



CHALMERS

Analys av Takstol typ A utan dragstag

Examensarbete för högskoleingenjörsexamen i maskinteknik 180hp

Anders Alfredsson

Emil Tydén

Examinator: Johan Ahlström

Institutionen för industri- och materialvetenskap

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2021

Examensarbete IMSX20

Analys av Takstol typ A utan dragstag

Examensarbete för högskoleingenjörsexamen i maskinteknik 180hp

Anders Alfredsson

Emil Tydén

Institutionen för industri- och materialvetenskap

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2021

Analys av Takstol typ A utan dragstag

Examensarbete för högskoleingenjörsexamen i maskinteknik 180hp

Anders Alfredsson

Emil Tydén

© **Anders Alfredsson**

© **Emil Tydén**

Examinator: Johan Ahlström

Göteborg, 2021

Förord

Examensarbetet är utfört av Anders Alfredsson och Emil Tydén på Chalmers tekniska högskola inom programmet maskinteknik (180 HP). Examensarbetet omfattar 15 HP av utbildningen.

Examensarbetet är utfört på Vara Byggkonsult AB som ligger i Vara.

Framför allt vill vi tacka Martin Gustafsson på Vara Byggkonsult AB som med stort engagemang bidragit med hjälp under arbetets gång. Tack går även till Jonas Källberg på Bjarke Takstolar AB som bidragit med både takstolar och kunskap.

Det har varit ett utmanande projekt som vi har lärt oss mycket av och har fördjupat våra kunskaper inom ämnet.

Ett stort tack går även till vår handledare och examinator Johan Ahlström som med kort varsel tagit an rollen som examinator. Vi önskar också att tacka vår före detta handledare Gert Persson som givit stöd och bidragit med insikter i arbetet.

Göteborg, juni 2021.

Anders Alfredsson

Emil Tydén

Sammanfattning

Detta examensarbete är utfört på uppdrag av Vara Byggkonsult AB, en byggkonsult med stor variation på uppdrag som bland annat innefattar bygglovshandlingar och konstruktionsberäkningar.

Projektet grundar sig i en farhåga om att en takstolskonstruktion som tillverkas av Bjärke Takstolar AB uppvisar felaktiga deformationsvärden.

Till grund för detta projekt ligger de belastningsprov som utförts, där takstolen utsatts för laster och motsvarande deformationer uppmätts, dessa har sedan analyserats för att se hur karaktären för deformationen är och vilka risker den medför.

Med grund i dessa resultat har en modifierad takstol tagits fram, där deformationen har minskats med minimal påverkan på estetiken och takstolens grundfilosofi. Detta koncept består av den ursprungliga takstolen, där de bågiga sidorna förbinds med ett dragstag med mått 45 mm * 120 mm på ett vertikalt avstånd ifrån takstolens upplag på 885 mm.

Detta bedöms vara tillräckligt för att uppfylla de deformationsvärden som takstolskonstruktionen ursprungligen uppvisade, och samtidigt vara en ekonomisk och genomförbar lösning.

Abstract

The thesis work has been executed on behalf of Vara Byggkonsult AB, a company that works with a big variety of tasks including construction calculation and building permits.

The project was first intended because of a fear that a truss produced by Bjärke Takstolar AB shows incorrect values in deformation.

Results from the project is based on a real-life experiment where different types of trusses have been put under load. Corresponding deformations has been measured and analysed to find out how the trusses are behaving under stress and how deformation of them can cause problems in houses.

With help from these results a modified truss has been engineered to decrease deformation but at the same time retain the characteristics of the truss that enables high clearance. This model is based on the original truss but includes a pull rod that connects both sides of the truss. The pull rod has the dimensions 45 mm * 120 mm and is placed 885 mm from the underside of the truss.

This is estimated to be enough to achieve the given values of deformation and at the same time remain a feasible and economical solution.

Innehåll

Beteckningar	1
1. Inledning	2
1.1 Bakgrund.....	2
1.2 Syfte	2
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Precisering av frågeställning	3
2. Teoretisk referensram	4
2.1 Bakgrund till takstolar.....	4
2.2 Eurocode och svensk standard	4
2.3 Takstolstyper	4
2.3.1 Fackverkstakstol.....	4
2.3.2 Saxstaktol	5
2.3.3 Sadelbalk och sadeltak med ramar	5
2.3.4 Ramverkstakstol.....	5
2.4 Trä som konstruktionsmaterial.....	6
2.4.1 Materialegenskaper	6
2.4.2 Handelssortering av trä	7
2.4.3 Hållfasthet och klassificering	7
2.5 Produktion av takstol	8
2.5.1 Tillverknings sätt	8
2.5.2 Dimensionering av takstol	9
2.5.3 Belastning av takstol	10
3. Metod	11
3.1 Förstudie	11
3.2 Strategi och antagande	12
3.3 Lastidentifiering	13
3.3.1 Egentyngd	13
3.3.2 Vindlast	13
3.3.3 Snölast.....	13
3.3.4 Kombination av laster	14
3.4 Belastningsprovning	15
3.5 Analys av provdata	18
3.6 Översättning av laster från provning.....	18
3.7 CAD/FEM-modell	19
3.8 Utvecklad takstol	19

4. Resultat	20
4.1 Belastningsprovning	20
4.1.1 Kvaliteter på takstolar	20
4.1.2 Takstol för takstol	20
4.1.3 Deformationsförlopp nerskalade takstolar	28
4.2 Lastframtagning	31
4.3 Översättning av laster från provning.....	32
4.4 Resultat modellering	33
4.4.1 Provtakstol	33
4.4.2 Undersökt takstol	36
4.4.3 Utvecklad takstol.....	38
5. Diskussion.....	40
5.1 Felmarginaler	40
5.2 Konsekvenser	40
5.4 Produktion.....	41
6. Slutsats	42
7. Kommande arbeten	43
8. Referenser	44
9. Bilagor	46
Bilaga 1. Bjärke husritning	46
Bilaga 2. Vinkeländring nerskalade takstolar	47
Bilaga 3. Resultat bilder provning	49
Bilaga 4. Beräkning punktlast och utbredd last	53
Bilaga 5. Takstol med Kerto.	57

Beteckningar

w_e = Utvändig vindlast [kN/m²]

(z_e) = Referenshöjden [m]

$q_p(z_e)$ = Karakteristiska hastighetstrycket [kN/m²]

c_{pe} = Formfaktor för utvändig vindlast [-]

$I_v(z)$ = Vindriktningens turbulensintensitet [-]

ρ = Luftens densitet [kN/m³]

v_m = Vindens medelhastighet [m/s]

c_r = Terrängens råhetsfaktor [-]

c_0 = Topografifaktor [-]

v_b = Referensvindhastigheten [m/s]

k_r = Terrängfaktor [-]

Z = Höjden på byggnaden [m]

z_0 = Råhetslängden [m]

σ_v = Turbulensens standardavvikelse [-]

k_1 = Turbulensfaktorn [-]

ψ_0 = Dimensioneringsfaktor mot brottgräns [-]

ψ_1 = Dimensioneringsfaktor mot bruksgräns [-]

γ_d = Partialkoefficient beroende på säkerhetsklass [-]

G_k = Permanent last [kN]

Q_k = Variabel last [kN]

1. Inledning

Byggindustrin är en av de industrier som ofta går starkt i jämförelse med andra industrier, nybyggnad av privata bostäder, hyresrätter och idrottsanläggningar sker ständigt. De senaste fem åren har antalet påbörjade nybyggen av flerbostadshus och småhus legat mellan 50- och 60 000 per år. [1]

I och med detta pressas byggföretag till att komma med nya lösningar för att förbättra byggnadskonstruktioner, både dess hållfasthet och lönsamma kostnadseffektiva lösningar. Innovativa lösningar kan tyvärr ibland leda till att säkerheten förbises. Ett sådant exempel är raset av Tarfalahallen i Kiruna som var en idrottsanläggning. Anledningen till raset berodde på den typ av takstol som beslutats för att användas i konstruktionen. De bärande limträbalkar som var skarvade i mitten med spikplåt stabiliserades inte tillräckligt av dess underliggande dragstag, små snedställningar av dessa dragstag bidrog till att takstolarna fick försämrade stabilitet och raset var ett faktum. [2]

Projektet berör en riskbedömning av en typ A takstol utan dragstag, målet är att lyfta fram eventuella risker som konstruktionen kan orsaka, samt att presentera en utvecklad takstolskonstruktion för att minimera de risker som lyfts fram i föregående punkt.

1.1 Bakgrund

Vara Byggkonsult AB är ett företag som arbetar med konsultation till privatpersoner, byggföretag och föreningar. Arbetsområden som företaget bistår med är bygglovsansökan, konstruktionsberäkning och byggledning, samt diverse kontrollberäkningar och undersökningar. Vara Byggkonsult AB har som önskan att få undersöka en takstolskonstruktion som Bjärke Takstolar AB producerar, då de anser att denna konstruktion kan medföra problematik. Uppdraget är alltså inte beställt av Bjärke takstolar, som är producent av takstolen, utan av Vara Byggkonsult AB. Bjärke takstolar AB vill producera takstolar med god kvalitet som inte orsakar någon form av problematik.

1.2 Syfte

En målsättning är att kartlägga eventuella risker som finns med takstolskonstruktionen. Ifall takstolens risker anses vara höga skall en varningstext tas fram som beskriver problem som takstolen kan medföra.

Ett annat syfte med projektet är att utveckla den befintliga konstruktionen för att förminska eventuella deformationer, men samtidigt behålla takstolens nuvarande estetik som tillåter hög takhöjd.

1.3 Avgränsningar

- Under projektet analyseras endast en takstol, inte ett system av flera takstolar.
- Praktiska experiment skall genomföras, dessa genomförs inte på fullskaliga takstolar, utan på mindre varianter, då resurser för att genomföra dessa prover på fullskaliga takstolar inte finns.
- En takstol med rekommenderade åtgärder kommer att testas i mån om tid.
- Tester kommer utföras med förenklade belastningar, punktlast istället för utbredda laster. Varierande och cykliska laster kommer inte kunna testas. Även detta då resurser för att genomföra prover med utbredda laster inte finns.
- Kostnadsuppskattning för takstol med åtgärder kommer inte att göras, då detta innefattar materialkostnader och förändring av nuvarande produktion, som inte omfattas av denna rapport.

1.4 Precisering av frågeställning

1. Hur mycket deformeras takstolen vid belastningsökningar?
2. Är deformationen jämn till brott och hur kommer takstolen att deformeras?
3. Deformationen av takstolen kan medföra att ett av upplagen flyttas. Vilka konsekvenser/risker kan detta medföra?
4. Hur stor blir deformationen om man ökar tvärsnittet i nock?
5. Kan man utesluta några risker genom att öka tvärsnittet i nock? När är i sådant fall tvärsnittet i nock tillräckligt stort för att motverka dessa risker?
6. Vilka samband kan man dra av skillnaderna mellan tesen i punkt 1 och 4?
7. Hur kan man konstruera takstolen för att begränsa dess ursprungliga svagheter?

2. Teoretisk referensram

I detta kapitel ges en allmän bakgrund av takstolar som bärverk samt beskrivs den undersökta takstolen mer ingående. Delar och processer som krävs för att producera en takstol redogörs för och en beskrivning ges av strategin under projektet, samt vilka antaganden som gjorts för att modellera takstolen i mjukvara.

2.1 Bakgrund till takstolar

Takstolar är ett av de bärande element som finns i yttertakskonstruktioner. Uppgiften som takstolen har är att bära upp laster som uppkommer på taket. Det innefattar bland annat egentygnd som uppkommer i takkonstruktionen, t ex vikt av tegelpannor, råspont och isolering. Övriga laster som takstolarna skall bära upp är exempelvis vind- och snölast. Specifika laster och lastkombinationer presenteras mer ingående i delkapitel 2.5.2 Dimensionering av takstol. Takstolar som bärverk finns i flera olika utföranden men förekommer i de allra flesta bostadshus i triangelform, så kallat sadeltak. Takstolen placeras och står på husets väggar, takstolens “upplag”.

2.2 Eurocode och svensk standard

“Dimensioneringsregler för bärverk är en av grundpelarna i de nationella byggreglerna. Europastandarderna för bärverksdimensionering – Eurokoderna – samordnar ländernas beräkningsregler och i stor utsträckning även kravnivåerna. På det globala planet tar man fram grundläggande principer samt i ökad utsträckning även mer konkreta direkt användbara dimensioneringsstandarder.

Sedan årsskiftet 2010/2011 är Eurokoderna myndighetskrav i Sverige.” [3]

Svensk standard kan ses som tillägg till eurokoderna, där Sverige har valt att ändra på kravnivåerna, det kan innebära att Sverige ställer högre krav än vad som är specificerat inom eurokoderna.

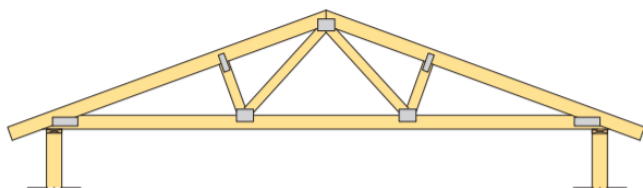
Denna rapport har utgått ifrån de krav och metoder som beskrivs i Eurokoderna samt i den svenska standarden som dikterar hur beräkningar och dimensioneringar går till.

2.3 Takstolstyper

Nedan presenteras ett antal olika takstolstyper som används i takkonstruktioner. [4]

2.3.1 Fackverkstakstol

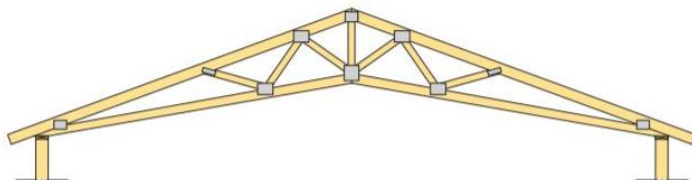
Typen fackverkstakstol är mycket vanlig och är fördelaktig då man önskar en stor spännvidd men samtidigt en stadig konstruktion. Konstruktionsvirke används oftast men även limträ. Ibland förses dessa takstolar med dragstag av stål. Fackverk innebär att balkar passas in mellan takbalkarna och dragstaget, oftast i mönster av ett eller flera W. Se figur 1 för takstol med fackverk i ett W.



Figur 1. Fackverkstakstol. Från [5]. Återgiven med tillstånd

2.3.2 Saxstaktol

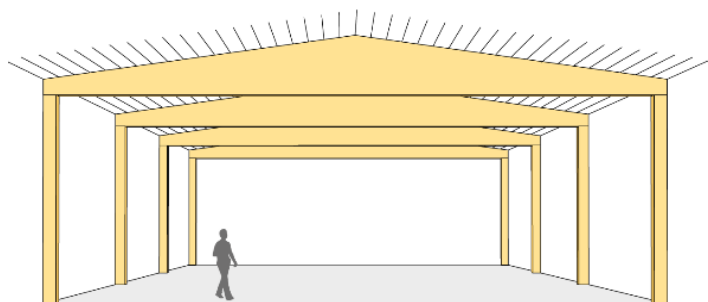
Detta är en takstolsvariant med fackverksprincip. Typen används när man önskar en högre invändig takhöjd. Principen går ut på att skapa ett utrymme mellan över- och underram där ett fackverk kan placeras. Skillnaden från en saxstaktol och en W-formad är att en saxstaktol inte har en horisontell underram. Se figur 2 för saxstaktol, notera underramens vinkel relativt det horisontella planet.



Figur 2. Saxstaktol. Från [5]. Återgiven med tillstånd.

2.3.3 Sadelbalk och sadeltak med ramar

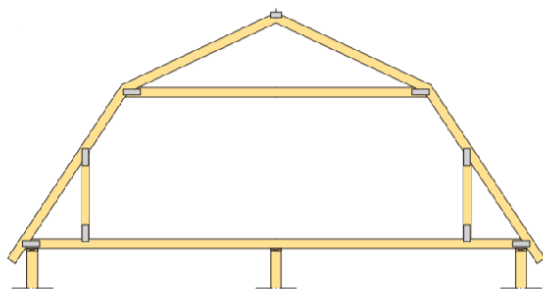
Denna takstolsvariant är lämplig att använda när man önskar en stor spännvidd. Se figur 3. Materialet i denna variant kan bestå av antingen konstruktionsvirke eller limträ, där limträ möjliggör störst spännvidd. Sadelbalken har oftast en rak undersida men kan ibland vara välvd för att tillåta en högre invändig takhöjd. [6]



Figur 3. Sadelbalkar med sadeltak och ramar. Från [6]. Återgiven med tillstånd.

2.3.4 Ramverkstakstol

Denna takstolsvariant används lämpligen i mindre byggnader med hög taklutning. I småhus kan denna variant användas med fördel, på grund av taklutningen tillåts vindsvåningen att inredas för att få större golvyta. Ramverkstakstol används också till mansardtak eller brutet tak, som i princip innebär att övervåningen blir en inredd vindsvåning. Denna variant kan tillämpas i stora villor. [6] Se figur 4.



Figur 4. Ramverkstakstol till mansardtak/ brutet tak. Från [5]. Återgiven med tillstånd.

2.4 Trä som konstruktionsmaterial

Trä används i de flesta huskonstruktioner i olika omfattningar. Det kan användas till bärande beståndsdelar, invändiga paneler samt inredning. Byggnadsmaterial delas in i två kategorier, snickerivirke och konstruktionsvirke. Kategoriseringen för konstruktionsvirke sker efter träets hållfasthetsegenskaper medan snickerivirke endast tar hänsyn till träets visuella egenskaper. Trots att stål och betong numera konkurrerar med trä som byggnadsmaterial så har trä ett antal egenskaper som är fördelaktiga i många i byggnadskonstruktioner. [7]

I Sverige används gran och furu när det kommer till konstruktionsvirke. Gran kan användas till synliga ändamål t ex paneler och lister även om dessa ändamål till största del består av furu. Ofta önskas furu istället för gran till invändiga attiraljer då gran innehåller mycket kvistar som inte alltid uppskattas på synliga väggar. Hållfasthetsegenskaperna för gran och furu är väldigt likartade, furu har några procent högre hållfasthet och är styvare. Materialdata från dessa träslag är dock tagna på perfekta provbitar som inte innehåller några defekter. Dessutom kan egenskaper som densitet, hållfasthet och E-modul i ett träslag variera med 20 - 40%, förutsatt att fiberstrukturen är ostörd.

2.4.1 Materialegenskaper

Trä är ett anisotropt material vilket betyder att hållfastheten varierar i materialets olika riktningar, variationen beror av fibrernas riktning i träet. Det finns tre huvudriktningar i trä, fiberriktning, radiell riktning och tangentiell riktning. Den tangentiella riktningen riktar sig vinkelrätt mot fibrerna och parallellt med årsringarna i träet. Den radiella riktningen är vinkelrätt mot både fiberriktningen och årsringarna.

Hållfastheten längs stammens längsriktning är betydligt högre än vinkelrätt mot den och detta gäller för samtliga laster, vare sig om träet belastas med drag, tryck eller böjning. Hållfastheten för tryck är mycket hög i fiberriktningen medan den endast är 1/6 så hög vinkelrätt mot fibrerna.

Draghållfastheten är också hög i fiberriktningen men är endast 1/30 så hög tvärs fiberriktningen. En egenskap som gör trä konkurrenskraftigt på marknaden är dess specifika styrka, dvs dess styrka i förhållande till vikten. Styrkan i trä är också beroende av fuktighet och temperatur, högst styrka har trä då det är torrt och har låg temperatur. Träets värmeisolerande förmåga är god och dess specifika värmekapacitet är relativt hög.

En utstående egenskap som trä har är dess brandegenskaper. Till skillnad från t ex stål som klassas obrännbar så behåller trä till stor del sina hållfasthetsegenskaper vid brand. Detta beror på att den brända ytan på träet bildar ett kolskikt som skyddar resten av träet. Medan stål som inte fattar eld tappar sin bärförmåga. Se figur 5. [8]



Figur 5. Stål i jämförelse med trä vid brand. Från [9]. Återgiven med tillstånd.

2.4.2 Handelssortering av trä

Då trä växer vilt i naturen uppstår olika defekter i materialet såsom kvistar, röta och insektsangrepp. Dessa defekter måste tas i beaktning för all typ av konstruktionsarbete i trä då det inte är möjligt att sälla bort allt icke kvalitativt trä då alltför stor del av trädet skulle gå till spillo. Istället kategoriseras trä in i olika kvalitetsklasser beroende på vad de har för defekter. Virke sorteras baserat på utseendet, trä med färre och mindre kvistar sorteras som högkvalitativt trä. Trä med hög kvalitet kan komma att användas som konstruktionsvirke men även detta virke måste klassificeras utifrån hållfasthet. Dock avser standarden enbart hållfasthetsegenskaperna och inte de visuella. Konstruktionsvirke kan i och med detta tillåtas ha rötangripna kvistar i samma utsträckning som friska. Det innefattar även så kallad blånad, vilket inte alltid uppskattas vid synliga bärverk. Blånad är en typ av svamp som kan uppstå i träet då det har lagrats för länge mellan sågning och torkning. Fenomenet påverkar inte hållfastheten. [10]

2.4.3 Hållfasthet och klassificering

För att sortera virke till bärande konstruktioner görs en hållfasthetssortering främst baserad på kvistarnas storlek och placering på virket. Processen sker enligt standarden SS-EN 14081-1 och är delvis maskinell då träet röntgas. Den innefattar också en visuell kontroll för bland annat sprickor, svampangrepp och snedfibrihet. Därefter kan träet placeras i någon av klasserna C14, C18, C24, C30 och C35, C24 har mycket hög hållfasthet och är lämplig att användas i t ex takstolar och golvbjälklag. Storleken på kvistarna i C24 tillåts vara $\frac{1}{4}$ av virkets bredd och $\frac{1}{2}$ av virkets tjocklek. Samt att toppbrott inte får finnas sig $\frac{1}{4}$ in på virkets bredd. Toppbrott är en skada som uppstått när trädets topp har brutits. Det kan bidra till att fibermönstret i träet skadas och orsaka röta, och därmed påverka hållfastheten negativt. [11] Klassen C24 innebär att dess böjhållfasthet är 24 MPa. C14 och C35 har böjhållfasthet 14 MPa respektive 35 MPa. [12]

2.5 Produktion av takstol

Följande kapitel redogörs produktionsprocessen för en takstol. Från dimensionering till sammansättning.

2.5.1 Tillverkningsätt

För att tillverka en takstol används olika klasser av trä, där klassen indikerar styrkan på materialet som används, i denna rapport kommer endast klassen C24 beaktas, då det är denna som används på den aktuella takstolen. När materialet är bestämt sågas det till rätt längder och vinklar, för att därefter placeras i en monteringsjigg. Se figur 6. Denna jigg placerar de individuella delarna av takstolen korrekt för att få önskad geometri. En spikplåt placeras därefter på båda sidor av skarvarna mellan de individuella balkarna, och pressas sedan med stor kraft in i materialet för att förbinda balkarna till en enhet. Se figur 7 och 8.



Figur 6 och 7. Monteringsjigg och spikplåtspres.



Figur 8. Spikplåtspres.

Spikplåten består av konstruktionsstål (S350GD), som sedan belagts med zink (Z275) för att motverka korrosion. Det finns olika utformningar av spikplåtar, men i denna rapport behandlas en spikplåt som är tunn med utböjda piggar som pressas in i materialet. [13] I den undersökta takstolen är spikplåten i nock 1,3 mm tjock med 15 mm långa piggar. Se figur 9 och 10.



Figur 9. Undersida av avkapad spikplåt.



Figur 10. Ovansida av avkapad spikplåt.

2.5.2 Dimensionering av takstol

För att dimensionera en takstol tas den aktuella lastprofilen fram, där belastningar som den kommer utsättas för analyseras. Dessa delas in i tre huvudgrupper, permanenta-, variabla och nyttiga laster. Den permanenta lasten är den lasten som är konstant, detta inbegriper t ex egentygden på takstolen, råspons, takpapp och takpannor. Variabla laster är de laster som varierar med tiden, så som vind och snölast. Dessa varierar beroende på vart huset är placerat. Nyttiga laster är sådant som kontorsmöbler, inredning osv, i detta fall när takstolen är placerad ytterst mot taket kan en nyttig last vara exempelvis en person som gör underhåll på taket.

För att på ett snabbt och exakt sätt konstruera en takstol och dimensionera denna finns ett antal olika programvaror, en av dessa är Pamir, som används av Bjärke takstolar AB.

“Pamir är MiTeks marknadsledande program för beräkning av takstolar, väggelement och Posi-Joist. Det är utvecklat av vårt europeiska utvecklingsteam och är ett kraftfullt och mångsidigt verktyg som kombinerar CAD, planer och beräkningar med fullständig dimensionering enligt EK5 och de aktuella normerna. Pamir används endast av tillverkare som är licensierade av MiTek.

Genom att samla planer, dimensionering, utskrifter och 3D i ett enda program ersätter Pamir det som traditionellt har varit uppdelat i flera olika program. Att lära sig programmet blir också enklare eftersom det bara finns en uppsättning verktyg att lära sig samtidigt som integreringen av flera olika områden innebär hög precision då användaren tydligt kan se hur de olika delarna av konstruktionen samverkar med varandra.” [14]

Genom att använda Pamir följs bland annat standarder och bestämmelser automatiskt, och underlättar beräkningarna. Det medför också en stor tidsbesparing då manuellt arbete med att söka information och leta i bestämmelser begränsas.

2.5.3 Belastning av takstol

För att bestämma belastningen som takstolarna utsätts för behöver den totala belastningen på taket beräknas, det som tas i beaktande är alltså variabla laster, permanenta laster och nyttiga laster.

Variabla laster är i detta fall vindlast och snölast, där vindlast beräknas med hjälp av det karakteristiska hastighetstrycket och en formfaktor för vindlasten, som beror på bland annat geometrin på taket. [15]

För att beräkna det karakteristiska hastighetstrycket behövs luftens densitet, vindriktningens turbulensintensitet och vindens medelhastighet, som beror på terrängen runt huset samt referensvindhastigheten för området där huset skall stå.

Egentyngd på taket beräknas genom att addera all tyngd som ligger på takstolarna och deras egenvikt. Detta innebär att all takbeklädnad som tex takpannor, gipsskivor, papp etc adderas till takstolarnas vikt. Denna tyngd är given ifrån Bjärke takstolar AB.

Snölast på taket beräknas utifrån det karakteristiska värdet för snölast, som varierar beroende på vilket område som är intressant. I detta fall studeras snölasten för Sverige, på havsnivå. [16]

I detta fall då nock är placerad centralt på taket, dvs taket är liksidigt och det antas att snön är jämnt fördelad över hela taket.

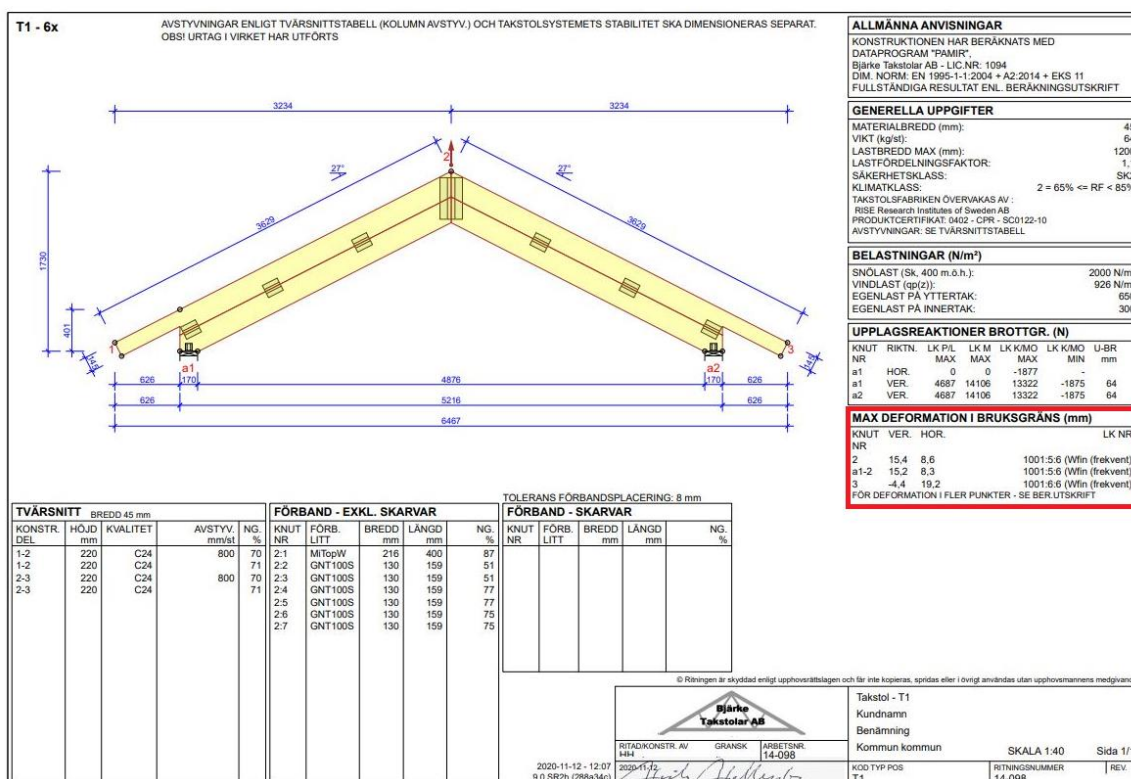
3. Metod

I detta kapitel beskrivs tillvägagångssättet som använts under arbetets gång.

3.1 Förstudie

En förstudie var det första som genomfördes i projektet för att på så sätt utöka kunskapen kring det område som projektet innefattade. Bland annat för att förstå hur trä beter sig som konstruktionsmaterial men också hur takkonstruktioner ser ut i olika utföranden. En förstudie var också viktig för att komma i kontakt med begrepp och uttryck som används inom byggbranschen.

Därefter studerades takstolen i den ritning som Bjärke Takstolar AB angivit. Där noterades laster som den dimensionerats efter samt deformationsvärden i olika punkter. Dessa värden användes som referens och frågan som ställdes var om dessa är korrekta. Se figur 11.



Figur 11. Ritning från Bjärke takstolar på undersökt takstol. Se markerad röd ruta för deformationsvärden.

Ytterligare ritningar som studerades var en 3D-vy av ett hus där taket och takstolarna ingår samt en ritning av taket från ovan. Enligt ritningen är det givna husets takyta $31m^2$. Se bilaga 1.

Då en modellering i CAD skulle tas fram för att möjliggöra simulering av utvecklade koncept utfördes i början av projektet enkla modelleringar utifrån ritningar av takstolen, för att bilda förståelse kring de verktyg som kan tänkas vara lämpliga att använda till takstolens modellering.

En central del inom projektet innefattade ett belastningsexperiment och en del i förstudien riktade sig in till hur man skulle kunna genomföra ett sådant experiment.

De laster som appliceras på modellen utgår ifrån Eurocode standarder. Dessa standarder lägger grunden till de lastfall som beräknas.

3.2 Strategi och antagande

Genom hela processen med provning, modellering och simulering, har de resultat som observerats tidigare legat till grund för de beslut och antaganden som har tagits. Detta innebär att denna rapport endast kan dra slutsatser om just de takstolar som behandlas här, då dessa antaganden inte nödvändigtvis gäller för någon annan takstolsmodell.

Då provning av takstolen som undersöks i denna rapport inte kunde genomföras utfördes dessa test på en liknande variant. Resultaten från denna utgör grunden till den strategi som har genomförts. Den liknande takstolen som är lite större och med brantare takvinkel ger slutsatser som antas även gälla för den aktuella takstolen. Denna provade större takstol benämns i denna rapport som provtakstol.

När provdata analyseras ses att deformationen i upplaget är proportionell mot belastningen för samtliga provade takstolar och att deformationen är linjär fram till brott. Detta medför att materialet som takstolen består av kan betraktas som likformigt, dvs ett isotropt material som har samma egenskaper i samtliga riktningar. Likaså görs förenklingen att spikplåtarnas eftergivlighet relativt träet försummas.

Genom att göra denna förenkling medför det att modellen som analyseras i FEM-programmet kan modifieras genom att ändra dess elasticitetsmodul. Denna modifiering görs för att uppnå samma deformation i programvaran som uppstod under provningen vid samma belastning, och möjliggör att kontrollera hur ett utvecklat koncept står sig jämfört med det befintliga.

När passande elasticitetsmodul i analysen uppnåtts simuleras de olika belastningarna som genomfördes under provningen i FEM-programmet och de motsvarande deformationerna avläses. En avvikelse mellan de verkliga deformationerna och de simulerade observeras, och en felfaktor införs för att korrigera dessa. Denna faktor varierar mellan de olika belastningsvärdena och när division av de simulerade deformationerna utförs med denna faktor erhålles de verkliga deformationerna som observerades under proverna.

Elasticitetsmodul samt felfaktor används därefter för att simulera de deformationer som uppstår på den aktuella takstolen under belastningar som använts under provningen, med hjälp av detta kan goda slutsatser dras om hur den aktuella takstolen beter sig under belastning, även om den inte har provats.

För att minska de deformationer som uppstår tas nya koncept fram, och dessa simuleras på samma sätt för att utreda om deras deformationer minskat jämfört med deformationerna erhållna från den aktuella takstolen.

3.3 Lastidentifiering

I följande avsnitt redogörs hur laster på taket tas fram.

3.3.1 Egentyngd

Egentyngd på taket beräknas genom att addera all tyngd som ligger på takstolarna, dess egen vikt inkluderad. Detta innebär att all takbeklädnad som tex takpannor, gipsskivor, papp etc adderas till takstolarnas vikt. Denna tyngd är given ifrån Bjärke, och är $950 \frac{N}{m^2}$

3.3.2 Vindlast

Utvändig vindlast, $w_e \left[\frac{kN}{m^2} \right]$, verkar som ett tryck mot taket, och beräknas enligt:

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe} \quad (1)$$

Där q_p är det karakteristiska hastighetstrycket, $c_{pe}[-]$ är en formfaktor för utvändig vindlast och $(z_e)[m]$ är referenshöjden för vindlasten. [15]

För att beräkna $q_p(z_e) \left[\frac{kN}{m^2} \right]$ används följande formel:

$$q_p(z_e) = [1 + 6 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) \quad (2)$$

Där $\rho \left[\frac{kN}{m^3} \right]$ är luftens densitet, $I_v(z)[-]$ är vindriktningens turbulensintensitet och $v_m \left[\frac{m}{s} \right]$ är vindens medelhastighet.

v_m beror på terrängens råhet, topografi och referensvindhastigheten $\left[\frac{m}{s} \right]$ i området, den beräknas med hjälp av följande ekvation.

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b \quad (3)$$

Där $c_r(z)[-]$ är terrängens råhetsfaktor och $c_0(z)[-]$ är en topografifaktor. $v_b \left[\frac{m}{s} \right]$ är referensvindhastigheten, som beror på området.

$c_r(z)$ beräknas med ekvationen $c_r(z) = k_r * \ln \frac{z}{z_0}$ där $k_r[-]$ är terrängfaktorn, $z[m]$ är höjden på byggnaden, och $z_0[m]$ är råhetslängden.

För att beräkna turbulensintensiteten används $I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$, (5), där $\sigma_v[-]$ är turbulensens standardavvikelse och beräknas med $\sigma_v = k_r * v_b * k_1$, där $k_1[-]$ är turbulensfaktorn.

När $q_p(z_e)$ bestämts behövs endast formfaktorn $c_{pe}[-]$ för att bestämma vindlasten som påverkar taket, denna slås upp i tabell beroende på typ av tak och dess lutning. [17]

3.3.3 Snölast

Snölast på taket beräknas utifrån det karakteristiska värdet för snölast, som varierar beroende på vilket område som är intressant. I detta fall studeras snölasten för Sverige, på havsnivå, där det karakteristiska värdet antas till $2000 \frac{N}{m^2}$. [16]

I detta fall då nock är placerad centralt på taket, dvs taket är liksidigt antas att snön är jämnt fördelad över hela taket.

3.3.4 Kombination av laster

Vid dimensionering av takstolen med hjälp av partialkoefficientmetoden i brottgränstillstånd används en säkerhetsklass, som avgörs beroende på hur stor risk det anses vara för personskada om brott inträffar. I detta fall anses säkerhetsklass 2 vara befogad, och detta ger att partialkoefficienten $\gamma_d=0,91$ [18]

För att kombinera lastfallen och få ut en dimensionerande last används ψ faktorer, dessa avgör hur stor del av de olika lasterna som blir dimensionerande. Det finns olika ψ faktorer för olika dimensioneringsfall, de som används här är ψ_0 , som är dimensionering mot brott, och ψ_1 som är dimensionering mot bruksgräns. I detta fall blir ψ som synes i tabell 1.

Tabell 1. Ψ faktorer vid brott- och bruksgräns.

Last	ψ_0	ψ_1
Vindlast	0,3	0,2
Snölast	0,7	0,4

För att kombinera lasterna och beräkna dessa vid brottgränstillstånd används två olika ekvationer, 6.10a och 6.10b. Båda ekvationerna inkluderar permanenta och variabla laster, där permanenta laster anses vara egentygnder och variabla laster så som vind- och snölast. Ekvation 6.10b tillämpar den största variabla lasten som en huvudlast och resterande som variabla laster.

Båda ekvationerna beräknas, och sedan används den ekvation som ger störst totala last som den dimensionerande lasten. [19]

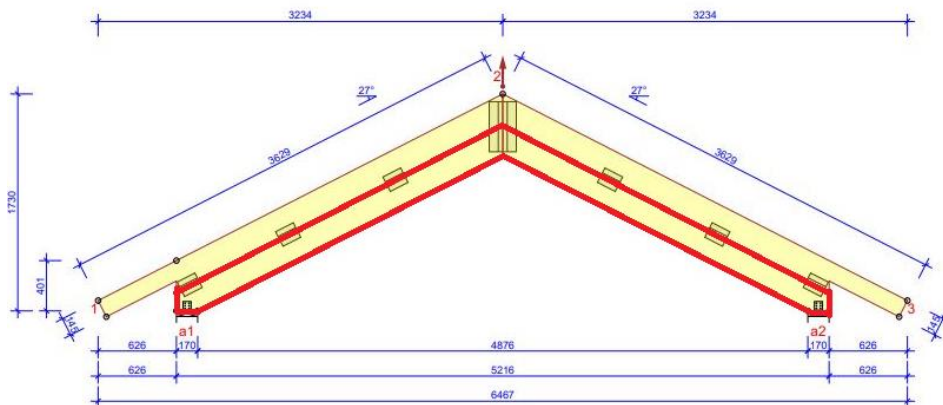
Tabell 2. Permanenta och variabla laster

Last	6.10a	6.10b
Permanent ogynnsam	$\gamma_d * 1,35 * G_k$	$\gamma_d * 0,89 * 1,35 * G_k$
Permanent gynnsam	$1,00 * G_k$	$1,00 * G_k$
Variabel huvudlast	-	$\gamma_d * 1,5 * Q_k$
Samverkande variabla laster:		
-Största last	$\gamma_d * 1,5 * \psi_0 * Q_k$	$\gamma_d * 1,5 * \psi_0 * Q_k$
-Övrig last	$\gamma_d * 1,5 * \psi_0 * Q_k$	

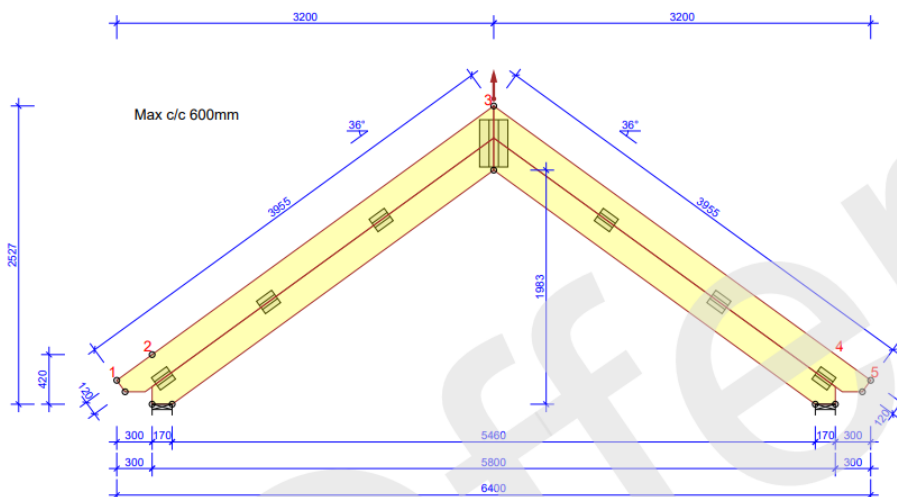
3.4 Belastningsprovning

Provningen utförs för att ta reda på hur takstolen beter sig från obelastat fall till brott. Utöver detta används provningsresultaten för att konstruera en modell av takstolen i FEM som har samma deformationsegenskaper som den verkliga. På så sätt kan ett nyutvecklat koncept tas fram i FEM som ger trovärdiga deformationsresultat, då ett utvecklat koncept inte är möjligt att provbelasta.

Fem stycken takstolar provas varav fyra stycken består av de undre balkar som utgör takstolen, dessa benämns som nerskalade takstolar i denna rapport. Samt en fullskalig variant som tidigare nämnts, provtakstol. Se figur 12 och 13.



Figur 12. Nerskalad takstol markerad med rött ur ordinarie takstols ritning.



Figur 13. Ritning av provtakstol.

De fyra nerskalade takstolarna är producerade i tre olika kvaliteter, två är perfekt tillverkade medan de andra två är tillverkade med inbyggda defekter i form av ett överdrivet spel mellan balkarna i nock, 2 respektive 5 millimeter. Detta spel är intressant att studera under provningsprocessen då ett stort spel kan påverka hållfastheten negativt. Provtakstolen är en annan variant än den takstolen som undersöks, den har samma materialkvalitet och konstruktionsprincip, utan underram eller dragstag. De faktorer som skiljer de två åt är att de är dimensionerade efter olika lastkombinationer. Den undersökta har 1200 mm centrumavstånd medan den provade har 600 mm centrumavstånd. Samt att den provade är högre med brantare takvinkel och större spannvidd.

Anledningen till att nerskalade takstolar provas istället för enbart fullskaliga är för att rent praktiskt kunna utföra experimentet. Mindre takstolar kräver mindre krafter samt mindre stötning ifall de deformeras åt icke önskade riktningar. Principen för de nerskalade är fortfarande densamma, dvs enbart en spikplåt i nock som binder samman balkarna. Anledningen till att en fullskalig takstol ändå provas är för att undersöka om förskjutningarna korrelerar med de mindre varianterna.

Takstolarnas fria upplag placeras på två metallplåtar som ligger på varandra med ett lager av kullagerfett emellan. Fettet bildar en film som gör att upplaget kan förskjutas på den övre plåten relativt underlaget med låg friktion. Se figur 16. I denna ände placeras två profilbalkar av stål som står på var sin sida av takstolen för att förbättra sidostabiliteten, dessa skruvas fast i underlaget. Se figur 19. Den andra änden placeras mot en vägg och stabiliseras med hjälp av regler för att förhindra att takstolen rör sig i sidled. Se figur 17. På ena sidan av takstolen placeras en traktorskopa som förhindrar takstolen att våldsamt välta vid brott. På andra sidan placeras en traktor med gafflar som belastar takstolen. Remmar viras runt nock på takstolen och en kranvåg hängs fast i remmen. Kranvågen kopplas samman med traktorns gaffeljärn. Se figur 20. Då gafflarna pressas nedåt belastas takstolen med en punktlast som kan avläsas med kranvågen. De nerskalade takstolarna ges en lastökning på 1000 N vid varje mätning, medan den fullskaliga ges 2000 N lastökning mellan mätningarna.

Under provningen studeras takstolarnas deformation vid olika belastningar, samt hur de beter sig vid brott. De parametrar som läses av vid givna laster är upplagsförskjutning, förändring av spelet i nock, både i över- och underkant samt vinkelförändringen i nock. Belastningen mäts med en digital kranvåg av märket Mecmesin och vid brott loggas det högsta uppmätta värde som takstolarna klarar av. Vinkelmätningen sker med en smyginkel som hålls mot nocken och låses fast relativt balkarnas vinkel, en graderad vinkelmätare hålls mot denna och vinkel läses av. Spelet läses av med hjälp av bladmått i varierande dimensioner.

Anledningen att det ena upplaget hålls i en fix position medan det andra kan röra sig fritt är att Bjärkes beräkningsprogram använder sig av motsvarande randvillkor. Ena upplaget pinnas upp medan det andra utgör den totala deformationen, det tillåter också en relativt enkel mätningprocess samt en god stabilitet.



Figur 14 och 15. Takstol i teststation.



Figur 16. Fritt upplag på metallplåtar med kullagerfett.



Figur 17. Fast inspänt upplag mot vägg.



Figur 18 och 19. Profilbalkar som stöttelelare.



Figur 20. Kranvåg sammankopplad med takstol och traktorns gaffeljärn.

3.5 Analys av provdata

Utifrån experimentet så analyserades den data som samlats in. I första hand jämfördes resultaten för de nerskalade takstolarnas olika kvaliteter, för att på så sätt kunna upptäcka trender relaterat till belastningen. Exempelvis hur mycket takstolen deformeras innan brott. Samt vid vilken belastning sker brott och hur detta brott sker beroende på kvalitet.

Då belastningsprovningen utsatte takstolarna för punktlast i nock krävdes det en metod för att översätta denna last till utbredd last, dvs hur stor utbredd last motsvarar punktlast för samma deformation i upplaget. Detta görs för att kunna jämföra deformationsvärden från provningen med Bjärkes värden.

3.6 Översättning av laster från provning

Utifrån belastningsprovningen har deformationsvärden i upplaget tagits fram utgående ifrån punktlaster i nocken. För att kunna jämföra dessa deformationsvärden med Bjärkes värden så krävdes det att översätta punktlastens inverkan på deformationen till utbredd last. Dvs hur stor utbredd last motsvarar punktlast för samma deformation i upplaget, detta då den framtagna lasten enligt Eurocode är en utbredd last. Detta räknades ut med hjälp av balkteori där takstolen ses som en fritt upplagd rak balk. Momentet är som störst i mitten och skall vara lika stort i båda belastningsfallen. På så vis fås förhållandet mellan punktlast och utbredd last för samma deformation.

3.7 CAD/FEM-modell

Provtakstolen togs fram i Catia-V5 för att sedan beräkna denna med uträknade laster. Modellen är konstruerad för att efterlikna omständigheterna som behandlats under provningen, samt att efterlikna verkligheten i största möjliga mån. Detta innebär att modellen är fastlåst i det ena upplaget, för att kunna mäta deformationen i det andra upplaget som är friktionsfritt upplagt. Modellen är även låst i sitt plan, vilket innebär att ingen böjning kan ske ur planet. Totalt består takstolen av 2 undre balkar, 2 övre balkar, 2 stora spikplåtar samt 12 mindre spikplåtar. På samma sätt är modellen konstruerad, där spikplåtarna håller samman de olika balkelementen till en gemensam assembly. I FEM-modellen är spikplåtarna och balkelementen fastsatta med "fastened connection", vilket innebär att de olika elementen i spikplåten som är i kontakt med element i balkarna uppträder som en solid kropp.

FEM-modellen analyseras med samma laster som mätts upp i belastningsprovningen, förskjutningsvärdena kan då jämföras mot verkligheten. Då provningens mätningar gav linjärt ökade förskjutningar i upplaget anges modellen ett isotropt material, på så sätt kan materialets egenskaper modifieras för att anskaffa samma deformationsförhållande som provningens.

När modellen har modifierade materialegenskaper som medför liknande deformation som under provningen så appliceras samma materialegenskaper till den undersökta takstolens modell. Denna modell simuleras även under samma förhållanden som provtakstolens modell, dvs med samma villkor för sammansättning med spikplåtar och med samma belastning. Modellens förskjutningsresultat vid givna belastningar multipliceras med den felprocent som tagits fram utifrån provtakstolens förhållande mellan verklighet/ simulering. Dessa värden är de faktiska deformationsvärden som uppstår vid belastning. Utifrån denna modell kan utvecklade takstolsmodeller tillverkas som producerar rättvisa deformationsvärden.

3.8 Utvecklad takstol

Vid framtagning av ett utvecklat koncept utifrån den ursprungliga takstolen har diskussion skett i samband med Vara Byggkonsult och Bjarke Takstolar angående vilka dimensioner av konstruktionsvirke som är möjligt att använda till en utvecklad takstolsvariant. För att på så sätt kunna bestämma hur högt man kan placera tvärsnittet av exempelvis en underram. Virkets tjocklek skall vara densamma som takstolens tjocklek, dvs 45 mm. Därav utesluts limträ till den utvecklade takstolen då limträbalkars tjocklek är antingen 42 mm eller 56 mm när höjden av dessa balkar ligger mellan 180- och 270 mm. Därav är virket antingen för grovt eller tunt vid önskad höjddimension.

Då modellen i FEM har angivits ett isotropt material görs även samma förenkling till den utvecklade takstolens dragstag. Då dragstaget utsätts för mestadels dragkrafter tilldelas även denna ett isotropt material. Elasticitetsmodulen väljs utifrån egenskaper i dragning parallellt fibrerna hos hållfasthetsklassen C24, $E=11 \text{ GPa}$. [12]

4. Resultat

I följande kapitel redogörs för projektets resultat.

4.1 Belastningsprovning

Nedan presenteras de resultat som dokumenterats under belastningsprovningen av takstolarna. Mätningar som gjorts omfattar innan belastning, deformationsförloppet under belastning samt var takstolen deformeras.

4.1.1 Kvaliteter på takstolar

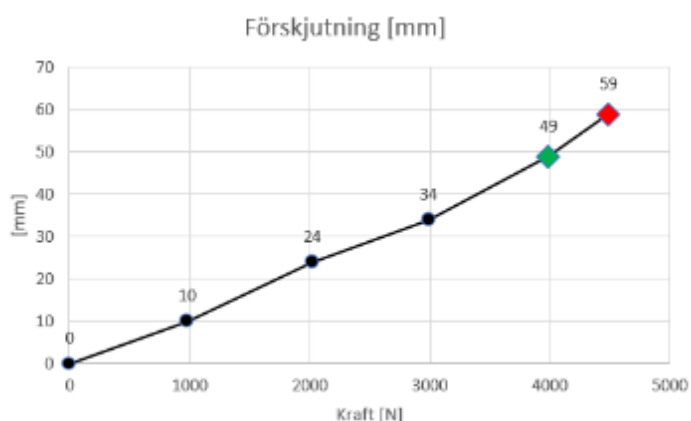
De nerskalade modellerna som är tillverkade i olika kvaliteter har analyserats innan provning. Vid mätning så är spelen inte exakt 0, 2 och 5 mm då de inte är konstanta från över- till underkant. Kvalitet 5 mm har 3 mm spel i underkant medan kvalitet 2 mm har 1 mm spel i underkant. De perfekt tillverkade har 1,1 mm respektive 2 mm spel i överkant, ett spel som uppkommit efter leverans, då spelet var knappt 1 mm. Den ena av de "perfekt tillverkade" takstolarna har en vinkel mellan balkarna i nock, dvs kontaktytan mellan balkarna är inte rak.

4.1.2 Takstol för takstol

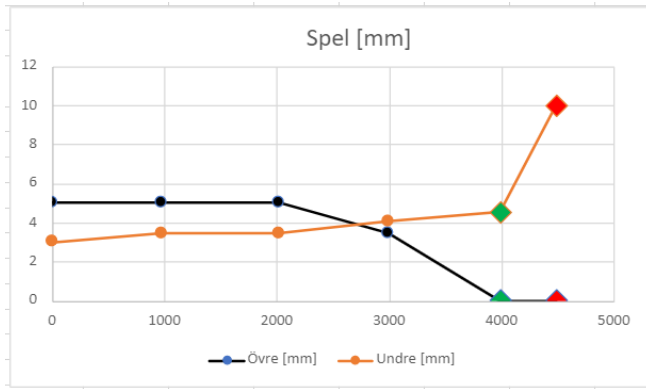
I detta avsnitt presenteras plottar av förskjutningar, spelförändringar och vinkelförändringar. De grönmarkerade punkterna i samtliga grafer markerar att plåten börjar att plasticera. Röd markering betyder brott. Förändring av vinkeln i nock är minimal, i och med detta är det svårt att se någon tydlig trend mellan kvaliteterna. Notera att förändringar av vinkeln kan bero på mätfel, då den totala differensen från obelastat till brott ligger inom en knapp grad. Se bilaga 2.

1. Kvalitet 5 mm

Denna takstol tålde minst last av samtliga med en brottlast på 4491 N. Förskjutningen i upplaget utvecklas linjärt fram till brott. Se figur 21. Spelet i överkant är konstant till 3000 N där spelet minskar, medan spelet i underkant ökar något vid första lastpåläggning innan den blir konstant fram till 3000 N. Se figur 22. Vid grönmarkeringen bockar sig plåten i överkant, under samma ögonblick uppstår kontakt mellan balkarna. Se figur 22 och 24. Bockningen bildar en anvisning ner till plåtens underkant, brott sker längs denna anvisning i plåten (rödmarkering). Se figur 21 och 25.



Figur 21. Förskjutning kvalitet 5 mm.



Figur 22. Spel kvalitet 5 mm.



Figur 23. Takstol 5 mm innan belastning.



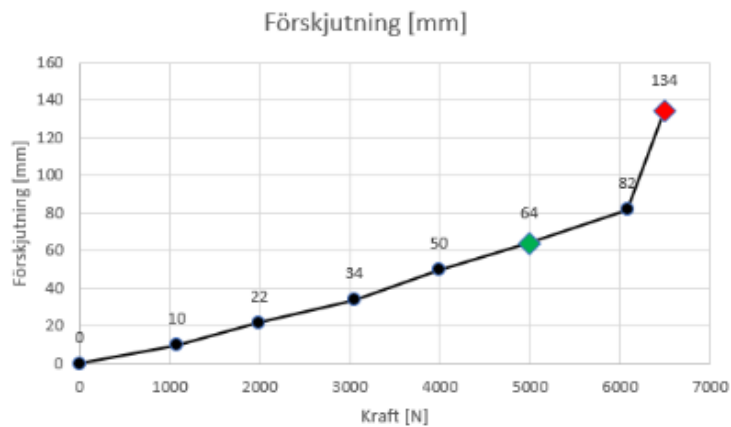
Figur 24. Spikplåten bockas och spel = 0 mm, innan brott.



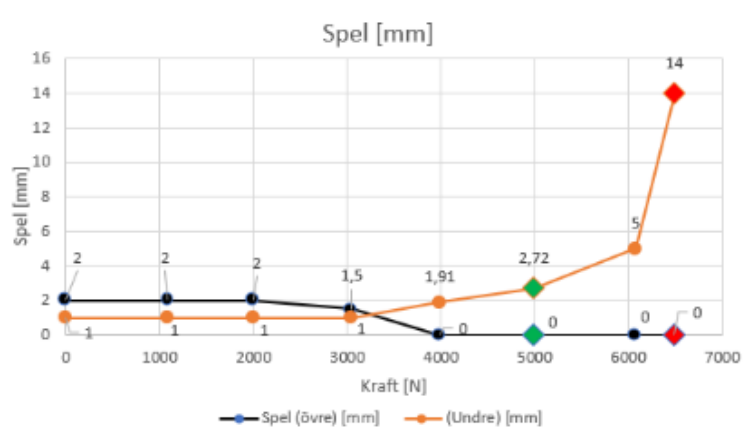
Figur 25. Brott i spikplåt vid 4491 N.

2. Kvalitet 2 mm

Denna takstols upplagsförskjutning utvecklas linjärt fram till brott, 6492 N. Vid 4993 N börjar plåten att bukta i överkant men upplaget fortsätter att förskjutas linjärt fram till brott. Se figur 26. Brott sker i spikplåten och initieras i underkant (röd markering). Spelet är konstant fram till 3000 N innan kontakt mellan balkarna sker vid 4000 N. Se figur 27.



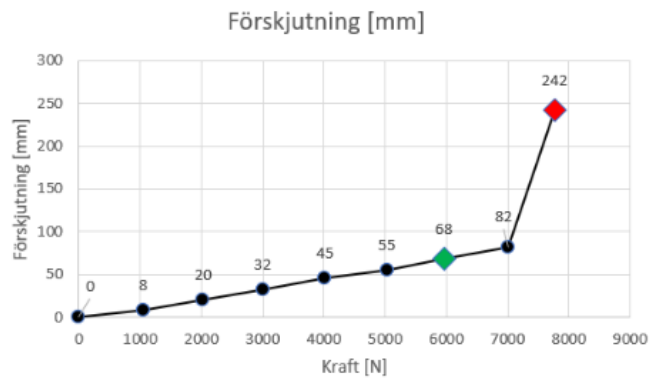
Figur 26. Förskjutning kvalitet 2 mm.



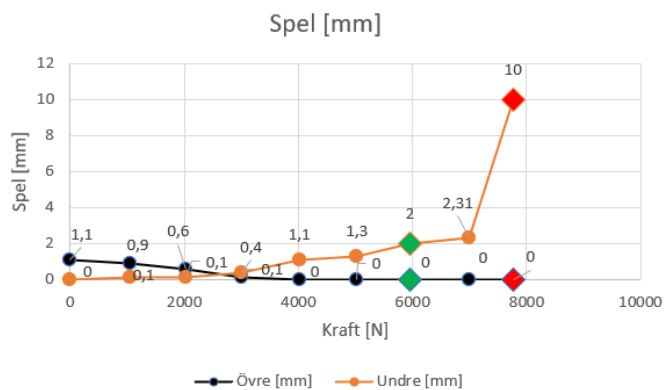
Figur 27. Spel kvalitet 2 mm.

3. Kvalitet 0 mm spel (Nr 1)

Denna takstol är den variant som tålde högst belastning, 7766 N. Upplagsförskjutningen sker proportionerligt mot kraften fram till brott och deformerar likaså jämnt efter att spikplåten börjar att bukta utåt. Se figur 28. Brott sker i spikplåten vid röd markering. Spelet förändras från första kraftpåläggning och kontakt i överkant av balkarna uppstår vid 4000 N. Se figur 29.



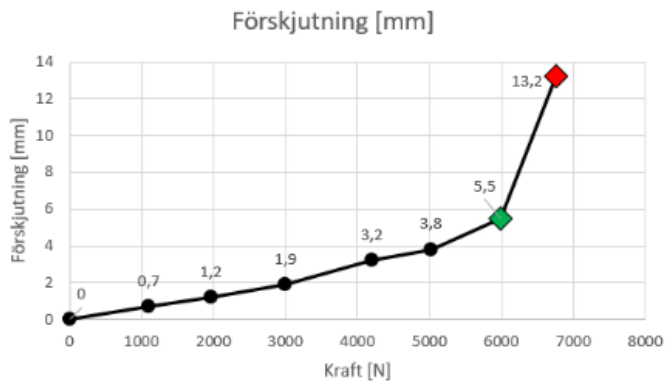
Figur 28. Förskjutning kvalitet 0 mm Nr1.



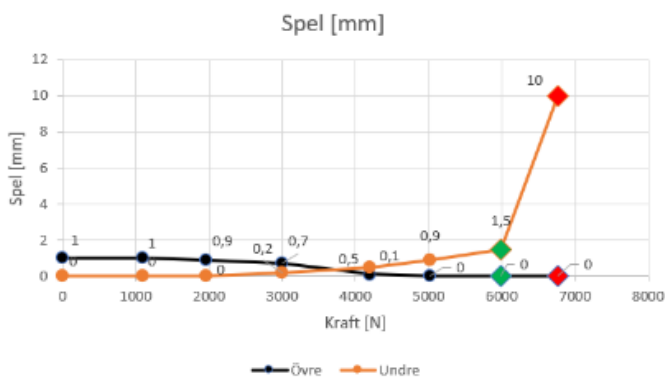
Figur 29. Spel kvalitet 0 mm Nr1.

4. Kvalitet 0 mm spel (Nr 2)

Denna takstol har en relativt jämnt ökande förskjutning fram till brott, 6766 N. Se figur 30. Den tål endast 800 N ytterligare efter att spikplåten börjar att bukta vid 5988 N och den går sönder i plåten, röd markering. Spelet är konstant fram till 2000 N innan det förändras, vid 5020 N blir det kontakt mellan balkarna. Se figur 31. Denna perfekt byggda variant har som tidigare nämnts en defekt i nocken. Inte nog med att spelet är större än 0 mm, dessutom är spelet inte jämnt längs takstolens bredd, ena sidan har 0 mm spel medan den andra har 1 mm. Se figur 32 för balkarnas förskjutning relativt varandra på grund av snett spel.



Figur 30. Förskjutning kvalitet 0 mm Nr2.



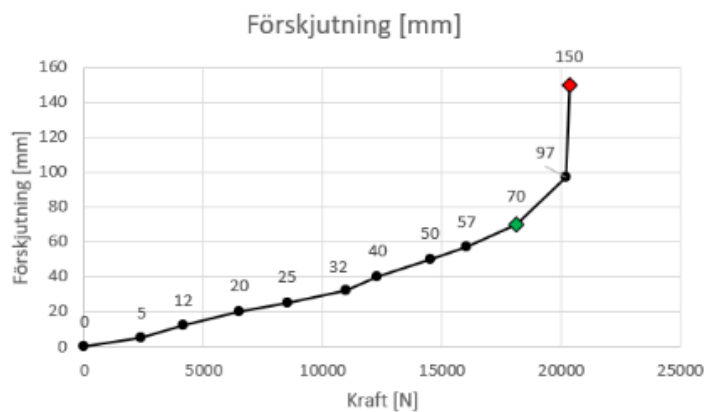
Figur 31. Spel kvalitet 0 mm Nr2.



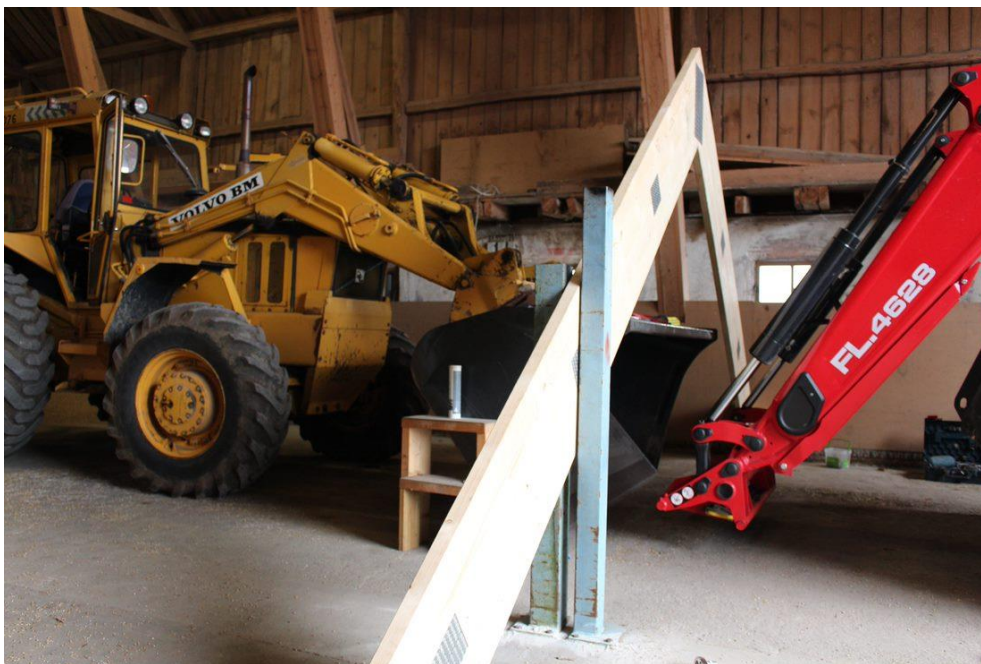
Figur 32. Vy från ovan under belastning.

5. Fullskalig provtakstol

I den fullskaliga provtakstolen beslöts att enbart mäta deformation i upplaget och inte i nock på grund av säkerheten. Förskjutning för den fullskaliga provtakstolen sker linjärt fram till och med snedställning. Se figur 33. Då denna takstolsvariant är högre klarade inte testriggen av att ta upp de sidoförskjutningar som uppstod vid höga laster. Se figur 34. Vid grönmarkeringen börjar takstolen att bukta ut ur sitt plan och går sönder mitt på ena balken vid röd markering, 20200N. Se figur 33 och 36. Deformationsvärdena just innan grönmarkeringen är rimliga värden att dra slutsatser ifrån. Värdena från och med grönmarkering är ej möjliga att dra slutsatser ifrån.



Figur 33. Fullskalig takstols upplagsförskjutning.



Figur 34. Provtakstol innan belastning.



Figur 35. Belastning innan snedställning.



Figur 36. Belastning vid snedställning.



Figur 37. Provtakstol brott.

4.1.3 Deformationsförlopp nerskalade takstolar

Då samtliga av de nerskalade takstolarna förutom kvalitet 5 mm deformerades på liknande sätt ges i följande kapitel ett generellt deformationsförlopp som gäller för de nerskalade takstolarna.

1. Deformation av balkarna. Nock oförändrad.

Initialt i deformationsförloppet så förskjuts upplaget mellan 5 och 10 mm beroende på kvalitet, medan spelet i nock förblir oförändrat, se figur 38. På grund av att spelet är oförändrat och att plåten ej har deformerats sker all deformation i detta stadiet i träet längs balkarna. De bättre kvaliteterna tål upp till 3000 N innan spelet börjar att förändras medan kvalitet 5 mm tål drygt 1000 N.



Figur 38. Kvalitet 2 mm. Nock oförändrad.

2. Deformation mellan trä och plåt

I nästa deformationsfas börjar spelet i nock att förändras, spelet blir mindre i överkant och ökar i underkant utan att plåten ger någon synlig deformation. I detta steg sker deformationen utöver i balkarna även i infästningen mellan träet och spikplåtens taggar. Detta sker fram till att spelet i överkant har försvunnit helt och balkarna är i kontakt med varandra i nocken. Se figur 39.

Undantag för kvaliteten med 5 mm spel. Då spelet för denna takstol är så pass stort blir spelet 0 mm först efter att plåten gett vika, då plåten bockas på båda sidor.



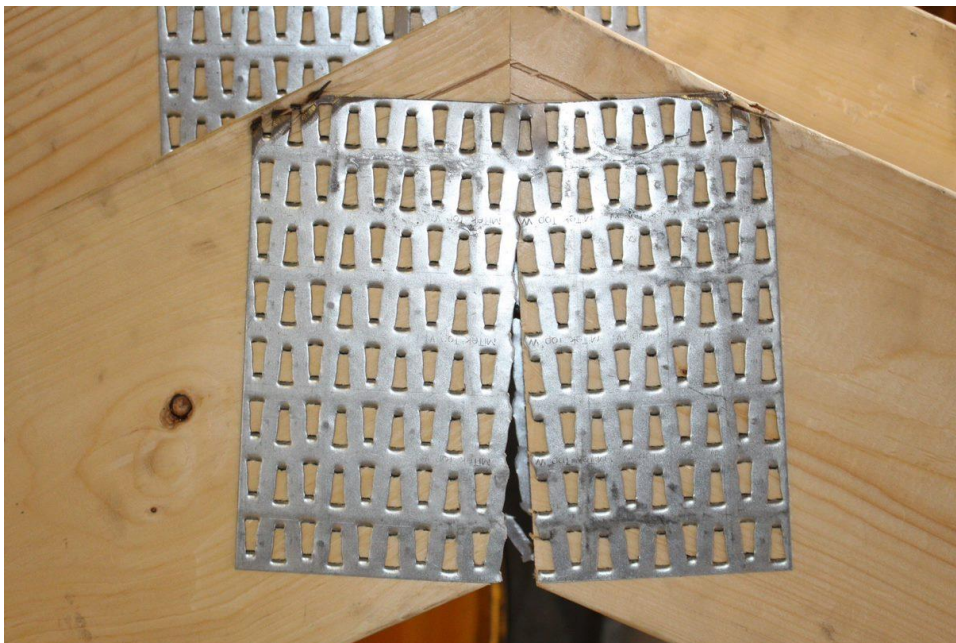
Figur 39. Balkarna är i kontakt med varandra i nocken.

3. Deformation av plåt

I slutfasen av deformationsförloppet då balkarna i nock är i kontakt så deformeras spikplåten, i kvaliteterna 0 mm och 2 mm buktar övre mittenpartiet på plåten utåt på båda sidor. Se figur 40. Efter denna utbuktning bildats tål takstolarna ca 500 N ytterligare innan spikplåten brister och dras isär med initiering i underkant. Dvs sista upplagsförskjutningen beror alltså av balkarnas deformation, taggarna mot träet och av spikplåten. Då plåten börjar att bukta anses takstolen vara "trasig" men spikplåten är fortfarande intakt, vid ytterligare belastning brister spikplåten. Se figur 41.

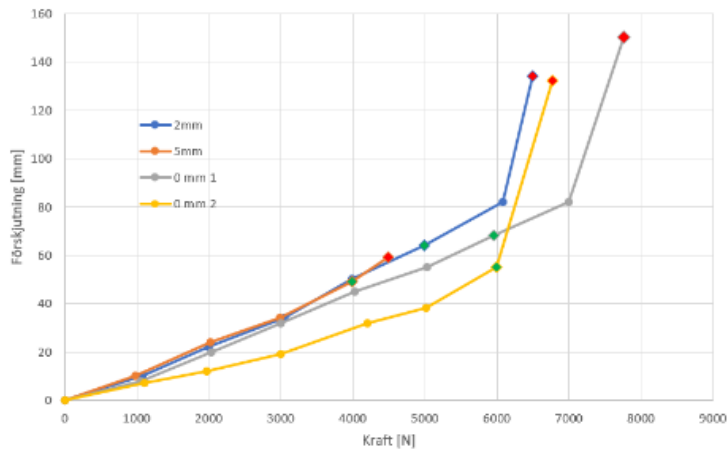


Figur 40. Spikplåten buktar utåt i överkant vid skarven.



Figur 41. Brott i spikplåten, träet är intakt.

Se figur 42 för gemensamt diagram för de nerskalade takstolarna. Samtliga förutom “0 mm 2” har liknande proportionella förskjutning mot belastningen ända fram till att plåten börjar att deformeras. Anledningen till detta beror på takstolens sneda sammansättning inock, under belastning vrider sig denna och pressas mot stötspelarna. Det uppstår friktion mellan takstol och pelare, därmed blir deformationen mindre. Se bilaga 3 för ytterligare bilder från provning.



Figur 42. Gemensamt diagram över förskjutning. Nerskalade takstolar.

4.2 Lastframtagning

$$c_r(z) = k_r * \ln \frac{z}{z_0}, \text{ där } k_r = 0,19 \text{ och } z_0 = 0,05$$

$$\rightarrow c_r(z) = 0,94$$

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b, \text{ där } c_0(z) = 1 \text{ och } v_b = 26 \text{ m/s samt } c_r(z) = 0,94$$

$$\rightarrow v_m(z) = 24,44$$

$$\sigma_v = k_r * v_b * k_1, \text{ där } k_r = 0,19, k_1 = 1 \text{ och } v_b = 26 \text{ m/s}$$

$$\rightarrow \sigma_v = 4,94$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} \quad (5) \text{ med } v_m(z) = 24,44 \text{ och } \sigma_v = 4,94$$

$$\rightarrow I_v(z) = 0,202$$

$$q_p(z_e) = [1 + 6 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z), \rho = 1,25 \text{ kg/m}^3, I_v(z) = 0,202 \text{ och } v_m(z) = 24,44$$

$$\rightarrow q_p(z_e) = 825,8$$

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe}, \text{ där } c_{pe} = 0,6 \text{ och } q_p(z_e) = 825,8$$

$$\rightarrow w_e = 495,5 \text{ N/m}^2$$

Egentyngd och snölast kommer given ifrån Bjärke, och är 950 N/m^2 respektive 2000 N/m^2 . I detta fall är säkerhetsklass 2 antagen, detta medför att $\gamma_d = 0,91$.

Enligt tabell 1 och 2 i kapitel 3.3.4 Kombination av laster, kombineras de olika lasterna, och det största värdet som räknas ut med dessa anses vara dimensionerande.

Dimensionering vid brottgräns, med ψ_0 , och ekvation 6.10a ger följande resultat:

$$(0,91 * 1,35 * 950) + (0,91 * 1,5 * 0,3 * 495,5) + (0,91 * 1,5 * 0,7 * 2000) = 1167 + 203 + 1911 = 3281 \text{ N/m}^2.$$

Dimensionering vid brottgräns, med ψ_0 , och ekvation 6.10b med snölasten som variabel huvudlast ger följande resultat:

$$(0,91 * 0,89 * 1,35 * 950) + (0,91 * 1,5 * 2000) + (0,91 * 1,5 * 0,3 * 495,5) = 1038,7 + 2730 + 203 = 3972 \text{ N/m}^2.$$

Detta medföljer att då totala lasten i fall 6.10b är störst är det denna som kommer att vara dimensionerande.

Samma beräkningar utförs för dimensionering mot bruksgräns, då med ψ_1 , och ekvation 6.10a ger:

$$(0,91 * 1,35 * 950) + (0,91 * 1,5 * 0,2 * 495,5) + (0,91 * 1,5 * 0,4 * 2000) = 1167 + 135,3 + 1092 = 2394 \text{ N/m}^2.$$

Dimensionering mot bruksgräns och ekvation 6.10b ger:

$$(0,91 * 0,89 * 1,35 * 950) + (0,91 * 1,5 * 2000) + (0,91 * 1,5 * 0,2 * 495,5) = 1038,7 + 2730 + 135,3 = 3904 \text{ N/m}^2.$$

Även här är 6.10b den dimensionerande ekvationen.

För att ta hänsyn till den aktuella situationen där endast takbjälkarna tar upp lasterna som taket utsätts för multipliceras denna last med faktorer som byggindustrin satt som standarder. Detta är bland annat beroende på avståndet mellan takbjälkarna, vilket i detta fall är 1.2m, därmed multipliceras lasten med 1.2. En ytterligare faktor på 1.1 tillkommer, då i verkligheten inte alla takbjälkar på taket är belastade till samma nivå, alla takstolar tillverkas dock likadana, vilket denna faktor kompenserar för. Därmed är den slutgiltigt dimensionerande lasten mot brottgränsen $3972 * 1,2 * 1,1 = 5243 \text{ N/m}^2$.

Då taket som utsätts för denna last är i detta fall 31m^2 utsätts taket för en total last på 162533N, detta uppdelat på de 6 takstolarna innebär att varje enskild takstol utsätts för 27088N.

4.3 Översättning av laster från provning

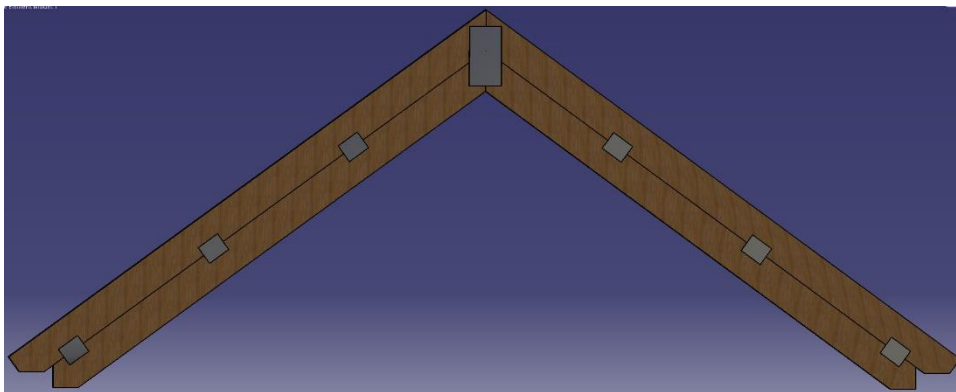
Översättning av punktlaster ifrån provningen resulterar i att punktlasten är ekvivalent med halva utbredda lasten för samma deformation i upplaget, se bilaga 4. Enligt lastframtagningen utsätts varje enskild takstol för en utbredd last på 27 088 N. Detta motsvarar alltså ca 13 500 N i punktlast för samma förskjutning i upplaget.

4.4 Resultat modellering

Kommande avsnitt behandlar de resultat som simuleringarna av takstolen gav i FEM. Provtakstolen simulerades med mål att kalibrera deformationsresultaten i programvaran och verifiera dessa mot provningen. När liknande värden erhöles matades dessa materialegenskaper in i den undersökta takstolens FEM-modell. Utifrån en feluppskattning erhållen från provtakstolen och provningen kunde verkliga värden för den undersökta tas fram. Den utvecklade takstolen utgår från den undersökta, med inkluderade lösningar för att förminska deformation.

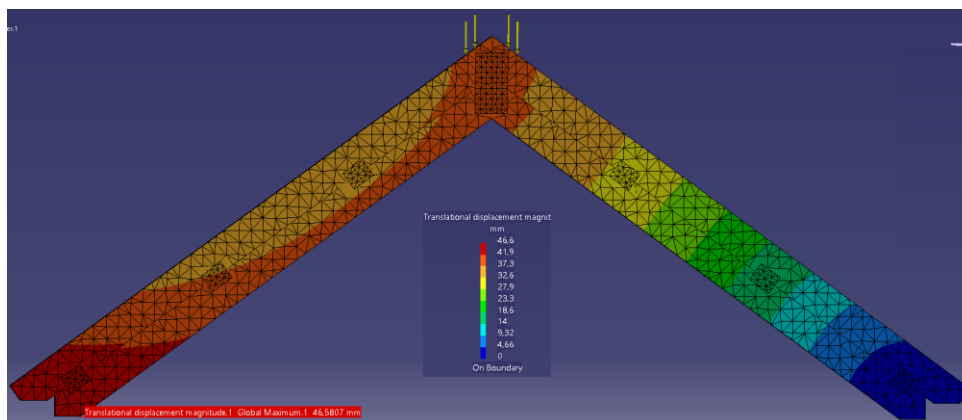
4.4.1 Provtakstol

Först visas i figur 43 hur den provade takstolen modellerats i CATIA, den består av 4 individuella balkelement som sammankopplas med hjälp av spikplåtar. I figuren är det högra upplaget fast inspänt och det vänstra fritt upplagt.

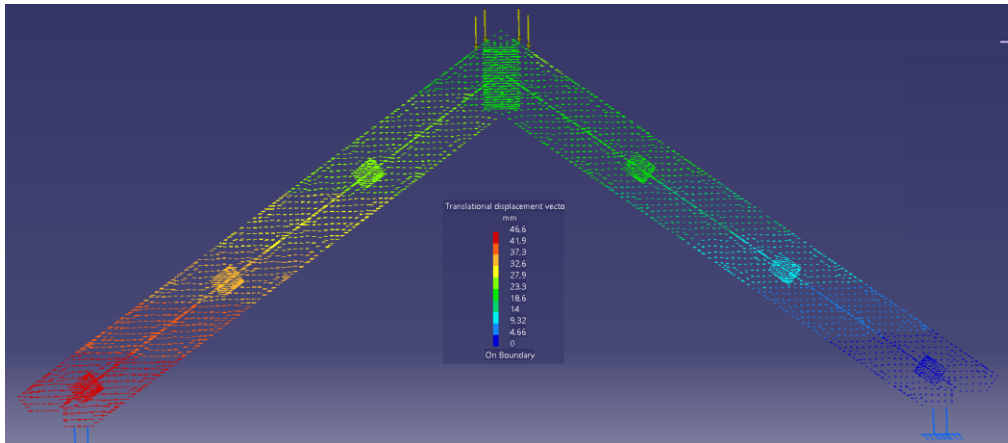


Figur 43. Översikt av modelleringen av den provade takstolen.

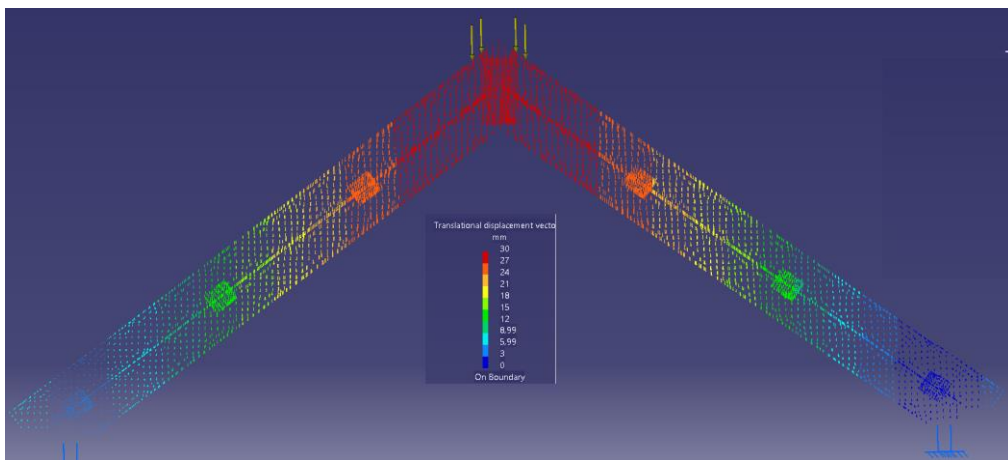
Nedan i figur 44 visas hur takstolen deformeras under last, i detta fall är det en punktlast inock på 13500 N som lagts på. Det vänstra upplaget som kan röra sig fritt är det ställe som upplever störst deformation, i detta fall flyttas upplaget 46,58 mm.



Figur 44. Total deformation av provad takstol vid last 13500 N i nock.



Figur 45. Deformation i x-led av provad takstol vid last 13500 N i nock.



Figur 46. Deformation i y-led av provad takstol vid last 13500 N i nock.

För att ta fram deformationsvärden i FEM som motsvarade de deformationsvärden som mättes upp under provningen genomfördes simuleringar med samma pålagda krafter som i proverna. Därefter avlästes deformationerna simuleringarna gav, och modellens styvhet modifierades för att uppnå samma deformationer som provningens resultat. Som kan ses i tabell 3 nedan, uppstod det då en felmarginal, denna felmarginal minimerades under den brukslast som den undersökta takstolen erfar (se fetstil text i tabell 3, där bruksgräns ligger mellan 12300 N och 14500 N).

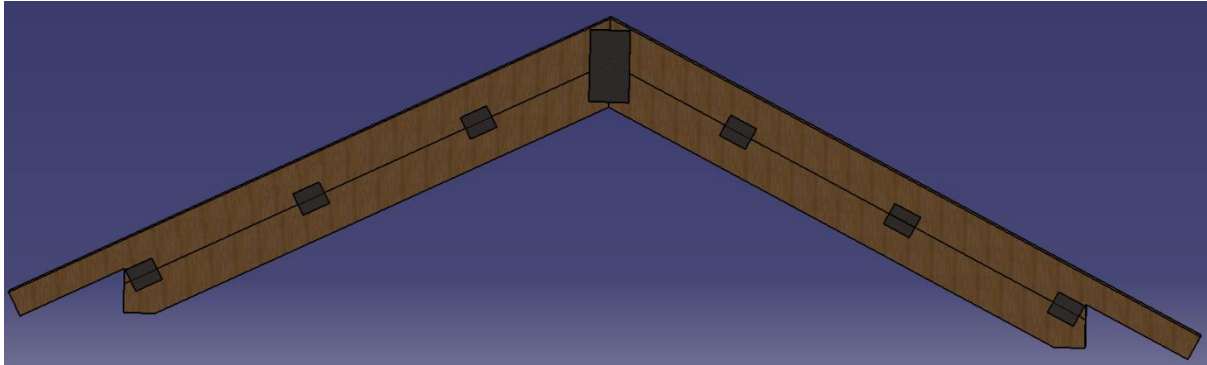
Tabell 3. Uppmätta och simulerade deformationer för den provade takstolen, samt felmarginal.

Provad takstol			CAD			
Kraft [N]	Förskjutning cm	mm	3,45e+009N_m2	cm	mm	Fel %
0	0	0	0	0		
2400	0,5	5	2400	0,926	9,26	1,852
4150	1,2	12	4150	1,51	15,1	1,258333
6500	2	20	6500	2,3	23	1,15
8500	2,5	25	8500	2,97	29,7	1,188
10995	3,2	32	10995	3,8	38	1,1875
12300	4	40	12300	4,24	42,4	1,06
14500	5	50	14500	4,97	49,7	0,994
16024	5,7	57	16024	5,48	54,8	0,961404
18100	7	70	18100	6,18	61,8	0,882857
20200	9,7	97	20200	6,88	68,8	0,709278
20329	15	150	20329	0		0

4.4.2 Undersökt takstol

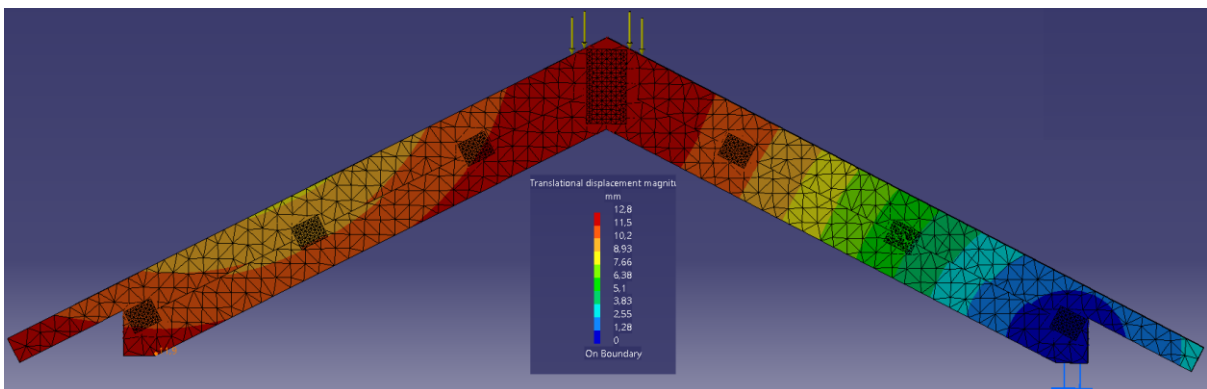
När ovanstående styvhet var framtagen utifrån den provade takstolen överfördes denna till den undersökta takstolen, då bedömningen är att dessa är tillräckligt lika för att anta att deras egenskaper liknar varandra.

I figur 47 nedan visas hur den undersökta takstolen modellerats, även denna är fast inspänd i sitt högra upplag och fritt upplagt i det vänstra. Den undersökta takstolen har mindre spännvidd än den provade, och en flackare takvinkel på 27 grader jämfört med 36 grader hos den provade.

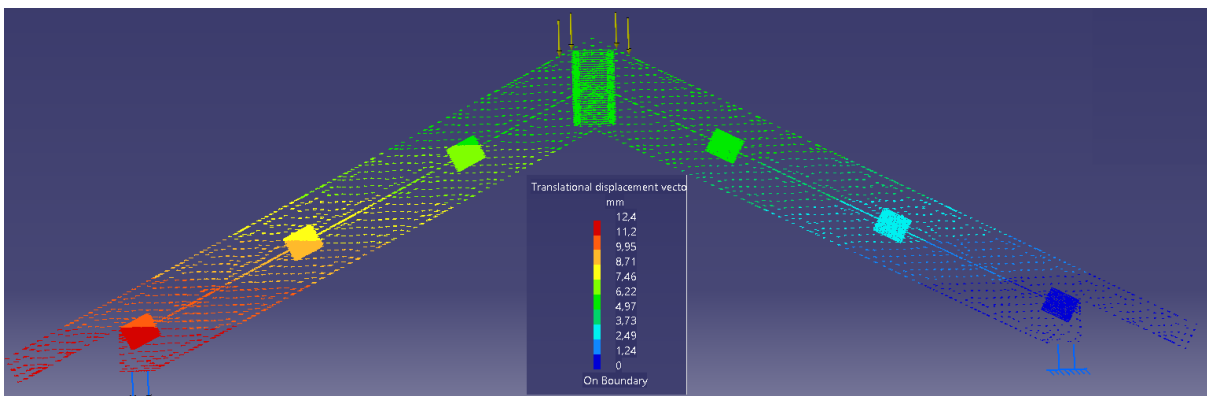


Figur 47. Modellering av undersökt takstol.

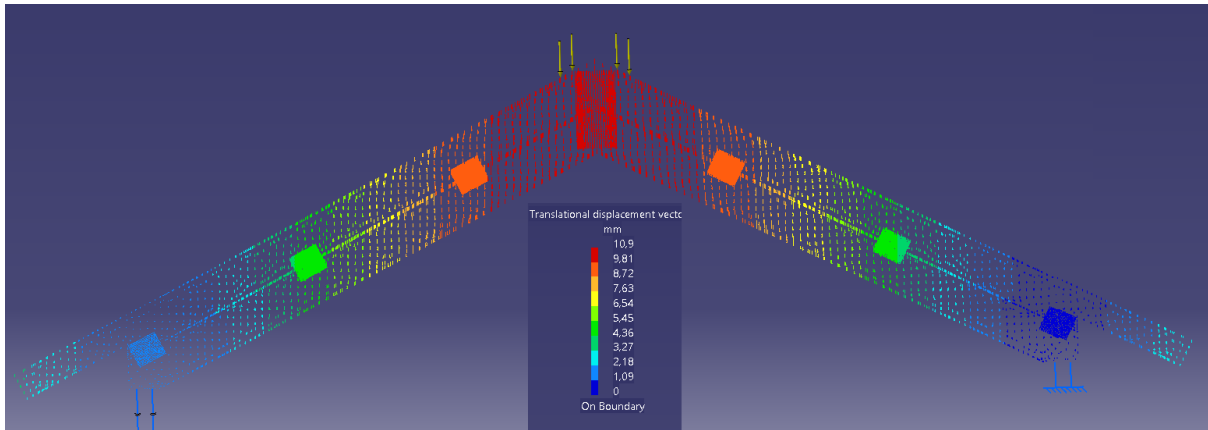
Den undersökta takstolen utsätts för en punktlast i nock på 13500 N, på samma sätt som den provade takstolen ovan. I figur 48 nedan visas deformationen som uppstår i detta fall, det vänstra upplaget förflyttar sig 11,9 mm.



Figur 48. Total deformation av undersökta takstol vid last 13500 N i nock.



Figur 49. Deformation i x-led av undersökta takstol vid last 13500 N i nock.



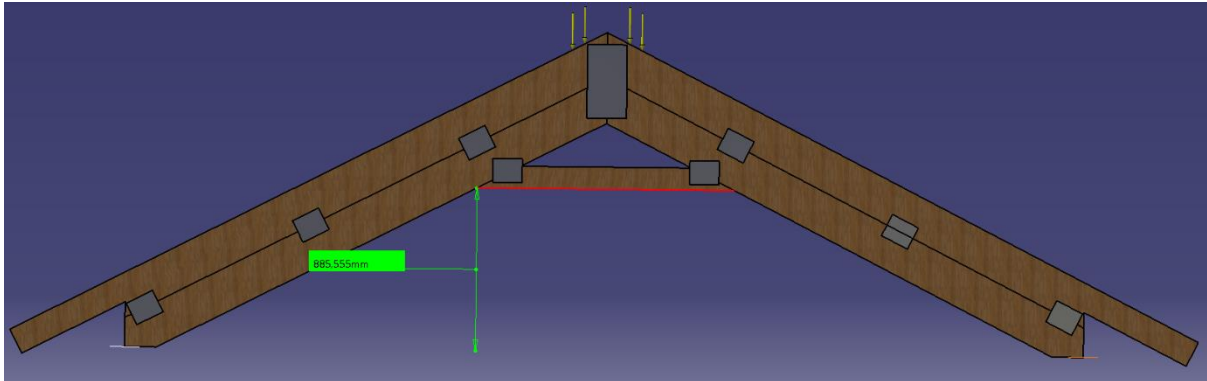
Figur 50. Deformation i y-led av undersökta takstol vid last 13500 N inock.

4.4.3 Utvecklad takstol

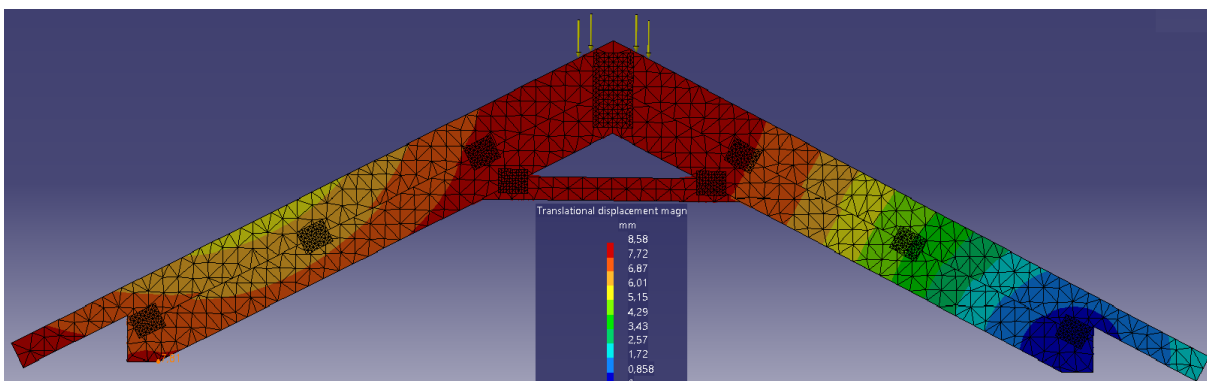
Den utvecklade takstolen kommer i två varianter, där höjden på dragstaget som förbinder de båda sidorna av takstolen varierar, i den ena varianten är höjden 120 mm och i den andra 220 mm.

För att avgöra på vilket avstånd, i vertikalled, dragstaget kan sitta på ifrån upplaget, har ritningar på den undersökta takstolen utgått ifrån, och bedömningen har gjorts att vid ca 7,8 mm upplagsförflyttning bedöms takstolen uppfylla de förväntningar som ställts på konstruktionen från början.

Ett dragstag med måtten 45*120 mm placerades 886 mm från upplaget till underkanten av dragstaget, detta medföljde en deformation på 7,81 mm vid en punktlast på 13500 N. Se figur 49 och 50.

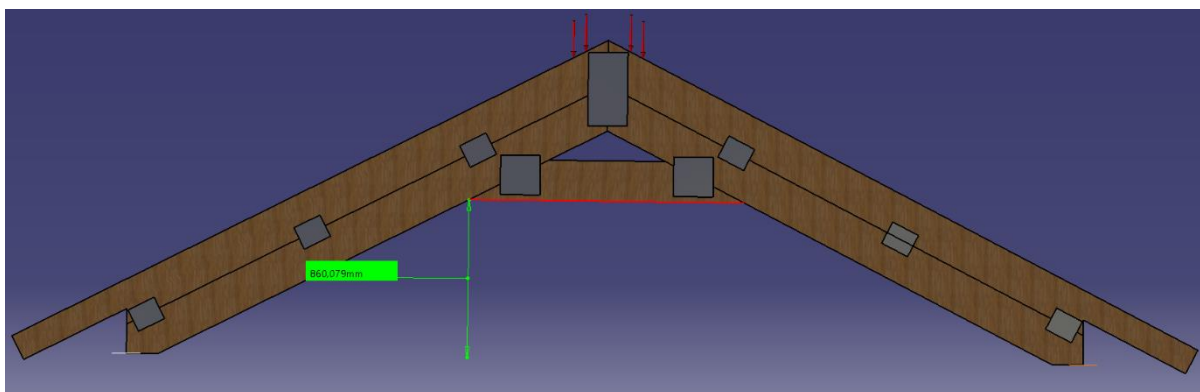


Figur 51. Visar den utvecklade takstolen, med ett dragstag av 45 mm*120 mm.

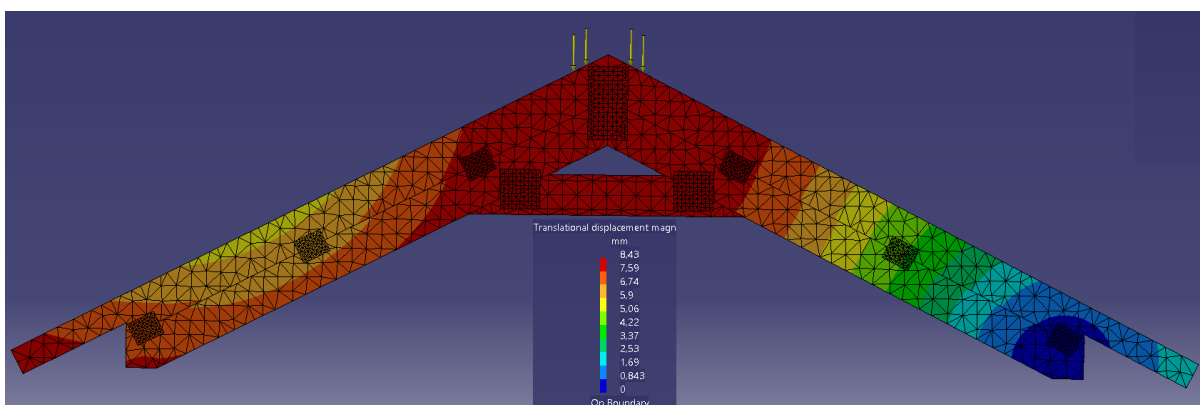


Figur 52. Utvecklad takstol med dragstag, dimension 45 mm*120 mm. Förskjutningar vid en punktlast 13500N.

Då ett dragstag i stället konstruerats av 45*220 mm och utsätts för samma punktlast 13500 N, och samma deformation på 7,81 mm skall uppnås kan underkanten på detta dragstag placeras 860 mm ifrån upplaget, i vertikalled. Se figur 51 och 52.



Figur 53. Utvecklad takstol med dragstag, dimension 45 mm*220 mm, på ett avstånd från upplaget på 860 mm.



Figur 54. Utvecklad takstol med ett dragstag, dimension 45 mm*220 mm. Punktlast 13500N.

Den aktuella takstolen, under en punktbelastning på 13500 N som är bruksgränsen innebär en upplagsförflyttning på 11,9 mm. Genom att införa ett dragstag som förbinder de båda sidorna av takstolen förminskas denna deformation. Placeringen av detta dragstag i höjddled medför att deformationen påverkas, ett acceptabelt värde har antagits till att vara de deformationsvärden som Bjärke Takstolar AB specificerat på deras ritningar.

Vid samma punktbelastning observeras dessa deformationer, där höjden i tabellen avser avståndet från upplaget till underkant på dragstaget, dessutom beaktas två olika dimensioner av dragstag, 45*120 mm och 45*220 mm.

Tabell 4. Deformation med två typer av dragstag i olika höjd.

Höjd (mm)	Deformation (45*120)	Deformation (45*220)
733	5,77	5,99
758	-	6,23
809	6,69	7,06
860	7,48	7,81
885	7,81	-

Utgående från de resultat som ses i tabellen ovan, kan ett dragstag med dimensionerna 45*220 mm placeras 860 mm ifrån upplaget för att fortfarande uppfylla de deformationer som specificerats. Motsvarande värde för 45*120 mm balk är 885 mm, detta då centrum på dragstaget hamnar längre ned i detta fall, jämfört med 45*220 mm balken då centrum hamnar närmare längre upp.

5. Diskussion

5.1 Felmarginaler

Vid tillverkning av en takstol finns det felmarginaler som uppstår genom processen. Från det att balkarna sätts samman till en takstol tills att den lyfts in i huset. Dessa kan dock bidra till att den producerade takstolen inte uppfyller dess förväntade egenskaper. Ett av de fel som testats i detta arbete är fel i monteringen av takstolen, specifikt det spel som kan uppstå mellan balkarna inock. Just denna punkt anser vi intressant att studera då det är den enda sammansättningspunkt mellan balkarna på vardera sidan av nocken. I och med detta har provningen inkluderat takstolar med överdrivet spel i nock för att studera hur takstolens prestanda påverkas av detta spel.

Under provningen observerades att spelet som fanns direkt efter produktionen inte hölls helt konstant, utan förändrades. Troligtvis beror detta på hantering och transport av takstolarna, bland annat då dessa lyfts kan spelet ändras. Detta kan medföra att takstolens egenskaper ändras och bör tas i beaktning när den konstrueras. En annan orsak som kan ha liten påverkan på spelet är krympning och/eller svällning av materialet, detta bedöms dock ha minimal påverkan.

Under belastningsprovningen belastas takstolen med kraft nedåt utgående ifrån takstolens nock, denna kraft eftersträvades att få så vinkelrät som möjligt, med utrustningen som användes finns det dock felmarginaler här som är svåra att uppskatta, och deras påverkan på resultat är svårdefinierade.

För att stabilisera takstolarna under provningen placerades 2 profilbalkar av stål på varsin sida av takstolens ena ände, när belastningen sedan ökade kom takstolen i vissa fall i kontakt med dessa stålprofiler. Detta medför en viss friktion mellan trä och stål, som kan ha påverkat resultatet, dock anses detta inte ha en större betydelse.

Över lag bedöms dessa felkällor vara av sådan karaktär att de kan uppstå under verklig belastning samt hantering, och antas inte påverka resultatet så pass mycket att det skulle ändra slutsatserna som dragits av proverna.

5.2 Konsekvenser

Genom att last läggs på taket, som i sin tur belastar takstolarna kommer dessa att deformeras, den vertikala delen av deformationen tas i sin tur upp av infästningen i väggen. Dock kan problem uppstå med den horisontella deformationen, som trycker väggen utåt. Detta kan medföra att väggen inte kommer att vara lodrät, effekterna av detta är svårt att uppskatta då det rör sig om cirka 7-12mm i väggens ovkant beroende på vilken av takstolarna som avses, samt vilken last.

När takstolens upplag förskjuts 12 mm vid brukslast bör det nödvändigtvis inte betyda att väggarnas överkant flyttar sig 6 mm vardera. En del av lasten på taket tas upp av råsponten som ligger tvärplacerad på takstolarna och en viss kraft kan tas upp av gavlarna. Vilket medför att takstolarna som ligger närmast placerad gaveln deformeras mindre än de takstolar som är placerade i mitten av taket. Dessa krafter är dock svåra att kvantifiera och det är inte möjligt att förutsätta att gavlar eller råspont kan ta upp laster över huvud taget. Vid ett extremfall kan därmed väggarna komma att förskjutas 6 mm i överkant och då finns risk att problem uppstår.

Om ett takfönster placeras mellan dessa takstolar medför detta att råsponten försvinner i just detta parti och då förflyttas denna belastning istället till fönstret. Detta kan medföra att fönstret kärvar och blir svårt att öppna. Om ett takfönster står öppet och belastningen på taket ökar, exempelvis på grund av vind, snö eller manlast så kan fönstret bli svårt att stänga. Detta kan i sin tur leda till att fönstret slits snabbare då man försöker stänga fönstret. Slitaget ökar och fönstret kan behöva bytas tidigare än dess utsatta livslängd. Än värre kan det i och med detta uppstå läckage som i sin tur ger fuktskador. Storleken på takfönster bör tas i beaktning.

Om takstolarna används i exempelvis uterum med stora glaspartier bör hänsyn tas till vilka bärande element som finns i väggarna som kan ta upp lasten. Om dessa glaspartier inte stötts tillräckligt kan dessa bli svåra att öppna och i värsta fall gå sönder. Detsamma gäller för fönster placerade i gavlar, där gavlarna normalt kan ta upp en stor del av lasten.

Den största konsekvensen vore att väggen inte längre klarar att ta upp den last som behövs, utan att den fallerar. Detta bedöms dock inte vara särskilt troligt, inga tester på detta har genomförts så inga verifierade slutsatser har kunnat dras.

Genom att välja den utvecklade versionen av takstolen halveras nästan deformationen som uppstår, och detta är med säkerhet en förbättring, och minskning av de möjliga konsekvenserna och riskerna.

5.3 Alternativ takstol

Ett alternativ till den utvecklade takstolen är att använda Kerto-material i konstruktionen. [20] Då momentet blir som störst i nocken och därmed i skarven där spikplåten sitter bygger denna lösning på att förminska momentet i spikplåten. Utformningen innebär att de befintliga över- och underbalkar kortas ned och ersätts med en ursågad balk av Kerto som bildar samma form av nock som förut. Kertobalken sammansätts med resterande balkar och bildar två stycken skarvar på var sin sida av nocken. Spikplåtarna förflyttas då längre ifrån det största momentet som istället tas upp av den triangelformade balken. Skarven i nock som är den svaga punkten på takstolen försvinner och ersätts med skarvar på var sin sida av nock. Se bilaga 5. Detta alternativ bör dock undersökas mer ingående, då det finns två spikplåtar istället för en i nock. Detta kan i sin tur leda till att förskjutningen i upplaget kvarstår i och med två stycken plåtar som kan deformeras.

Enligt belastningsprovningsen sker brottförloppet linjärt och långsamt för den undersökta takstolen. Brottförloppet för den utvecklade är däremot okänd, även om arbetet har resulterat i att den utvecklade takstolen medför mindre deformation. En belastningsprovning bör göras av den utvecklade takstolen med dragstag för att fastslå att brottförloppet sker långsamt. Ett snabbt brottförlopp är ej önskat i byggnadskonstruktioner då dessa medför större säkerhetsrisker för de som vistas i lokalen.

5.4 Produktion

Vid produktion av befintlig takstol bör hänsyn tas till ett antal punkter, för att på så sätt maximera takstolens hållfasthetsegenskaper. Då nock är den enda punkt som binder samman balkarna på vardera sida av taksadeln är denna punkt kritisk i produktionen. Man vill uppnå ett så litet spel i nocken som möjligt men samtidigt se till att ett eventuellt spel är lika stort över virkets tjocklek.

Spellet skall vara minimalt och skall vara rakt. För att uppnå detta bör balkarna sågas med hög precision. Jiggen bör kontrolleras mellan varje sammansättning för att denna inte skall ha ändrat form under sammansättning. När takstolen är färdigställd bör spelet i nock mätas.

Utifrån testerna hade två av de perfekt tillverkade takstolarna olika resultat. Den bästa av dem hade ett spel på 1 mm i nock medan den andra hade ett ojämnt spel närmare 2 mm. Detta resulterade i att den sistnämnda belastade spikplåtarna i olika hög grad, som i sin tur ledde till att den klarade 1000 N mindre last än den bästa av dem, dvs 15% lägre brottlast. Det ojämnna spelet var inget som diskuterats på förhand men en iakttagelse som gjordes i och med belastningsprovningsen.

6. Slutsats

Projektets resultat visar att takstolens angivna deformationsvärden ej överensstämmer med verkligheten. Vid brukslast deformeras takstolen så att upplaget förskjuts 11,9 mm. Deformationen sker proportionellt mot den pålagda lasten och ökar linjärt ända fram till brott.

För att förminska deformationsvärdet kan ett högt placerat dragstag inkluderas i takstolen, med dimensionen 120*45 mm. Då dragstaget befinner sig på en höjd av 885 mm från upplaget blir deformationen 7,81 mm, dvs 1 mm mindre förskjutning än vad Bjärke Takstolar AB har angett för takstolen.

För att tillverka en sådan takstol krävs det att denna genomgår en belastningsprovning för att få sitt brottförlopp utrett. Anledningen är att konstruktioner som medför plötsliga brott är oförutsägbara och bör undvikas.

I den ursprungliga takstolens ritning bör deformationsvärdet i upplaget ändras från 8,8 mm till 11,9 mm. En varningstext skall infogas på ritningen, tillägnad huvudkonstruktören som kontrollberäknar byggnaden där takstolarna ingår:

“Takstolarna kan medföra stora deformationer i upplagen. Takets längd bör tas i beaktning då lastfördelningen medför större deformation på takstolarna långt ifrån gavlarna.”

7. Kommande arbeten

En rekommendation till ett fortsatt arbete är att genomföra belastningsprovning på utvecklad takstolsvariant med dragstag. För att på så sätt klargöra deformationsförloppet ända fram till brott. Likaså hur en takstol med Kerto-balk beter sig vid belastning.

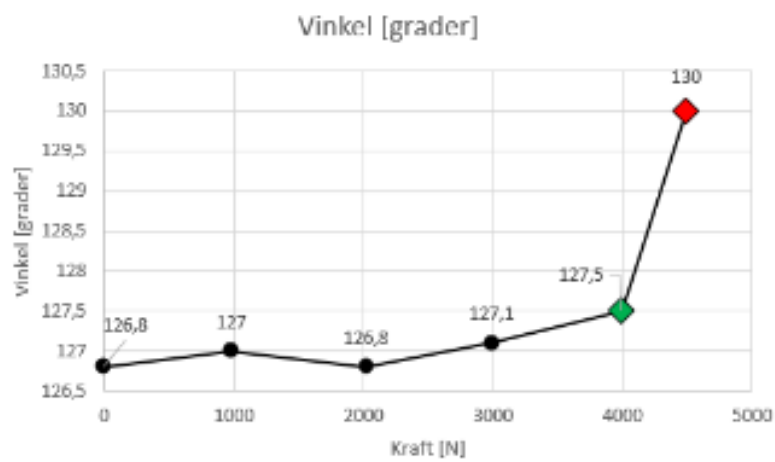
Ett ytterligare område som vore intressant att undersöka är deformationer i en hel byggnad bestående av dessa takstolar. Hur långt kan taket byggas utan att takstolarna ger märkbar deformation på väggarna?

8. Referenser

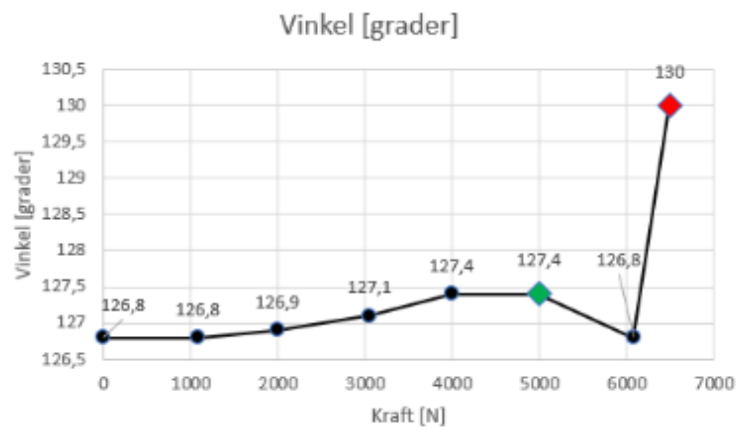
- [1] Byggföretagen.se, ”Byggföretagen.se,” 11 01 2021. [Online]. Tillgänglig: <https://byggforetagen.se/statistik/bostadsbyggande-2/>. [Använd 01 05 2021].
- [2] Statens Haverikommision, ”havkom.se,” 27 01 2021. [Online]. Tillgänglig: https://www.havkom.se/assets/reports/O-4_20-Information-till-kommunerna-om-svar-p%C3%A5-anm%C3%A4lan-och-rekommendationer-rev-27-jan.pdf. [Använd 01 05 2021].
- [3] Svenska institutet för standarder, ”www.sis.se,” [Online]. Tillgänglig: <https://www.sis.se/standardutveckling/tksidor/tk200299/sistk203/>. [Använd 01 05 2021].
- [4] E. B. Westergren, ”Byggahus.se,” 4 3 2015. [Online]. Tillgänglig: <https://www.byggahus.se/bygga/takstolar-ditt-tak>. [Använd 01 05 2021].
- [5] Svenskt trä, ”Att välja trä/ Svenskt trä,” [Elektronisk bild]. Tillgänglig: <https://www.svensktra.se/publikationer-start/publikationer/>. [Hämtad 01 05 2021].
- [6] Svenskt Trä, ”Träguiden.se,” 01 09 2003. [Elektronisk bild]. Tillgänglig: <https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktiv-utformning/stomme/tak/sadeltak/>. [Hämtad 01 05 2021].
- [7] Svenskt Trä, ”Träguiden.se,” [Tillgänglig]. Available: <https://www.traguiden.se/om-tra/>. [Använd 01 05 2021].
- [8] J. Lindström, ”Husbyggaren.se,” 13 09 2017. [Online]. Tillgänglig: <https://www.husbyggaren.se/debatt-stal-plat-det-mest-hallbara-byggnadsmaterialet/>. [Använd 01 05 2021].
- [9] ”Svenskträ.se,” [Elektronisk bild]. Tillgänglig: <https://www.svensktra.se/trafakta/allmant-om-tra/fran-timmer-till-planka/egenskaper-hos-barrtra/>. [Hämtad 01 05 2021].
- [10] Svenskt trä, ”Träguiden.se,” 15 08 2017. [Online]. Tillgänglig: <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/trabaserade-produkter/virkestyper-och-kvalitet/konstruktionsvirke/>. [Använd 01 05 2021].
- [11] ”Svenskträ.se,” [Online]. Tillgänglig: <https://www.svensktra.se/trafakta/allmant-om-tra/kvalitet-och-sortiment/>. [Använd 01 05 2021].
- [12] Svenskt Trä, ”Träguiden.se,” 07 07 2017. [Online]. Tillgänglig: <https://www.traguiden.se/konstruktion/kl-trakonstruktioner/dimensionering-av-kl-trakonstruktioner/3.2-materialegenskaper-for-kl-tra/materialegenskaper-for-kl-tra/>. [Använd 01 05 2021].
- [13] SSAB, ”Ssab.se,” [Online]. Tillgänglig: <https://www.ssab.se/produkter/stalkategorier/metallbelagt/steelselector/metal-coated-structural-steels>. [Använd 01 05 2021].
- [14] Csce, ”Csce.se,” [Online]. Tillgänglig: <https://www.csce.se/programvaror/pamir/>. [Använd 01 05 2021].

- [15] "(SS-EN 1991-1-4:2005, s.24-25, 2012)," Svenska institutet för standarder, 2012.
- [16] (*SS-EN 1991-1-3:2003, s.40, 2005*), Svenska institutet för standarder, 2005.
- [17] "(SS-EN 1991-1-4:2005, s.41, 2012)," Svenska institutet för standarder, 2012.
- [18] "(BFS 2019:1 EKS 11, s.7, 2019)," Boverkets författningssamling, 2019.
- [19] "(BFS 2019:1 EKS 11, s.20–21, 2019)," Boverkets författningssamling, 2019.
- [20] Metsä Wood, "Kerto Broschyr," Metsä Wood, 2016.

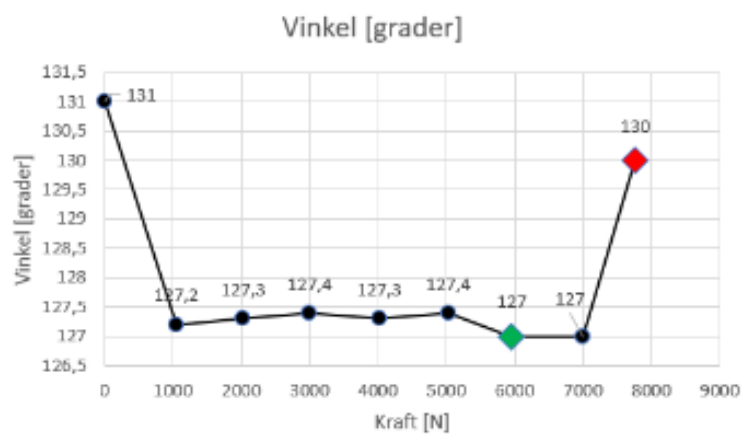
Bilaga 2. Vinkeländring nerskalade takstolar



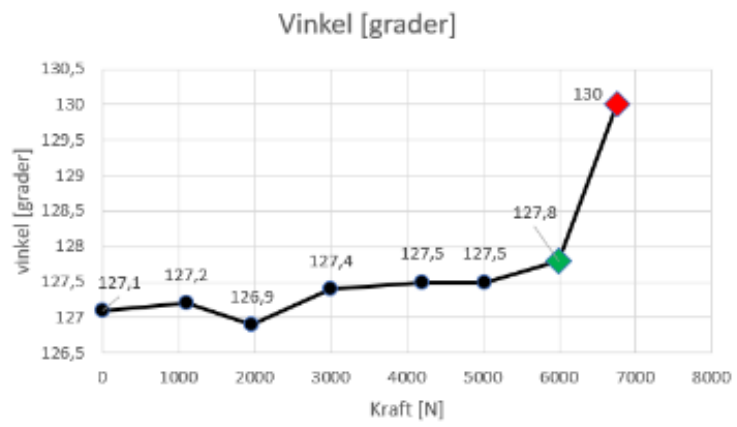
Kvalitet 5 mm



Kvalitet 2 mm

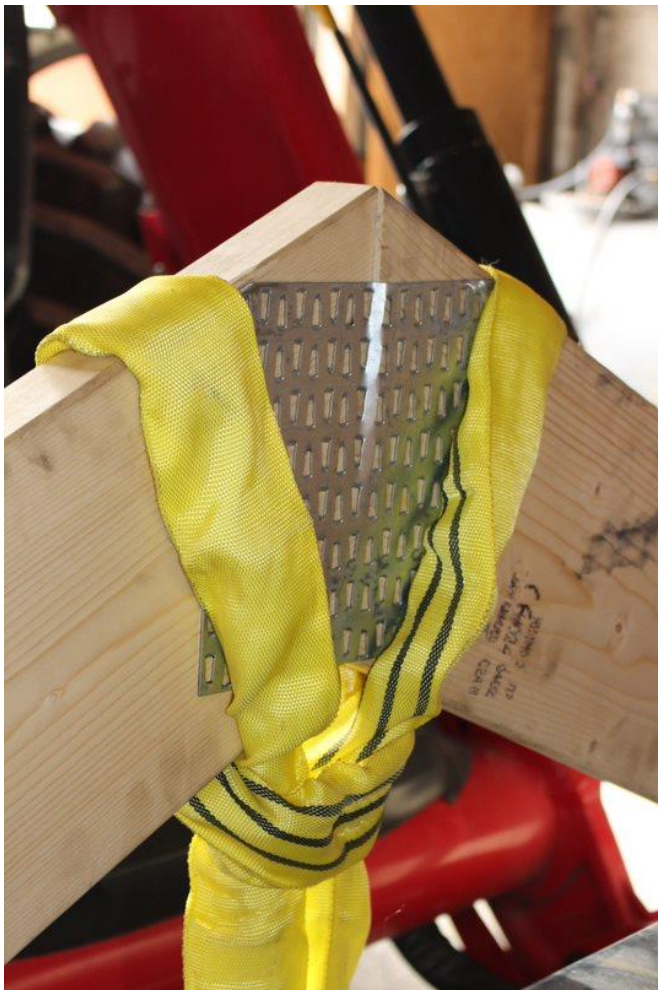
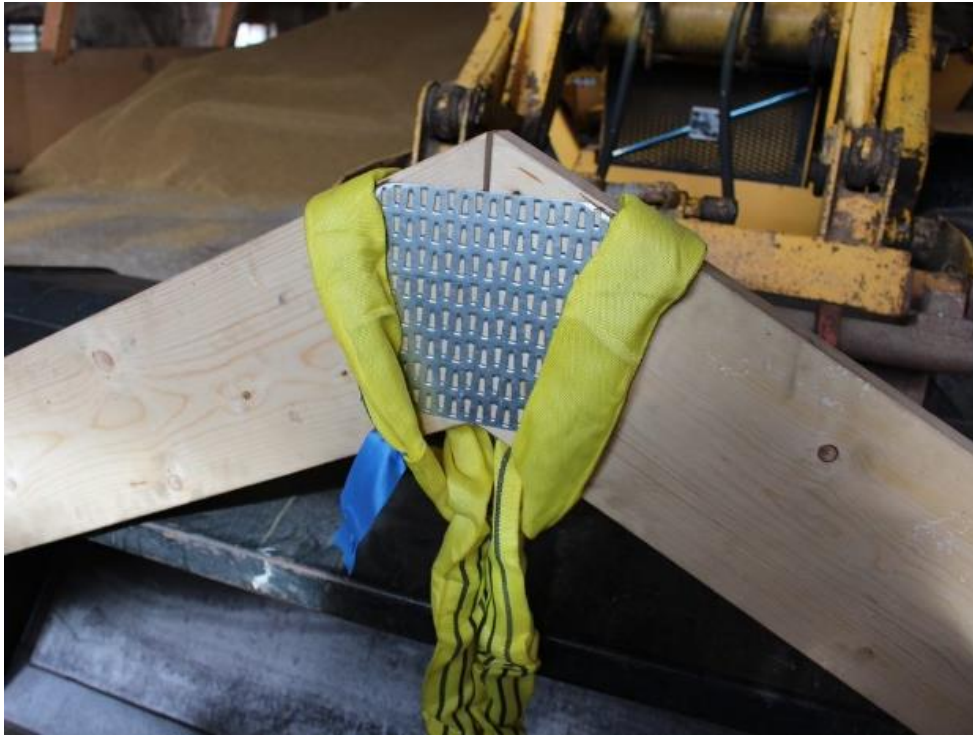


Kvalitet 0 mm Nr1



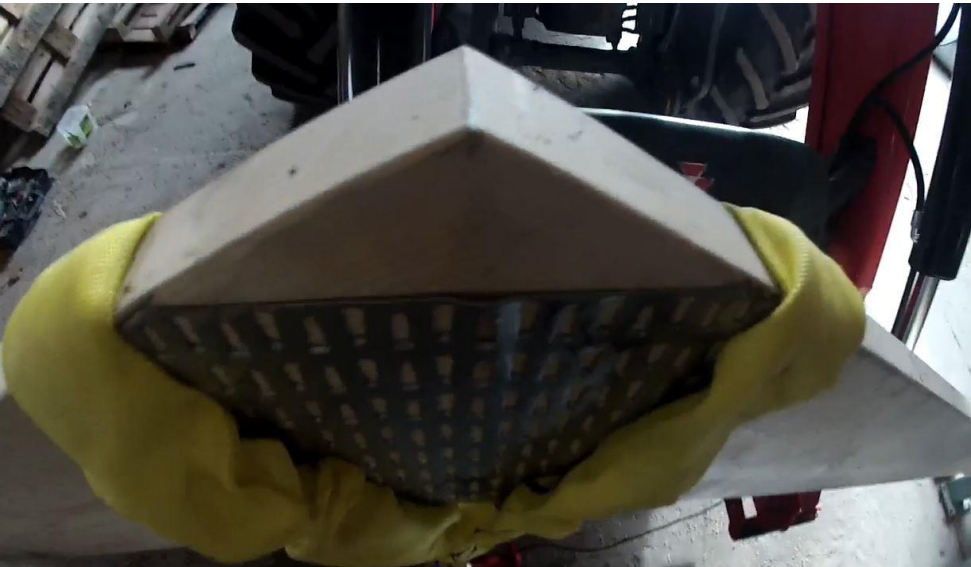
Kvalitet 0 mm Nr2

Bilaga 3. Resultat bilder provning



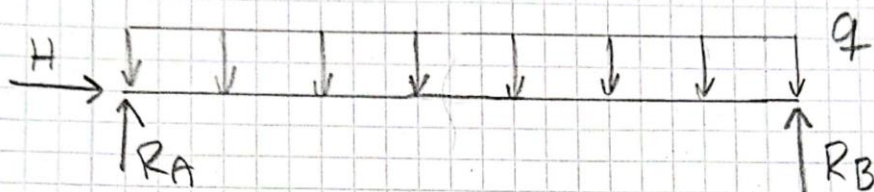
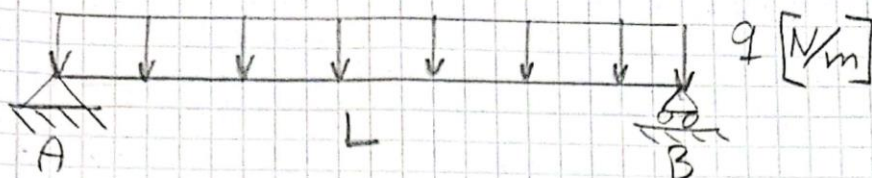






Bilaga 4. Beräkning punktlast och utbredd last

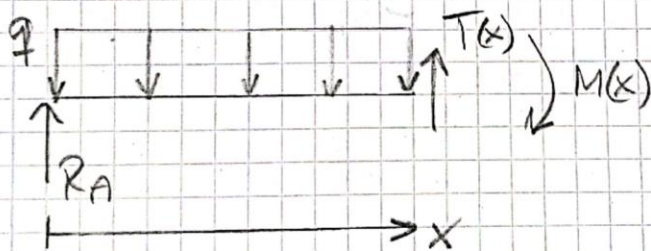
Moment i fritt upplagd balk. Utbredd last



$$\rightarrow: H = 0$$

$$\uparrow: R_A = R_B = \frac{1}{2} \cdot qL \dots (1)$$

Snitt S:



$$\overset{\curvearrowright}{\Sigma}: M(x) + R_A \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{x}{2} \Rightarrow$$

$$M(x) = q \frac{x^2}{2} - R_A \cdot x = \left\{ (1) \right\} =$$

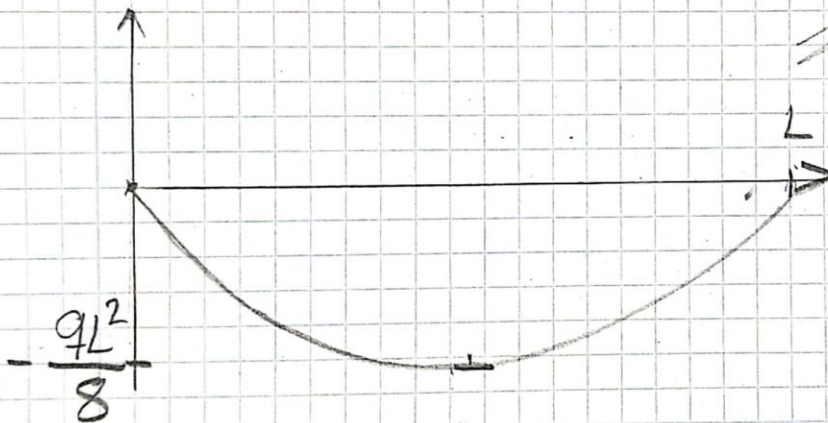
$$M(x) = q \frac{x^2}{2} - qL \frac{x}{2}$$

$$M(0) = 0$$

$$M(L) = q \frac{L^2}{2} - qL \frac{L}{2} = 0$$

$$M\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{q}{2} \left(\frac{L}{2}\right)^2 - \frac{qL}{2} \cdot \frac{L}{2} = \frac{qL^2}{8} - \frac{qL^2}{4} =$$

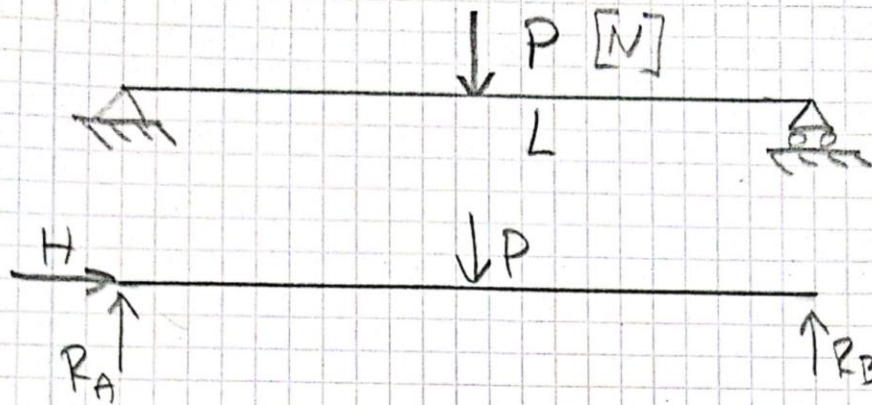
$$M\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{qL^2}{8} - \frac{2qL^2}{8} = -\frac{qL^2}{8}$$



Momentet är störst i mitten.

$$M_{\text{utbredd}} = -\frac{qL^2}{8}$$

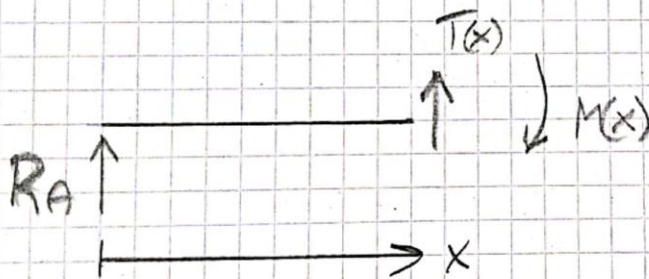
Moment i fritt upplagd balk. Punktlast



$$\rightarrow: H = 0$$

$$\uparrow: R_A = R_B = \frac{P}{2} \dots (2)$$

Snitt S:



$$\overset{\curvearrowleft}{S}: M(x) = -R_A \cdot x$$

$$M\left(\frac{L}{2}\right) = -R_A \cdot \frac{L}{2} = \{(2)\} = -\frac{P}{2} \cdot \frac{L}{2} = -\frac{PL}{4}$$

$$M_{\text{punkt}} = -\frac{PL}{4}$$

Samma moment ger samma förskjutning
i upplaget för både punkt- och utbredd last

$$\therefore M_{\text{Punkt}} = M_{\text{utbredd}}$$

$$-\frac{PL}{4} = -\frac{qL^2}{8} \Rightarrow$$

$$P = \frac{qL^2}{8} \cdot \frac{4}{L} = \frac{qL}{2}$$

$$P = \frac{qL}{2}$$

\therefore Punktlast = Halva utbredd
för samma deformation.

Bilaga 5. Takstol med Kerto.

