



RAPPORT

RAPPORT-ID: 6178671-002 rev.01

Författare Hanna Bruce	Datum 2019-04-08
Telefon direkt +46 10 505 44 59	Projekt-ID 6178671
Mobil/Email +46 76 146 31 22 hanna.bruce@afconsult.com	Rapport-ID 6178671-002 rev.01
Granskad Mikael Fridlund	Godkänd Carl Sjöberg

Utvärdering av betongfäste 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 betongpannor analyserat, kallat betongfäste. Resultat för fästet då det belastas med framtagen dimensionerande vindlast presenteras.

Analyserna visar att spänningar över de tillåtna uppträder för samtliga typer av betongfästen då de belastas med last enligt rapport *6178671-001_rev.01*. Olinjära analyser visar att då panelerna monteras liggande fås kvarstående deformationer vid last på 2764 N medan då de monteras stående fås kvarstående deformationer vid last på 1382 N. Deformationerna växer därefter kraftigt med ökande last med 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: 6178671-002 rev.01

Rapportshistorik

Rev.	Orsak / ändring / sektion	Granskad		Godkännad	
		Datum	Sign.	Datum	Sign.
01	Första utgåvan	2019-04-08		2019-04-08	



RAPPORT

RAPPORT-ID: 6178671-002 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: 6178671-002 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 betongpannor.

1.2 Omfattning

Rapporten innehåller beräkning av betongfästet 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.

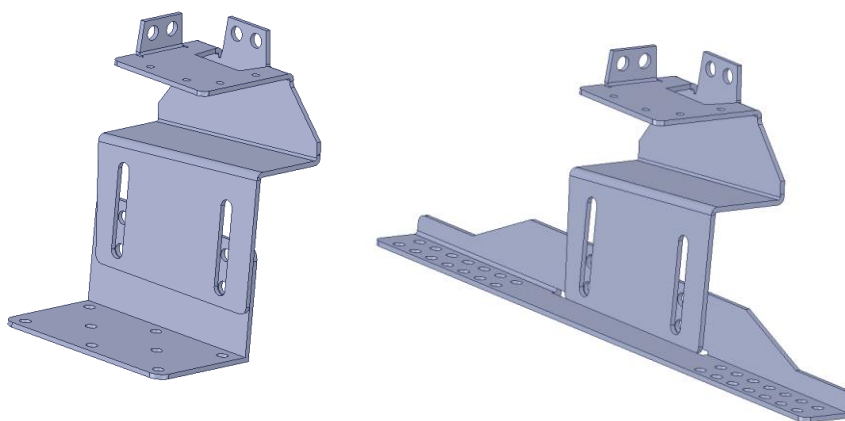


RAPPORT

RAPPORT-ID: 6178671-002 rev.01

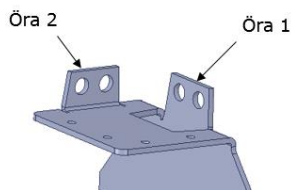
2 GEOMETRI

Då infästningsprofilen fästes till tak med betongpannor används betongfäste tillsammans med antingen fotplåt, då infästningen görs till råspont, eller läktplåt då infästningen görs till läkt (Figur 1). Geometri för betongfäste är taget från STEP-fil *Betongpanna_2.STEP* (2019-03-19), fotplåtel 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. Vänster: Betongfäste för infästning till råspont. Höger: Betongfäste för infästning till läkt

Själva betongfästet 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

$E_d \leq R_d$ 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: 6178671-002 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 betongpannetak 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 betongfäste 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 virkesqualität 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 stötts 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: 6178671-002 rev.01

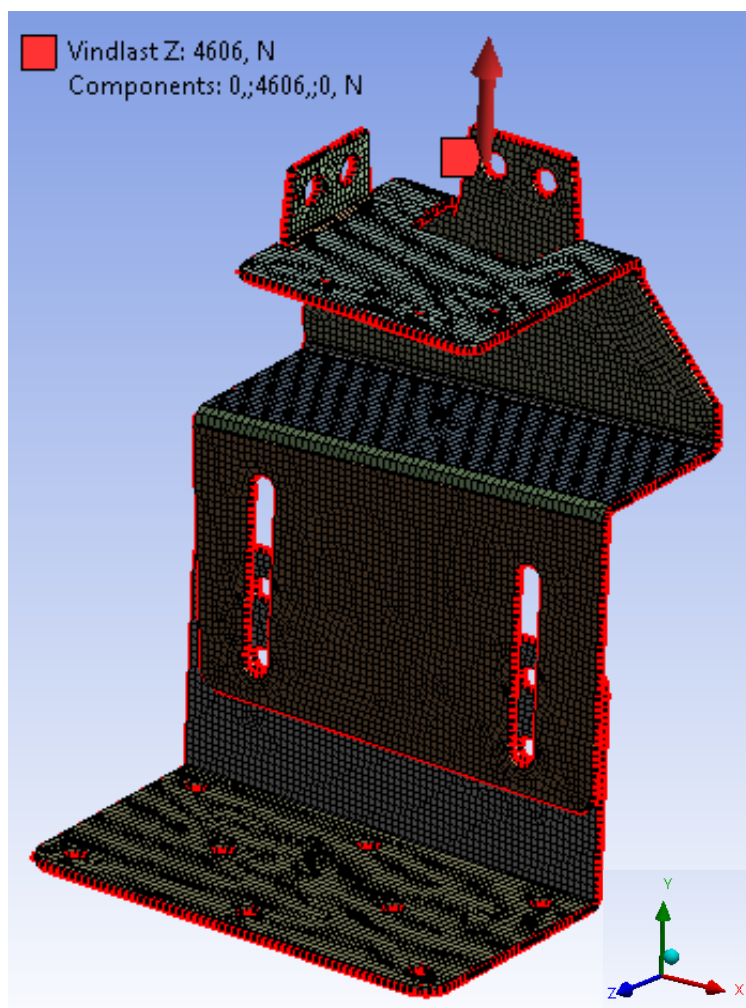
Vindlasten som verkar på taket resulterar i ett sug på panelernas ovansida. Detta ger i sin tur att takfästena belastas med en uppåtriktad last. I rapport 6178671-001_rev.01 är takinfästningarna satta med ett avstånd på 1800 mm. Från denna rapport är den största last som verkar på takinfästning tagen.

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-axeln. 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

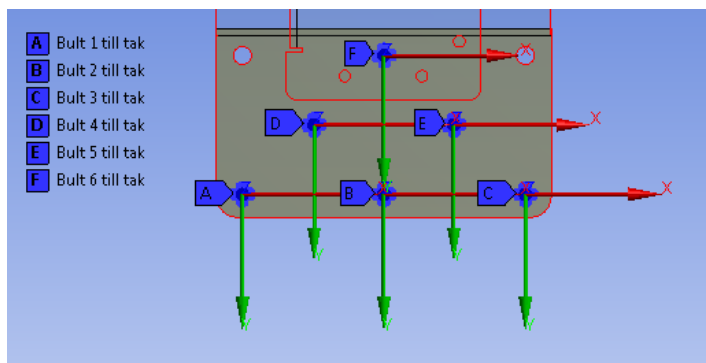


RAPPORT

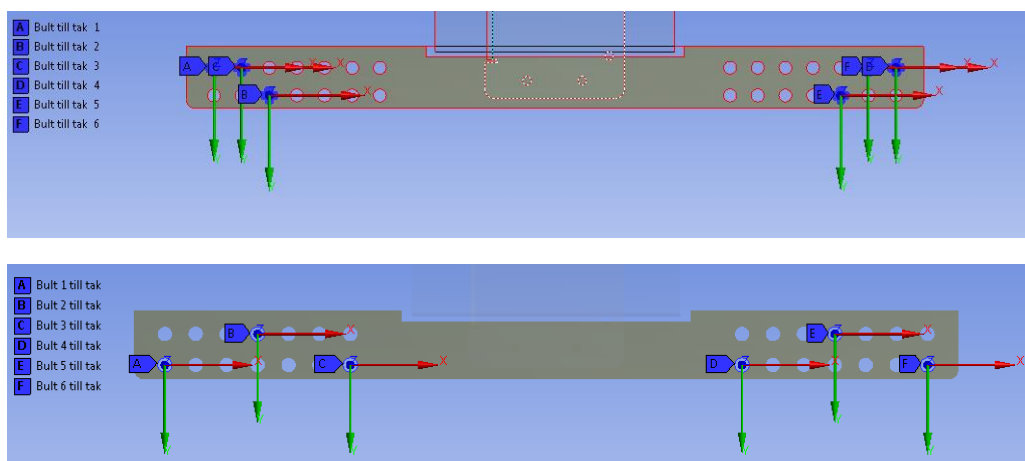
RAPPORT-ID: 6178671-002 rev.01

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].

Skruvor till tak respektive skruvar som används för att montera ihop betongfäste och fotplåt/läktfäste modelleras genom att låsa samtliga translationer för dessa bulthål. 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 läktfästet 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/betongfäste, betongfäste/fotplåt, betongfäste/läktfäste, fotplåt/tak samt läktfäste/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 resterande del är 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 $k_{mod}=0.7$.



RAPPORT

RAPPORT-ID: 6178671-002 rev.01

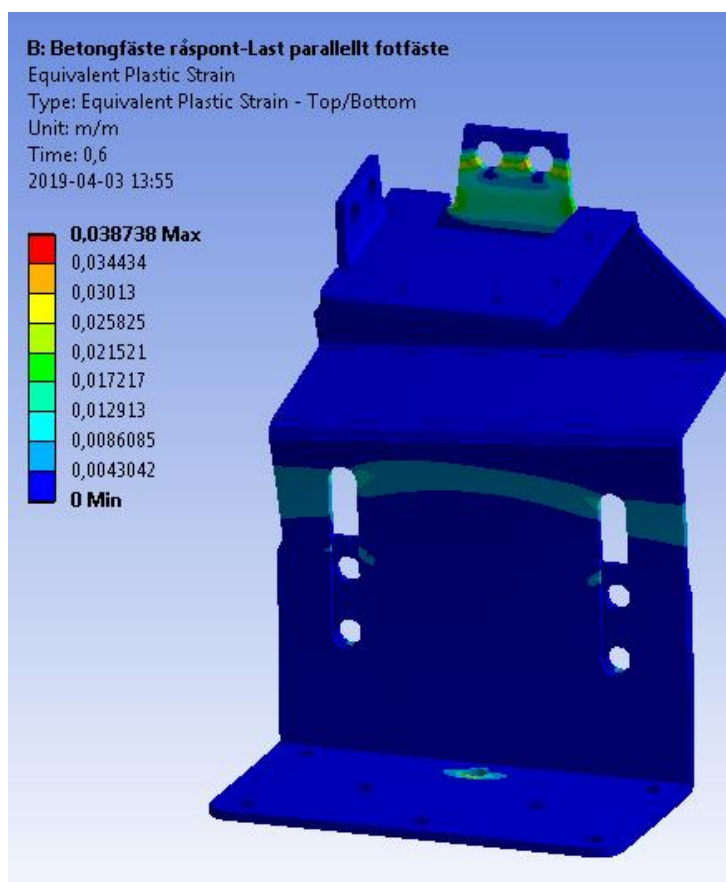
Lasterna på skruvarna används för att kontrollera hållkantryck. Vid beräkning av hållkantryck skall enligt [5] hålets placering i förhållande till kant av plåt och inbördes avstånd till andra hål uppfyllas. För hål i öronen uppfylls inte dessa krav. Windon har informerats om detta men då det inte går 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.

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 60 % av lasten på 4606 N lagts på, se Figur 7-8. Detta motsvarar att infästningarna kan belastas av en last på 2764 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 9. Då dimensionerande last lagts på havererar inte infästningarna.

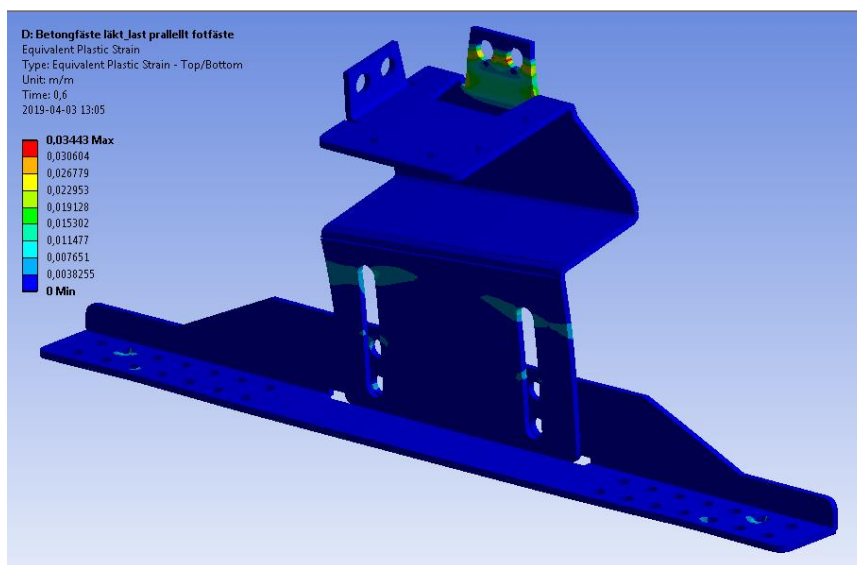


Figur 7. Plastiska töjningar för last i öra 1, infästning till råspont, då lasten 2764 N lagts på

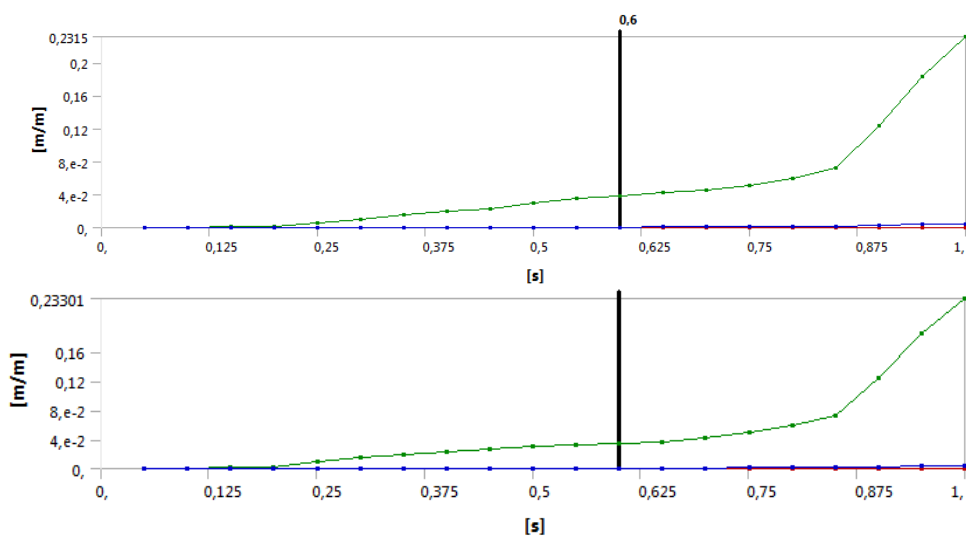


RAPPORT

RAPPORT-ID: 6178671-002 rev.01



Figur 8. Plastiska töjningar för last i öra 1, infästning till läkt, då lasten 2764 N lagts på



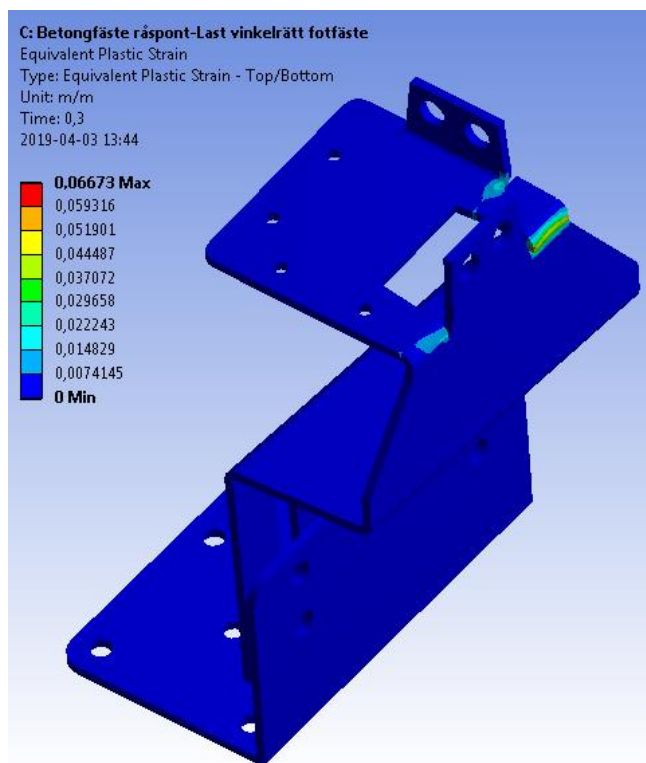
Figur 9. Plastiska töjningar vs last då infästning i öra 1. Vid tiden 1 s har hela lasten på 4606 N lagts på
Överst: Infästning till råspont
Underst: Infästning till läkt

För infästning till öra 2 fås kvarstående deformationer då 30 % av lasten på 4606 N lagts på, se Figur 10-11. Detta motsvarar att infästningarna kan belastas av en faktisk last på 1382 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 12. Då dimensionerande last lagts på havererar inte infästningarna.

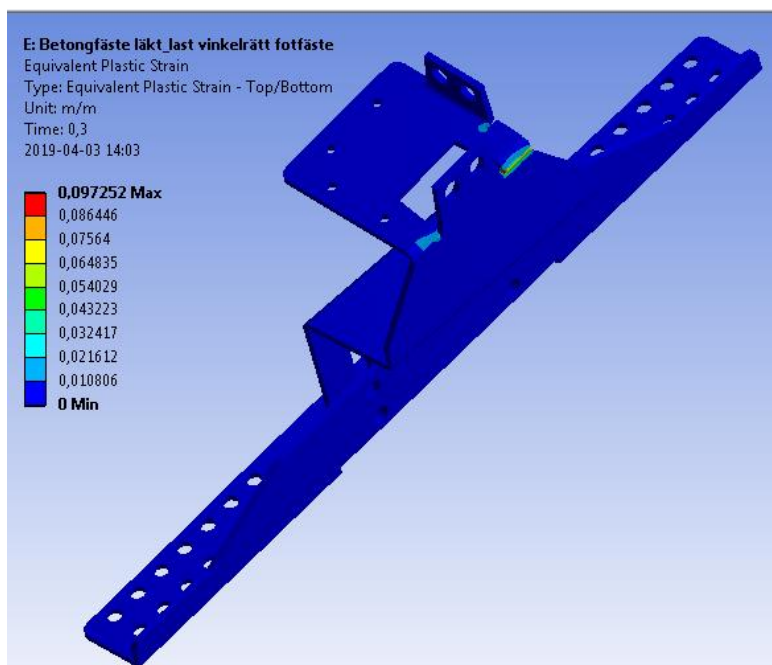


RAPPORT

RAPPORT-ID: 6178671-002 rev.01



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

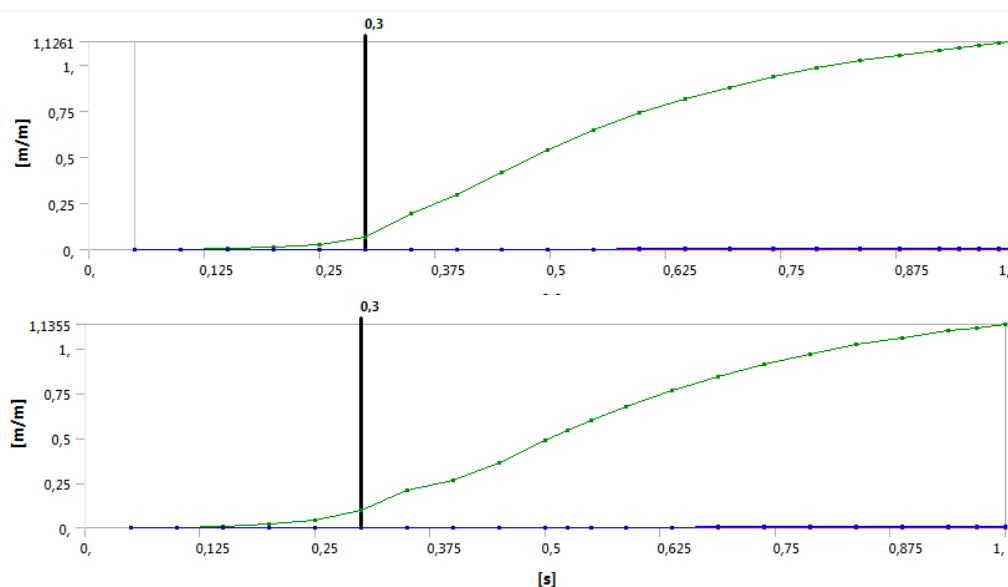


Figur 11. Plastiska töjningar för last i öra 2, infästning till läkt, då lasten 1382 N lagts på



RAPPORT

RAPPORT-ID: 6178671-002 rev.01



Figur 12. Plastiska töjningar vs last då infästning i öra 2. Vid tiden 1 s har hela lasten på 4606 N lagts på
Överst: Infästning till råspont
Underst: Infästning till läkt

8.2 Skruvar och hålkanttryck

I Tabell 3 är laster och utnyttjande av skruvar redovisade. För skruvar som fäster betongfäste till tak 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
Betongfäste-fotplåt	3730	15 000	2030	22 000	0.32
Betongfäste-läktfäste	6040	15 000	2100	22 000	0.48
Fotplåt-råspont	-	6000	8710	8700	1.00
Läktfäste-läkt	-	6000	8270	8700	0.95
Profil-betongfäste	2303	15 000	135	22 000	0.16



RAPPORT

RAPPORT-ID: 6178671-002 rev.01

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-råspont	4606	3125	1.47
Läktfäste-tak	4606	3844	1.20

I Tabell 5 är hållkantryck utvärderat för maxbelastade skruvar. Hållkantryck för fotplåt utvärderas ej då lasterna är små. För läktfästet tar skjuvlasterna på skruvarna ut varandra varför detta hållkantryck inte räknas.

Tabell 5. Kontroll hållkantryck

Position skruv	Max skjuvlast (N)	Kapacitet (N)	Utnyttjande
Skruvar till profil	2303	2440	0.94
Skruv betongfäste-fotplåt	3713	8540	0.43
Skruv betongfäste-läktfäste	5175	8540	0.61

9 Slutsatser

Analysresultaten visar att spänningar över de tillåtna uppkommer i samtliga kombinationer för takinfästningar till betongpannetak. Då profilen monteras till öra 1 fås kvarstående deformationer då en last på 2764 N läggs på medan för infästning till öra 2 fås kvarstående deformationer vid lasten 1382 N. För infästning till båda öronen fås alltså kvarstående deformationer innan den karakteristiska lasten på 3070 N lagts på. Deformationerna ökar kraftigt med ökande last men infästningarna havererar inte vid dimensionerande last.

Skruvarnas bärförmåga och hållkantryckskapaciteten är tillräcklig för att klara den dimensionerande lasten på 4606 N.



RAPPORT

RAPPORT-ID: 6178671-002 rev.01

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 8 april 2019



Rapport_6178671_002_Betongfäste.pdf

(778843 byte)

SHA-512: e8824901cddb2be12d2d05a8df2e8b38bc788
e762d6f6ef7c3b5cf8a87a371f5517ba2f0874819bfc54
7b54ad9a774bfd7da8aef8f2c841f0b4bb67964ab24

Handlingarna är undertecknade av

2019-04-08 08:10:36 (CET)



Hanna Bruce, ÅF-Industry AB

hanna.bruce@afconsult.com
194.103.240.26

+46761463122
Undertecknat med SMS

2019-04-08 08:35:27 (CET)



Carl Sjöberg, ÅF-Industry AB

carl.sjoberg@afconsult.com
194.103.240.26

+46703791471
Undertecknat med SMS

2019-04-08 07:58:01 (CET)



Mikael Fridlund, ÅF-Industry AB

mikael.fridlund@afconsult.com
194.103.240.26

+46722410288
Undertecknat med SMS



Undertecknandet intygas av Assently



Rapport_6178671_002_Betongfäste.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: 28a4ac0fe50d7defa3e4f1ee5453de90bd1a808d4838f9c9ae2748c697e
92026eea75e82043f8f15825520ef055992e94e5aff6975de7331f37c39ba27e0b95f

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.