



Indata

Förbandstyp

B

Val av förbindare

Fyrkantig/räfflad spik

Förborrade hål

Med

Belastande kraft [kN]

0

k_{mod}

0,5

γ_M

1,3

Virkesdelar

Material

Barrträ

t_1 [mm]

0

t_2 [mm]

0

ρ_1 [kg/m³]

350

ρ_2 [kg/m³]

350

Vinkel, kraft - fiberriktning

α_1

0

α_2

0

Förbindare

Antal [st]

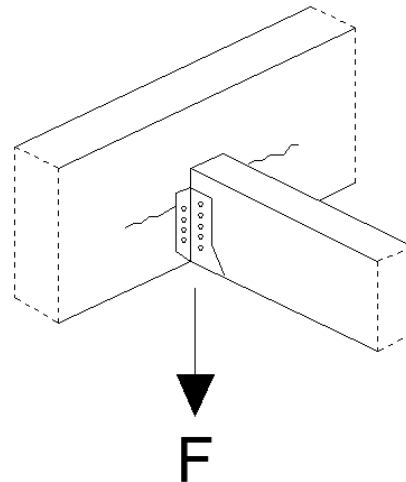
0

d [mm]

0

$f_{u,k}$ [

0



$$F_{v,Rk3} = \frac{f_{h,1,k} * t_1 * d}{1 + \beta} * \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 * \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right]$$

Dimensionering av tvärkraftsbelastade träförband

Teoretiska grunder och utvecklande av dimensioneringsverktyg i enlighet med Eurokod 5

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör

DANIEL LINDELL

FREDDIE SVENNBERG

Dimensionering av tvärkraftsbelastade träförband

Teoretiska grunder och utvecklande av dimensioneringsverktyg i enlighet med
Eurokod 5

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

DANIEL LINDELL

FREDDIE SVENNBERG

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för konstruktionsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2017

Dimensionering av tvärkraftsbelastade träförband
Teoretiska grunder och utvecklande av dimensioneringsverktyg i enlighet med Eurokod 5

*Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

DANIEL LINDELL

FREDDIE SVENNBERG

© DANIEL LINDELL, FREDDIE SVENNBERG, 2017

Examensarbete BOMX03-17-09 / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2017

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för konstruktionsteknik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Sammanfattande bild av rapportens innehåll. Beräkningsark, Johansens ekvationer
och kontroller såsom risk för spräckning

Chalmers Reproservice
Göteborg 2017

Dimensionering av tvärkraftsbelastade träförband

Teoretiska grunder och utvecklande av dimensioneringsverktyg i enlighet med Eurokod 5

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

DANIEL LINDELL

FREDDIE SVENNBERG

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

För att få en konstruktions olika delar att fungera väl tillsammans krävs att de sammanfogas på ett effektivt sätt. Detta sker i så kallade knutpunkter där varje förband utformas för att överföra krafterna som verkar på systemet. Syftet till detta examensarbete är att undersöka de teoretiska grunderna för tvärkraftsbelastade träförband, som lades fram av bland annat K.W. Johansen, och hur de gällande regler och normer i Eurokod tar hänsyn till dessa teorier.

Arbetets syfte är också att utforma ett beräkningsark i datorprogrammet Excel för tvärkraftsbelastade träförband i samarbete med ÅF Byggkonstruktion. På ÅF Byggkonstruktion finns idag inga gemensamma beräkningsark och därmed är dokumenteringen för förbandsdimensionering inte samordnad. Beräkningsarket har arbetats fram utifrån de önskemål som fanns hos ÅF Byggkonstruktion och har ett utskriftsvänligt format som underlättar dokumentation av beräkningar.

Beräkningsarket avgränsas till en- och tvåskäriga trä-trä- och stål-träförband i kombination med tvärkraftsbelastade förbindare såsom spik, träskruv, skruv och dymling.

Nyckelord: Tvärkraftsbelastat förband, Eurokod 5, CTH, Chalmers, Examensarbete, Johansen, Beräkningsark, Träförband, Enskäriga, Tvåskäriga, Förbindare, Dimensionering,

Design of Shear Timber Joint

Theoretical basics and development of design in accordance to Eurocode 5

Diploma Thesis in the Engineering Programme

Building and Civil Engineering

DANIEL LINDELL

FREDDIE SVENNBERG

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Structural Engineering

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

To get the various parts of a structure to cooperate, they need to be joined together effectively. This occurs in so-called joints where each connection is designed to transfer the forces acting on the structure. The purpose of this bachelor thesis is to investigate the theoretical bases of shear-loaded timber joints presented by, amongst others, K.W. Johansen and how the current regulations and norms described in Eurocode considers these theories.

Additionally, the purpose for the thesis is to, in cooperation with ÅF Byggekonsult, design calculation sheets for shear timber joints using Excel. There are currently no common calculation sheets for timber joints at ÅF Byggekonsult. Because of that, the documentation for dimensioning of timber joints is not coordinated. The sheets were developed in conjunction with the opinions of ÅF Byggekonsult to create sheets that are printer friendly and facilitates documentation.

The calculation sheet is limited to single and double timber-timber or steel-timber joints. The fasteners are limited, in the calculation sheet to nails, screws, bolts and dowels.

Key words: Timber Joints, Shear, CTH, Chalmers, Bachelor thesis, Johansen, Eurocode 5, Yield theory, Dowel-type fasteners, Bolts, Nailed joints, Calculation sheet,

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Avgränsningar	1
2	METOD OCH MATERIAL	2
3	TEORETISK BAKGRUND	3
3.1	Förbandsdelar	3
3.1.1	Förbindare	3
3.1.2	Virkesdel	3
3.2	Materialhållfastheter	4
3.2.1	Hålkantshållfastheten	4
3.2.2	Flytmoment	5
3.2.3	Dymlingsverkan	5
3.3	Tvärkraftsbelastade förband	5
3.3.1	Tvärkraftsbelastade träförband enligt Johansen	5
3.3.1.1	Enskäriga förband	6
3.3.1.2	Två-skäriga förband	10
3.3.1.3	Enskäriga förband stål-trä	12
3.3.1.4	Tvåskäriga förband stål-trä	12
3.3.2	Spröda brottmoder	12
3.3.2.1	Översikt spröda brottmoder	13
3.3.2.2	Rad- och Blockskjuvbrott	13
3.3.2.3	Klossbrott	13
3.3.2.4	Uppsprickning	13
3.3.2.5	Avståndskrav	14
3.3.3	Spräckning	14
3.4	Gruppverkan	15
3.5	Linverkan	17
4	UTFORMNING AV BERÄKNINGSARK	19
4.1	Grundläggande frågeställningar för beräkningsarket	19
4.2	Implementering av frågeställningarna	19
4.3	Beräkningsarkets uppbyggnad	20
5	DISKUSSION & SLUTSATS	22
5.1	Teoridelen	22
5.2	Arket	22
5.3	Fortsatta studier	23
6	LITTERATURFÖRTECKNING	24
BILAGA 1 - BERÄKNINGSGÅNG FÖR TVÄRKRAFTSBELASTAD FÖRBINDARE (SS-EN 1995-1-1:2004)		
BILAGA 2 – KONTROLL AV BERÄKNINGSARKET		
BILAGA 3 – BERÄKNINGSEXEMPEL KLOSSBROTT		

Förord

Detta examensarbete, som rapporten är en produkt utav, avslutar vår Byggingenjörsutbildning över 180 hp vid Chalmers Tekniska Högskola. Examensarbetet har blivit en fördjupning i konstruktörsyrket och hur de regler och normer som gäller bör beaktas. Insikten av att de regler och normer som finns inte alltid ger ett entydigt svar utan ger rum för tolkning har utmanat oss. Arbetet har utökat på vår kunskap och vi är mer förberedda nu inför det stundande arbetslivet.

Vi vill rikta ett stort tack till ÅF Byggkonstruktion som har låtit oss sitta och utföra vårt examensarbete i sina lokaler. Vi vill också rikta ett speciellt tack till våra handledare på ÅF Byggkonstruktion, Lisa Beckman och Jakob Andersson, som stöttat och väglett oss genom arbetet och funnits där för att, med ett leende, bemöta våra frågor. Hoppas att ni kan få användning av beräkningsarket i framtiden.

Göteborg juni 2017

Daniel Lindell, Freddie Svennberg

Beteckningar

Latinska versaler

$A_{net,t}$	= Nettotvårsnittareal vinkelrätt mot fiberriktningen
$A_{net,v}$	= Nettoskjuvareal parallellt med fiberriktningen
$F_{ax,Rk}$	= Förbindarens karakteristiska utdragsbärförmåga axiellt
$F_{bs,Rk}$	= Karakteristisk sektorbrots- eller urgröpningsbrotsbärförmåga;
$F_{v,Rk}$	= Karakteristisk tvärkraftsbärförmåga per skjuvningsplan och förbindare
$F_{90,Rd}$	= Dimensionerande spräckbärförmåga
$F_{90,Rk}$	= Karakteristisk spräckbärförmåga
$M_{y,Rk}$	= förbindarens karakteristiska flytmoment

Latinska gemener

d	= förbindarens diameter
$f_{h,k}$	= Karakteristiska bäddhållfasthet för virkesdelen
$f_{h,0,k}$	= Karakteristisk bäddhållfasthet parallellt fiberriktningen i N/mm ²
$f_{h,\alpha,k}$	= Karakteristisk bäddhållfasthet med vinkeln α mellan kraft och fiberriktning
$f_{t,0,k}$	= Karakteristisk draghållfasthet för virkesdelen
$f_{u,k}$	= Karakteristisk draghållfasthet för förbindare
$f_{v,k}$	= Karakteristiska skjuvhållfasthet för virkesdelen
h_e	= Avståndet från den belastade kanten till centrum för den mest avlägsna förbindaren eller kanten av spikplåten i mm
k_{90}	= Faktor som tar hänsyn till vilken sorts trä som används då en last verkar i en vinkel mot fiberriktningen
k_{mod}	= Lastvaraktighets- och fuktfaktor
n_{ef}	= Effektivt antal förbindare
t_1	= Tjockleken för delen med förbindarens huvud eller förbindarens inträngningsdjup
t_2	= Kortaste längden av inträngningsdjupet för spetsen eller tjockleken för förbandets mittersta del.
t_{ef}	= Effektivt djup för förbindare i respektive brottmod
w_{pl}	= Spikplåtens bredd parallellt med fiberriktningen i mm

Grekiska gemena

α	= Vinkeln mellan kraft och fiberriktning
β	= Förhållande mellan bäddhållfasthet i förbandets olika delar
γ_M	= Partialkoefficient för materialegenskaper, tar också hänsyn till osäkerheter i beräkningsmodell och måttavvikelse
ρ_k	= Karakteristisk densitet

1 Inledning

En viktig del i att arbeta som ingenjör inom byggsektorn är att effektivt kunna hantera olika datorprogram och branschens normer vid projektering av konstruktionsdetaljer. I många fall används separata program för ritning och beräkning. Ofta utförs även beräkningar med mer generella program såsom Excel eller Mathcad.

1.1 Bakgrund

Idag sker beräkning av förband och anslutningsdetaljer i trä på avdelningen för Byggkonstruktion på ÅF Infrastructure Göteborg generellt för hand eller med individuella beräkningsark. Ett problem är att dessa beräkningsark, på grund av tidsbrist, sällan är samordnade och dessutom ofta i behov av att uppdateras mot nya normer och krav.

ÅF Byggkonstruktion önskar hjälp att utveckla beräkningsark för förbandsdimensionering för träkonstruktioner som ska snabba på beräkningarna samt säkerställa en jämn och säker kvalitet på slutprodukten. Samtidigt måste arket vara lätta att uppdatera i framtiden för nya krav från Eurokod 5 och de medföljande svenska tillämpningarna, EKS.

Eurokod är en författningssamling inom EU, som började tas fram redan 1975, för att samla och skapa en homogen, högkvalitativ och säker dimensionering för byggnadskonstruktioner. 2010 blev Eurokod obligatorisk för allt offentligt byggande inom EU och årsskiftet 2010/2011 ersattes den dåvarande svenska motsvarigheten BKR. Idag består Eurokod av tio kapitel som reglerar bland annat materialparametrar, säkerhetsmarginaler och avståndskrav för olika byggmaterial. I rapporten används främst Eurokod 5 som innefattar regler och normer för träkonstruktioner.

1.2 Syfte

Examensarbetet syftar till att beskriva den teoretiska grunden för tvärkraftsbelastade förbindare och hur den europeiska normen Eurokod använder sig av teorin. Arbetet syftar dessutom till att från grunden skapa datorbaserade beräkningsmallar för tvärkraftsbelastade förband. Dessa beräkningsmallar är tänkta att användas av ÅF Byggkonstruktions konstruktörer vid förbandsdimensionering.

1.3 Avgränsningar

Rapporten avgränsas utifrån de vanligen förekommande infästningsdetaljer som ÅF Byggkonstruktion anser tar onödig tid att beräkna för hand. På grund av tidsåtgången vid utformning av beräkningsarket valdes detaljer som fungerar på liknande sätt. Endast tvärkraftsbelastade stålförbindare behandlas i beräkningsarket. Innan arbetet inleddes hölls en diskussion för vilket program som skulle användas för beräkningsmallen. Excel valdes på grund av att det var det programmet där förkunskaperna bland konstruktörerna på ÅF Byggkonstruktion var mest utbredd.

2 Metod och material

Materialet som legat till grund för rapporten är i huvudsak en studie av ekvationer och beräkningsgångar från Eurokod 5. Dessutom har en litteraturstudie utförts kring de teorier K.W. Johansen med flera har lagt fram gällande träförband belastade till brott. De publikationer som getts ut av Svenskt trä, en del av branschorganisationen Skogsindustrierna, har varit en god vägledning i arbetet.

Exempel från redan genomförda projekt inom ÅF Byggkonstruktion har studerats för att fördjupa förståelsen för hur en erfaren konstruktör tänker och agerar i sin yrkesutövning. I samråd med erfarna konstruktörer vid ÅF Byggkonstruktion har beräkningsarket utvecklats för att försöka uppfylla de önskemål som gavs om användbarhet och omformbarhet. Begränsningar av arkets funktion och vilka förutsättningar som behövs för att använda arket har också utformats i samråd med konstruktörerna.

Teoretiska exempel från Chalmers Tekniska Högskolas kursmaterial för kursen Konstruktionsteknik har också hjälpt till att i ett tidigt skede fördjupa författarnas förståelse för Eurokods praktiska applicering.

3 Teoretisk bakgrund

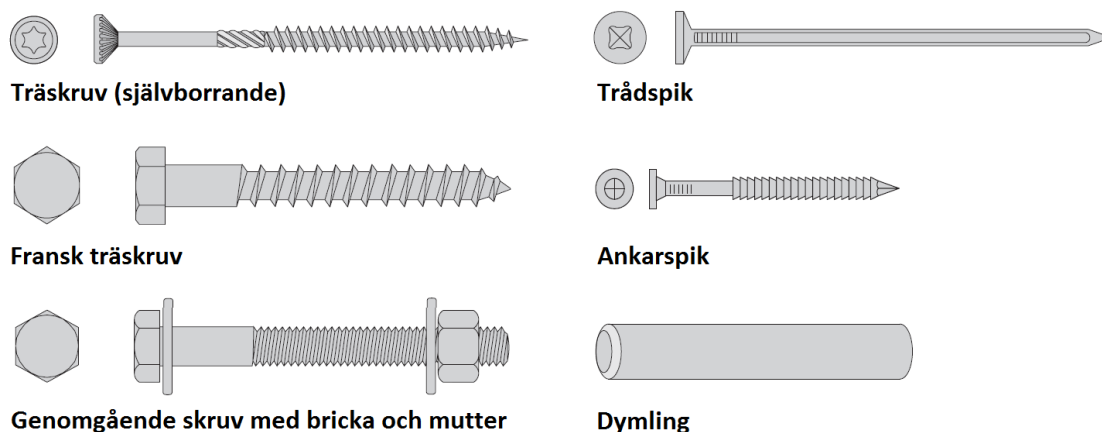
För att få en konstruktions olika delar att fungera väl tillsammans krävs att de sammanfogas på ett effektivt sätt. Detta sker i så kallade knutpunkter där varje förband utformas för att överföra krafterna som verkar på systemet. För att förstå hur dessa knutpunkter verkar krävs det en förståelse för hur varje förbandsdel fungerar, hur materialegenskaperna inverkar och vilka möjliga brott som kan uppstå.

3.1 Förbandsdelar

Den enklaste formen av ett konstruktionsförband är två virkesdelar med en förbindare som sammanfogar dem. Förbindaren kan slås eller skruvas, helt eller delvis, in i virkesdelarna och på detta sätt förhindra att delarna glider isär. Ett förband kan bestå av både stål och trä och förbindas med flera olika sorters förbindare. Den här rapporten berör inte rena stålförband utan endast de förband där åtminstone en del är av trä.

3.1.1 Förbindare

Förbindarens uppgift är att sammanfoga olika virkesdelar för att få dem att fungera som ett system (Lidelöw, 2015). De förbindare som används idag är nästan uteslutande gjorda av stål. Det är på grund av stålets egenskaper att motstå stora laster och vid eventuellt brott ge upphov till ett så kallat segt brott som materialet väljs före trä. I några få fall används dymlingar av trä, det sker då i huvudsak vid restaurering av gamla träbyggnader (Lidelöw, 2015).



Figur 1 - Olika typer av förbindare, (Bergkvist & Fröbel, 2013) & (Lidelöw, 2015).

Det finns ett antal olika förbindare bland annat; spik, ankarspik, fransk träskruv, genomgående skruv, dymling och spikplåt (se Figur 1). Där inget annat anges i den här rapporten används ordet förbindare som ett samlingsnamn för alla dessa olika typer av förbindare av stål.

3.1.2 Virkesdel

Som konstruktionsvirke används idag i första hand barrträ och då framförallt gran (Bergkvist & Fröbel, 2013). Limträ och LVL (Laminated veneer lumber) är alternativ till konstruktionsvirke som också används i bärande konstruktioner. Till skillnad från limträ som är uppbyggt av lameller av barrträ som limmas ovanpå varandra är LVL uppbyggt av tunna stående skivor av fanerträ som limmas ihop. En del av de ekvationer som återfinns i Eurokod (Institute, Swedish Standards, 2004) förändras beroende på vilken sorts konstruktionsvirke

förbandet avser. Där inget annat anges i rapporten antas homogent konstruktionsvirke av barrträ.

3.2 Materialhållfastheter

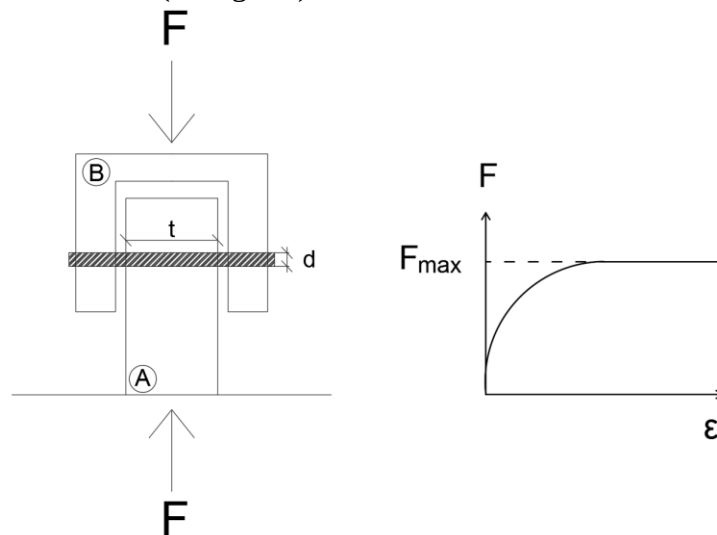
Vid skjuvverkan påverkas förbandets lastupptagningsförmåga av hålkantshållfastheten hos virket (f_h), hållfastheten för dymlingen uttryckt i flytmoment (M_y), och förankringskapaciteten (F_{ax}) (Lidelöw, 2015).

3.2.1 Hålkantshållfastheten

Enligt Blass (2003) definieras hålkantshållfasthet f_h , ibland även kallat bäddhållfasthet, som den maximalt pålagda lasten F dividerad med förbindarens inverkande area. Den inverkande arean beräknas som förbindarens diameter d , multiplicerat med längden förbindaren verkar på t .

$$f_h = \frac{F}{d * t}$$

Hålkantshållfastheten kan bestämmas genom ett test där lasten konstant ökar till dess ett hålkantbrott uppstår. Genom att maxlasten och förbindarens area är känd går det att bestämma virkets hålkantshållfasthet (se Figur 2).



Figur 2 – Bestämning av hålkantshållfasthet. Till vänster; A – provkropp av trä, B -styv belastningsanordning av stål. Till höger; typisk last-deformationskurva av ett försöksresultat.

På grund av att det redan utförts ett stort antal hålkantshållfasthetstest finns det ett empiriskt underlag för att uttrycka hålkantshållfastheten med hjälp av förbindardiameter och densitet för virkesdelen (Blass, 2003). Det har i dessa tester också visat sig att hålkantshållfastheten styrs av ett antal olika parametrar. Detta beror enligt Blass (2003) på att hålkantshållfastheten inte är en materialegenskap utan ett system påverkat av materialegenskaper.

Följande parametrar har viktig betydelse för hålkantshållfastheten:

- **Densitet** – Ökad densitet ger en linjär ökning av hålkantshållfastheten
- **Förbindardiameter** – Ökad diameter ger en sänkning av hålkantshållfastheten
- **Vinkel mellan last och fiberriktning** – Hålkantshållfastheten är högre vid belastning i fiberriktningen jämfört med vinkelrätt fiberriktningen. Hankinsons ekvation nedan beskriver inverkan av vinkeln.

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

- **Friktion mellan förbindare och trä** – Ökad friktion genom ökad ytojämnhet eller lim mellan förbindare och virke ökar hållkanthållfastheten. Det ger också lägre risk för att virket splittras vid last parallellt fiberriktningen (Blass, 2003).
- **Fuktkvot** – Högre fuktkvot ger en lägre hållkanthållfasthet. Detta tas dock hänsyn till vid den slutliga dimensioneringen i och med faktorn k_{mod} som hämtas ur tabell i Eurokod.
- **Förborrning** - Om virkesdelen är förborrad eller inte påverkar lastöverföringen mellan förbindare och virkesdel. Lastöverföringen påverkar i sin tur vilken ekvation som används vid beräkning av hållkanthållfasthet.

3.2.2 Flytmoment

Flytmoment är momentkapaciteten i en utbildad flytled i ett visst material. För ett elasto-plastiskt material motsvarar flytmomentet den teoretiska punkt där materialet övergår från ett elastiskt beteende med reversibel deformation, till ett plastiskt beteende med irreversibel deformation. Efter att flytmomentet uppnåtts kommer deformationen fortsätta öka utan att momentkapaciteten ökar tills materialet går till brott.

3.2.3 Dymlingsverkan

Dymlingsverkan är det huvudsakliga verkningssättet en förbindare nyttjas till i ett tvärkraftsbelastat förband. Förbindaren monteras i de flesta fall vinkelrätt mot lasten den kommer utsättas för och fungerar som en lastfördelare. Själva dymlingsverkan uppstår när den utbredda lasten från virket fördelas genom förbindaren och överförs till andra delar av förbandet. Lidelöw (2015) beskriver det som en balk med en jämnt fördelad last som trycker på det omgivande materialet som, beroende på dimension, riskerar böjas.

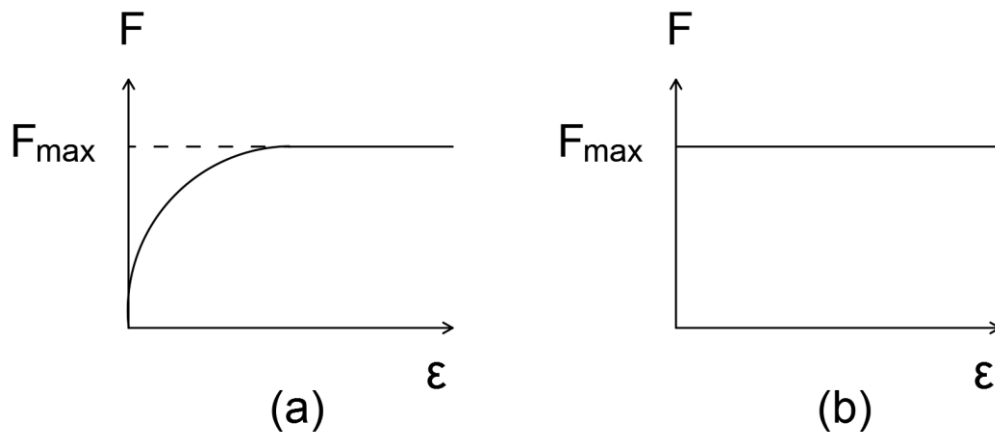
3.3 Tvärkraftsbelastade förband

I ett tvärkraftsbelastat förband finns det risk för mer än ett typ av brott. Det är dock vid den brotttyp där förbandskapaciteten är lägst som brottet kommer uppstå. För tvärkraftsbelastade förband finns risk att hållkanthållfastheten för virkesdelen respektive flytmomentet hos förbindare överskrids. Utöver dessa brottyper finns det också risk för ett antal spröda brott. Några av dessa diskuteras i senare kapitel.

3.3.1 Tvärkraftsbelastade träförband enligt Johansen

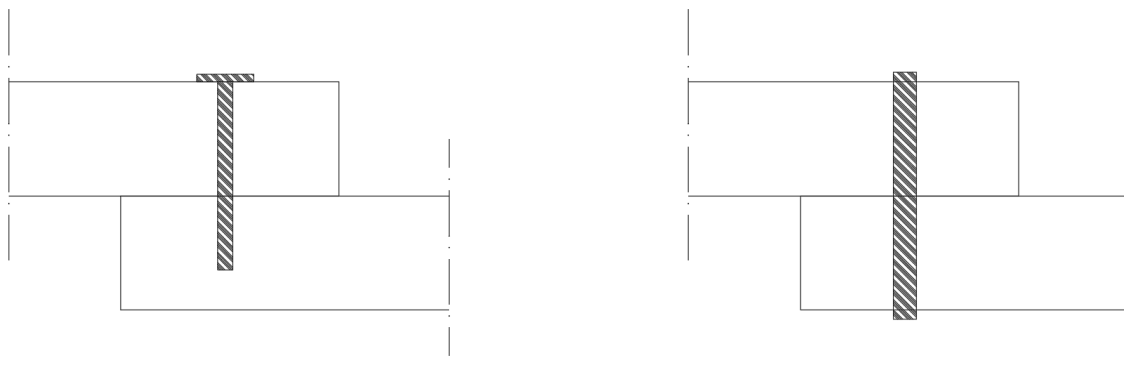
I den danske ingenjören K.W. Johansens publikation ”Theory of Timber Connections” som publicerades 1949 lägger Johansen en grund för den teori kring bärförmågan i träförband som används idag. Det har visat sig i ett stort antal försök att de teorier och ekvationer som Johansen, med hjälp av egna tester, härledde fram stämmer bra överens med den bärförmåga som uppmätts på senare tid (Ehlbeck & Görlacher, 1995).

I Johansens teori antas både virke och förbindare ha ett stel-plastiskt beteende (se Figur 3). Det betyder att ingen deformation sker förrän flytpunkten i förbindaren uppstår. Förbindaren antas dessutom ha tillräcklig kapacitet för att motstå avskjuvning vinkelrätt förbindaren. Antagandena underlättar analysen av ett förband medan det endast ger en liten påverkan på slutresultatet menar Ehlbeck & Görlacher (1995).



Figur 3 - a, verklig deformationskurva. b, antagen stel-plastisk deformationskurva

3.3.1.1 Enskäriga förband



Figur 4 – Enskärigt trä-träförband för spik respektive dymling.

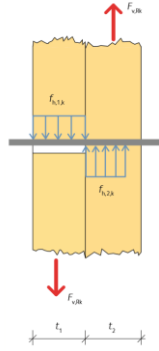
Beroende på hur många flytleder som uppstår i förbindaren identifierade Johansen tre olika brottmoder som kan uppstå för ett enskärigt förband; Brottmod I, där ingen flytledd uppstår, Brottmod II, där en flytledd uppstår, och Brottmod III där två flytledder uppstår, en i varje virkesdel.

Ur dessa framtagna brottmoder kan de ekvationer som kallas för Johansens ekvationer härledas. Dessa används för att beräkna tvärkraftskapaciteten för förbandet. Den brottmod med lägst kapacitet i förbandet blir den dimensionerande (Johansen, 1949).

Brottmod I

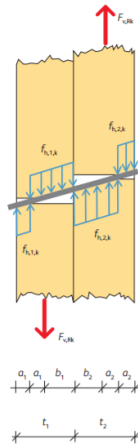
Vid brottmod I uppstår ett brott i trämaterialen på grund av att hållkantrycket har överskridit hållkanthållfastheten (se Figur 5). Virkesfibrerna krossas då och en töjning av hålet uppstår. Brottmod I uppstår sällan i spikade förband men förekommer oftare i förband med genomgående skruv. Tvärkraftskapaciteten beräknas utifrån den ekvation för hållkanthållfasthet som gavs i kapitel 3.2.1 och ekvation a respektive b nedan syftar till i vilken av virkesdelarna som brottet uppstår.

$$\begin{aligned} \text{(a)} \quad F_{v,Rk1} &= f_{h,1,k} * t_1 * d \\ \text{(b)} \quad F_{v,Rk2} &= f_{h,2,k} * t_2 * d \end{aligned}$$



Figur 5 - Brottmod I (a och b) vid hålkantbrott (Lidelöw, 2015).

Det kan också förekomma att det blir hålkantsbrott i båda trädelarna. Detta uppstår om virkesdelarna är av samma material och av samma storlek. Om detta sker roterar dymlingen men förblir rak (se Figur 6).



Figur 6 - Brottmod I (c) vid rotation av förbindare (Lidelöw, 2015).

Genom att göra en momentjämvikt vid gränsytan mellan snitten kan ett uttryck för den maximala tvärkraft som förbandet kan utsättas för innan brott härledas. Utgångspunkten för härledningen är hålkantsbrottet

$$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} * d * b_1 = f_{h,2,k} * d * b_2 = \beta f_{h,1,k} * d * b_2 \quad (1)$$

$$b_1 = \beta b_2$$

Sedan görs en jämvikt i snittet mellan virkesdelarna.

$$M_{vänster} = f_{h,1,k} * d * \left(b_1 * \frac{b_1}{2} + a_1 \left(b_1 + \frac{a_1}{2} \right) - a_1 \left(b_1 + \left(a_1 + \frac{a_1}{2} \right) \right) \right)$$

$$= f_{h,1,k} * d * \left(\frac{b_1^2}{2} + a_1 \left(b_1 + \frac{a_1}{2} \right) - a_1 \left(b_1 + \frac{3a_1}{2} \right) \right)$$

$$= f_{h,1,k} * d * \left(\frac{b_1^2}{2} - a_1^2 \right)$$

$$M_{höger} = f_{h,2,k} * d * \left(\frac{b_2^2}{2} + a_2 \left(b_2 + \frac{a_2}{2} \right) - a_2 \left(b_2 + \frac{3a_2}{2} \right) \right)$$

$$= f_{h,2,k} * d * \left(a_2^2 - \frac{b_2^2}{2} \right) = \beta f_{h,1,k} * d * \left(a_2^2 - \frac{b_2^2}{2} \right)$$

Momenten likställs eftersom de verkar i samma snitt

$$M_{vänster} = M_{höger}$$

$$\frac{b_1^2}{2} - a_1^2 = \beta \left(a_2^2 - \frac{b_2^2}{2} \right) \quad (2)$$

Genom att utnyttja sambandet $b_2 = \frac{b_1}{\beta}$

$$\frac{b_1^2}{2} * \frac{1 + \beta}{\beta} = \beta a_2^2 + a_1^2$$

Uttrycken a_1 och a_2 kan uttryckas som

$$a_1 = \frac{t_1 - b_1}{2} \text{ och } a_2 = \frac{t_2 - b_2}{2} = \frac{\beta t_2 - b_1}{2\beta}$$

Dessa uttryck (a_1 och a_2) sätts in i ekvation (2) och en andragradsekvation fås

$$b_1^2 \left(\frac{1 + \beta}{\beta} \right) + 2b_1(t_1 - t_2) - (t_1^2 + \beta t_2^2) = 0$$

Lösningen av andragradsekvationen ger läget där en eventuell flytled uppstår.

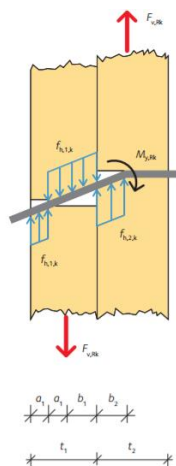
$$b_1 = \frac{t_1}{1 + \beta} * \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 * \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right]$$

Lösningen för b_1 förs in i ekvation (1) och ett uttryck för den maximala belastningen är härlett.

$$(c) \quad F_{v,Rk3} = \frac{f_{h,1,k} * t_1 * d}{1 + \beta} * \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 * \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right]$$

Brottmod II - flytled i förbindaren

Vid brottmod II uppstår en flytled i förbindaren (se figur 7). Flytleden uppstår vid det maximala momentet för förbandet där tvärkraften är 0. För att brottmod II ska uppstå krävs att virkestjockleken är tillräckligt stor så att brottet sker i förbindaren istället för i virkesdelen.



Figur 7 - Brottmod II (d och e), flytled i förbindaren (Lidelöw, 2015).

På liknande sätt som för brottmod I kan ett uttryck för hållfastheten med utgång i hållkanthållfastheten härledas.

$$\begin{aligned} F_{v,Rk} &= f_{h,1,k} * d * b_1 = f_{h,2,k} * d * b_2 = \beta f_{h,1,k} * d * b_2 \\ b_1 &= \beta b_2 \end{aligned} \quad (1)$$

Momentjämvikt sätts upp vid flytleden.

$$M_{y,Rk} = -f_{h,2,k} * d * \frac{b_2^2}{2} + f_{h,1,k} * d(b_1 + a_1) \left(\frac{b_1 + a_1}{2} \right) - f_{h,1,k} * d * a_1 \left(b_1 + b_2 + \frac{3a_1}{2} \right)$$

Genom att på liknande sätt som för brottmod I använda dessa uttryck

$f_{h,2,k} = \beta f_{h,1,k}$, $b_2 = \frac{b_1}{\beta}$, och $a_1 = \frac{t_1 - b_1}{2}$ ges två stycken andragsgradsekvationer för b_1 . Detta beror på om flytleden uppstår i virkesdel 1 eller 2.

$$b_1 = \frac{t_1}{2 + \beta} * \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) * \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - \beta \right]$$

Respektive

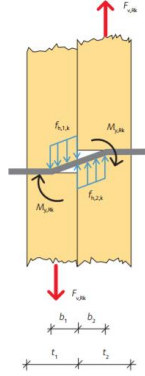
$$b_1 = \frac{t_2}{1 + 2\beta} * \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) * \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - \beta \right]$$

Genom att föra in uttrycket i ekvation (1) ges följande värden för hållfastheten. Genom test och prover har det visat sig att hållfastheten är något högre än den teoretiskt framtagna. Därför finns det i Eurokod (Institute, Swedish Standards, 2004) inlagt en faktor på 1,05 i ekvationen som ökar hållfasthetsvärde något.

$$\begin{aligned} (d) \quad F_{v,Rk4} &= 1,05 * \frac{f_{h,1,k} * t_1 * d}{2 + \beta} * \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) * \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ (e) \quad F_{v,Rk5} &= 1,05 * \frac{f_{h,1,k} * t_2 * d}{1 + 2\beta} * \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) * \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{aligned}$$

Brottnod III - två flytleder i förbindaren

Vid brottnod III uppstår två flytleder i förbindaren, en i varje virkesdel. Genom att anta att tvärkrafterna i flytlederna är noll kan en momentjämvikt ställas upp för delen mellan flytlederna. I Figur 8 ses detta som den diagonala delen av förbindaren. Därifrån kan en ekvation för tvärkraftskapaciteten för Brotnod III härledas.



Figur 8 - Brottmod III (f) (Lidelöw, 2015).

Jämvikt mellan flytlederna:

$$M_{y,Rk} + M_{y,Rk} = f_{h,1,k} d b_1 \left(b_2 + \frac{b_1}{2} \right) - \beta f_{h,1,k} d \frac{b_2^2}{2}$$

$$b_2 = \frac{b_1}{\beta} \rightarrow b_1 = \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d}} \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}}$$

$$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} * d * b_1 = \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} * \sqrt{2M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d}$$

Även för denna brottmod har det genom tester visats att det går att öka den teoretiska hållfastheten något. Eurokod tar hänsyn till detta genom att en faktor 1,15 läggs till tvärkraftskapaciteten.

$$(f) \quad F_{v,Rk6} = 1,15 * \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} * \sqrt{2M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

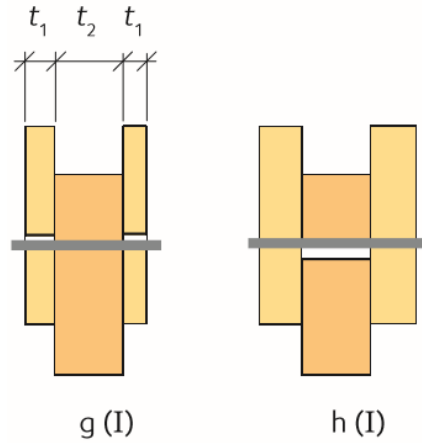
3.3.1.2 Två-skäriga förband

För förband med två skär förutsätts, i Eurokod (Institute, Swedish Standards, 2004), att de yttre virkesdelarna har samma dimension vilket leder till att lasten verkar symmetriskt. Om ett tvåskärigt förband inte är symmetriskt utformat krävs att jämviktsekvationer ställs upp för förbandet. Då varierar ekvationerna från fall till fall.

De två första brottmoderna för tvåskäriga förband, g och h, verkar på samma sätt som brottmod I för enskäriga förband. Hålkantshållfastheten för de yttre, alternativt den inre virkesdelen överskrids och ett brott uppstår (se Figur 9). På grund av att lasten är just symmetrisk finns ingen risk för att förbindaren ska rotera och motsvarigheten för brottmod I (c) saknas för två-skäriga förband (Lidelöw, 2015).

$$(g) \quad F_{v,Rk7} = f_{h1,k} * t_1 * d$$

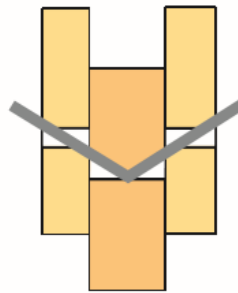
$$(h) \quad F_{v,Rk8} = 0,5 * f_{h2,k} * t_2 * d$$



Figur 9 – Brottmod I (g och h) för tvåskäriga trä-träförband (Lidelöw, 2015).

Det andra fallet som kan inträffa är att en flytled uppstår i mittdelen (se Figur 10). Denna brottmod j motsvarar brottmod II och samma ekvation kan härledas som för enskäriga förband.

$$(j) \quad F_{v,Rk9} = 1,05 * \frac{fh_{1,k} * t_1 * d}{2 + \beta} * \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) * \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{fh_{1,k} * d * t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

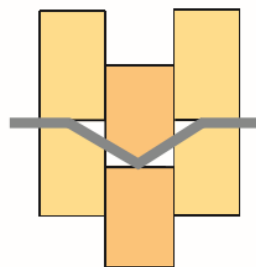


j (II)

Figur 10 – Brottmod II (j) för tvåskäriga trä-träförband (Lidelöw, 2015).

För brottmod III finns ett motsvarande fall för tvåskäriga förband, brottmod k, där tre flytleder uppstår (se Figur 11). Även där är ekvationen likadan som den för enskäriga förband.

$$(k) \quad F_{v,Rk10} = 1,15 * \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} * \sqrt{2M_{y,Rk} * fh_{1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$



k (III)

Figur 11 – Brottmod III (k) för tvåskäriga trä-träförband (Lidelöw, 2015).

Gemensamt för alla tvåskäriga förband är att de ovan nämnda ekvationerna syftar på en förbindare och ett skär. För att få ut det tvåskäriga förbandets kapacitet krävs att tvärkraftskapaciteten multipliceras med antalet skär, vilket i detta fall blir två.

3.3.1.3 Enskäriga förband stål-trä

Om det finns ett behov av att öka kapaciteten i ett förband är det möjligt att byta ut en av virkesdelarna mot en stålplåt. Eftersom stål har högre hållkantshållfasthet än trä leder detta till att flytleden alltid uppstår i skiktet mellan stål och trä. Om flytleden uppstår eller inte beror på förhållandet mellan tjockleken på stålplåten och diametern på förbindaren (Lidelöw, 2015).

Då tjockleken på stålplåten är större än, eller lika med, förbindarens diameter anses stålplåten tillräckligt styv för att fungera som en fast inspänning. Den fasta inspänningen bidrar till att en flytled uppstår och detta är att föredra eftersom hållfastheten för förbandet då blir högre. Om tjockleken på stålplåten är mindre eller lika med halva diametern antas det istället fungera som en ledad infästning mellan stålplåten och virket. Detta gör att förbindaren kan rotera i hålet och då uppstår ingen flytled mellan stålet och virket. För de fall då förhållandet mellan stål och trä inte kan räknas som varken inspänd eller ledad är det enligt Eurokod (Institute, Swedish Standards, 2004) tillåtet att interpolera mellan värdena för inspänd respektive ledad infästning.

På grund av att stål i de flesta fall har högre hållkanthållfasthet än trä förutsätts det i ekvationerna att ett eventuellt hållkantsbrott uppstår i trädelen av förbandet. Även om detta är ett rimligt antagande kräver Eurokod att risken för hållkantsbrott i ståldelen ska kontrolleras då risken finns (Institute, Swedish Standards, 2004). Figurer och ekvationer för stål-träförbanden återfinns i Bilaga 1.

3.3.1.4 Tvåskäriga förband stål-trä

Även för tvåskäriga stål-träförband finns stora likheter med trä-träförbanden. I de fall där stålplåtarna fungerar som ytterdelar i förbandet påverkar förhållandet mellan tjocklek på stålplåten och förbindardiametern infästningsvillkoret på samma sätt som för det enskäriga stål-träförbandet.

Om stålplåten däremot placeras som den centrala delen av förbandet, så kallad inslitsad stålplåt, påverkas infästningsvillkoret inte på samma sätt. En flytled antas uppstå mellan stålplåt och virkesdel oavsett tjocklek på stålplåten (Lidelöw, 2015). Dock så krävs att tjockleken på stålplåten blir tillräcklig för att stå emot hållkantrycket som blir av förbindaren.

3.3.2 Spröda brottmoder

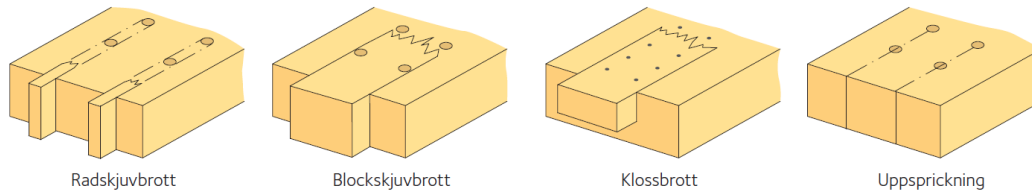
I Eurokod, i kapitel 8.2.3, står det skrivet:

” Det ska beaktas att bärförmågan hos förband stål mot trä där en belastad ände ingår kan minskas av brott längs förbandets omkrets ” (Institute, Swedish Standards, 2004).

Det som avses i texten är risken för spröda brott. Definitionen av ett sprött brott ligger i förbandets beteende när det belastas över den totala bärförmågan. Spröda brott uppvisar inga visuella tecken på att närma sig sin brottgräns utan förbandet ser precis likadant ut oavsett om det är till 10% eller 99% belastat. Motsatsen är ett så kallat segt brott. Vid sega brott har förbandet ett inbyggt varningssystem, ofta i form av små sprickor som uppstår i och runt maxbelastningspunkten. Sprickorna växer till över tid och ger på så sätt möjlighet att identifiera och åtgärda problemet innan det blir ett fullständigt brott.

3.3.2.1 Översikt spröda brottmoder

Enligt Svenskt Trä (Lidelöw, 2015) förekommer det fyra spröda brott: Radsckjuvbrott, Blocksckjuvbrott, Klossbrott och Uppsprickning (se Figur 12). Dessa brottyper riskerar inträffa i förbanden innan hålkantsbrott eller flytleader hinner uppstå. Alla förbandstyper riskerar inte att utsättas för samtliga spröda brott utan kontrolleras endast för de brott som det finns en risk för.



Figur 12 - Spröda brottmoder i stål-träförband (Lidelöw, 2015).

3.3.2.2 Rad- och Blocksckjuvbrott

För förband med flera rader är det radsckjuvbrott och blocksckjuvbrott som blir aktuella att undersöka. Enligt Lidelöw (2015) kontrolleras förband med dymlingar dock endast för blocksckjuvbrott då sprickbildningen i radsckjuvbrottet har större area och därmed uppbär en högre hållfasthet. Hållfasthetsvärdet tas, enligt bilaga A (Institute, Swedish Standards, 2004), fram med hjälp av följande ekvation:

$$F_{bs,Rk} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 * A_{net,t} * f_{t,0,k} \\ 0,7 * A_{net,v} * f_{v,k} \end{array} \right.$$

Förbandets karakteristiska skjuvhållfasthet avgörs av det största av följande värden:

- virkets draghållfasthet ($f_{t,0,k}$) multiplicerat med nettoarean av ändytan tvärs fibrerna som dras av ($A_{net,t}$).
- virkets skjuvhållfasthet ($f_{v,k}$) multiplicerat med nettoytan parallell med fibrerna som skjuts av ($A_{net,v}$).

Båda multipliceras med en empiriskt framtagna faktor som beaktar sannolikheten för defekter i virket (Lidelöw, 2015). $A_{net,t}$ representerar den ändyta som dras av, medan $A_{net,v}$ motsvarar sprickarean längs brottets sidor. Det finns enligt Lidelöw (2015) inget sätt att kombinera dessa olika två hållfastheter då de har olika styvhet.

3.3.2.3 Klossbrott

För spikade förband är det bara klossbrott, i Eurokod även kallat urgröpningsbrott, som ska kontrolleras. Klossbrott är en variant på blocksckjuvbrott men är troligare att uppstå för spikade förband då spikar sällan tränger hela vägen igenom trästycket (Lidelöw, 2015). Skillnaden mot blocksckjuvbrott är att virket förutom längs sidorna även spricker upp i bottenytan av klossen, det vill säga i det plan där spikspetsarna slutar. Beräkningstekniskt är det således bara $A_{net,v}$ som blir större i ekvationen för den karakteristiska skjuvhållfastheten, $F_{bs,Rk}$, jämfört med blocksckjuvbrott.

3.3.2.4 Uppsprickning

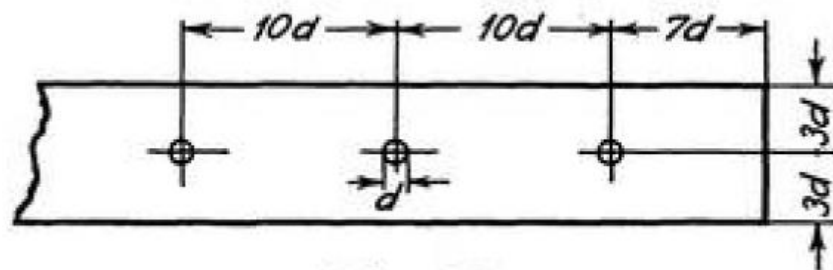
Ett virkes benägenhet att spricka längs med fibrerna beror på flera olika faktorer och har tydliga kopplingar till dess hålkantshållfasthet som finns beskrivet i kapitel 3.2.1. Denna brottmod är således svår att entydigt bestämma med hjälp av några få ekvationer. I Eurokod beaktas uppsprickning enbart genom de angivna minsta avstånden mellan förbindare, förbindare-kant och förbindare-belastad ände.

I dagens Eurokod uttrycks behovet av korrekta avstånd i kapitel 8.1.2 som:

”Placering och storlek på de enskilda förbindarna i ett förband, avståndet mellan förbindarna samt kant och sidoavstånd ska väljas så att förväntad hållfasthet kan uppnås” (Institute, Swedish Standards, 2004).

3.3.2.5 Avståndskrav

De olika avståndskrav som anges i Eurokod beror på de ingående materialen men också till stor del på vilken förbindartyp förbandet innehåller och dess diameter d . För till exempel dymlingar, i ett stål-träförband, som belastas parallellt med fiberriktningen anges $5d$ som minimikrav för centrumavstånd, samt $7d$ och $3d$ förbindare ände respektive förbindare-kant (Institute, Swedish Standards, 2004). Dessa mått kan jämföras med Figur 13 nedan, som är från samma artikel som Johansen framlägger sin flytledsteori i, och föreställer hans skiss med avståndsrekommendationer. Jämförelsen visar att förståelsen för avståndens betydelse funnits länge samt att det pågår en kontinuerlig korrektion av gällande krav och normer efter nya empiriska data.



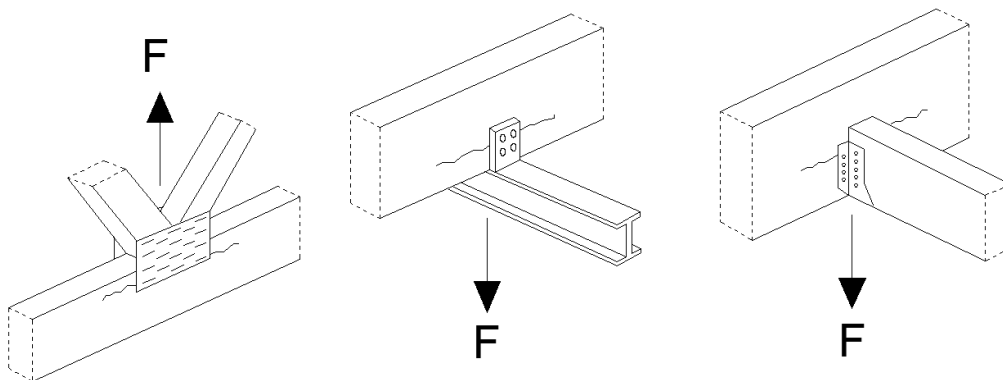
Figur 13 - Johansens avståndsrekommendationer för att undvika uppsprickning (Johansen, 1949).

I kapitel 17 i boken *Timber Engineering* påstår Hans J. Blass (2003) att Johansens ekvationer inte beaktar risken för att virket i ett stål-träförband spricker till följd av inre spänningar, orsakade av exempelvis dymlingarnas diameter. Det tycks stämma att ekvationerna i sig själva inte tar hänsyn till enskilda avstånd men Johansen uttrycker ändå vikten av avstånden för att undvika sprickning (Johansen, 1949).

I vissa fall vid projektering av stål-träförband saknas möjligheten att följa de avståndsregler som Eurokod anger. Det sker på grund av att reglerna ofta ger upphov till allt för platskrävande och/eller kostsamma konstruktioner. Genom att inte följa de avståndsrekommendationer som anges av Eurokod ökar risken för att spröda brottmoder uppstår, speciellt för förband med förbindare av dymlingstyp.

3.3.3 Spräckning

Spräckning är en brotttyp som inte täcks in av Johansens flytteori men är lik den spröda brottmoden uppsprickning. Brotttypen uppstår när virket utsätts för en dragbelastning vinkelrätt fiberriktningen som överskrider den motsvarande hållfastheten $F_{90,Rd}$ (se Figur 14).

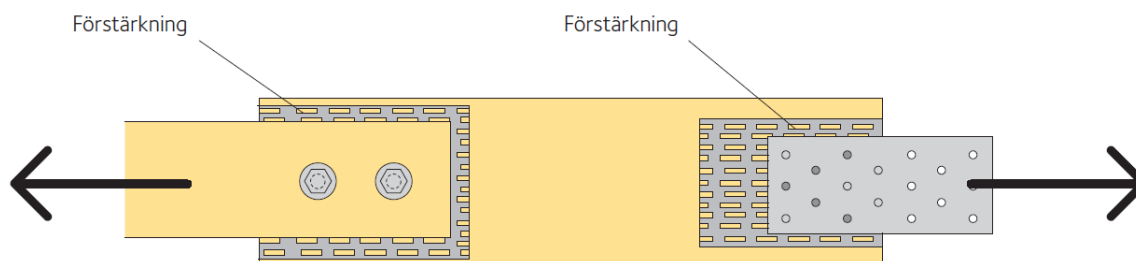


Figur 14 - Vanliga exempel på konstruktionslösningar och den troligaste sprickbanan.

För att minimera eller helt undvika risken för denna brotttyp finns det att antal saker konstruktören kan överväga. Ehlbeck & Görlacher (1995) framlägger bl.a. följande grundläggande förslag:

- Öka dimensionerna på virket (större proportion mellan höjd och tjocklek)
- Öka avståndet mellan den bastersta förbindaren och den belastade kanten
- Stora avstånd mellan förbindarna. Fler rader med förbindare och hellre fler förbindare med tunnare dimension, än färre och tjockare.

En något annorlunda men nyskapande idé är att förstärka virket med hjälp av spikplåtar (Nielsen, 2003), medan Lidelöw (2015) uppmanar till att överväga andra konstruktionslösningar som ger belastande tryckkrafter istället för dragkrafter (se Figur 15).



Figur 15 - Förstärkning av virke vid sprickrisk med hjälp av spikplåt (Lidelöw, 2015).

3.4 Gruppverkan

Spröda brott är, bredvid bland annat håltoleranser, hållplaceringar och svagheter i virket, en viktig orsak till att kapaciteten hos förbindarna i ett förband inte utnyttjas till fullo. För att motverka att konstruktören räknar med en felaktig kapacitet på förbandet används begreppet gruppverkan. I Eurokod kapitel 8.1.2 står det:

”Det ska beaktas att den karakteristiska bärförmågan hos ett förband med flera förbindare av samma typ och dimension kan vara mindre än summan av de ingående förbindarnas enskilda bärförmågaer (sic)” (Institute, Swedish Standards, 2004).

Ekvationerna för beräkningen av gruppverkan har utvecklats ur en stor mängd försök på olika förband. Fenomenet visar sig främst då flera dymlingsformade förbindare i en rad, parallell med virkets fiberriktning, utsätts för dragbelastning. Det som händer i detta specifika fall är att de yttre förbindarna uppnår flytspänning långt tidigare än de inre vilket innebär att

förbandet kommer gå till brott tidigare än Johansens ekvationer anger (se Figur 16). Orsaken till denna skillnad mellan förbindarna är att lasten inte fördelas jämt, utan de yttre förbindarna belastas av en högre procentuell andel av den totala lasten. Det i sin tur kan bero på flera olika anledningar av vilka några nämnts ovan.



Figur 16 - Kraftfördelning längs raden av förbindare (Lindelöw, 2015).

Gruppverkan som fenomen uppstår främst vid grövre förbindardimensioner då tunnare dimensioner tenderar böja sig och på så sätt omfördela lasten bättre. Därför är gruppverkan inte lika vanligt vid spikade förband (Blass 1990 se Lidelöw 2015).

Eurokod tar hänsyn till gruppverkan genom att införa ett så kallat ”effektivt antal förbindare”, (n_{ef}) (Institute, Swedish Standards, 2004). n_{ef} är en begränsning av hur stor del av de enskilda förbindarnas kapacitet som kan tillräknas förbindarradens totala kapacitet och minskar exponentiellt med en ökad mängd skruvar.

n_{ef} beräknas beroende på storlek på förbindare:

För tunna förbindare, < 6 mm, minskas kapaciteten med ekvationen:

$$n_{ef} = n^{k_{ef}}$$

Där n är det faktiska antalet förbindare och k_{ef} hämtas ur en tabell som beror på det inbördes centrumavståndet mellan förbindarna (a_1).

För tjocka förbindare, > 6 mm, anges

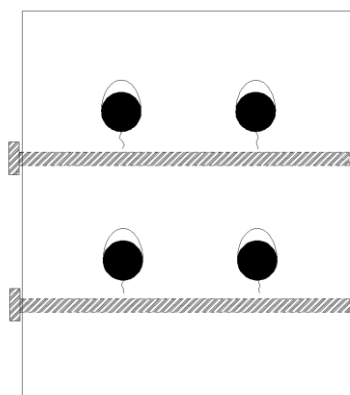
$$n_{ef} = \min \left\{ n, n^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right\}$$

där a_1 är det inbördes avståndet mellan förbindarna.

För att få bortse ifrån gruppverkan anger Eurokod (Institute, Swedish Standards, 2004) att det, för smala förbindare, räcker med en förskjutning av förbindarna i sidled med minst d eller om avståndet mellan förbindarna överstiger $14d$.

Om förskjutning inte är möjligt finns det andra alternativ som motverkar uppsprickningen av virket, och därmed gruppverkan. En metod som beskrivs av Blass (2003), är att skruva in

träskruvar vinkelrätt mot raden av ursprungliga förbindare (se Figur 17). Denna metod har i försök uppvisat goda resultat. I vissa fall även så bra resultat att inverkan av gruppverkan kunnat bortses ifrån och hela kapaciteten räknas med.



Figur 17 – Vinkelräta skruvar som förstärkning av utsatt förband.

En annan metod är att använda spikplåtar som förstärkning mellan skären i detaljen (Nielsen, 2003). Båda dessa metoder syftar till att hjälpa till att undvika uppsprickning och på så sätt öka virkets hållfasthet.

3.5 Linverkan

För alla brottmoder i Johansens teori där en flyttled uppstår och förbindaren böjts kan en del av lasten tas upp via dragning. Eftersom förbindaren i det läget inte längre sitter i en rät vinkel mot lasten kan förankringshållfasthet för förbindaren tillgodoräknas för tvärkraftskapaciteten.

Den karakteristiska utdragsbärförmågan $F_{ax,Rk}$, som syftar till den kapacitet som en förbindare har då den utsätts för axiellt drag, beaktas i Eurokod 5 genom linverkan. Linverkan beräknas genom empiriskt framtagna ekvationer, men om ett speciellt förband användas i stor skala föreslår Lidelöw (2015) att försök bör utföras för att få fram mer exakta värden än de som ekvationerna från Eurokod ger. Är det oklart hur stor linverkan är i ett förband ansätts värdet konservativt till 0.

För olika typer av förbindare finns det i Eurokod 5 (Institute, Swedish Standards, 2004) beskrivet ett maximalt bidrag som går att räkna till förbandskapaciteten. Det maximala bidraget av linverkan är en procentuell del av den tvärkraftskapacitet som förbindaren uppnår utan linverkan (se Tabell 1). Ett teoretiskt exempel; ett förband med en rund spik med en kapacitet på 100 N får ett bidrag av 15% till sin totalkapacitet. Detta skulle resultera i att den totala kapaciteten för spikförbandet maximalt kan uppgå till 115 N.

Tabell 1 – Maximalt bidrag från linverkan i relation till bärförmågan i skjuvning för enskild förbindare (Institute, Swedish Standards, 2004).

Typ av förbindare	Procentandel
Runda spikar	15%
Fyrkantiga och räfflade spikar	25%
Andra spikar	50%
Träskruvar	100%
Skruvar	25%
Dympling	0%

Enligt Lidelöw (2015) beror förankringshållfastheten på vilken typ av förbindare som används. För spikar påverkas förankringshållfastheten av friktionen mellan förbindare och virkesdel. Dessutom har också spikhuvudets geometri och förankringskapacitet en inverkan. För träskruv är det den gängade delen av skruven som blir avgörande. För genomgående skruv med bricka och mutter så kommer skruvens draghållfasthet och förankringskapaciteten hos mutter och bricka bli avgörande för bärförmågan vid drag.

På grund av att belastningen antas vara koncentrerad kan man vid beräkning av förankringskapacitet för brickor anta att det karakteristiska tryckhållfasthetsvärdet vinkelrätt fibrerna är tre gånger större (Lidelöw, 2015). Lidelöw (2015) menar dessutom att förankringshållfastheten för träskruv och genomgående skruv kan uppgå till betydligt högre värden än för spik.

4 Utformning av beräkningsark

På den teoretiska grund som framlagts i kapitel 3 vilar det beräkningsark som examensarbetet kretsat kring. Beräkningsarket är uppbyggt och utvecklat utifrån den föreslagna beräkningsgången som återfinns i Bilaga 1. Beräkningsgången utgår ifrån de ekvationer som finns i Eurokod 5 kring dimensionering av träförband. I detta kapitel redovisas endast ett av beräkningsarkets blad som exempel för att visa på arkets utseende och uppbyggnad.

4.1 Grundläggande frågeställningar för beräkningsarket

Beräkningsarket som examensarbetet har kretsat kring ska vara ett hjälpmedel i konstruktörens dagliga arbete. Genom samtal med konstruktörer på ÅF Byggkonstruktion beslutades vilka förbandstyper som beräkningsarket skulle innefatta. Dessutom kunde mer övergripande önskemål kring utformning och utseende av beräkningsarket sammanfattas i fyra kortare punkter.

- Användarvänlighet
 - Vilket typ av flöde är mest tydligt i ett beräkningsark?
 - Hur mycket förklarande texter behövs för att konstruktören ska förstå?
 - Hur byggs arket upp för att konstruktören ska uppleva kontroll över resultatet?
 - Vad behöver konstruktören kunna se medan hen jobbar i arket?
- Effektivt att arbeta med
 - Vilka förändringsmöjligheter finns för att utforma lämpliga förband?
 - Hur fås en snabb inlärningskurva för arket?
 - Hur byggs arket upp för att öka användbarheten för olika förband?
- Dokumentationsmöjlighet
 - Hur utformas arket så att det blir utskrifts- och dokumentationsvänligt? Eventuellt plats för projektnummer, namn på ansvarig med mera?
 - Hur görs de olika beräkningsstegen så tydliga som möjligt vid dokumentation?
- Lätt att redigera vid förändring av normer
 - Går arket enkelt att uppdatera vid förändringar i Eurokod och de nationella parametrarna EKS?
 - Hur hänvisas de olika ekvationerna från Eurokod?

4.2 Implementering av frågeställningarna

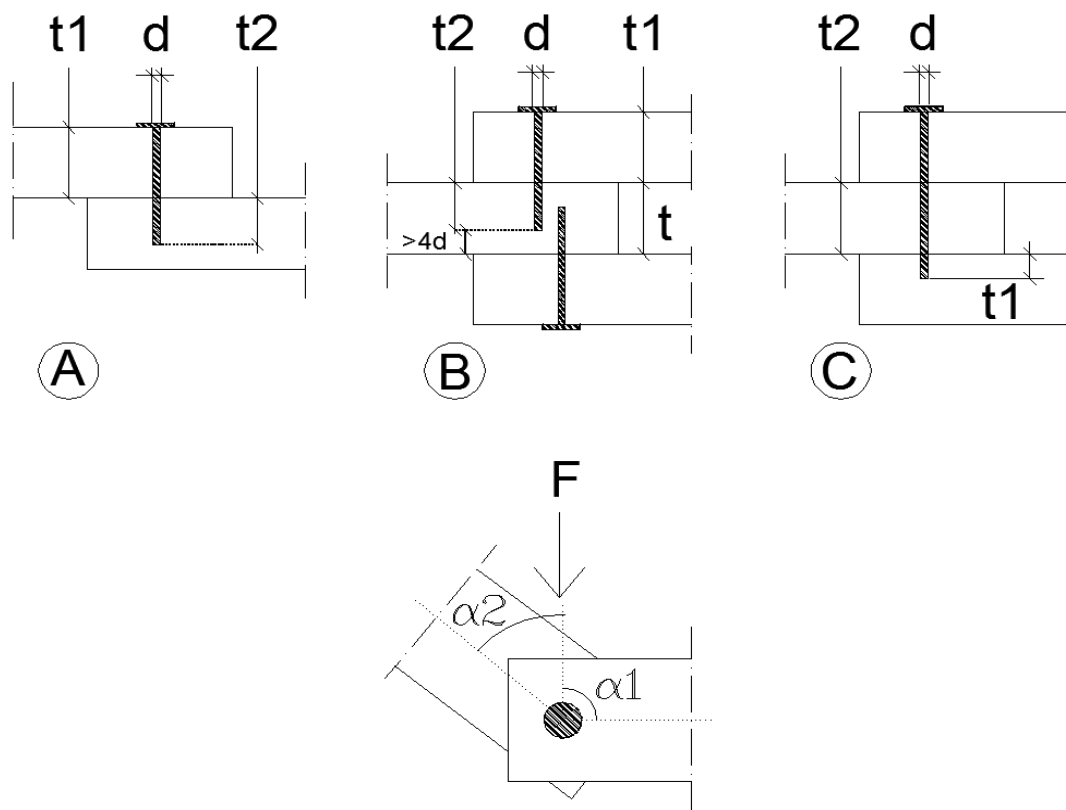
Det går att skapa beräkningsark som kan beräkna specifika lösningar med minimalt möjliga indata och vissa fasta värden. Den stora utmaningen ligger i att göra ett tillräckligt avancerat beräkningsark som kan appliceras i många olika fall men som samtidigt har en snabb inlärningskurva. Att hålla många värden reglerbara ger mer indata men också mer möjlighet att arket används i olika tillfällen. Den ökade mängden indata har motverkats genom att det i arket finns förinskrivna rekommenderade värden för flertalet parametrar. De rekommenderade värdena anses vara konservativa och bidrar således till att beräkning sker på den "säkra sidan".

Från beställare kan det ibland komma krav om att konstruktörens beräkningar ska bifogas. Konstruktörer har bättre eller sämre sätt att dokumentera sina beräkningar på. Genom att detta beräkningsark gjorts utskriftsvänligt har det möjliggjorts att på ett enkelt sätt samordna dokumentationen för förbandsberäkningar. Arket har utformats på sådant sätt att det genom enkla knapptryckningar går att dölja delar som inte är intressanta vid beräkning men som har värde vid utskrift och dokumentering.

På grund av att normer och regler kan förändras och uppdateras eftersöktes en möjlighet att kunna uppdatera arket om sådana förändringar skulle ske. Arkets uppbyggnad har gjorts så att nationella parametrar, så som k_{mod} och γ_M , plockas ur tabeller infogade från Eurokod. Skulle dessa uppdateras i Eurokod behövs endast tabellen bytas ut i arket. Arket har utformats med en tydlig tråd som följer beräkningsgången i bilaga 1. Varje beräkning som görs i arket hänvisas till Eurokod och kan därför kontrolleras och uppdateras om det skulle krävas.

4.3 Beräkningsarkets uppbyggnad

För att undvika ett komplicerat och svårtillgängligt beräkningsark med en stor mängd indata, har arket delats in i mindre delar, så kallade blad. Separata blad finns för om det är stål-träförband eller trä-träförband. Dessutom delas bladen in efter förbindare med spik och träskruv i ett blad, respektive genomgående skruv och dymling i ett annat. Varje blad inleds med celler för indata. Val av förbandstyp, förbindare och geometriska storlekar är några exempel av dessa (se Figur 18 och 19).



Figur 18 – Förtydligande bild för val av förbandstyp ur beräkningsarket.

När ingående parametrar angetts beräknas en dimensionerande kapacitet respektive utnyttjandegrad under rubriken utdata (se Figur 19). Önskas ett förband med högre kapacitet eller utnyttjandegrad kan parametrar ändras i efterhand. Möjligheten till att iterativt utveckla ett passande förband är mycket tidsparande eftersom ett stort antal ekvationer skulle behöva räknas om varje gång.

Trä-trä, tvärkraftsbelastad spik/träskruv

Indata

Förbandstyp

B

Val av förbindare

Fyrkantig/räfflad spik

Förborrade hål

Med

Utskriftsläge

Belastande kraft [kN]

0

k_{mod}

0,5

γ_M

1,3

Virkesdelar

Material

Barrträ

t_1 [mm]

0

t_2 [mm]

0

ρ_1 [kg/m³]

350

ρ_2 [kg/m³]

350

Vinkel, kraft - fiberriktning

α_1

0

α_2

0

Förbindare

Antal [st]

0

d [mm]

0

$f_{u,k}$ [N/mm²]

400

Bidrag av linverkan

$F_{ax,Rk}$ [N]

0

Utdata

Dim. kapacitet

$F_{v,Rd}$ (Per förbindare) [kN]

0,000

F_{tot}

0,000

Utnyttjandegrad

0,0%

Figur 19 – Beräkningsläget. Indata och Utdata bredvid varandra med gömda beräkningssteg.

Efter att ett önskvärt förband beräknats fram krävs kontroller för att se att förbandet verkar som konstruktören önskar. Arket innehåller separata kontroller för avståndskrav som anges i Eurokod. Dock måste konstruktören själv ta fram förbindarplaceringarna och se till att de inte överskrider förbandets geometriska begränsningar. Ytterligare kontroller finns för effektivt antal förbindare, risk för spräckning, klossbrott och hållfasthet för eventuell stålplåt.

5 Diskussion & Slutsats

I utformningen av beräkningsarket och undersökandet av teorierna som ligger till grund för Eurokod har det uppstått en del funderingar.

5.1 Teoridelen

Teoridelen i rapporten har vuxit fram tillsammans med behovet av att belägga de olika ekvationerna i beräkningsarket. Teoridelen är dock inte en helt fullständig förteckning över varje parameter som finns med i beräkningsarket. Läsaren av denna rapport antas ha en viss förståelse för grundläggande begrepp och olika index.

I rapporten har det eftersträfvats ett konsekvent behandlande av orden dymling, dymlingsverkan och skruvar. Då litteraturen, speciellt över språkgränserna, tyvärr inte varit samstämmig har denna strävan varit svår att efterleva. Det har i författarnas egen förståelse förekommit förvirring speciellt runt namn och begrepp på olika förbindare. Då Eurokod finns på engelska skulle en avgränsning till enbart engelsk litteratur eventuellt kunnat ge en klarare bild.

En fråga som har stora implikationer men som inte helt lyckats klarläggas, är på vilket sätt avstånden mellan förbindarna direkt påverkar virkets hållfasthet. Det är tydligt att den inneboende spänningen som introduceras med en dymling, driven genom ett något mindre hål än sin egen diameter, påverkar mer än spänningen från en spik. Det som inte blivit helt tydligt är hur spänningen avtar med avståndet mellan förbindarna med hänseende på materialets hållfasthet. En tänkbar förklaring till detta är just att den ekonomiska vinningen i en eventuell förbandsjustering inte motsvarar den tidsåtgång som beräkningarnas komplexitet kräver. Då är det effektivare att ha enklare avståndskrav med större marginaler.

Klossbrott och de andra spröda brotten har, till skillnad från avståndskraven, beräkningsgångar i Eurokod. Det som saknas är en tydligare teoretisk förklaring till när brottet riskeras. En fördjupning och praktisk undersökning av de spröda brotten skulle vara intressant att genomföra.

5.2 Arket

I arbetet med utformningen av beräkningsarket, och speciellt mellan de fyra önskemålen från ÅF Byggkonstruktions konstruktörer, har det uppstått kompromisser. Bladindelningen är ett tydligt exempel på detta där alla olika förbindare till en början var tänkta att ingå i ett och samma blad. Efter flera ombearbetningar växte den slutgiltiga uppdelningen fram. Det blev för många val att göra med alla förbindare inkluderade så både effektiviteten och redigeringen vid nya normer skulle drabbats för hårt. Istället blev det en uppdelning på två blad.

Beräkningsarket är på inget sätt allomfattande utan är ett resultat av de tvärkraftsbelastade förband och förbindare som undersökts. Arket kan omformas till att innefatta ännu fler förbindartyper och olika konstruktionsförband. Skulle en fortsatt utveckling av beräkningsarket ske kan det finnas skäl att se över de nuvarande bladen och expandera alternativt omarbeta bladens innehåll.

Linverkan är en post i arket som kräver att konstruktören själv hittar och går igenom de beräkningssteg som finns i Eurokod, för att sedan föra in resultatet i beräkningsarket. Att bortse från linverkan är ett konservativt beräkningssätt. Därför fick beräkning av linverkan en låg prioritet i arket och slutligen inte plats inom exjobbets tidsram.

Tidsvinsten för den enskilde konstruktören, och för ÅF Byggkonstruktion, är i sig själv svårbedömd då beräkningsarket inte hunnit användas i någon vidare omfattning. Det kan tänkas att det är i ett initialt skede i en dimensionering som den största vinsten jämfört med ett traditionellt tillvägagångssätt kan göras.

5.3 Fortsatta studier

Det finns mycket kvar som ÅF Byggnadskonstruktion kan göra för att bygga på sitt bibliotek med beräkningsark. Många detaljer men också många typer av förbindare lämnades utanför avgränsningen till denna rapport. I listan nedanför återfinns de delar som fanns med i urvalet men som inte valdes att tas med.

- **Förbindare**
 - Bulldogbricka
 - Spikplåt
 - Klammer
- **Förbandstyper**
 - Urtag i limträbalkar
 - Momentbelastat förband
- **Beräkningsteori som ej inkluderats**
 - Axiell belastning och linverkan
 - Interaktion mellan axiellt och tvärkraftsbelastad förbindare

6 Litteraturförteckning

- Bergkvist, P. (2015). *Dimensionering av träkonstruktioner, Del 3*. Stockholm: Svenskt Trä.
- Bergkvist, P., & Fröbel, J. (2013). *Att välja trä*. Stockholm: Svenskt Trä.
- Blass, H. J. (2003). *Timber Engineering*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Ehlbeck, J., & Görlacher, R. (1995). *Timber Engineering - STEP 1*. Almere: Centrum Hout.
- Institute, Swedish Standards. (2004). *Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner SS-EN 1995-1-1:2004*. Stockholm: SIS Förlag.
- Jansson, A., Linghoff, D., Nyström, U., Rempling, R., Schlune, H., & Svensson, S. (2008). *Konstruktionsteknik Exempelsamling*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Johansen, K. (1949). *Theory of timber connections*. International Association of Bridge and Structural Engineering.
- Lidelöw, H. (2015). *Dimensionering av träkonstruktioner, Del 1 (Vol. 1)*. Stockholm: Svenskt Trä.
- Nielsen, J. (2003). *Timber Engineering*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

Bilaga 1 - Beräkningsgång för tvärkraftsbelastad förbindare (SS-EN 1995-1-1:2004)

För alla detaljer i beräkningsarket förutsätts att konstruktören räknar fram den tvärkraft som belastar förbandet. Genom att konstruktören ansätter en last och materialparametrar (t.ex. förbindare, virke och eventuella plåtar) kan den dimensionerande kapaciteten och utnyttjandegraden för förbandet beräknas. Beräkningsarket är utformat efter de gällande regler för förband som man kan hitta i Eurokod 5. Om inget annat anges är det ur kapitel 8 *Förband med förbindare av metall* som ekvationerna är tagna ur.

Arket kan användas för att beräkna ett redan befintligt förband eller användas i en iterativ process för att utforma ett lämpligt förband. I efterhand krävs en del olika kontroller i form av bland annat avståndskrav för förbindare, risk för klossbrott vid för korta avstånd mellan förbindare, risk för sprickning i virket. Dessa kontroller som behöver utföras går också att använda beräkningsarket för att beräkna. Eftersom dessa kontroller beror på placering av förbindare och avstånd mellan förbindare och virkesändar har de hamnat som något som sker efter att man själv har utformat sitt förband.

Tvärkraftsbelastad förbindare

Flytmoment för förbindare – SS-EN 1995-1-1:2004 kap 8.2.2 & 8.5.1.1

$$M_{y,Rk} = \begin{cases} 0,45 f_{u,k} d^{2,6} & \text{för fyrkantig och räfflad spik} \\ 0,3 f_{u,k} d^{2,6} & \text{för rund spik och skruv/dymling} \end{cases} \quad (\text{ekv. 8.30/8.14})$$

$M_{y,Rk}$	= karakteristiskt flytmoment i Nmm
$f_{u,k}$	= karakteristisk draghållfasthet i $N/mm^2 = MPa$
d	= skruvens diameter i mm

Karakteristisk hållkanthållfasthet (bäddhållfasthet)

- Virket bör förborras om:
 - densiteten $\rho \geq 500 \text{ kg/m}^3$
 - träskruv i lövträ och vid $d > 6 \text{ mm}$ även i barrträ
 - spikens diameter $d > 6 \text{ mm}$

$$\text{Utan förborring} \quad - \quad f_{h,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3} \quad (\text{ekv. 8.32})$$

$$\text{Med förborring} \quad - \quad f_{h,k} = 0,082(1 - 0,01d) \rho_k \quad (\text{ekv. 8.32})$$

$f_{h,k}$	= karakteristisk hållkanthållfasthet N/mm^2
ρ_k	= karakteristisk densitet för virket
d	= skruvens diameter i mm

- För skruv $d \leq 30 \text{ mm}$ tas vinkeln mellan kraft och fiberriktning i hänsyn genom Hankinsons ekvation (inverkan för spik anses så låg att den ej tas i aktning).

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (\text{ekv. 8.31})$$

där:

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015d & \text{för barrträ} \\ 1,30 + 0,015d & \text{för fanerträ (LVL)} \\ 0,90 + 0,015d & \text{för lövträ} \end{cases} \quad (\text{ekv. 8.33})$$

$f_{h,0,k}$ = karakteristisk bäddhållfasthet parallellt fiberriktningen i N/mm²
 ρ_k = virkets karakteristiska densitet
 α = vinkeln mellan kraft och fiberriktning
 d = skruvens diameter i mm

Brottnoder enligt Johansen

Den karakteristiska tvärkraftskapaciteten är den lägsta av de möjliga brottnoderna. För att beräkna den dimensionerande tvärkraftskapaciteten används k_{mod} och γ_M . k_{mod} tar hänsyn till lastens varaktighet och klimatklassificering för virket medan γ_M är en nationell parameter som tar hänsyn till osäkerheter i beräkningsmodellen och måttavikelser.

Brottnoderna a-f gäller för enskäriga trä-träförband

(SS-EN 1995-1-1:2004 kap 8.2.2)

$$F_{v,Rk} = \min(F_{v,Rk1}, F_{v,Rk2}, F_{v,Rk3}, F_{v,Rk4}, F_{v,Rk5}, F_{v,Rk6}) \quad (\text{ekv. 8.6})$$

$$(a) \quad F_{v,Rk1} = fh1, k * t1 * d$$

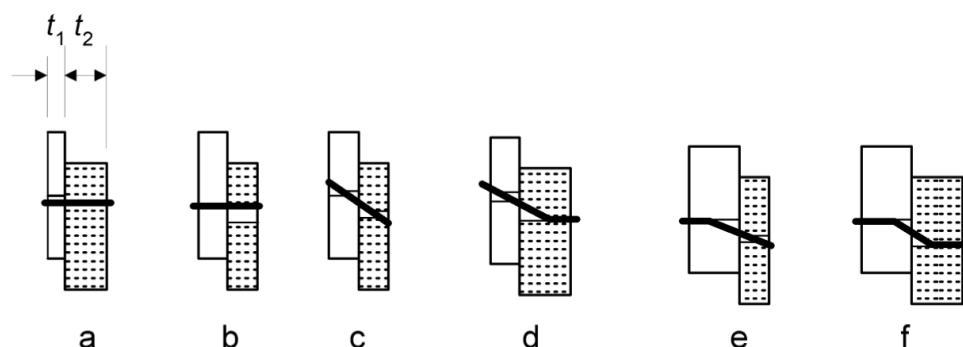
$$(b) \quad F_{v,Rk2} = fh2, k * t2 * d$$

$$(c) \quad F_{v,Rk3} = \frac{fh1, k * t1 * d}{1 + \beta} * \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 * \left[1 + \frac{t2}{t1} + \left(\frac{t2}{t1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t2}{t1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t2}{t1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$(d) \quad F_{v,Rk4} = 1,05 * \frac{fh1, k * t1 * d}{2 + \beta} * \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) * \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{fh, 1, k * d * t1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$(e) \quad F_{v,Rk5} = 1,05 * \frac{fh1, k * t2 * d}{1 + 2\beta} * \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) * \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{fh, 1, k * d * t2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$(f) \quad F_{v,Rk6} = 1,15 * \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} * \sqrt{2M_{y,Rk} * fh1, k * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$



Figur 20 - Brottmod för enskäriga trä-träförband (Institute, Swedish Standards, 2004).

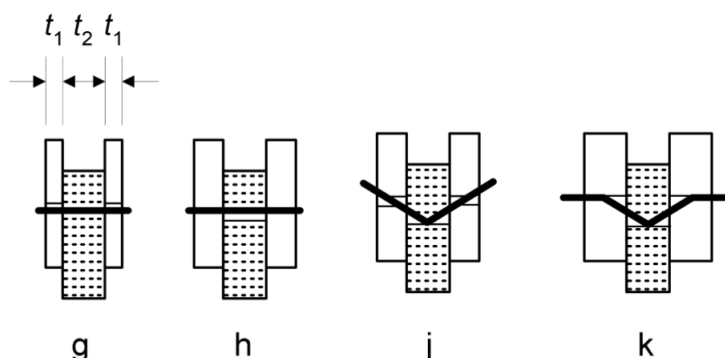
Brottmoderna g-h gäller för tvåskäriga trä-träförband

(g) $F_{v,Rk7} = fh_{1,k} * t_1 * d$

(h) $F_{v,Rk8} = 0,5 * fh_{2,k} * t_2 * d$

(j) $F_{v,Rk9} = 1,05 * \frac{fh_{1,k} * t_1 * d}{2 + \beta} * \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) * \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{fh_{1,k} * d * t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

(k) $F_{v,Rk10} = 1,15 * \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} * \sqrt{2M_{y,Rk} * fh_{1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$



Figur 21 - Brottmod för tvåskäriga trä-träförband (Institute, Swedish Standards, 2004).

Dimensionerande tvärkraftskapaciteten

(SS-EN 1995-1-1:2004 kap. 2.4.1)

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} \quad (ekv. 2.14)$$

Karakteristisk hållkanthållfasthet för stål-träförband

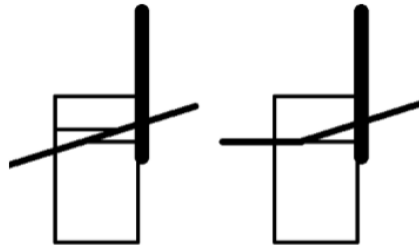
Beräkningarna för stål-träförband förändras beroende på förhållandet mellan tjocklek på stålplåt och förbindarens diameter. Om förhållandet mellan stålplåttjocklek och förbindardiameter faller mellan dessa krav nedan används linjär interpolering mellan ”tjock” och ”tunn” stålplåt.

$t_{stål} \geq d \rightarrow$ ”tjock plåt” $\rightarrow$ inspänd infästning

$t_{stål} \leq 0,5d \rightarrow$ ”tunn plåt” $\rightarrow$ ledad infästning

Tunn plåt ett skjuvningsplan

$$(a/b) \quad F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0,4 f_{h,k} * t_1 * d}{1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} * f_{h,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \right.$$



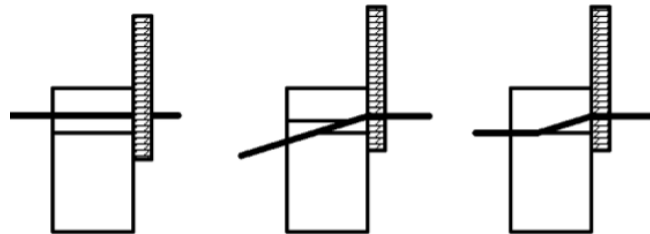
a

b

Figur 22 – Brottmod I (a) och brottmod II (b) för enskäriga stål-träförband med tunn stålplåt (Institute, Swedish Standards, 2004).

Tjock plåt i ett skjuvningsplan

$$(c/d/e) \quad F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} * t_1 * d \left[\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



c

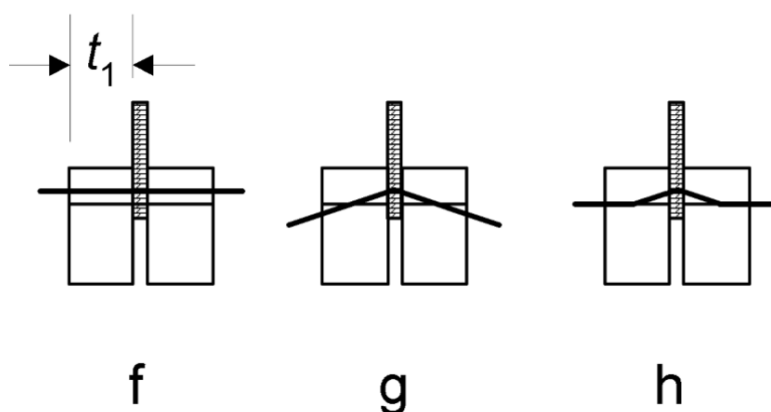
d

e

Figur 23 – Brottmod I (c), brottmod II (d) och brottmod III (e) för enskäriga stål-träförband med tjock stålplåt (Institute, Swedish Standards, 2004).

Plåt oavsett tjocklek som en central del i ett förband med två skjuvningsplan (inslitsad plåt)

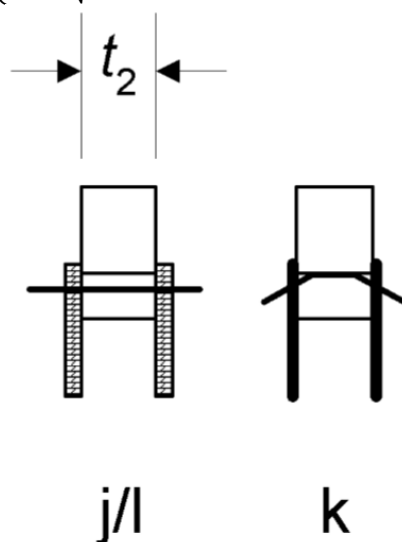
$$f/g/h \quad F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} * t_1 * d \\ f_{h,1,k} * t_1 * d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



Figur 24 – Brottmod I (f), brottmod II (g) och brottmod III (h) för inslitsade stålplåtar oberoende av tjocklek på stålplåt (Institute, Swedish Standards, 2004).

Tunna plåtar som ytterdelar i ett förband med två skjuvningsplan

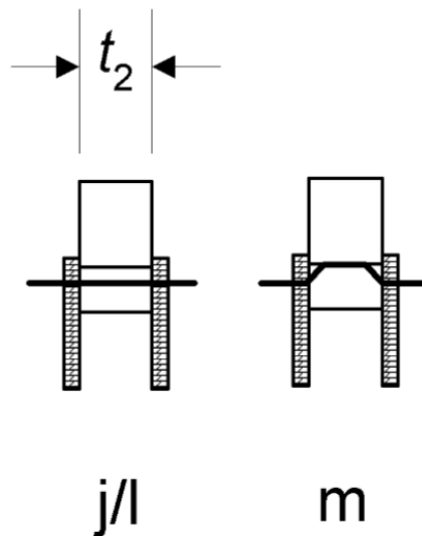
$$(j/k) \quad F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_{h,2,k} * t_2 * d \\ 1,15 \sqrt{2M_{y,Rk} * f_{h,2,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



Figur 25 – Brottmod I (j) och brottmod III (k) för tvåskäriga stål-träförband med tunna plåtar som ytterdelar av förbandet (Institute, Swedish Standards, 2004).

Tjocka plåtar som ytterdelar i ett förband med två skjuvningsplan

$$(l/m) \quad F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_{h,2,k} * t_2 * d \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,2,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



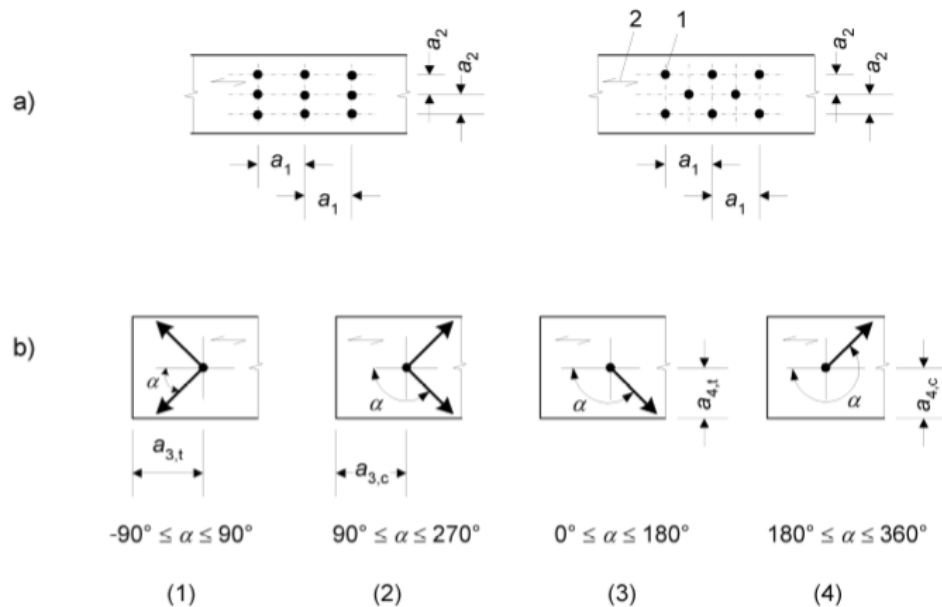
Figur 26 – Brottmod I (l) och brottmod III (m) för tvåskäriga stål-träförband med tjocka plåtar som ytterdelar av förbandet (Institute, Swedish Standards, 2004).

Där

$F_{v,Rk}$	= karakteristisk bärförmåga per skjuvningsplan och förbindare
$f_{h,k}$	= karakteristisk bäddhållfasthet i trädelen
t_1	= det minsta värdet av virkestjockleken och inträngningsdjupet
t_2	= tjockleken hos den mittersta trädelen
d	= förbindarens diameter
$M_{y,Rk}$	= förbindarens karakteristiska flytmoment
$F_{ax,Rk}$	= förbindarens karakteristiska utdragsbärförmåga

Avståndskrav

Centrum- och kantavstånd mellan förbindare i ett förband beror främst på förbindarens storlek och vilken typ av förbindare som används.



Förklaring a)

- 1 Förbindare
- 2 Fiberriktning

Förklaring b)

- (1) Belastad ände
- (2) Obelastad ände
- (3) Belastad kant
- (4) Obelastad kant

Figur 27 – Inbördes avstånd samt änd- och kantavstånd i spikförband (a) avstånd inom rad parallell med fiberriktningen och mellan rader vinkelräta mot fiberriktningen, (b) kant- och ändavstånd (Institute, Swedish Standards, 2004).

För spikade förband

Tabell 2 – Minsta avstånd mellan spikar samt avstånd till kant eller ände (Institute, Swedish Standards, 2004).

Typ av avstånd (se Figur 8.7)	Vinkel α	Minsta avstånd		
		utan förborrade hål		med förborrade hål
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
Avstånd a_1 (parallellt med fiberriktningen)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm}$: $(5+5 \cos \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(5+7 \cos \alpha) d$	$(7+8 \cos \alpha) d$	$(4+ \cos \alpha) d$
Avstånd a_2 (vinkelrätt mot fiberriktningen)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$(3+ \sin \alpha) d$
Avstånd $a_{3,i}$ (belastad ände)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10+5 \cos \alpha) d$	$(15+5 \cos \alpha) d$	$(7+5 \cos \alpha) d$
Avstånd $a_{3,c}$ (obelastad ände)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$15d$	$7d$
Avstånd $a_{4,i}$ (belastad kant)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm}$: $(5+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(5+5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm}$: $(7+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(7+5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm}$: $(3+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(3+4 \sin \alpha) d$
Avstånd $a_{4,c}$ (obelastad kant)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$3d$

För spikade stål-träförband kan avståndskraven som visas i Tabell 2 minskas med en faktor 0,7

För förband med genomgående skruv

Tabell 3 – Minsta inbördes avstånd samt kant- och ändavstånd för genomgående skruv (Institute, Swedish Standards, 2004).

Typ av avstånd (se Figur 8.7)	Vinkel	Minsta avstånd
a_1 (parallellt fiberriktningen)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) d$
a_2 (vinkelrätt fiberriktningen)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 d$
$a_{3,i}$ (belastad ände)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max (7 d; 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$ (obelastad ände)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(1 + 6 \sin \alpha) d$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$4 d$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(1 + 6 \sin \alpha) d$
$a_{4,i}$ (belastad kant)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max [(2 + 2 \sin \alpha) d; 3d]$
$a_{4,c}$ (obelastad kant)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 d$

För förband med dymlingar

Tabell 4 – Minsta avstånd mellan och kant-och ändavstånd för dymlingar (Institute, Swedish Standards, 2004).

Typ av avstånd (se Figur 8.7)	Vinkel	Minsta avstånd
a_1 (parallellt fiberriktningen)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3 + 2 \cos \alpha) d$
a_2 (vinkelrätt fiberriktningen)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 d$
$a_{3,t}$ (belastad ände)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7 d, 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$ (obelastad ände)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$\max(a_{3,t} \sin \alpha) d; 3d$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$3 d$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max(a_{3,t} \sin \alpha) d; 3d$
$a_{4,t}$ (belastad kant)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max([2 + 2 \sin \alpha] d; 3d)$
$a_{4,c}$ (obelastad kant)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 d$

För förband med träskruv

- För träskruv med slät hals med diameter $d > 6 \text{ mm}$ gäller avståndsregler för förband med genomgående skruv.
- För träskruv med slät hals med diameter $d \leq 6 \text{ mm}$ gäller avståndsregler för spikade förband.

Kloss- och Blockskjuvbrott

Karakteristisk sektorbrots- eller urgröpningsbrotsbärförmåga

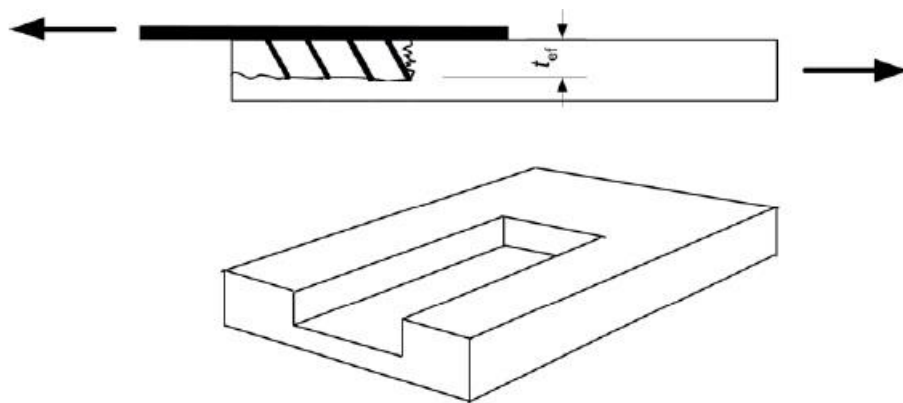
$$F_{bs,Rd} = k_{mod} \frac{F_{bs,Rk}}{\gamma_M}$$

$$F_{bs,Rk} = \max \begin{cases} 1,5 A_{net,t} f_{t,0,k} \\ 0,7 A_{net,v} f_{v,k} \end{cases}$$

Arean på vilken brottet verkar

$$A_{net,t} = L_{net,t} * t_{trä}$$

$$A_{net,v} = \begin{cases} L_{net,v} * t_{trä} & \text{brottnoder } (c, f, j/l, k, m) \\ \frac{L_{net,v}}{2} * (L_{net,t} + 2t_{ef}) & \text{övriga brotnoder} \end{cases}$$



Figur 28 - Exempel på klossbrott (urgröpningsbrott) (Institute, Swedish Standards, 2004).

För tunna plåtar (för brotnoder inom parantes)

$$t_{ef} = \begin{cases} 0,4 * t_{trä} & (a) \\ 1,4 * \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} * d}} & (b) \end{cases}$$

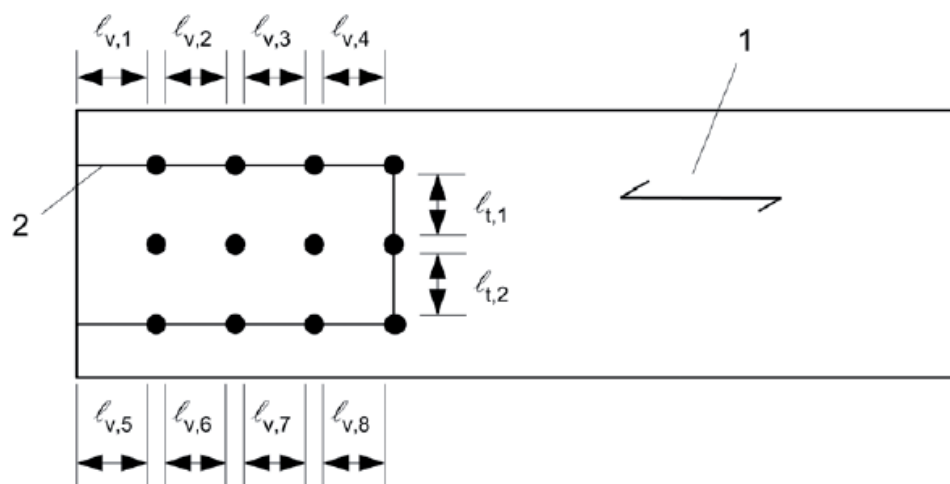
För tjocka plåtar (för brotnoder inom parantes)

$$t_{ef} = \begin{cases} 2 * \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} * d}} & (e), (h) \\ t_{trä} * \left[\sqrt{2 + \frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] & (d), (g) \end{cases}$$

Brottninjens längd

$$L_{net,v} = \sum_i l_{v,i}$$

$$L_{net,t} = \sum_i l_{t,i}$$

**Förklaring**

1 Fiberriktning

2 Brottlinje

Figur 29 – Modell för beräkning av sektorbrots- eller urgröpningsbrotsbärförmåga (Institute, Swedish Standards, 2004).

$F_{bs,Rk}$	= karaktäristisk sektorbrots- eller urgröpningsbrotsbärförmåga;
$A_{net,t}$	= netto tvärsnittsytare vinkelrätt mot fiberriktningen;
$A_{net,v}$	= netto skjuvareapare parallellt med fiberriktningen;
$L_{net,t}$	= nettobredd för tvärsnittet vinkelrätt fiberriktningen;
$L_{net,v}$	= nettolängd för skjuvbrottypen;
$l_{v,i}, l_{t,i}$	= centrum- och kantavstånd mellan förbindare, definieras i Figur
t_{ef}	= effektiva djupet för förbindaren i respektive brottmod, se Figur
$t_{trä}$	= virkesdelens tjocklek eller förbindarens inträngningsdjup i virket
$M_{y,Rk}$	= karaktäristiskt flytmoment för förbindaren;
d	= förbindarens diameter;
$f_{t,0,k}$	= karakteristisk draghållfasthet för virkesdelen
$f_{v,k}$	= karakteristiska skjuvhållfasthet för virkesdelen
$f_{h,k}$	= karakteristiska bäddhållfasthet för virkesdelen

Kontroll av risk för spräckning på grund av vinkelinverkan

För dragning vinkelrätt mot fiberriktningen är trä svagt. Det mest praktiska vore att undvika fall där dessa krafter verkar och istället försöka överföra krafterna via tryck. För att beakta risken för spräckning av dragkomponenten krävs att

$$F_{v,Ed} \leq F_{90,Rd}$$

$$F_{v,Ed} = \max \begin{cases} F_{v,Ed,1} \\ F_{v,Ed,2} \end{cases}$$

där:

$F_{v,Ed,1}, F_{v,Ed,2}$ = dimensionerande skjuvkraft på vardera sida av förbandet (se Figur 30)

$F_{90,Rd}$ = dimensionerande spräckbärförmåga beräknad ur
karakteristiskt värde $F_{90,Rk}$ enligt SS-EN 1995-1-1:2004 kap. 2.4.3

Karakteristisk spräckbärförmåga

$$F_{90,Rk} = 14 bw \sqrt{\frac{h_e}{(1 - \frac{h_e}{h})}} \text{ (För barrträ)}$$

Där korrektionsfaktorn w ges av:

$$w = \max \begin{cases} \left(\frac{w_{pl}}{100}\right)^{0,35} \\ 1 \end{cases} \text{ för spikplåtar}$$

För alla andra typer av förbindare ansätts w till 1

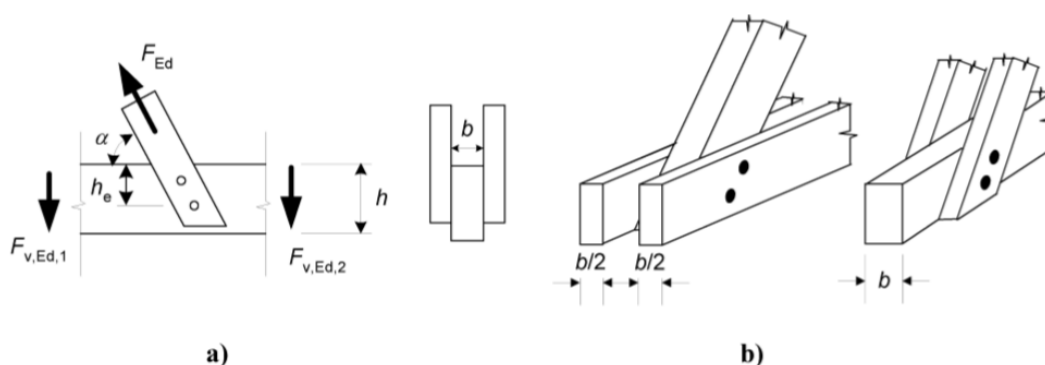
$F_{90,Rk}$ = karakteristisk spräckbärförmåga i N

h_e = avståndet från den belastade kanten till centrum för den mest avlägsna förbindaren eller kanten av spikplåten i mm

h = virkesdelens höjd i mm

b = virkesdelen

w_{pl} = spikplåtens bredd parallellt med fiberriktningen i mm



Figur 30 – Kraft överförd i vinkel mot fiberriktningen i ett förband (Institute, Swedish Standards, 2004).

Gruppverkan

Den effektiva karakteristiska bärförmågan i en rads riktning, $F_{v,ef,Rk}$, påverkas av antalet förbindare i en rad, parallell med fiberriktningen enligt ekvationen nedan.

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} F_{v,Rk}$$

Beräkning av det effektiva antalet förbindare varierar beroende på typ av förbindare.

För spikade förband

Såvida spikarna ej är förskjutna minst $1d$ i tvärlädd bör antalet effektiva förbindare beräknas med tabellvärdet k_{ef} .

$$n_{ef} = n^{k_{ef}}$$

Tabell 5 – Värden på k_{ef} (Institute, Swedish Standards, 2004).

Avstånd mellan spikar ^a	k_{ef}	
	Utan förborring	Med förborring
$a_1 \geq 14d$	1,0	1,0
$a_1 = 10d$	0,85	0,85
$a_1 = 7d$	0,7	0,7
$a_1 = 4d$	-	0,5
^a För mellanliggande värden är linjär interpolation tillåten för k_{ef}		

Förband med genomgående skruv

$$n_{ef} = \min \left\{ n^{0,9^4 \sqrt{\frac{a_1}{13d}}} \right\}$$

Där:

- a_1 = avstånd mellan skruvar i fiberriktningen
- d = skruvens diameter
- n = antalet skruvar i raden

Om vinkeln mellan last och fiberriktning är $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ kan n_{ef} bestämmas genom linjär interpolering mellan $n_{ef} = n$ och det beräknade värdet ovan.

Förband med träskruv

- För träskruv med slät hals med diameter $d > 6 \text{ mm}$ gäller de beräkning av effektivt antal förbindare som ges för genomgående skruv.

$$n_{ef} = \min \left\{ n^{0,9^4 \sqrt{\frac{a_1}{13d}}} \right\}$$

- För träskruv med slät hals med diameter $d \leq 6 \text{ mm}$ gäller den beräkning av effektivt antal förbindare som ges för spikade förband.

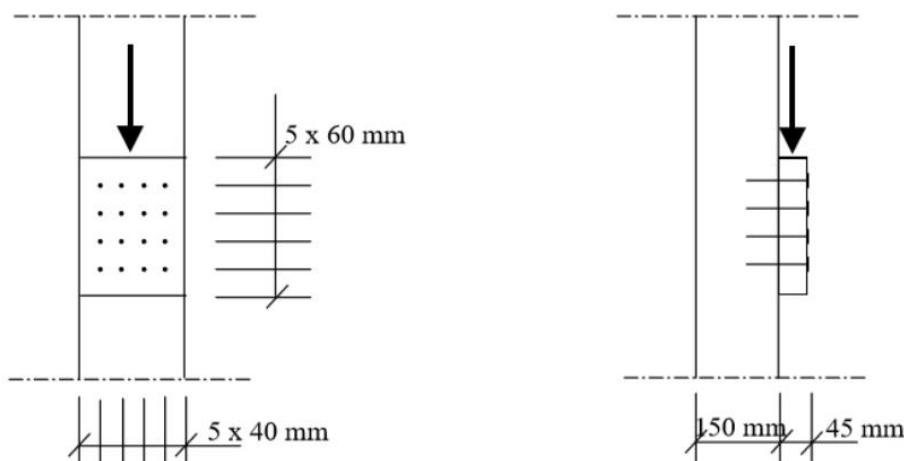
$$n_{ef} = n^{k_{ef}}$$

Bilaga 2 – Kontroll av beräkningsarket

För att kontrollera beräkningsarket har olika exempel använts. Beräkningsexempel från exempelsamlingar från Svenskt trä och Chalmers Tekniska Högskola räknas igenom för hand respektive med beräkningsarket för att se att samma resultat uppnås. Resultatet av exemplen nedan överensstämmer bra mellan handberäkningar och beräkning med hjälp av beräkningsarket. Skillnad i decimaler beror med största sannolikhet på avrundningsfel vid handberäkningar.

Beräkningsexempel 1 - Trä-träförband med spik

TF3. Beräkning av lastkapacitet för ett skjuvbelastat spikförband.



I berg- och dalbanan Balder på Liseberg så tas bromskrafterna från vagnarna i vissa fall upp med hjälp av skjuvförband av typen i figuren. Fiberriktningen är vertikal i bägge virkesdelarna. Beräkna skjuvkapaciteten hos ett sådant förband. Spikavstånd behövs inte kontrolleras

Förbindarna är räfflade trådspikar med en längd av 150mm och en diameter på 5,1 mm.

Virke C24

Stålkvalitet $f_u = 600$ MPa

Klimatklass 3

Lastvaraktighet: kort

Figur 31 - Beräkningsexempel enskärigt trä-träförband med spik (Jansson, o.a., 2008)

Beräkningsgång

- Beräkna hållkanthållfasthet och spikens flytmoment
- Beräkna kapaciteten hos en spik för ett enkelskärigt förband
- Beräkna total dimensionerande kapacitet

Förutsättningar

$$C24 \rightarrow \rho_1 = \rho_2 = 350 \frac{kg}{m^3}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Klimatklass 3} \\ \text{Kort lastvaraktighet} \end{array} \right\} \rightarrow k_{mod} = 0,7$$

$$\text{Massivt trä} \rightarrow \gamma_M = 1,3$$

$$\text{Förbindare} = \begin{pmatrix} \text{Räfflad trådspik} \\ f_u = 600 \text{ MPa} \\ l = 150 \text{ mm} \\ n = 16 \text{ st} \\ \text{Utan förborrning} \\ d = 5,1 \text{ mm} \end{pmatrix}$$

Handberäkningar

Materialparametrar för förbindare

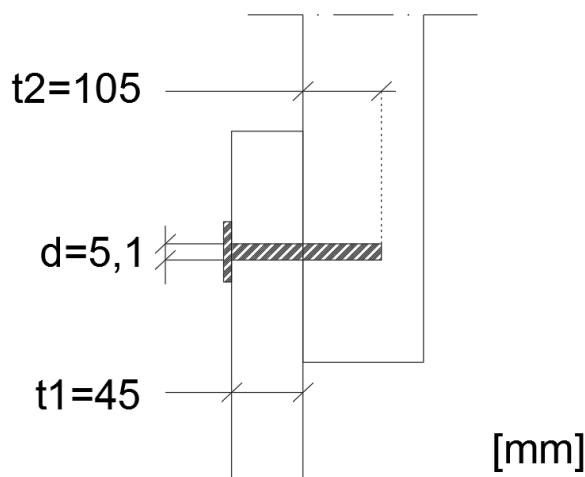
$$M_{y,Rk} = 0,45 f_{u,k} d^{2,6} = 0,45 * 600 * 5,1^{2,6} = 18666 \text{ Nmm}$$

Materialparametrar för virket

$$f_{h,k,1} = f_{h,k,2} = 0,082 \rho_k d^{-0,3} = 0,082 * 350 * 5,1^{-0,3} = 17,604 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\beta = \frac{f_{h,k,2}}{f_{h,k,1}} = 1$$

Förklarande figur



Johansens ekvationer

$$(a) F_{v,Rk1} = 4,04 \text{ kN}$$

$$(b) F_{v,Rk2} = 9,427 \text{ kN}$$

$$(c) F_{v,Rk3} = 3,163 \text{ kN}$$

$$(d) F_{v,Rk4} = 1,82 \text{ kN}$$

$$(e) F_{v,Rk5} = 3,484 \text{ kN}$$

$$(f) F_{v,Rk6} = 2,105 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk} = \text{MIN}(F_{v,Rk1}, F_{v,Rk2}, F_{v,Rk3}, F_{v,Rk4}, F_{v,Rk5}, F_{v,Rk6}) = 1,82 \text{ kN (Brottmod d)}$$

Total dimensionerande kapacitet

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 980,21 \text{ N}$$

$$F_{tot} = n * F_{v,Rd} = 16 * 980,21 = 15,68 \text{ kN}$$

Förbandets totala kapacitet är 15,68 kN

Beräkningar med hjälp av beräkningsarket

Projektnamn:
Arbetsnummer:
Beräkning utförd av :
Ansvarig:
Datum:



Trä-trä, tvärkraftsbelastad spik/träskruv

Indata

Förbandstyp	A
Val av förbindare	Fyrkantig/räfflad spik
Förborrade hål	Utan

Belastande kraft [kN]	0
k_{mod}	0,7
γ_M	1,3

Virkesdelar

Material	Barrträ
t1 [mm]	45
t2 [mm]	105
ρ_1 [kg/m³]	350
ρ_2 [kg/m³]	350

Vinkel, kraft - fiberriktning

α_1	0
α_2	0

Förbindare

Antal [st]	16
d [mm]	5,1
$f_{u,k}$ [N/mm²]	600
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	18665,8

Bidrag av linverkan

$F_{ax,Rk}$ [N]	0
-----------------	---

$$M_{y,Rk} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6} \quad \text{SS-EN 1995-1-1:2004 Kap. 8.5.1.1 Ekv. 8.30}$$

Hålkantshållfasthet

$f_{h1,k}$ [N/mm²]	17,60
$f_{h2,k}$ [N/mm²]	17,60

$$f_{h,k} = 0,082 * \rho_k * d^{-0,3} \quad \text{SS-EN 1995-1-1:2004 Kap. 8.3.1.1 Ekv. 8.15}$$

$$f_{h,k} = 0,082 * (1 - 0,01d) * \rho_k \quad \text{SS-EN 1995-1-1:2004 Kap. 8.3.1.1 Ekv. 8.16}$$

Inverkan från vinkel

k_{90}	1,4265
$f_{h1,k\alpha}$	17,60
$f_{h2,k\alpha}$	17,60
β	1,00

$$k_{90} = k + 0,15 * d \quad \text{SS-EN 1995-1-1:2004 Kap. 8.5.1.1 Ekv. 8.33}$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad \text{SS-EN 1995-1-1:2004 Kap. 8.5.1.1 Ekv. 8.31}$$

$$\beta = f_{h2,k} / f_{h1,k} \quad \text{SS-EN 1995-1-1:2004 Kap. 8.2.2 Ekv. 8.8}$$

om spik $d > 8\text{mm}$ => skruv

Projektnamn:
 Arbetsnummer:
 Beräkning utförd av:
 Ansvarig:
 Datum:



Johansens ekv.

Enskäriga förband	[N]	[kN]
F _{v,Rk1}	4040,1	4,040
F _{v,Rk2}	9426,9	9,427
F _{v,Rk3}	3162,7	3,163
F _{v,Rk4}	1820,4	1,820
F _{v,Rk5}	3483,5	3,484
F _{v,Rk6}	2105,4	2,105

$$(a) F_{v,Rk1} = f_{h,1,k} * t_1 * d$$

SS-EN 1995-1-1:2004 Kap. 8.2.2 Ekv. 8.6

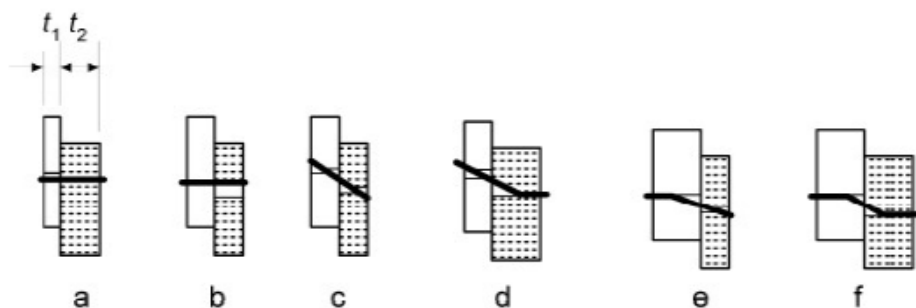
$$(b) F_{v,Rk2} = f_{h,2,k} * t_2 * d$$

$$(c) F_{v,Rk3} = \frac{f_{h,1,k} * t_1 * d}{1 + \beta} * \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 * \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$(d) F_{v,Rk4} = 1,05 * \frac{f_{h,1,k} * t_1 * d}{2 + \beta} * \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) * \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2} - \beta} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$(e) F_{v,Rk5} = 1,05 * \frac{f_{h,1,k} * t_2 * d}{1 + 2\beta} * \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) * \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_2^2} - \beta} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$(f) F_{v,Rk6} = 1,15 * \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} * \sqrt{2M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$



Projektnamn:
 Arbetsnummer:
 Beräkning utförd av :
 Ansvarig:
 Datum:



Tvåskäriga förband	[N]	[kN]
Fv,Rk7	0,0	0,000
Fv,Rk8	0,0	0,000
Fv,Rk9	0,0	0,000
Fv,Rk10	0,0	0,000

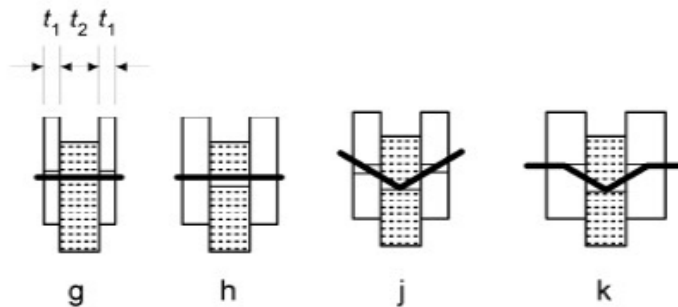
$$(g) \quad F_{v,Rk7} = f_{h1,k} * t_1 * d$$

SS-EN 1995-1-1:2004 Kap. 8.2.2 Ekv. 8.6

$$(h) \quad F_{v,Rk8} = 0,5 * f_{h2,k} * t_2 * d$$

$$(j) \quad F_{v,Rk9} = 1,05 * \frac{f_{h1,k} * t_1 * d}{2 + \beta} * \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) * \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2} - \beta} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$(k) \quad F_{v,Rk10} = 1,15 * \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} * \sqrt{2M_{y,Rk} * f_{h1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$



Utdata

Dim. kapacitet

Fv,Rd (Per förbindare) [kN]

F,tot

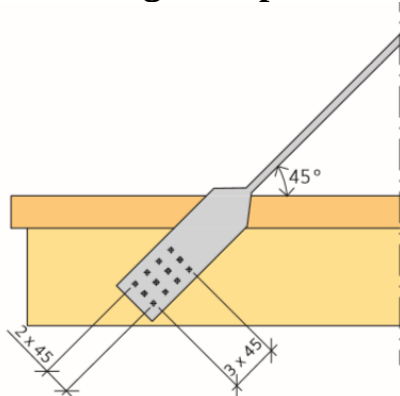
Utnyttjandegrad

0,980
15,683
0,0%

$$F_{v,Rd} = k_{mod} * \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M}$$

SS-EN 1995-1-1:2004
 Kap. 2.4.1 Ekv. 2.14

Beräkningsexempel 2 – Dimensionering av dragstagsförband



Figur 4.1

En balkong i trä bärs i framkant upp av ett dragstag i stål. Stålstaget är infäst i balken i balkongbjälklaget med 12 träskruvar. Den bärande balken har dimensionerna 115×270 mm. Träskruvarna har längden 60 mm, diametern 8 mm och en brotthållfasthet av 410 MPa. För enkelhets skull antas effektiv diameter d_{ef} här vara lika med yttre gängdiameter d . Dessa uppgifter återfinns i regel i skruvtillverkarnas deklARATIONER. Stålplåtens tjocklek är 8 mm. Balkens bärförmåga vid dragning vinkelrätt mot fibrerna antas vara tillräcklig för att motstå kraften från dragstaget.

Beräkna den maximala lasten i dragstaget med hänsyn till bärförmågan hos förbandet stål mot trä.

Figur 32 - Beräkningsexempel enskärigt stål-träförband med träskruv (Bergkvist, 2015)

Beräkningsgång

- Beräkna hållkanthållfasthet och träskruvens flytmoment
- Beräkna kapaciteten hos en spik för ett enkelskärigt förband
- Beräkna total dimensionerande kapacitet
-

Förutsättningar

Stålplåttjocklek $t = 8$ mm

limträ GL30c $\rightarrow \rho_1 = 390 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Klimatklass 3} \\ \text{Medellång lastvaraktighet} \end{array} \right\} \rightarrow k_{mod} = 0,65$

Limträ $\rightarrow \gamma_M = 1,25$

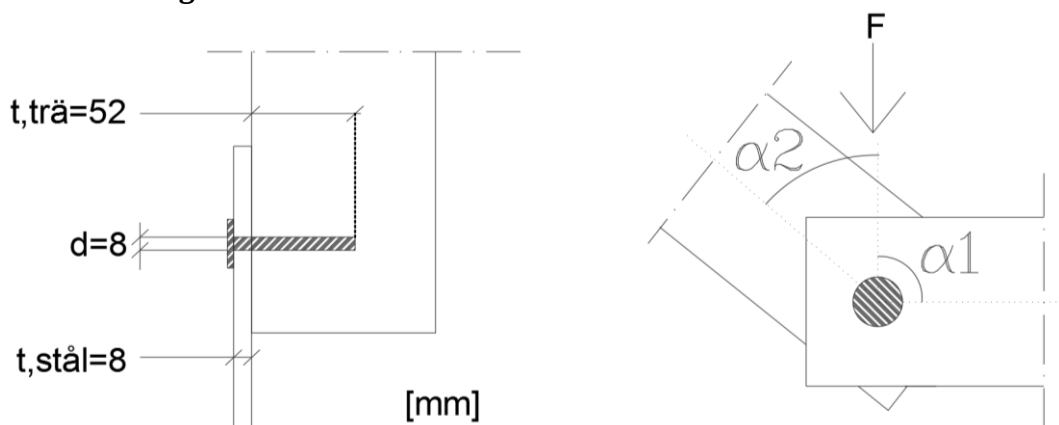
Förbindare = $\left(\begin{array}{l} \text{Träskruv} \\ f_u = 410 \text{ MPa} \\ l = 60 \text{ mm} \\ n = 12 \text{ st} \\ \text{Utan förborrning} \\ d = 8 \text{ mm} \end{array} \right)$

Handberäkningar**Materialparametrar för förbindare**

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} = 0,3 * 410 * 8^{2,6} = 27411,9 \text{ Nmm}$$

Materialparametrar för virket

$$f_{h,k,1} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k = 0,082(1 - 0,08) * 390 = 29,4216 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Förklarande figur

$$\alpha_1 = \alpha_{trä} = 45^\circ$$

$$\alpha_2 = \alpha_{stål} = 0^\circ$$

Inverkan av vinkel

$$k_{90} = k + 0,015 * d = 1,35 * 0,015 * 8 = 1,47 \quad \{barrträ \rightarrow k = 1,35\}$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,1,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{29,4216}{1,47 * \sin^2 45 + \cos^2 45} = 23,82 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Johansens ekvationer

$$(c) \quad F_{v,Rk3} = 9,91 \text{ kN}$$

$$(d) \quad F_{v,Rk4} = 4,83 \text{ kN}$$

$$(e) \quad F_{v,Rk5} = 5,26 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk} = \min(F_{v,Rk1}, F_{v,Rk2}, F_{v,Rk3}, F_{v,Rk4}, F_{v,Rk5}, F_{v,Rk6}) = 4,83 \text{ kN (Brottmod d)}$$

Total dimensionerande kapacitet

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 2,512 \text{ N}$$

$$F_{tot} = n * F_{v,Rd} = 12 * 2,512 = 30,14 \text{ kN}$$

Förbandets totala kapacitet är 30,14 kN

Beräkning med hjälp av beräkningsarket

Projektnamn:
Arbetsnummer:
Beräkning utförd av :
Ansvarig:
Datum:



Stål-trä, tvärkraftsbelastad spik/träskruv

Indata

Förbandstyp	A
Val av förbindare	Träskruv
Förborrade hål	Utan

Belastande kraft [kN]	0
k_{mod}	0,65
γ_M	1,25

Virkesdelar

Material	Barrträ
t,trä [mm]	52
ρ_1 [kg/m ³]	390

Stålplåt

f_u [N/mm ²]	420	Tjock plåt
t,stål [mm]	8	
d0 [mm] (Hålets diameter)	0	
γ_M	1,25	

Vinkel, kraft - fiberriktning

α ,trä	45	Bidrag av linverkan
		Fax,Rk [N] 0

Förbindare

Antal [st]	12	Bör förborras
d [mm]	8	
$f_{u,k}$ [N/mm ²]	410	
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	27411,9	

$$M_{y,Rk} = \begin{cases} 0,45 f_{u,k} d^{2,6} & \text{för fyrkantig och räfflad spik} \\ 0,3 f_{u,k} d^{2,6} & \text{för rund spik och skruv/dymling} \end{cases}$$

SS-EN 1995-1-1:2004
Kap. 8.3.1.1 Ekv. 8.14

Hålkantshållfasthet

$f_{h1,k}$ [N/mm ²]	29,422
---------------------------------	--------

$$f_{h,k} = 0,082 * \rho_k * d^{-0,3} \quad \text{SS-EN 1995-1-1:2004 Kap. 8.3.1.1 Ekv. 8.15}$$

$$f_{h,k} = 0,082 * (1 - 0,01d) * \rho_k \quad \text{SS-EN 1995-1-1:2004 Kap. 8.3.1.1 Ekv. 8.16}$$

Projektnamn:
Arbetsnummer:
Beräkning utförd av :
Ansvarig:
Datum:



Inverkan från vinkel

k ₉₀	1,47
f _{h1,kα}	23,823

$$k_{90} = k + 0,015 * d$$

SS-EN 1995-1-1:2004 Kap. 8.5.1.1 Ekv. 8.33

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha * \cos^2 \alpha}$$

SS-EN 1995-1-1:2004 Kap. 8.5.1.1 Ekv. 8.31

$$\beta = f_{h,2,k} / f_{h,1,k}$$

SS-EN 1995-1-1:2004 Kap. 8.2.2 Ekv. 8.8

Johansens ekvationer

Plåt - ett skjuvningsplan	[N]	[kN]
F _{v,Rk,a} (Tunn)	0,0	0,000
F _{v,Rk,b} (Tunn)	0,0	0,000
F _{v,Rk,c} (Tjock)	9910,4	9,910
F _{v,Rk,d} (Tjock)	4831,7	4,832
F _{v,Rk,e} (Tjock)	5257,0	5,257
Dim. F _{v,Rk} - enskärt	4831,7	4,832

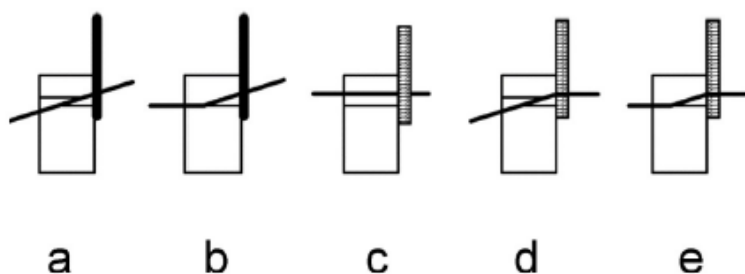
SS-EN 1995 1-1:2004 kap. 8.2.3

Tunn plåt ett skjuvningsplan

$$(a/b) \quad F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 f_{h,k} * t_1 * d \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} * f_{h,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

Tjock plåt i ett skjuvningsplan

$$(c/d/e) \quad F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} * t_1 * d \\ f_{h,k} * t_1 * d \left[\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



Utdata

Dim. kapacitet

F_{v,Rd} (Per förbindare) [kN]

F_{tot} [kN]

Utnyttjandegrad

Dim. F_{v,Rk} - enskärt

2,512
30,150
0,0%

$$F_{v,Rd} = k_{mod} * \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} \quad \text{SS-EN 1995-1-1:2004 Kap. 2.4.1 Ekv. 2.14}$$

Bilaga 3 – Beräkningsexempel klossbrott

Indata

Spikningsplåt 2 mm tjock

Räfflad trådspik 35x4,0 => $t_{trä} = 35 - 2 = 33\text{ mm}$

$$f_{uk} = 600\text{ N/mm}^2$$

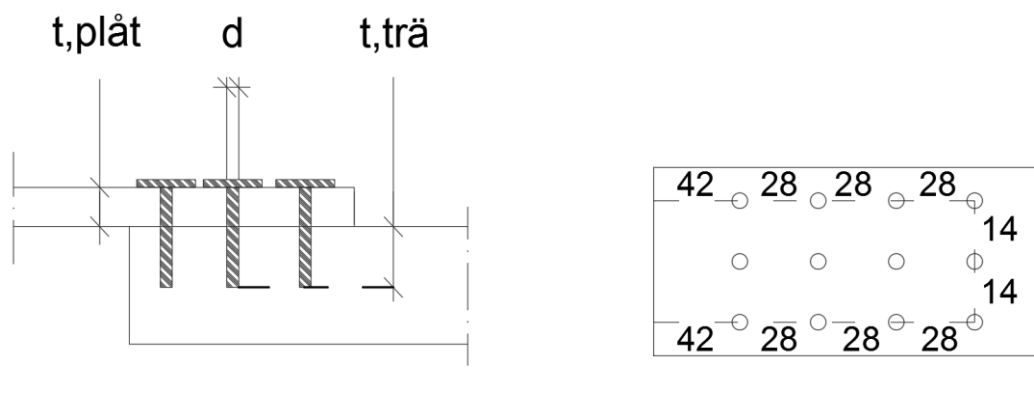
$$C24 = \begin{cases} \rho = 420\text{ kg/m}^3 \\ f_{v,k} = 4,0\text{ N/mm}^2 \\ f_{t,0,k} = 14,5\text{ N/mm}^2 \end{cases}$$

Klimatklass 2

Medellång lastvaraktighet => $k_{mod} = 0,8$ $\begin{cases} \text{Klimatklass 2} \\ \text{Medellång lastvaraktighet} \end{cases}$

$\gamma_M = 1,3$ (massivträ)

12 spikar ansätts med minsta tillåtna avstånd



$$F_{v,Rd} = 0,74\text{ kN} \text{ **Brottmod A (Enligt Johansens ekvationer)}**$$

$$F_{v,Rd,tot} = 8,86\text{ kN}$$

Kontroll för klossbrott

$$L_{net,v} = \sum_i l_{v,i} = 252\text{ mm}$$

$$L_{net,t} = \sum_i l_{t,i} = 28\text{ mm}$$

För tunna plåtar (för brottmoder inom parantes)

$$t_{ef} = \begin{cases} 0,4 * t_{trä} & (a) = 0,4 * 33 = 13,2\text{ mm} \\ 1,4 * \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} * d}} & (b) \end{cases}$$

$$A_{net,t} = L_{net,t} * t_{trä} = 924\text{ mm}^2$$

$$A_{net,v} = \frac{L_{net,v}}{2} * (L_{net,t} + 2t_{ef}) = 6854,4\text{ mm}^2$$

$$F_{b,Rk} = \max \begin{cases} 1,5 * A_{net,t} * f_{t,0,k} = 1,5 * 924 * 14,5 = 20,1\text{ kN} \\ 0,7 * A_{net,v} * f_{v,k} = 0,7 * 6854,4 * 4 = 19,2\text{ kN} \end{cases}$$

$$F_{bs,Rd} = k_{mod} \frac{F_{bs,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 * \frac{20,1}{1,3} = 12,37 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} \geq F_{v,Rd,tot}$$

$$12,37 \geq 8,86$$

I detta beräkningsexempel föreligger ingen risk för klossbrott, kapaciteten är ca 1,4 gånger så stor jämfört med förbandets totala kapacitet enligt Johansen.

De avståndskrav som finns för spik i ett stål-träförband är enligt Eurokod 70 % av de som är givna för spik i trä-träförband. Ett test gjordes där avstånden minskas till 50 % av de avståndskrav som finns för trä-träförband. Avståndsminskningen ökar risken för klossbrott markant.