snölast är gjorda då dessa inte bedöms vara dimensionerande. Vid snölast kommer underliggande takkonstruktion stötta upp paneler vid stora laster.

Underliggande takkonstruktion i trä är inte analyserad utan endast Windons fästelement samt kapaciteten för skruvinfästningen till taket.

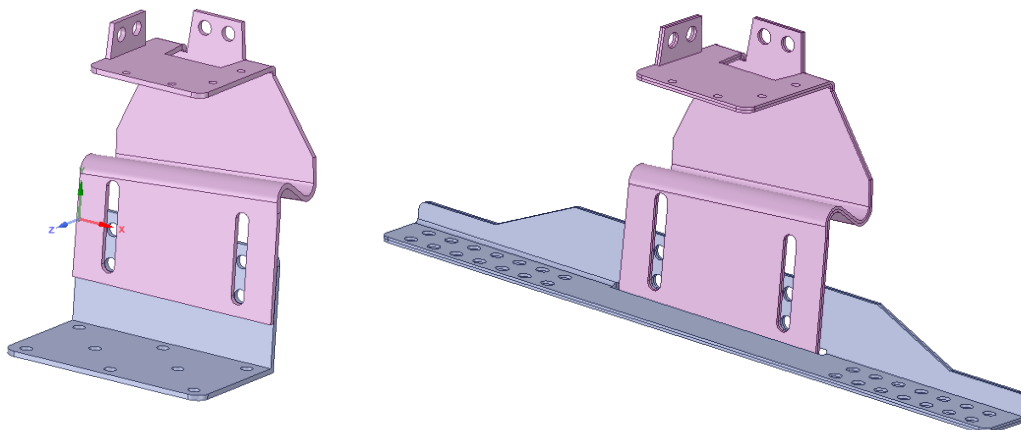


RAPPORT

RAPPORT-ID: 6178671-005 rev.01

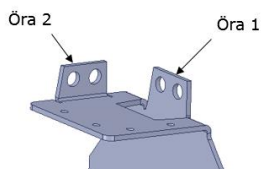
2 GEOMETRI

Då infästningsprofilen fästes till tak med tegelpannor används tegelfäste tillsammans med antingen fotplåt, då infästningen görs till råspont, eller läktfäste då infästningen görs till läkt (Figur 1). Geometri för tegelfäste är taget från STEP-fil *Tegelpanna_2.STEP* (2019-03-21), fotplåt från *Fot panna_2.STEP* (2019-03-21) och läktfästet från *Läktfäste_2_912.STEP* (2019-02-04). Samtliga delar har en godstjocklek på 3 mm. Mindre radier tas bort för att underlätta framtagandet av mittytor till FE-modell.



Figur 1. Till vänster: Tegelfäste för infästning till råspont. Till höger: Tegelfäste för infästning till läkt

Själva tegelfästet har två olika öron för infästning av profil, se Figur 2. Dessa benämns i denna rapport öra 1 och öra 2. Öra 1 används då panelerna monteras liggande och öra 2 då panelerna monteras stående.



Figur 2. Öron för infästning av profil

3 Normer och dimensioneringskriterier

Gällande normer för utvärdering av stålkonstruktioner är SS-EN 1993-1-1, se referens [1].

Enligt SS-EN 1990 [2] skall

$$E_d \leq R_d \text{ där}$$

E_d = dimensionerande last

R_d = kapacitet

uppfyllas i brottgränstillstånd.

Dimensionerande last är tagen från rapport 6178671-001_rev.01 i vilken laster tagits fram utifrån SS-EN 1991-1-4 och EKS 10, referens [3] och [4].



RAPPORT

RAPPORT-ID: 6178671-005 rev.01

Karakteristisk kapacitet skall enligt SS-EN 1990 divideras med en partialfaktor $\gamma_M=1.1$ för att få dimensionerande värde.

Gällande normer för utvärdering av stålförband och förbindare är SS-EN 1993-1-8, [5]. Den karakteristiska kapaciteten för förbindare skall i enlighet med denna norm divideras med en faktor $\gamma_M=1.2$ för att erhålla dimensionerande kapacitet. För att utvärdera infästning i takkonstruktion används SS-EN 1995-1-1, [6].

För infästning till trä gäller enligt [6] att dimensionerande kapacitet fås av

$$R_d = k_{mod} * \frac{R_k}{\gamma_M}$$

Där k_{mod} är korrektionsfaktor som tar hänsyn till inverkan av lastvaraktighet och fuktkvot och γ_M är partialkoefficient för materialegenskaper.

4 Material

Samtliga delar som används för infästning till tegelpannetak är av stålqualität S275 enligt uppgift från Windon. Materialdata enligt Tabell 1. Skruvar som används för infästning av profil till betongfäste samt för att sammanbinda tegelfäste med fotplåt respektive läktfäste är rostfria och antas vara av kvalitet A2-80. Träskruv som används för infästning till råspont respektive läkt antas vara av kvalitet 8.8.

Det har antagits att råspont och läkt är av virkeskvalité C14.

Tabell 1. Materialdata

Material	Densitet ρ [kg/m ³]	Skjuvmodul G [MPa]	Poisson's tal ν	Elasticitetsmodul E [MPa]	Sträckgräns $f_{0.2}$ [MPa]	Brottgräns [MPa]
S275	7800	81000	0.3	210000	275	410
Skruvar 8.8	-	-	-	-	640	800
Skruvar A2-80	-	-	-	-	600	800
Virke C14	350	-	-	-	-	-

Ovanstående tillsammans med gällande normer, avsnitt 3, ger tillåtna spänningar enligt Tabell 2.

Tabell 2. Tillåtna spänningar

Material	Tillåten spänning [MPa]
S275	$R_d = \frac{f_{0.2}}{\gamma_M} = \frac{275}{1.1} = 250$
Skruvar 8.8	$R_d = \frac{f_{ub}}{\gamma_M} = \frac{640}{1.2} = 533$
Skruvar A2-80	$R_d = \frac{f_{ub}}{\gamma_M} = \frac{600}{1.2} = 500$

5 Laster

Takinfästningarna är endast utvärderade mot vindlast. Fallet snölast medför att profilerna stöts av den horisontella delen av infästningsplåten under profilen samt att underliggande takkonstruktion kommer stötta upp paneler och profiler då de börjar böja ner. Detta medför att vindlast blir dimensionerande för infästningarna.



RAPPORT

RAPPORT-ID: 6178671-005 rev.01

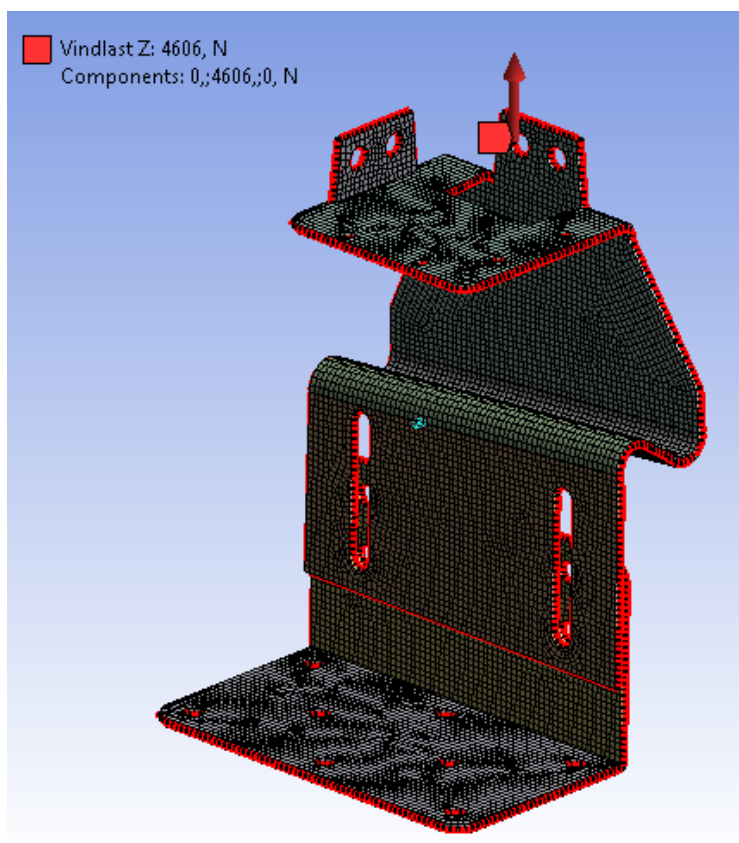
Vindlasten som verkar på taket resulterar i ett sug på panelernas ovansida. Detta ger i sin tur att takfästena belastas med en uppåtriktad last. I rapport 6178671-001_rev.01 är takinfästningarna satta med ett avstånd på 1800 mm. Från denna rapport är den största last som verkar på takinfästning tagen.

Detta resulterar i en vertikal uppåtriktad last på 4606 N samt en utdragslast på 135 N på bultarna mellan profil och takfäste. I analyser av takfästena har bortsetts från utdragslasten då denna är mycket liten i förhållande till den vertikala lasten. Varje panel, som är styv, fästes till två parallella profiler vilket även minskar effekten av utdragslasten.

6 FE-modell

Analyserna är genomförda i Ansys version 19.2 och baseras på STEP-filer erhållna av Windon. Soliderna i dessa filer har konverterats till skal med hjälp av Spaceclaim 19.2.

En FE-analys med linjär analys och last enligt avsnitt 5 genomförs. Lasten läggs på de skruvhål där profilen fästs till takfästet, se Figur 4. Två fall undersöks; lasten verkar på hål i öra 1 samt hål i öra 2. När lasten angriper i öra 1 förhindras detta att rotera kring x och y. En låsning av även den sista rotationen för öra 1 påverkar inte resultatet då detta är placerat så att lasten inte ger rotation av detta öra kring z-axeln. När lasten angriper i öra 2 förhindras rotationer kring samtliga axlar för öra 2.



Figur 3. Figuren visar meshad FE-modell med last från profil i öra 1

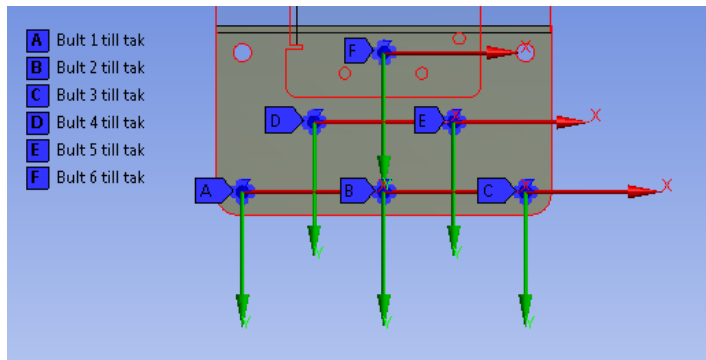
Även en olinjär FE-analys genomförs, för att utvärdera när bestående deformationer fås och huruvida infästningen havererar. Kvarstående deformationer utvärderas mot karakteristisk last, alltså den faktiska lasten medan haveri kontrolleras mot den dimensionerande lasten enligt [2].



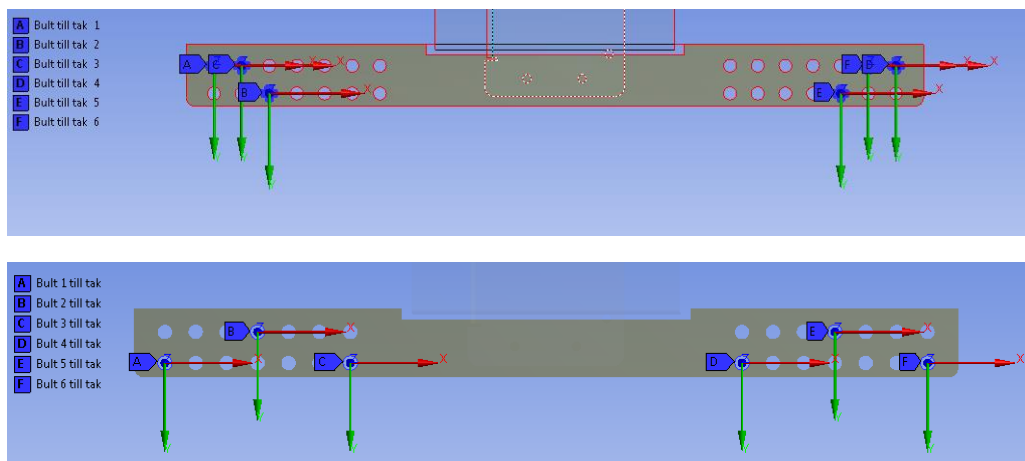
RAPPORT

RAPPORT-ID: 6178671-005 rev.01

Skrubar till tak respektive skruvar som används för att montera ihop tegelfäste och fotplåt/läkthållfaste modelleras genom att låsa samtliga translationer för dessa bult hål. De är dock fria att rotera. De placeringar som används i FE-modellerna för infästning till tak är redovisade i Figur 5 och 6.



Figur 5. Skruvplacering för bultar som fäster fotplåt till råspont



Figur 6. Skruvplacering då läkthållfastet monteras till läkt, last i öra 1 (överst) samt last öra 2 (nederst)

7 Skruvar och hållkantryck

Då inte underliggande tak utvärderas har inte heller kantavstånd för träskruvar i råspont och läkt verifierats. Lasterna på skruvar är hämtade från de linjära FE-analyserna. Då skruvarnas kapacitet har verifierats har den mest belastade skruven för respektive av positionerna profil/tegelhållfaste, tegelhållfaste/fotplåt, tegelhållfaste/läkthållfaste, fotplåt/tak samt läkthållfaste/tak utvärderats.

Då infästningen till tak utvärderats har det totala effektiva antalet skruvar använts och den totala utdragslasten på dessa. Kapaciteten för förbandet beräknas enligt 8.7.2 [6] även om det inträngningsdjup som anges här ($6 \cdot d$) inte uppfylls. Träskruven som används är 35 mm lång varav 25 mm är gängad och resten slät hals. Råspont och läkt antas ha en tjocklek på 22 mm. För konstruktionsvirke är $\gamma_M=1.3$. För råspont är $k_{mod}=0.9$ medan för läkt ovan takpapp är $k_{mod}=0.7$.

Lasterna på skruvarna används för att kontrollera hållkantryck. Vid beräkning av hållkantryck skall enligt [5] hålets placering i förhållande till kant av plåt och inbördes avstånd till andra hål uppfyllas. För hål i öronen uppfylls inte dessa krav. Windon har informerats om detta men då det inte går att modifiera öra 2's geometri, då det skall passa inne i profilen, modifieras ej öronen för att uppfylla dessa krav. Beräkningarna är gjorda med detta avsteg från geometriska krav.



RAPPORT

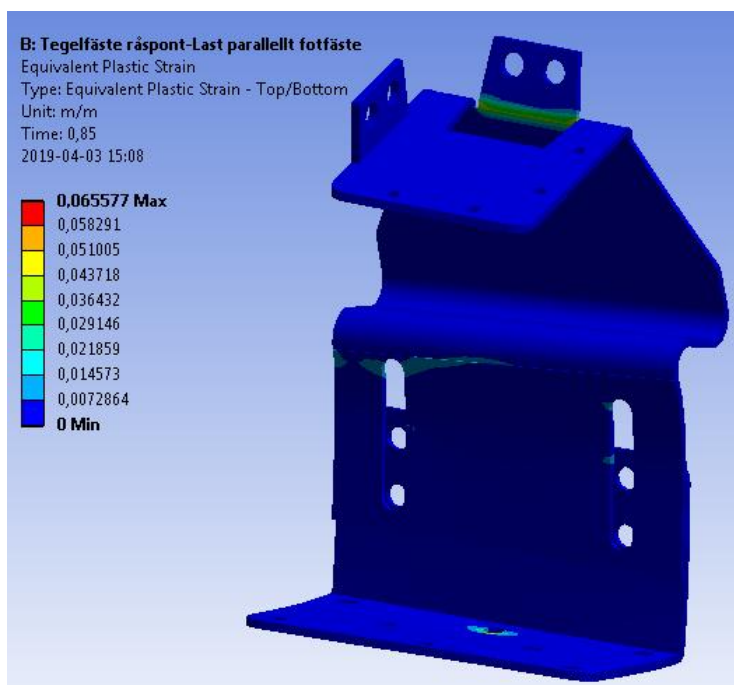
RAPPORT-ID: 6178671-005 rev.01

8 Resultat

8.1 FE-modell

Den linjära analysen ger för samtliga fall; infästning till råspont med last i öra 1 respektive öra 2 och infästning till läkt med last i öra 1 respektive öra 2, att tillåten spänning överskrids för samtliga ingående komponenter.

Den olinjära analysen ger att för infästning till öra 1 fås kvarstående deformationer då 85 % av lasten på 4606 N lagts på, se Figur 7-8. Detta motsvarar att infästningarna kan belastas av en last på 3915 N innan kvarstående deformationer fås. Kvarstående deformationer fås alltså inte för den karakteristiska lasten på $4606 \text{ N} / 1,5 = 3070 \text{ N}$ som infästningarna utsätts för. Då dimensionerande last lagts på havererar inte infästningarna.

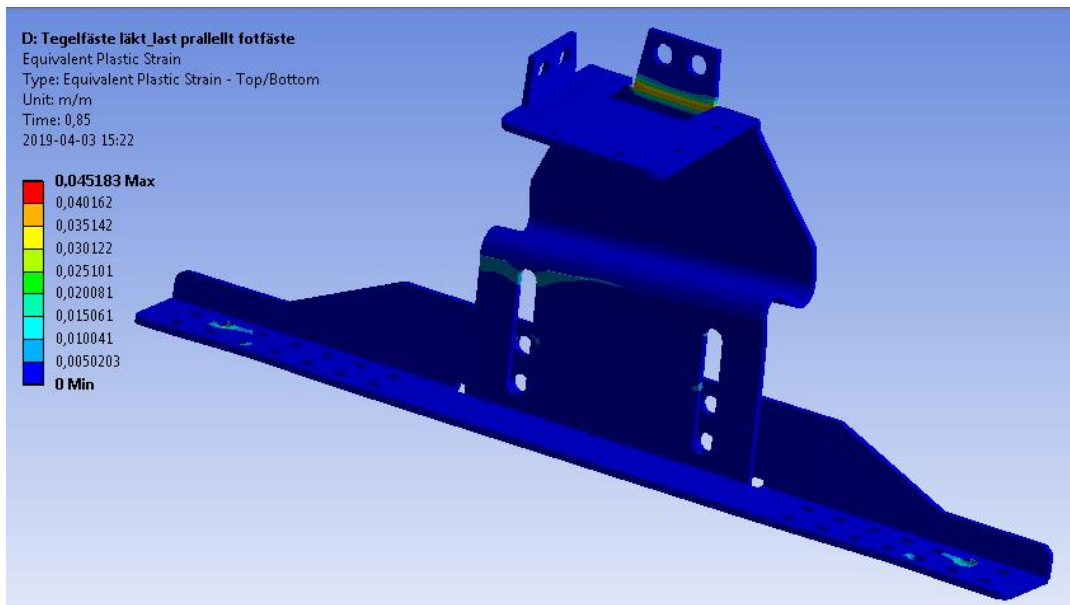


Figur 7. Plastiska töjningar för last i öra 1, infästning till råspont, då lasten 3915 N lagts på



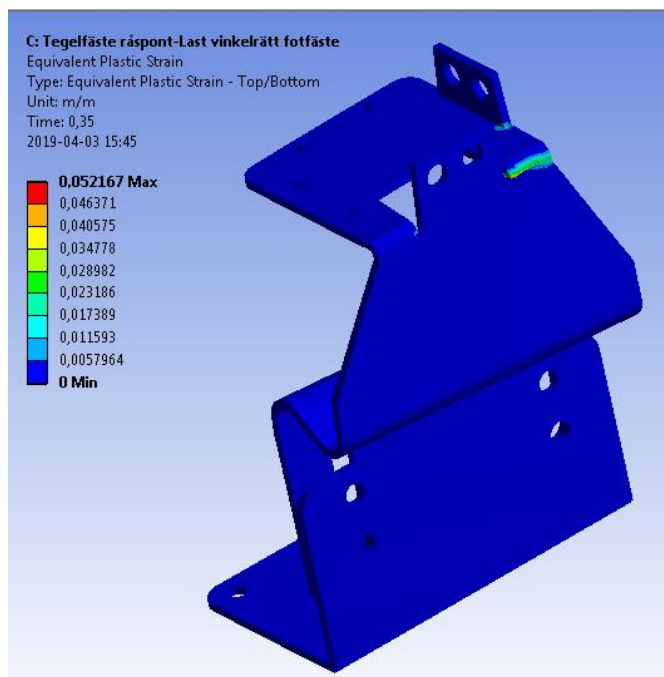
RAPPORT

RAPPORT-ID: 6178671-005 rev.01



Figur 8. Plastiska töjningar för last i öra 1, infästning till läkt, då lasten 3915 N lagts på

För infästning till öra 2 fås kvarstående deformationer då 35 % av lasten på 4606 N lagts på, se Figur 9-10. Detta motsvarar att infästningarna kan belastas av en faktisk last på 1612 N innan kvarstående deformationer fås. Kvarstående deformationer fås alltså innan hela den karakteristiska lasten på $4606 \text{ N} / 1,5 = 3070 \text{ N}$ lagts på. Grafer över hur den plastiska deformationerna ökar med lasten visas i Figur 11. Då dimensionerande last lagts på havererar inte infästningarna.

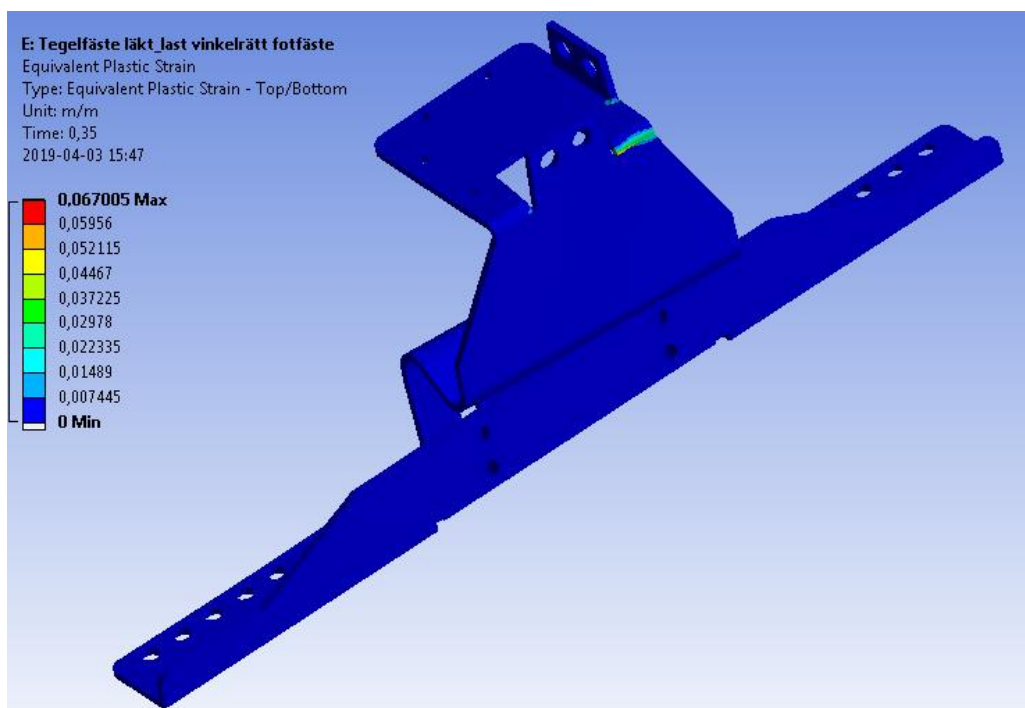


Figur 9. Plastiska töjningar för last i öra 2, infästning till råspont, då lasten 1612 N lagts på

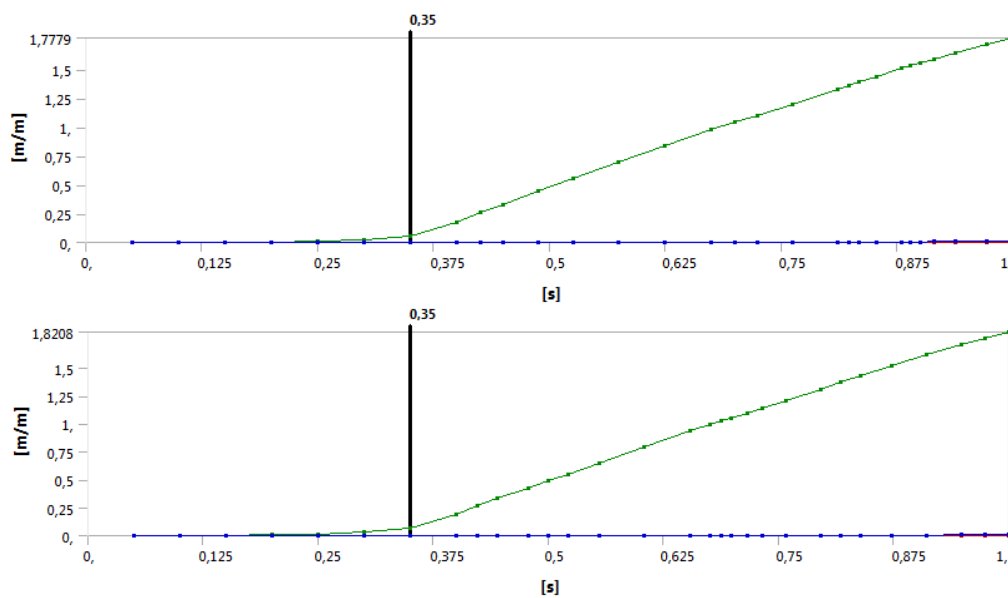


RAPPORT

RAPPORT-ID: 6178671-005 rev.01



Figur 10. Plastiska töjningar för last i öra 2, infästning till läkt, då lasten 1382 N lagts på



Figur 12. Plastiska töjningar vs last då infästning i öra 2
Överst: Infästning till råspont
Underst: Infästning till läkt



RAPPORT

RAPPORT-ID: 6178671-005 rev.01

8.2 Skruvar och hållkantryck

I Tabell 3 är laster och utnyttjande av skruvar redovisade. För skruvar som fäster läktfäste till läkt tar skjuvlasterna som verkar på skruvarna ut varandra varför denna last inte är medräknad i Tabell 3.

Tabell 3. Laster och utnyttjande av skruvar

Position skruv	Max skjuvlast (N)	Skjuvkapacitet (N)	Max axiell last (N)	Axiell kapacitet (N)	Utnyttjande kombination skjuv- och axiell last
Tegelfäste-fotplåt	5810	15 000	1540	22 000	0.45
Tegelfäste-läktfäste	7883	15 000	1632	22 000	0.59
Fotplåt-råspont	-	6000	8254	8700	0.95
Läktfäste-läkt	-	6000	8009	8700	0.92
Profil-tegelfäste	2303	15 000	135	22 000	0.16

I Tabell 4 är laster och kapacitet för infästning till trä redovisat. Med antagande om tjocklekar och kvalitet på virke är kapaciteten för skruvar ej tillräcklig för att klara dimensionerande last.

Tabell 4. Infästning till tak

Position skruv	Total dimensionerande axiell last (N)	Dimensionerande utdragskapacitet (N)	Utnyttjande
Fotplåt-tak	4606	3125	1.47
Läktfäste-tak	4606	3844	1.20

I Tabell 5 är hållkantryck utvärderat för maxbelastade skruvar. Hållkantryck för infästning av fotplåt och läktfäste utvärderas ej då skjuvlasterna på skruvarna tar ut varandra här.

Tabell 5. Kontroll hållkantryck

Position skruv	Max skjuvlast (N)	Kapacitet (N)	Utnyttjande
Skruvar till profil	2303	2440	0.94
Skruv tegelfäste-fotplåt	5781	8540	0.68
Skruv tegelfäste-läktfäste	5085	8540	0.60



RAPPORT

RAPPORT-ID: 6178671-005 rev.01

9 Slutsatser

Analysresultaten visar att spänningar över de tillåtna uppkommer i samtliga kombinationer för takinfästningar till tegelpannetak. Då profilen monteras till öra 1 fås inga kvarstående deformationer för den karakteristiska lasten på 3071 N. För infästning till öra 2 fås kvarstående deformationer vid lasten 1612 N. Deformationerna ökar kraftigt med ökad last men infästningarna havererar inte vid last på 3071 N.

Skrubar, hållkantryck och infästning till trä klarar den dimensionerande lasten på 4606 N.

Referenser

- [1] SS-EN 1993-1-1, Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner – Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader
- [2] SS-EN 1990, Eurokod: Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk
- [3] SS-EN 1991-1-4, Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 1-4: Allmänna laster - Vind
- [4] EKS 10, Boverkets konstruktionsregler
- [5] SS-EN 1993-1-8, Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner – Del 1-8: Dimensionering av knutpunkter och förband
- [6] SS-EN 1995-1-1, Eurocode 5: Dimensionering av träkonstruktioner – Del 1-1: Allmänt – Gemensamma regler och regler för byggnader

Följande handlingar har undertecknats den 15 april 2019



Rapport_6178671-005_Tegelfäste.pdf
(762123 byte)
SHA-512: 1af49d1d026c7bbc8f68f0cb994732e325ffa
7b009d7be3607a18675c10db63945e3dd0b0b7cdce565c
d9f2540d6a7e29650119d685880b1e17672e7f34738b6

Handlingarna är undertecknade av

2019-04-15 08:56:29 (CET)



Hanna Bruce, ÅF-Industry AB

hanna.bruce@afconsult.com
194.103.240.26

+46761463122
Undertecknat med SMS

2019-04-15 08:59:43 (CET)



Carl Sjöberg, ÅF-Industry AB

carl.sjoberg@afconsult.com
194.103.240.26

+46703791471
Undertecknat med SMS

2019-04-15 08:56:39 (CET)



Mikael Fridlund, ÅF-Industry AB

mikael.fridlund@afconsult.com
194.103.240.26

+46722410288
Undertecknat med SMS



Undertecknandet intygas av Assently



Rapport_6178671-005_Tegelfäste.pdf

Verifiera äktheten och integriteten av detta kvitto genom att skanna QR-koden till vänster.
Du kan också göra det genom att besöka <https://app.assently.com/case/verify>

SHA-512: 776e2eef05d86d91fc4b9ff31c6ff1a46777d214a9425016c8e515f0e10
e2d4ecb3bc65d04826ad98056a4095deb40405af5ad6120e2f51da4ce9c2353c625ce

Om detta kvitto

Dokumentet är elektroniskt undertecknat genom e-signeringsplattformen Assently i enlighet med eIDAS, Europaparlamentets och rådets förordning (EU) nr 910/2014. En elektronisk underskrift får inte förvägras rättslig verkan eller giltighet som bevis vid rättsliga förfaranden enbart på grund av att underskriften har elektronisk form eller inte uppfyller kraven för kvalificerade elektroniska underskrifter. En kvalificerad elektronisk underskrift ska ha motsvarande rättsliga verkan som en handskrivna underskrift. Assently tillhandahålls av Assently AB, org. nr. 556828-8442, Holländargatan 20, 111 60 Stockholm, Sverige.