TVBK-5007

STATISKA BERÄKNINGAR TILL EN TAKKONSTRUKTON AV TRÄ, UPPBYGGD AV YTBÄRANDE KASSETTELEMENT.

Examensarbete vid institutionen för byggnadskonstruktionslära, Lunds Tekniska Högskola.

Lund 1979

Anders Svensson

FÖRORD

Föreliggande rapport redovisar ett försök till en skiss av ett sätt att hållfasthetsberäkna en av undertecknad utvecklad stomkonstruktion. Rapporten gör inte anspråk på att direkt kunna användas som mall vid dimensionering av nämnda stomkonstruktion. För detta krävs en kompletterande experimentell undersökning och även ett på vissa områden fördjupat teoretiskt studium.

Arbetet har utförts som examens-arbete vid Lunds Tekniska Högskola, sektionen för arkitektur. Handledare har varit universitetslektor Leif Gustavsson vid institutionen för byggnadskonstruktionslära.

Lund i januari 1979

Anders Svensson

Anders Svensson

INNEHÅLL

1. INLEDNING

Denna rapport är avsedd att redovisa resultatet av ett försök att finna metoder för att hållfasthetsberäkna en av undertecknad utvecklad byggnadsstomme. Stommen – som främst är tänkt att kunna användas som tak, men även som fristående byggnad – är uppbyggd av s.k. ytbärande kassettelement. Studier av tillgänglig litteratur inom området har inte gett mycket stöd vid utformningen av beräkningsmodellen. Eftersom de i denna rapport skisserade beräkningsmetoderna bygger på åtskilliga approximationer, och empiriskt stöd saknas för hur konstruktionen som helhet fungerar, bör denna rapport endast ses som ett underlag för vidare studier, teoretiska såväl som experimentella.

Resultatet av arbetet redovisas bl.a. som en beräkningsmodell och ett beräkningsexempel. Arbetet med dessa delar har delvis skett parallellt, men erfarenheterna från exemplet är p.g.a. tidsbrist inte helt återförda till modellen. Modellen är således i vissa fall för noggrann och i andra fall för approximativ.

Nedan redogörs för teknikens ståndpunkt, i syftet med att utveckla en ny stomme samt stommens principiella uppbyggnad.

1.1 TEKNIKENS STÅNDPUNKT

Den vanligaste takformen vid inredd vind är idag sadeltaket. Denna takform medger endast ett utnyttjande av ca 50% av vindsbjälklagets yta.

Vägg-, bjälklags- och takkonstruktioner av trämaterial utförs i allmänhet som en bärande stomme av reglar med beklädnad av skivmaterial eller träpanel. Skivmaterialet infästs oftast på sådant sätt vid reglarna att samverkan mellan reglar och skivor ej kan beaktas vid hållfasthets- och deformationsberäkningar. I begränsad omfattning har man på senare år börjat använda s.k. ytbärande kassett-element (fig:1), där de mot ovan nämnda reglar svarande liven samverkar med beklädnaden vid last-upptagningen [1].

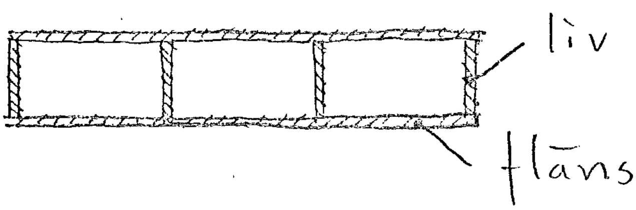


Fig:1 Kassettelement, sektion

Liven har utgjorts av träreglar eller träbaserade skivor. Beklädnaden - som kan betraktas som flänsar till en I-profil - har främst varit av plywood, men även andra träbaserade skivor har använts. Liv och fläns har varit sammanfogade genom spikning, spiklimning eller limning. Elementen har i allmänhet använts antingen enbart axialbelastade eller enbart transversalbelastade.

1.2 SYFTE

Målsättningen för arbetet har varit att finna metoder att deformations- och hållfasthetsberäkna en av prefabricerade ytbärande kassettelement uppbyggd stomkonstruktion av en viss typ, som medger ett högt utnyttjande av den övertäckta ytan.

Förutom det höga ytutnyttjandet är fördelarna med en stomkonstruktion av nämnda slag, den snabba monteringen, den goda värmeisoleringen som lätt kan erhållas vid höga livhöjder, samt materialbesparingen relativt andra konstruktioner.

Stommen är avsedd att kunna användas som tak eller som fristående byggnad, av permanent eller tillfälligt slag. Man kan t.ex. tänka sig att använda konstruktionen vid tillbyggnad på höjden av hus med från början ej inredd vind. Därvid ersätter man helt enkelt det ursprungliga taket med den nya konstruktionen, och får på detta sätt ytterligare ett inredningsbart plan.

1.3 KONSTRUKTIONENS UPPBYGGNAD OCH FUNKTION

Konstruktionens delar – åskådliggjorda med systemlinjer – och mått definieras nedan.

b = flänsbredd
h = elementhöjd

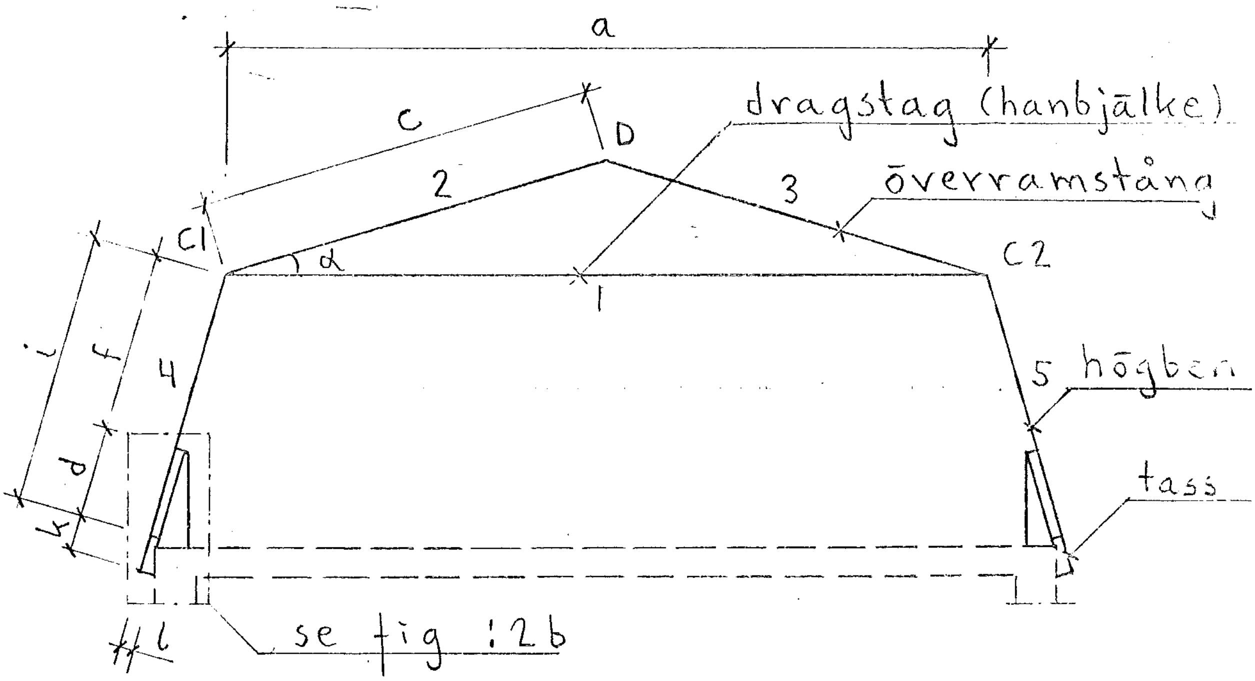


Fig :2a , Systemlinjer

De som kassettelement utformade överramstängerna och högbenen är via knutpunkter som kan betraktas som leder sammanfogade till en stomme (fig :3a). Eventuellt ingår också dragstag eller hanbjälkar i konstruktionen. Benämni-

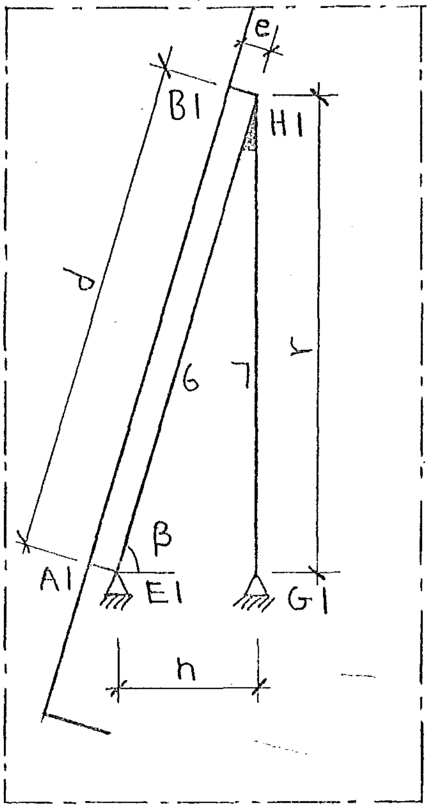


Fig : 2b , Detalj

...ngen dragstag används här för att beteckna ett element som endast upptar dragkraft, medan benämningen hanbjälke används för ett element som upptar både drag- och tryckkraft. Via en stålkonstruktion, här benämnd upplagskonstruktion, överförs stomkonstruktionens laster till upplaget (fig : 3b)

Kassettelementen är sammanfogade med varandra och med upplagskonstruktionen via plåtbeslag. Högbenen kan sammanfogas med upplagskonstruktionen på olika sätt. Fig : 4 illustrerar en utföringsform där beslaget H-B överför både axiell och transversell kraft och beslaget E-A endast överför transversell kraft.

Beslagen limmas till elementen, men i denna rapport finns inga beräkningsmodeller för beslag och fogar. Dessa

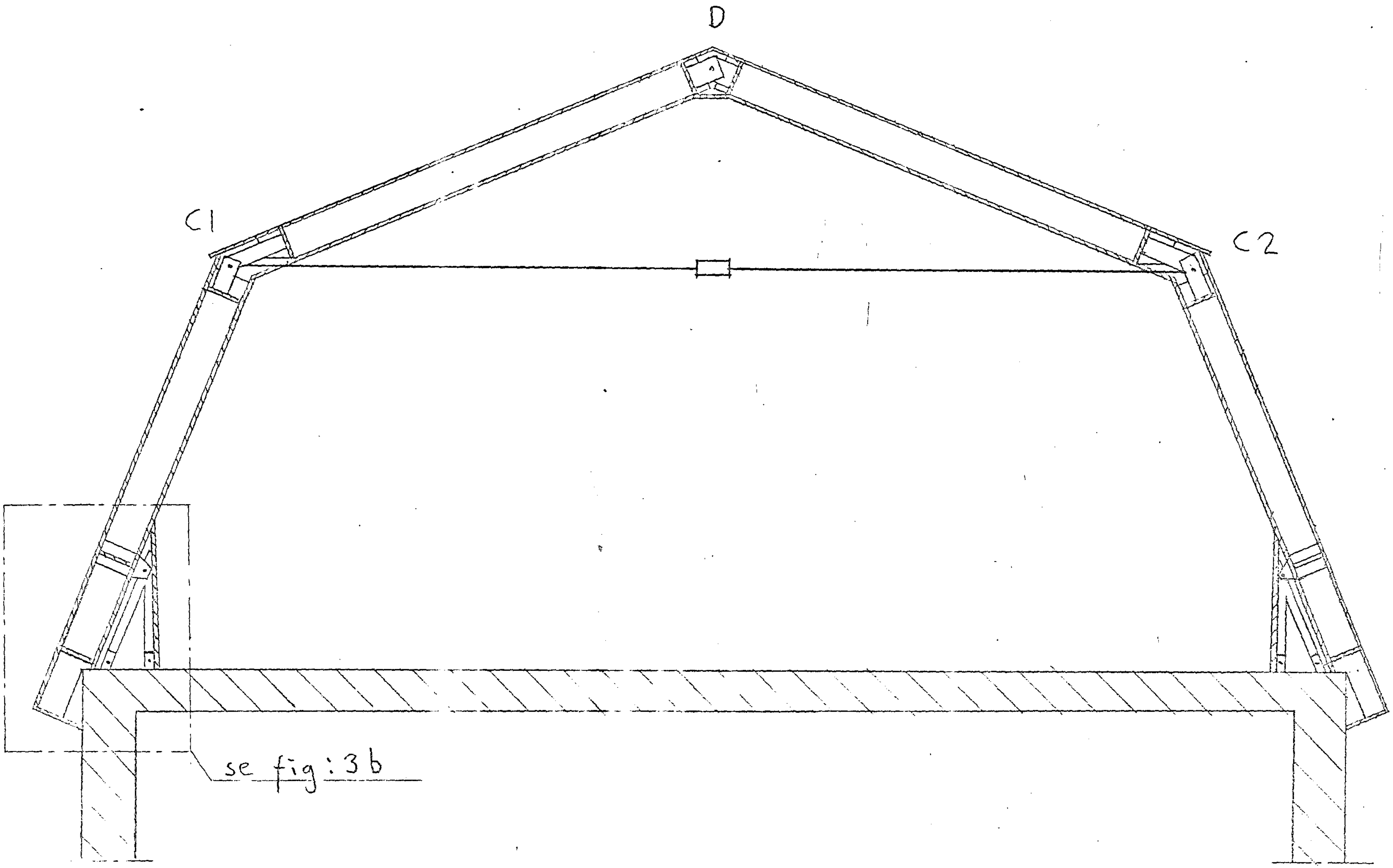


Fig:3a, Stomkonstruktion, sektion (isoleringen är ej utritad)

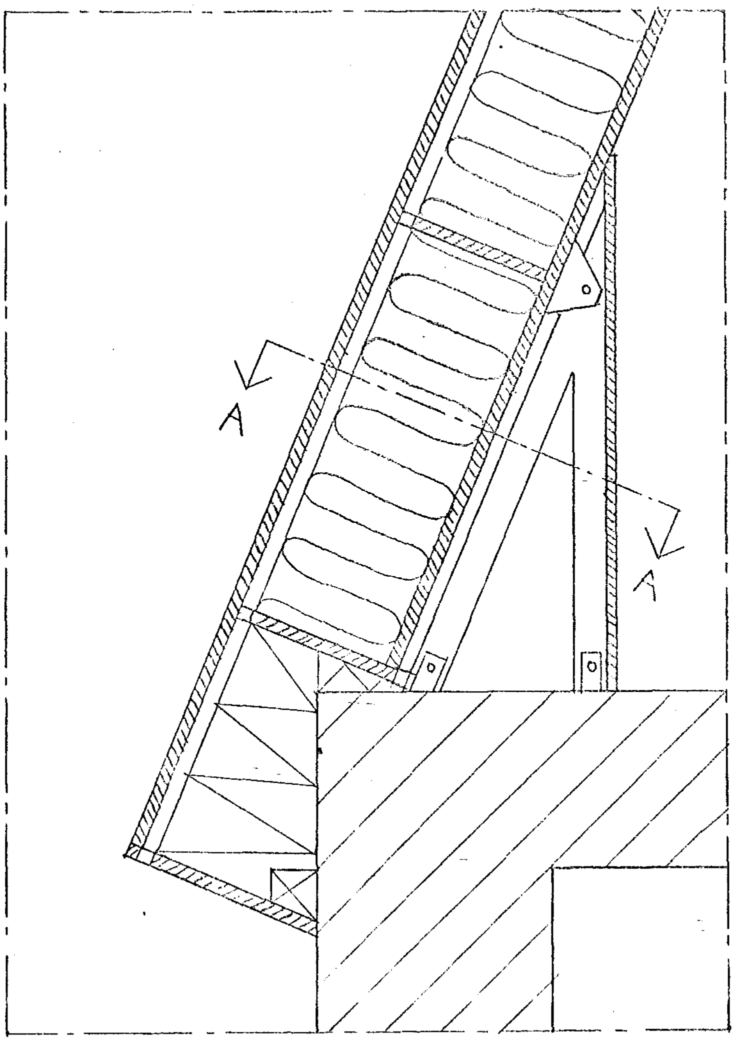


Fig: 3b, Detaljer

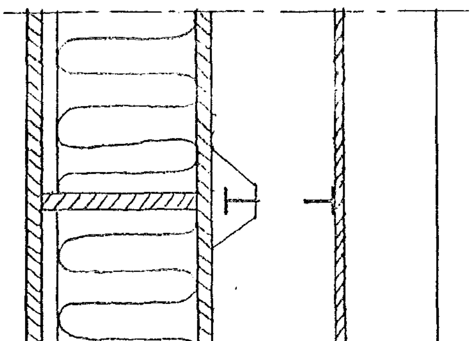


Fig: 3c, Sektion A-A

dimensioneras lämpligen experimentellt. För limfogen mellan liv och fläns gäller detsamma.

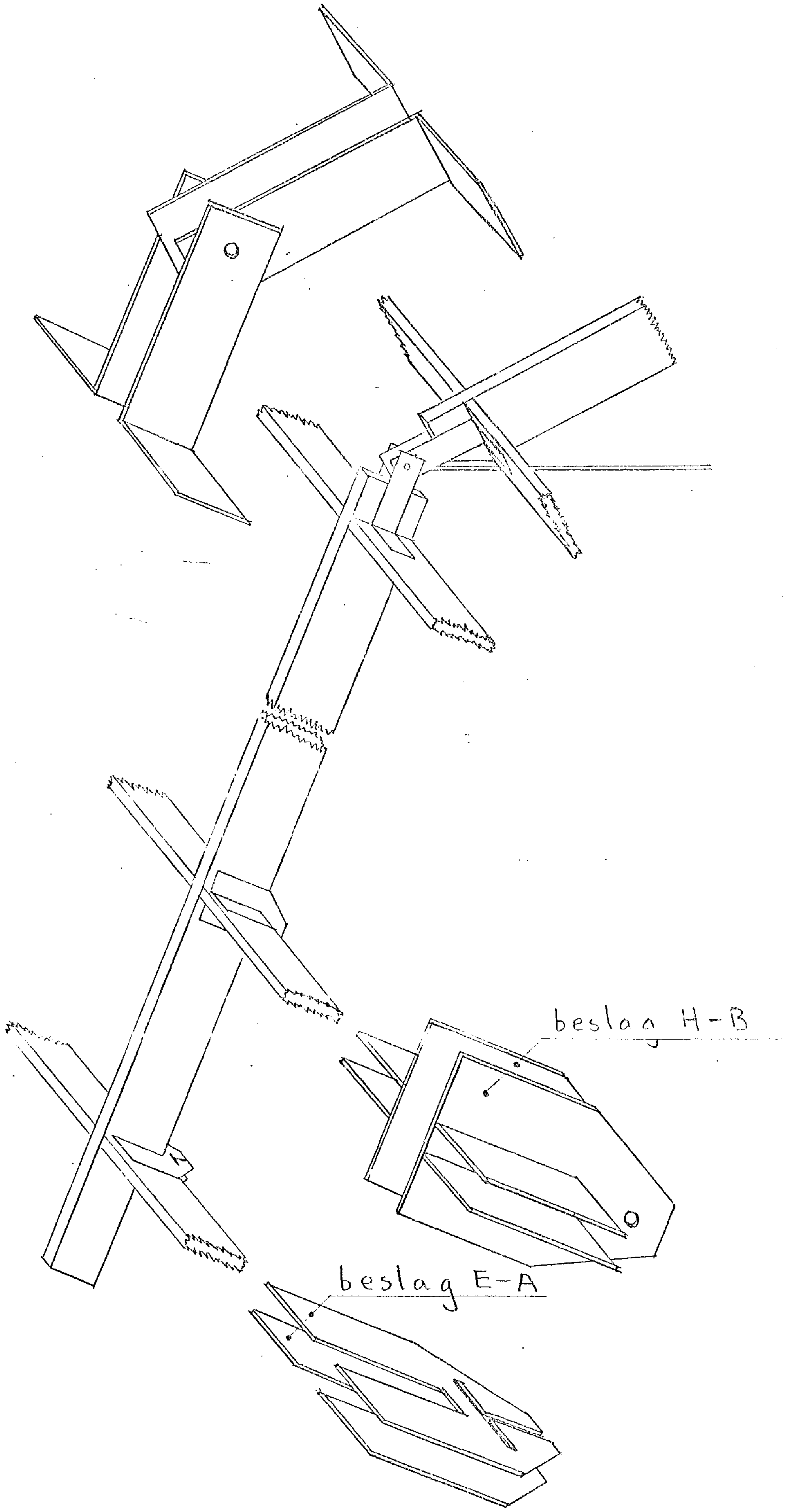


Fig : 4 , Beslag

För att minska dragstagets nedböjning p.g.a. högbenens deformation kan staget förses med en deformations-upptagande anordning enl. fig. :5.

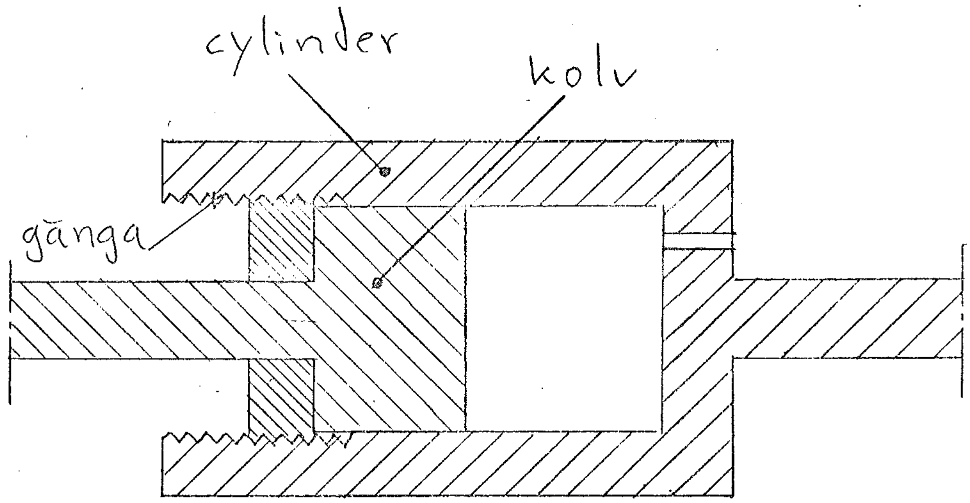


Fig :5 Deformationsupptagande anordning för dragstaget, sektion.

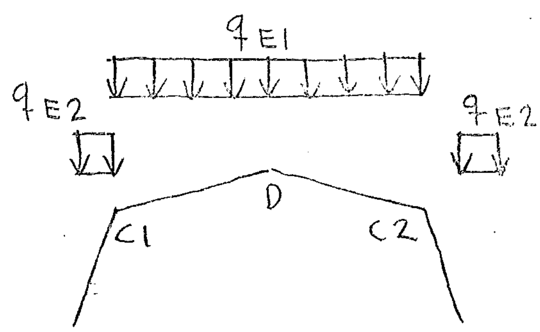
2 BERÄKNING AV LASTER

Allmänt

Lasterna beräknas enligt föreskrifterna i SBN 1975 kap. 21 [2].

Egentyngd

Dimensionerna på högben och överramstång uppskattas och q_E = (egentyngd / längdenhet) beräknas. Dragstags egentyngd försummas. Egentyngden är vanlig last.



Vindlast

Endast vindens statiska verkningar beaktas. Vindlasten verkar vinkelrätt mot ytan och antas uppgå till

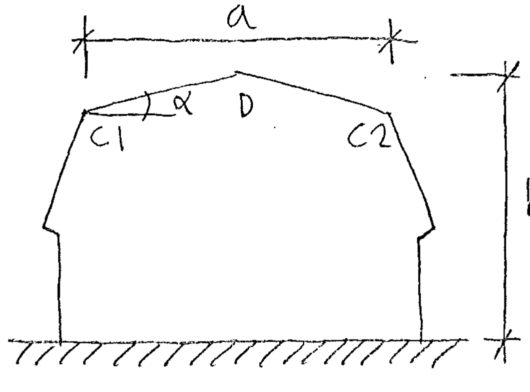
$$q_v = \mu \cdot q \cdot b \qquad (:1)$$

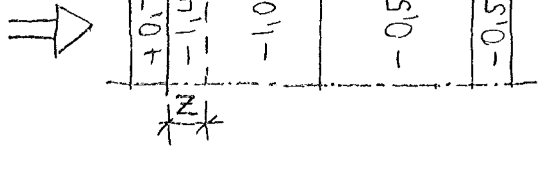
där q_v = vindlast (kN/m)
μ = formfaktor
q = hastighetstryck (kN/m²)
b = flänsbredd (m)

Hastighetstrycket bestäms med fig 21.621 i SBN.

Formfaktorer för den aktuella stomformen finns ej angivna i SBN. Om högbenens lutning försummas kan stomkonstruktionen betraktas som ett hus med sadeltak.

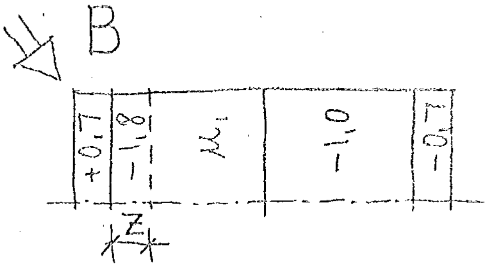
Formfaktorerna bestäms för ett element i det ogynnsammaste läget d.v.s närmast gaveln. För tak med överramstängernas lutning $\alpha \leq 22°$, framgår formfaktorerna av nedanstående figurer. Formfaktorerna för tak där $\alpha > 22°$ bestäms med hjälp av fig 21.6332 a i SBN. Undertryck betecknas negativt, övertryck positivt.



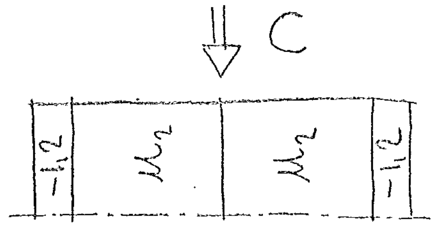


$z = 0{,}1\,a$ dock

$z \leq 0{,}5\,h$



$$\mu_1 = \begin{cases} -1{,}8 & \text{om } z \geq b \\ -\dfrac{b + 0{,}8z}{b} & \text{om } z < b \end{cases}$$

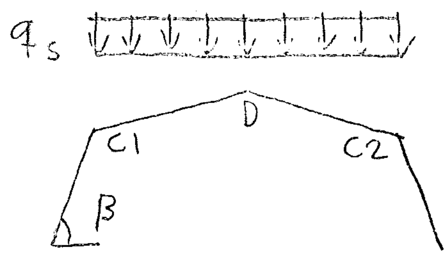


$$\mu_2 = \begin{cases} -1{,}0 & \text{om } 11^\circ < \alpha < 22^\circ \\ -1{,}4 & \text{om } \alpha \leq 11^\circ \text{ och } z \geq b \\ -\dfrac{b + 0{,}4z}{b} & \text{om } \alpha \leq 11^\circ \\ & \text{och } z < b \end{cases}$$

Vindlast är exceptionell last.

För taksprångs underyta godtas samma vindlast som på undervarande väggar d.v.s. $\mu = 0{,}7$ i lovart och $\mu = -0{,}5$ i lä.

Snölast



Endast överramstängerna antas påverkade av snölast under förutsättning $\beta > 60^\circ$. Enligt SBN skall inverkan av rörlig last beaktas genom att taket antas belastat dels på ena takhalvan, dels på båda. Lasten q_s är antingen vanlig och uppgår då till $q_{sv} = q_v \cdot b$ kN/m eller exceptionell och uppgår då till $q_{se} = q_e \cdot b$. Lasterna q_e och q_v fås ur tab 21.5 i SBN.

Punktlast

Nocken eller en punkt mitt emellan C och D belastas av en personlast $P_p = 1$ kN. Denna last betraktas som exceptionell.

Last på yttervägg

Högbenen skall enl. SBN antas påverkad av en last uppgående till 0,4 kN/m och verkande vinkelrätt mot högbenen på höjden 1m över bjälklaget. Lasten försummas dock eftersom den verkar nära knutpunkt B och den är liten i förhållande till övriga laster.

3 BERÄKNING AV KRAFTER, MOMENT OCH DEFORMATION

3.0 ALLMÄNT

Ur beräkningssynpunkt kan det vara lämpligt att betrakta konstruktionen på nedanstående sätt.

Överramstängerna och dragstaget (hanbjälken) utgör ett fackverk. I de fall dragstag eller hanbjälke ej ingår i konstruktionen tänker man sig ett fiktivt dragstag. Fackverket belastas av egentyngd, vindlast, snölast och/eller punktlast. Fackverkets upplagsreaktioner bestäms. Stångkraften S_1' i verkligt eller fiktivt dragstag beräknas först som om staget även kunde överföra tryckkraft.

För konstruktion med dragstag beräknas högbenens reaktionskrafter R_{c1} och R_{c2} i punkterna C1 resp C2 (fig. 1:2a) först under antagande att högbenen utgör kontinuerliga balkar på tre stöd och påverkas av egentyngd, vindlast och av upplagsreaktioner från fackverket. Krafterna R_{c1}, R_{c2} och S_i' jämförs och slutsatser kan då dragas om bl.a högbenens stödförhållanden.

Om jämförelsen visar att högbenet fungerar som en trestödsbalk, kan nu moment, normalkraft och deformation genererad av de yttre krafterna beräknas för överramstång och högben om eventuella knutpunktsförskjutningar beaktas.

Om högbenet har stor slankhet och det visar sig att högbenet kan betraktas som en överkragad tvåstödsbalk gäller, liksom vid konstruktion utan dragstag eller hanbjälke, att överramstångens lutningsvinkel bör fastställas under hänsynstagande till högbenets deformation. Då lutningsvinkeln bestämts kan moment, normalkraft och momentan deformation för högben och överramstång beräknas.

Deformationer förorsakade av fuktkvotsskillnader och krypning adderas till den momentana deformationen av last.

Axialkraftens inverkan på deformationstillståndet beaktas för slanka högben på två stöd.

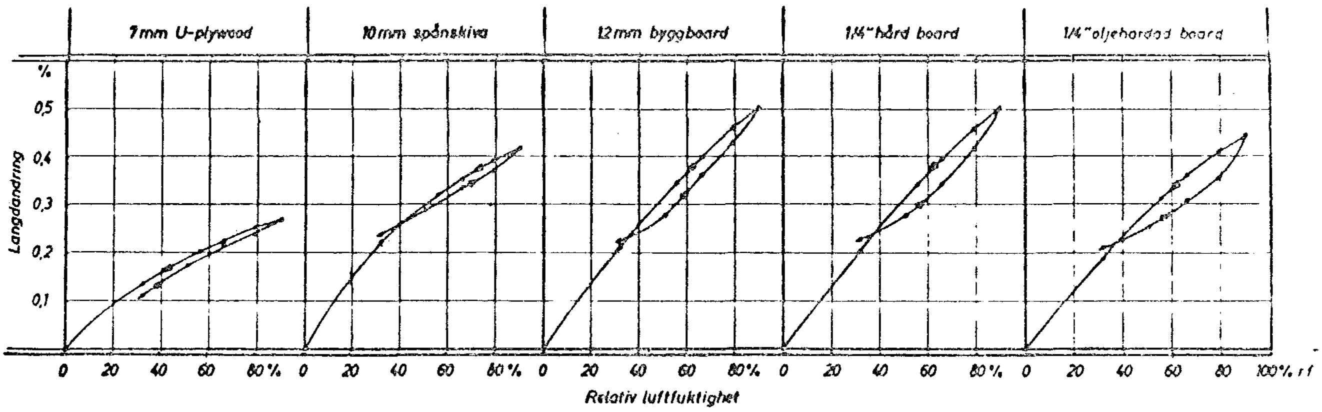
Experimentella undersökningar visar att sambandet mellan last och nedböjning för transversalbelastade kasettelement av viss typ är linjärt upp till minst 6 ggr brukslasten [6]. Det har också visat sig att för sådana element blir den uppmätta nedböjningen mindre än den med elasticitetsteori beräknade.

Vid de följande beräkningarna förutsätts att högbenets stångkraft överförs till upplagskonstruktionen vid stöd B.

3,1 FUKTBETINGELSERNAS INVERKAN

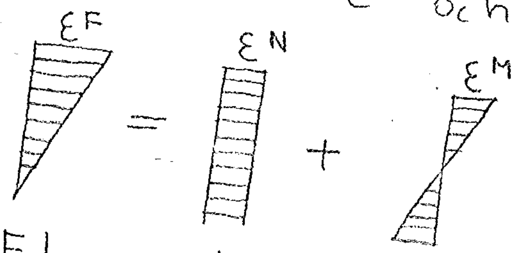
3,1,0 Allmänt

Vid ändring av den relativa luftfuktigheten inställer sig efter en viss tid ett jämviktsförhållande mellan relativ fuktighet och angränsande materials dimensioner i förhållande till det torra materialets. Sambandet mellan relativ fuktighet och längdändring framgår av nedanstående figur [3].



Under vintern är relativa fuktigheten högre i den ventilerade luftspalten än inomhus. Elementets delar strävar efter att intaga sina jämviktslängder men eftersom delarna inte kan längdändra sig fritt i förhållande till varandra kommer elementet att böjas eller, om

elementet inte kan böja sig fritt,
spänningar att uppstå. Om fuktkvoten
förutsätts variera rätlinjigt över
tvärsnittet, kan skillnaden ε^F mellan
över- och underflänsens töjning
uppdelas i ε^N och ε^M.



$$\varepsilon^N = \varepsilon^M = \frac{\varepsilon^F}{2}$$

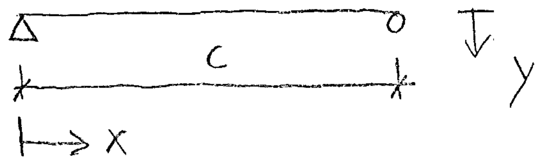
Elementet antas kunna längdändra sig
fritt och ε^N ger därför ingen normal-
spänning. Kan elementen böja sig
fritt ger ε^M upphov till en deformation
och om böjningen är förhindrad upp-
kommer spänningar.

Det dimensionerande värdet på ε^F är
svårt att fastställa beroende på
osäkerhet om rådande relativ fuktig-
het vid olika tidpunkter samt om
tiden som erfordras för uppnående
av jämvikt mellan relativ fuktighet
och relativ längd. Relaxationen har
även betydelse.

3.1.1 Beräkning av moment, tvärkraft och deformation

3.1.1.1 Överramstång

Moment uppkommer inte. Deformationen beräknas enl. Bygg tab 1.38 [4].



$$y_x^F = -\frac{\varepsilon^F \cdot c^2}{2 \cdot h}\left(\frac{x}{c} - \frac{x^2}{c^2}\right) \qquad (:1)$$

där h = balkhöjd

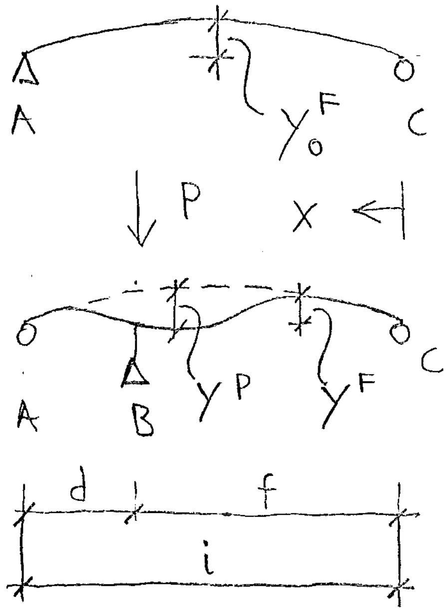
$$y_{c/2}^F = -\frac{\varepsilon^F \cdot c^2}{8h} \qquad (:2)$$

3.1.1.2 Högben på tre stöd

Fuktdeformationen y_0^F beräknas först som om stöd B ej fanns. Bygg tab 1,38 ger:

$$y_0^F = -\frac{\varepsilon F_i \, i^2}{2h}\left(\frac{x}{i} - \frac{x^2}{i^2}\right) \qquad (:3)$$

En kraft P antas påverka balken vid B och ge en deformation y^P så att $y^F = y_0^F + y^P$ och $y^F = 0$ vid B.



För balkdel B-C blir momentet

$$M_x = \frac{P \cdot d \cdot x}{i}$$

Elastiska linjens ekvation ger

$$\frac{d^2 y^P}{dx^2} = -\frac{P \cdot d \cdot x}{i \cdot EI}$$

$$\frac{dy^P}{dx} = -\frac{P \cdot d \cdot x^2}{2 \cdot i \cdot EI} + C_1$$

$$y^P = -\frac{P \cdot d \cdot x^3}{6 \cdot i \cdot EI} + C_1 x + C_2$$

Den sista ekvationen skall uppfylla villkoren:

a. $y^P = 0$ för $x = 0$
b. $y^P = -y_0^F$ för $x = f$

Dessutom gäller med god approximation för $d > 0{,}15\, i$

c. $\frac{dy^P}{dx} = 0$ för $x = \frac{3}{8} i + \frac{1}{4} f$

Villkor a ger:

$C_2 = 0$

Villkor b och c ger:

$$\begin{cases} -\dfrac{P \cdot d \cdot f^3}{6 \cdot i \cdot EI} + C_1 f = \dfrac{\varepsilon^F \cdot i^2}{2h}\left(\dfrac{f}{i} - \dfrac{f^2}{i^2}\right) \\ -\dfrac{P \cdot d\left(\frac{3}{8} i + \frac{1}{4} f\right)^2}{2 \cdot i \cdot EI} + C_1 = 0 \end{cases}$$

$$P = \frac{i \cdot EI \cdot \varepsilon^F}{h}\left[\left(\frac{3}{8} i + \frac{1}{4} f\right)^2 - \frac{f^2}{3}\right]^{-1} \qquad (:4.)$$

$$C_1 = \frac{P \cdot d\left(\frac{3}{8} i + \frac{1}{4} f\right)^2}{2 \cdot i \cdot EI} \qquad (:5)$$

Deformationen blir för $x = f/2$

$$y^F_{f/2} = -\frac{\varepsilon^F \cdot i^2}{2h}\left(\frac{f}{2i} - \frac{f^2}{4i^2}\right) - \frac{Pdf^3}{48 \cdot i \cdot EI} + $$
$$+ \frac{C_1 \cdot f}{2} \qquad (:6)$$

Momentet för $x = f$ och $x = f/2$ samt reaktionskrafterna vid A och C fås ur Bygg tab. 1.38.

$$M_B = \frac{P \cdot d \cdot f}{i} \qquad (:7)$$

$$M_{f/2} = \frac{P \cdot d \cdot f}{2i} \qquad (:8)$$

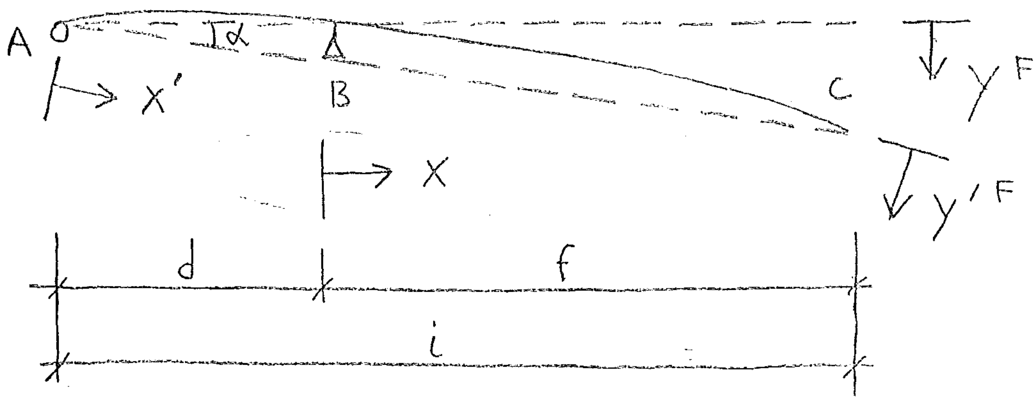
$$R_A = \frac{P \cdot f}{i} \qquad (:9)$$

$$R_C = \frac{P \cdot d}{i} \qquad (:10)$$

3.1.1.3 Högben på två stöd

Fuktdeformationen y'^F för en fritt upplagd tvåstödsbalk kan enligt (3:3) skrivas

$$y'^F = -\frac{\varepsilon^F \cdot i^2}{2h}\left(\frac{x'}{i} - \frac{x'^2}{i^2}\right)$$



Eftersom vinkeln α blir liten kan man göra approximationen $\cos\alpha = 1$
Deformationen för balkdel B–C kan då beräknas ur:

$$y^F = y'^F - \frac{(x+d)\, y'^F_B}{d}$$

Deformationen y'^F_B blir

$$y'^F_B = -\frac{\varepsilon^F \cdot i^2}{2h}\left(\frac{d}{i} - \frac{d^2}{i^2}\right)$$

Ovanstående uttryck ger:

$$y^F_x = \frac{\varepsilon^F}{2h}(x^2 + xd) \qquad (:11)$$

Spetsutböjningen blir:

$$y_c^F = \frac{\varepsilon^F}{2h}\left(f^2 + fd\right) \qquad (:12)$$

3,2 KRYPNINGENS INVERKAN

3,2,1 Beräkning av förhållandet mellan momentan och tidsberoende töjning

Endast krypning förorsakad av egenvikt beräknas. Övriga laster försummas eftersom dessa har kort varaktighet (snölast, punktlast) eller ändrar riktning ofta (vindlast). Krypdeformationen är beroende av konstruktionens livslängd, material och fuktkvot.

I [3] anges att töjningen för träbaserade skivor kan skrivas:

$$\varepsilon^{tot} = \varepsilon_0 (1 + \varphi)$$

$$\varphi = \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon^0} = \alpha \frac{k^z}{k^3} \qquad (:13)$$

där ε^{tot} = total töjning
ε^0 = "momentan" töjning (efter 10^{-3} h)

$\left.\begin{matrix}\alpha \\ k\end{matrix}\right\}$ = konstanter

$z = \log \frac{t}{t_0}$ med t = tid (h), $t^0 = 10^{-3}$ h

Hookes lag gäller för måttliga laster. Elasticitetsmodulen (egentligen σ/ε) sjunker dock något med tiden. Om skjuvdeformationens bidrag till nedböjningen försummas gäller ungefär $y \approx \varepsilon$. Härav följer att nedböjningen p.g.a krypning, y^k, kan skrivas:

$$y^k = \varphi \cdot y^0 = \frac{\varphi \cdot y^t}{1+\varphi} \qquad (:14)$$

där y^0 = "momentan" nedböjning
y^t = total nedböjning

Elasticitetsmodulen efter tiden 10^{-3} h, E^0, beräknas med ekvationen:

$$E^0 = \frac{\sigma}{\varepsilon^0} \cdot 100$$

Konstanterna α och k samt ε^0 bestäms empiriskt och de finns redovisade för några fall i tab :1, [3]. Gjorda undersökningar visar att konstanterna α och k gäller ganska väl för board även vid annat värde på σ inom gränserna för normal användning. Förhållandet kan antagas vara samma för andra träbaserade skivor.

Material, σ	r.f (%)	ε^0 (%)	α	k
U-plywood 7 mm σ = 6,6 MPa	65	0,082	0,043	1,73
	95	0,098	0,145	1,86
Spånskiva 10 mm σ = 1,3 MPa	65	0,042	0,041	2,09
	90	0,062	0,053	2,47
Byggboard 12 mm σ = 1,4 MPa	65	0,057	0,172	1,97
	90	0,074	0,172	2,54
Hård board 1/4" σ = 3,3 MPa	65	0,068	0,132	2,12
	90	0,084	0,246	2,22
Oljehärdad board 1/4" σ = 4,2 MPa	65	0,065	0,071	2,10
	90	0,075	0,108	2,38

Tab: 1

Den relativa fuktigheten vid vilken α, k och ε^0 skall bestämmas är svår att fastställa eftersom r.f. varierar över tvärsnittet och över dygnet, samt med årstiden och geografiskt läge. Dessutom tar det en viss tid innan

jämvikt uppnås mellan fuktkvot och r
Förslagsvis kan man antaga att jäm-
vikt råder mellan fuktkvot och relativ
fuktighet vid 65 % r.f. för normalt
isolerade element med diffusions-
spärr över uppvärmt utrymme och vid
90% r.f. för element över ouppvärmt
utrymme.

Eftersom vindlasten ofta motverkar
belastningen av egenvikt bör tiden t
inte sättas lika med konstruktionens
livslängd. För en noggrann bestämning
av t måste man alltså känna dels
konstruktionens livslängd (vilket man
ibland gör vid tillfälliga byggnader)
och dels hur stor del av tiden
vindlastens inverkan upphäver egen-
viktens. Då en sådan bestämning
sällan låter sig göras, är man hän-
visad till approximativa bedömningar.
För en permanent byggnad kan man
förslagsvis uppskatta t till $5 \cdot 10^5$ h
(ca 60 år).

Alla ovan nämnda osäkerhetsfaktorer
gör att man bör multiplicera φ med

en säkerhetsfaktor s, vilket ger:

$$\varphi_s = \varphi \cdot s \qquad (:15)$$

Nedanstående tabell (tab:2) anger φ_s och E_0 för en permanent konstruktion med liv och flänsar av samma material. Beräkningen har utförts enligt ovan redovisade antaganden och säkerhetsfaktorn har satts till 1,5.

Material Tjocklek [mm]	Konstruktion över a. uppvärmt utrymme		Konstruktion över b. ouppvärmt utrymme	
	E^0 [MPa]	φ_s	E^0 [MPa]	φ_s
U-plywood, 7	8000	1,5	*	*
Spånskiva, 10	3100	4,1	2100	13,8
Byggboard, 12	2500	12,3	1900	52,4
Hård board, 1/4"	4900	14,4	3900	34,8
Oljehärdad board 1/4"	6500	7,3	5600	22,7

Tab. :2

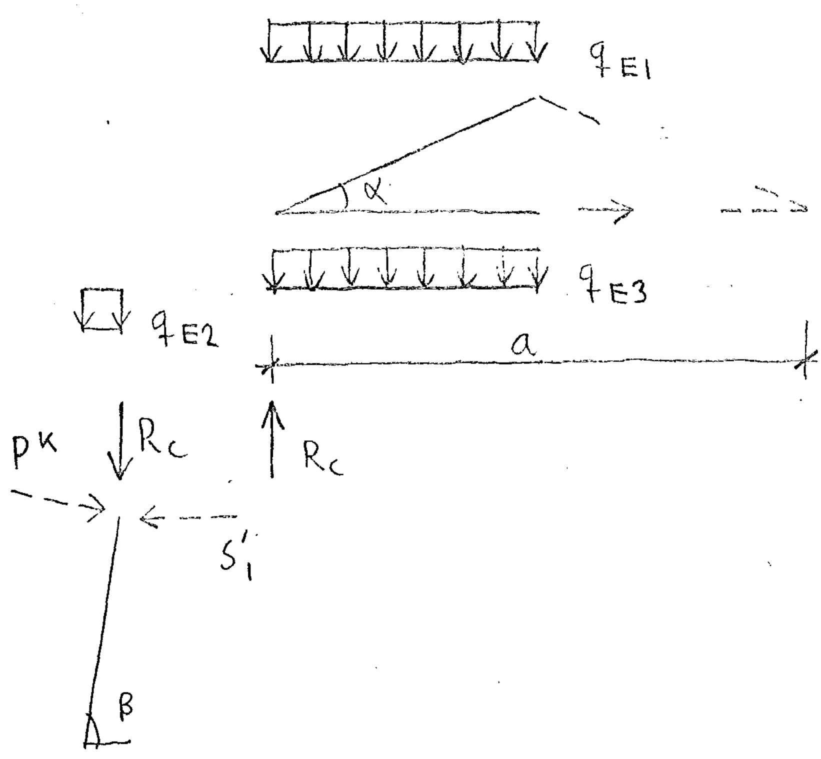
* Konstanterna α och k samt töjningen ε^0 finns ej redovisade vid r.f 90%.

3.2.2 Beräkning av krypningen

3.2.2.0 Allmänt

Överramstången belastas av egenvikten q_{E1}. Dragstags egenvikt försummas. Hanbjälke belastas av q_{E3}. Högbenet belastas av q_{E2} och då dragstag eller hanbjälke saknas beaktas även lasten

$$p^K = R_c \cos\beta - S_1' \sin\beta$$



R_c och S_1' beräknas enl. avsnitt 3.3.1.1 A

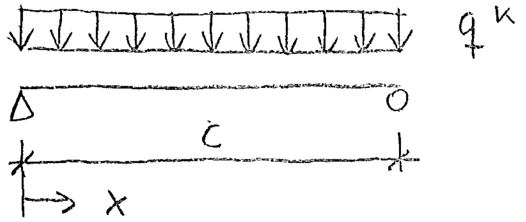
$$R_c = \frac{(q_{E1} + q_{E3})\,a}{2} \qquad (:16)$$

$$S_1' = \frac{q_{E1} \cdot a}{4 \cdot \tan\alpha} \qquad (:17)$$

Ur ovanstående tre ekvationer erhölls:

$$pK = \frac{(q_{E1} + q_{E3}) \cdot a \cdot \cos\beta}{2} - \frac{q_{E1} \cdot a \cdot \sin\beta}{4 \cdot \tan\alpha} \qquad (:18)$$

3.2.2.1 Överramstång



$$q^k = q_{EI} \cdot \cos^2 \alpha \qquad (:19)$$

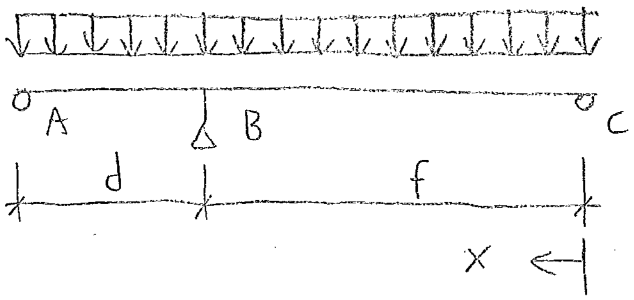
Krypdeformationen beräknas med ekv (3:14), där y_0 bestäms med hjälp av Bygg tab 1,38.

$$y_x^k = \frac{\varphi_s \cdot q^k \cdot c^3 \cdot x}{24\, E^\circ I} \left(1 - 2\,\frac{x^2}{c^2} + \frac{x^3}{c^3}\right) \qquad (:20)$$

Maximala nedböjningen erhålles för $x = c/2$ och blir:

$$y_{mitt}^k = \frac{\varphi_s \cdot 5 \cdot q^k \cdot c^4}{384 \cdot E^\circ \cdot I} \qquad (:21)$$

3.2.2.2 Högben på tre stöd



$$q^K = q_{E2} \cdot \cos^2 \beta \qquad (:22)$$

Momentana deformationen för balkdel B–C kan beräknas enl. 3.3.1.2 A om man i ekv. (3:86) sätter $P_{FT} = 0$. Deformationen blir.

$$Y_X^K = -\frac{\varphi_s}{24 E^0 I} \left(4 R_c X^3 - 4 R_c f^2 X + \right.$$

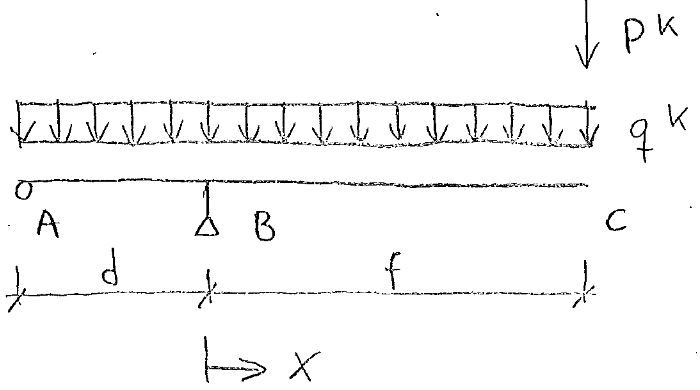
$$\left. + q^K f^3 X - q^K X^4 \right) \qquad (:23)$$

där

$$R_c = \frac{M_B}{f} + \frac{q^K \cdot f}{2} \qquad (:24)$$

3.3.2.3 Högben på två stöd

Den axiella belastningens inverkan på deformationstillståndet försummas.



Ur en momentekvation kring x erhålles:

$$M_x = -\frac{q^k(f-x)^2}{2} - p^k(f-x) \qquad (:25)$$

Deformationen kan skrivas:

$$y_x^k = \varphi_s(y_x^0 - \theta_{BA} \cdot x) \qquad (:26)$$

där y_x^0 = momentana deformationen för balkdel B–C under antagande att denna utgör en vid B inspänd konsol

θ_{BA} = momentana vinkeländringen för balkdel A–B vid B.

Elastiska linjens ekvation ger:

$$\frac{d^2 y^0}{d x^2} = -\frac{M}{E^0 I} = \frac{1}{E^0 I}\left(\frac{q^k (f-x)^2}{2} + \right.$$

$$\left. + p^k (f-x)\right)$$

Efter integrering erhålles:

$$\frac{d y^0}{d x} = \frac{1}{E^0 I}\left(\frac{q^k f^2 x}{2} + \frac{q^k x^3}{6} - \frac{q^k f \cdot x^2}{2} + \right.$$

$$\left. + p^k f \cdot x - \frac{p^k x^2}{2} + K_1\right)$$

$$y_x^0 = \frac{1}{E^0 I}\left(\frac{q^k f^2 x^2}{4} + \frac{q^k x^4}{24} - \frac{q^k \cdot f \cdot x^3}{6} + \right.$$

$$\left. + \frac{p^k \cdot f \cdot x^2}{2} - \frac{p^k \cdot x^3}{6} + K_1 x + K_2\right) \qquad (:27)$$

Två randvillkor kan uppställas,

$$\frac{d y^0}{d x} = 0 \quad \text{för } x = 0 \quad \Rightarrow \quad K_1 = 0$$

$$y_x^0 = 0 \quad \text{för } x = 0 \quad \Rightarrow \quad K_2 = 0$$

Stödvinkeln θ_{BA} blir:

$$\theta_{BA} = \frac{M_B \cdot d}{3 E^0 I} + \frac{q^k \cdot d^3}{24 E^0 I} \qquad (:28)$$

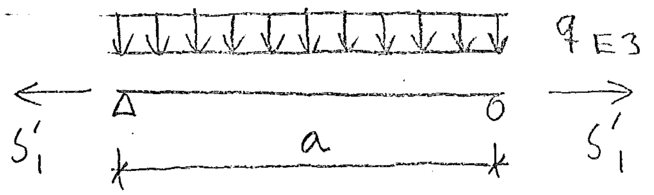
Ekvationerna (3:26) -(3:28) ger efter förenkling:

$$y^k_x = \frac{\varphi_s}{24E^\circ I}\left(6q^k f^2 x^2 + q^k x^4 - 4q^k f x^3 + \right.$$
$$+ 12p^k f x^2 - 4p^k x^3 + 4q^k d \cdot f^2 \cdot x -$$
$$\left. - q^k d^3 x + 8p^k d f \cdot x\right)$$
(:29)

Spetsutböjningen blir:

$$y^k_c = \frac{\varphi_s}{24E^\circ I}\left(3q^k f^4 + 8p^k \cdot f^3 + 4q^k d f^3 - \right.$$
$$\left. - q^k d^3 f + 8p^k d f^2\right)$$
(:30)

3.2.2.4 Hanbjälke



Enl. Bygg 157.43 kan deformationen vid mitten av en fritt upplagd balk belastad med transversallast och dragande axialkraft approximativt skrivas:

$$Y_{mitt} = \frac{Y^{\circ}_{mitt}}{1 + \frac{S_1'}{Q_K}}$$

där Y°_{mitt} = deformation av transversallast vid balkmitten

Q_K = knäcklasten

Deformationen Y°_{mitt} erhålles ur Bygg, tab 1:38.

$$Y^{\circ}_{mitt} = \frac{5 \cdot q_{E3} \cdot a^4}{384\, E^{\circ} I}$$

Knäcklasten är:

$$Q_K = \frac{\pi^2 E^{\circ} I}{a^2}$$

Ovanstående ekvationer ger:

$$Y^{K}_{mitt} = \frac{\varphi_s \cdot 5 \cdot q_{E3} \cdot a^4 \cdot \pi^2}{384 (\pi^2 E^{\circ} \cdot I + S_1' \cdot a^2)} \qquad (:31)$$

3.3 DE YTTRE KRAFTERNAS INVERKAN

3.3.0 Allmänt

I det följande försummas eventuellt dragstags tryckupptagande förmåga.

Då takets delar skruvats ihop är kraften i dragstaget (hanbjälken) okänd, beroende på toleranserna vid elementens tillverkning och montering. Dragstagets (hanbjälkens) längd kan regleras och på sätt kan man ge dragstaget (hanbjälken) en dragspänning. Om inga andra laster än egentyngden påverkar konstruktionen vid monteringen ges dragstaget (hanbjälken) dragkraften $S_M = S_i' - R_c \sin\beta$ där S_i' är den beräknade kraften i dragstaget (hanbjälken), då detta tillsammans med överramstången fungerar som ett fritt upplagt fackverk, och R_c är reaktionskraften i punkten C vinkelrätt högbenet då detta fungerar som en kontinuerlig balk.

Vid de följande beräkningarna har förutsatts att $f > d$.

Konstruktion utan hanbjälke

Lasterna kombineras till olika lastfall och högbenens reaktionskrafter vid C1 och C2 samt stångkraften S_i beräknas under antagande att:

- högbenen utgör kontinuerliga balkar på tre stöd
- ett fiktivt dragstag tänks ingå i konstruktion utan dragstag
- dragstaget överför även tryckkraft
- dragstaget överför endast kraft mellan överramstängerna och inte mellan högbenen

Om ett dragstag ingår i konstruktionen jämförs S_i med uttrycket:

$$R'_c = \frac{\sin\beta}{2}\left(R^V_c + R^H_c + 2R^F_c\right) \qquad (:32)$$

där R^V_c och R^H_c är de båda högbenens transversella reaktionskrafter av yttre last och där R^F_c är motsvarande kraft förorsakad av fuktdifferens. Kraften R^F_c beaktas endast då den har en ogynnsam effekt.

Efter denna jämförelse och efter kontroll om $R_c^V = R_c^H$ kan slutsatser dragas om högbenens stödförhållanden, om eventuell förskjutning av knutpunkterna C1 och C2 samt om den verkliga stångkraften S_1. Sambanden framgår av nedanstående tabell.

R'_c, S'_1	$R_c^V = R_c^H$	S_1	Antal stöd	Knutpunktsförskjutn
$R'_c < S'_1$	ja	$S'_1 - R'_c$	3	nej
$R'_c < S'_1$	nej	$S'_1 - R'_c$	3	ja
$R'_c > S'_1$		0	2	nej

Fungerar högbenen som kontinuerliga balkar kan nu moment, normalkraft och deformation beräknas för överramstängerna enl. 3.3.1.1 och för högben med fast eller förskjutet stöd enl. 3.3.1.2, A resp B.

Om högbenens slankhetstal och den acceptabla deformationen är stora gäller för konstruktion utan dragstag eller där dragstaget är tryckt att överramstängernas lutningsvinkel beräknas itterativt. Först beräknas högbenens utböjning under antagande att över-ramstängernas lutning är lika med lutningen då lasten är noll (α°). Denna utböjning ger överramstängerna en lutning, α, som kan skrivas.

$$\alpha = \arccos \frac{a-(y_{1,max}+y_{2,max})\cdot\sin\beta}{2c} \qquad (:33)$$

där $y_{1,max}$ och $y_{2,max}$ betecknar högbenens utböjning vid C1 resp C2.

Överramstängernas reaktionskrafter i punkterna C1 och C2 och stångkraften S_1' i dragstaget beräknas för α. Med dessa värden bestäms högbenens utböjning igen. Denna utböjning ger ett nytt värde på överramstängernas lutning. Beräkning av utböjning och lutning upprepas på samma sätt ett antal gånger, tills ändringen av utböjningens storlek blir tillräckligt liten. Därefter kan moment, normalkraft och deformation beräknas.

Konstruktion med hanbjälke

Stångkraften S_1 erhålles ur
$S_1 = S_1' - R_c'$ där R_c' beräknas enl. ekv. (3:32).

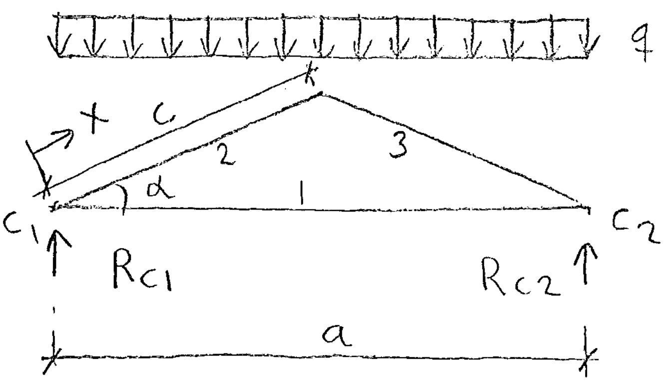
3.3.1 Beräkning av krafter, moment och deformation.

3.3.1.1 Överramstång och dragstag (hanbjälke)

Beräkningen utförs för kombinationer av följande laster:

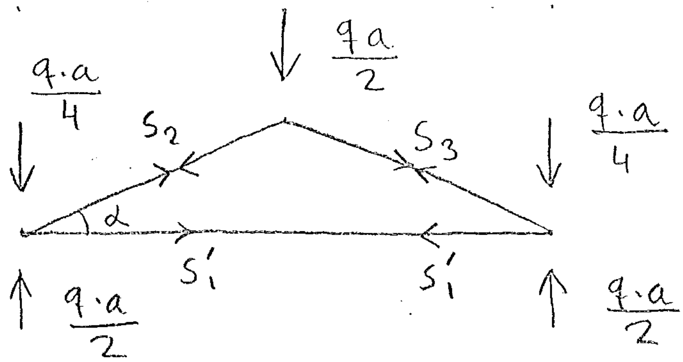
egentyngd
vindlast A
—"— B
—"— C
vanl. snölast på hela taket
except. —"— —"— —"— —"—
vanl. —"— —"— halva —"—
except. —"— —"— —"— —"—
punktlast mellan C och D
—"— på nocken

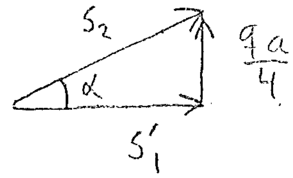
A Utbredd vertikal last (egentyngd, snölast)



$$R_{c1} = R_{c2} = \frac{q \cdot a}{2} \qquad (:34)$$

Vid beräkning av stångkrafterna antas lasten angripa i knutpunkterna.





$$S_1' = \frac{q \cdot a}{4 \cdot \tan\alpha} \qquad (:35)$$

$$S_2 = S_3 = -\frac{q \cdot a}{4 \sin\alpha} \qquad (:36)$$

Lasten vinkelrätt mot överramstången blir:

$$q_T = q \cdot \cos^2\alpha \qquad (:37)$$

Moment och nedböjning erhålles ur Bygg, tab. 1:38.

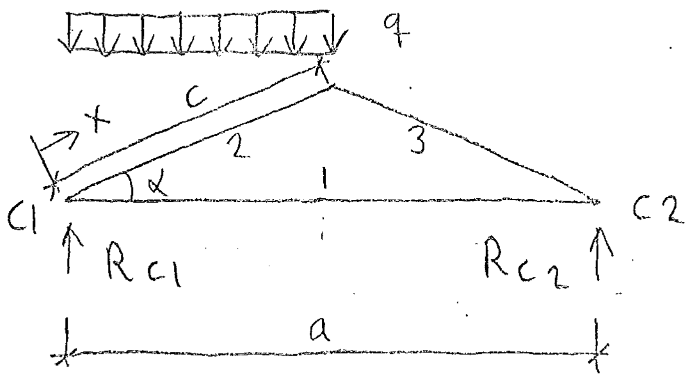
$$M_{mitt} = \frac{q_T \cdot c^2}{8} \qquad (:38)$$

$$Y_{mitt} = \frac{5\, q_T \cdot c^4}{384\, EI} \qquad (:39)$$

Tvärkraften vid c blir:

$$T_0 = \frac{q_T \cdot c}{2} \qquad (:40)$$

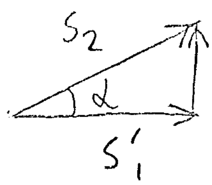
B Utbredd vertikal last på halva taket (snölast).



Reaktionskrafterna blir:

$$R_{C1} = \frac{3q \cdot a}{8} \qquad (:41)$$

$$R_{C2} = \frac{q \cdot a}{8} \qquad (:42)$$



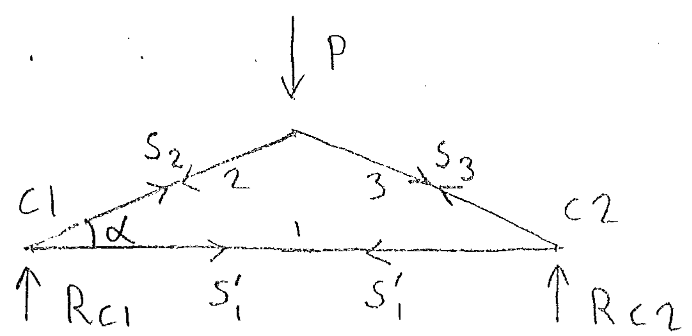
$$\frac{3q \cdot a}{8} - \frac{q \cdot a}{4} = \frac{q\,a}{8}$$

$$S_1' = \frac{q \cdot a}{8 \cdot \tan\alpha} \qquad (:43)$$

$$S_2 = S_3 = -\frac{q \cdot a}{8 \sin\alpha} \qquad (:44)$$

Moment tvärkraft och deformation beräknas med ekv. (3:38) - (3:40)

C Puktlast på nocken

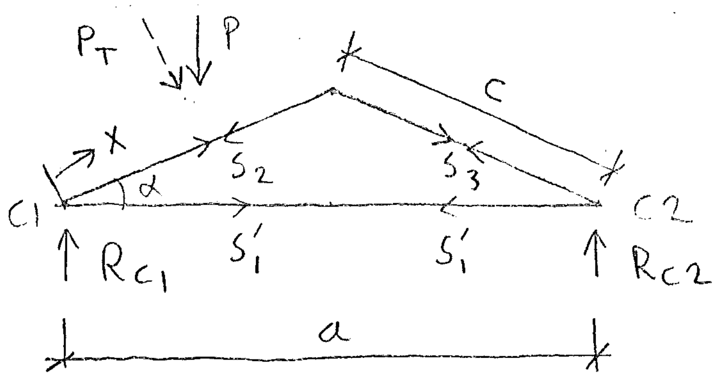


$$R_{C1} = R_{C2} = \frac{P}{2} \qquad (:45)$$

$$S_1' = \frac{P}{2\tan\alpha} \qquad (:46)$$

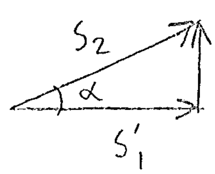
$$S_2 = S_3 = -\frac{P}{2\sin\alpha} \qquad (:47)$$

D Punktlast på en takhlva



$$R_{C2} = \frac{P}{4} \qquad (:48)$$

$$R_{C1} = \frac{3P}{4} \qquad (:49)$$



$$\frac{3P}{4} - \frac{P}{2} = \frac{P}{4}$$

$$S_1' = \frac{P}{4 \cdot \tan\alpha} \tag{:50}$$

$$S_2 = S_3 = -\frac{P}{4 \cdot \sin\alpha} \tag{:51}$$

$$P_T = P \cdot \cos\alpha \tag{:52}$$

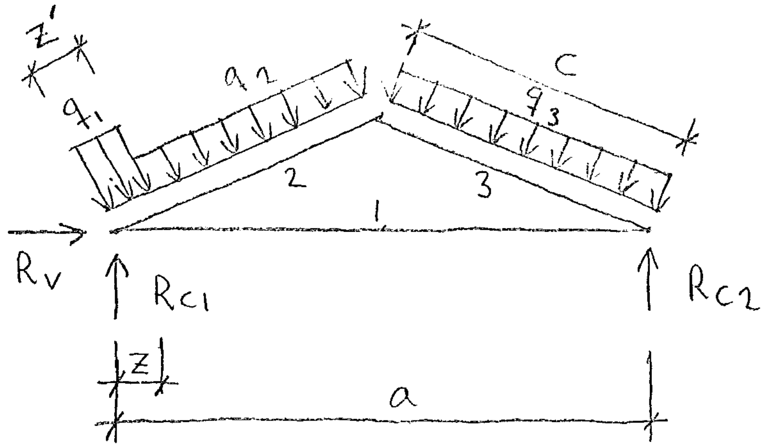
Moment, tvärkraft och nedböjning fås ur Bygg, tab. 1:38.

$$M_{mitt} = \frac{P_T \cdot c}{4} \tag{:53}$$

$$y_{mitt} = \frac{P_T \cdot c^3}{48\, EI} \tag{:54}$$

$$T_0 = \frac{P_T}{2} \tag{:55}$$

E Utbredd transversell last (vindlast)



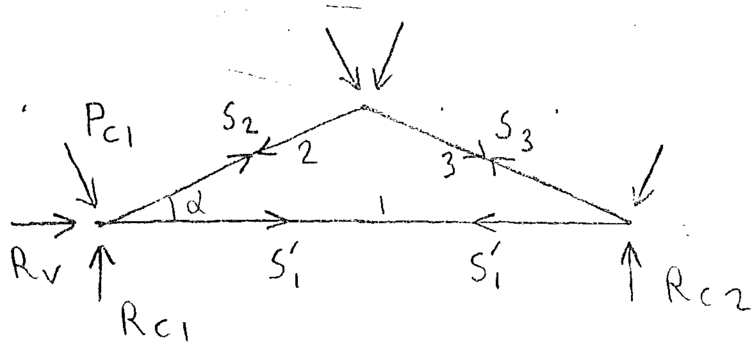
$$z' = \frac{z}{\cos\alpha} \tag{:56}$$

$$R_{c2} = q_3 \cdot c \cdot \cos\alpha + \frac{1}{2a}\left(q_2 \cdot c^2 + (q_1 - q_2) z'^2 - \right.$$
$$\left. - q_3 c^2\right) \qquad (:57)$$

$$R_{c1} = \cos\alpha\,(q_1 z' + q_2(c - z') + q_3 \cdot c) -$$
$$- R_{c2} \qquad (:58)$$

$$R_v = \tan\alpha\left(q_3 \cdot c - q_1 \cdot z' - q_2(c - z')\right) \qquad (:59)$$

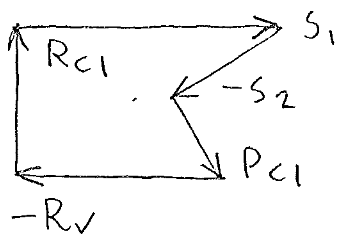
Lasten antas angripa i knutpunkterna vid beräkning av stångkrafterna.



Lastandelen för knutpunkt c1 blir

$$P_{c1} = \frac{q_2 \cdot c}{2} + \frac{(q_1 - q_2)\,z'}{c}\left(c - \frac{z'}{2}\right) \qquad (:60)$$

Stångkrafterna bestäms med hjälp av två projektionsekvationer.



$$\uparrow \quad S_2 \cdot \sin\alpha + R_{c1} - P_{c1} \cdot \cos\alpha = 0$$

$$\rightarrow \quad S_1' - R_v + S_2 \cos\beta + P_{c1} \cdot \sin\alpha = 0$$

$$S_2 = S_3 = \frac{P_{C1} \cdot \cos\alpha - R_{C1}}{\sin\alpha} \qquad (:61)$$

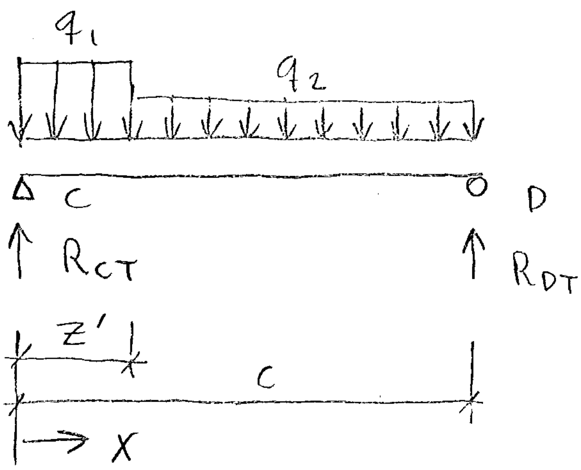
$$S_1' = R_V - S_2 \cos\alpha - P_{C1} \cdot \sin\alpha \qquad (:62)$$

För stång 3 kan moment och nedböjning beräknas enl. Bygg tab. 1.38.

$$M_{mitt} = \frac{q_3 c^2}{8}$$

$$Y_{mitt} = \frac{5 q_3 \cdot c^4}{384 EI}$$

Moment och reaktionskrafter för stång 2 beräknas med jämviktsekvationer.



$$\curvearrowleft D \quad \frac{q_2 c^2}{2} + (q_1 - q_2) z' \left(c - \frac{z'}{2}\right) - R_{CT} \cdot c = 0$$

$$\curvearrowleft X \quad M_X - R_{CT} \cdot X + \frac{q_2 X^2}{2} + (q_1 - q_2) z' \left(X - \frac{z'}{2}\right) = 0$$

$$R_{CT} = \frac{q_2 c}{2} + \frac{(q_1 - q_2) z'}{c} \left(c - \frac{z'}{2}\right) \qquad (:63)$$

$$M_X = R_{CT} \cdot X - \frac{q_2 X^2}{2} - (q_1 - q_2) z' \left(X - \frac{z'}{2}\right) \qquad (:64)$$

Momentet vid balkmitten blir :

$$M_{mitt} = \frac{R_{CT} \cdot C}{2} - \frac{q_2 C^2}{8} -$$

$$-(q_1 - q_2)\frac{z'}{2}(C - z') \qquad (:65)$$

Nedböjningen beräknas med elastiska linjens ekvation.

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{1}{EI}\left[R_{CT} \cdot X - \frac{q_2 X^2}{2} -\right.$$

$$\left.-(q_1 - q_2) \cdot z'\left(X - \frac{z'}{2}\right)\right]$$

$$\frac{dy}{dX} = -\frac{1}{EI}\left[\frac{R_{CT} \cdot X^2}{2} - \frac{q_2 X^3}{6} -\right.$$

$$\left.-(q_1 - q_2) z'\left(\frac{X^2}{2} - \frac{z'X}{2}\right) + K_1\right]$$

$$y_x = -\frac{1}{EI}\left[\frac{R_{CT} \cdot X^3}{6} - \frac{q_2 X^4}{24} -\right.$$

$$\left.-(q_1 - q_2) z'\left(\frac{X^3}{6} - \frac{z'X^2}{4}\right) + K_1 X + K_2\right]$$

Randvillkoren

$y_x = 0$ för $x = 0$
$y_x = 0$ för $x = c$

ger

$K_2 = 0$

$$K_1 = (q_1 - q_2) z'\left(\frac{c^2}{6} - \frac{z'c}{4}\right) + \frac{q_2 c^3}{24} - \frac{R_{CT} \cdot c^2}{6}$$

Nedböjningen blir:

$$y_x = -\frac{1}{EI}\left[\frac{R_{CT}\cdot x}{6}(x^2-c^2)+\frac{q_2 x}{24}(c^3-x^3)+\right.$$

$$\left.+(q_1-q_2)z'\left(\frac{x\cdot c^2}{6}-\frac{x z'\cdot c}{4}-\frac{x^3}{6}+\frac{z x^2}{4}\right)\right] \quad (:66)$$

Nedböjningen vid balkmitten blir:

$$y_{mitt} = -\frac{1}{EI}\left[\frac{7q_2c^4}{384}-\frac{R_{CT}\cdot c^3}{16}+\right.$$

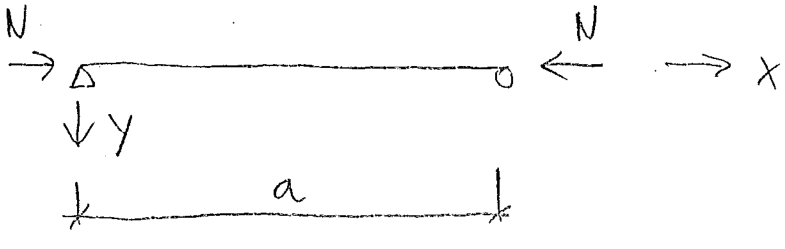
$$\left.+(q_1-q_2)z'\left(\frac{3c^3}{48}-\frac{z'c^2}{16}\right)\right] \quad (:67)$$

F Dragstag

Dragstagets nedböjning kan, då högbenen utgör tvåstödsbalkar, beräknas som en funktion av högbenens deformation vid C1 och C2. När högbenen fungerar som kontinuerliga balkar blir deformationen i dessa punkter noll och dragstaget får ingen nedböjning.

Elastiska linjens ekvation för små utböjningar ger:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{N}{EI}\cdot y_x$$



Ekvationen kan skrivas:

$$y''_x + k^2 y_x = 0$$

där $k^2 = \frac{N}{EI}$

Lösningen blir:

$$y_x = A \sin kx + B \cos kx$$

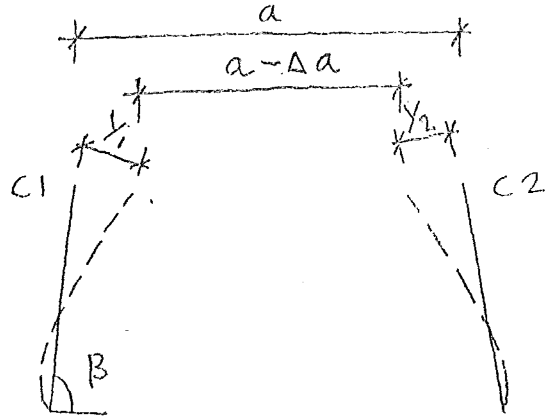
Randvillkoret $y_x = 0$ för $x = 0$ ger $B = 0$. Ur randvillkoret $\frac{dy_x}{dx} = 0$ för $x = a/2$ erhålles $k = \pi/a$ om man förutsätter $0 \leq kx \leq \pi$

Kravet $y_x = y_{max}$ för $x = a/2$ ger $A = y_{max}$

Nedböjningen kan alltså skrivas:

$$y_x = y_{max} \cdot \sin \frac{\pi x}{a} \qquad (:68)$$

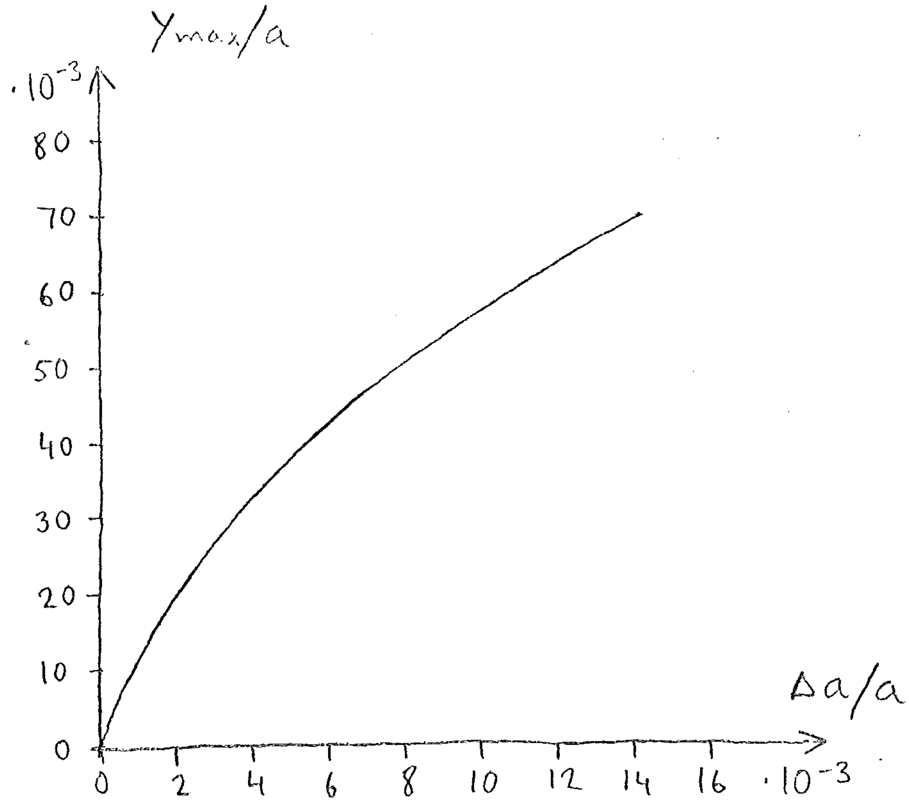
En analytisk bestämning av y_{max} är komplicerad men sambandet mellan y_{max}/a och den relativa förkortningen $\Delta a/a$ av avståndet mellan C1 och C2 kan enkelt fastställas experimentellt.



Förkortningen Δa blir

$$\Delta a = (y_1 + y_2) \cdot \sin\beta \qquad (:69)$$

Sambandet mellan $\Delta a/a$ och y_{max}/a framgår av nedanstående diagram.



G Hanbjälke

Momentet vid balkmitten blir:

$$M_{mitt} = \frac{q_{E3} \cdot a^2}{8} \tag{:70}$$

Den maximala tvärkraften blir:

$$T = \frac{q_{E3} \cdot a}{2} \tag{:71}$$

Nedböjningen kan beräknas enl. ekv. (3:31) om man sätter $\varphi_s = 1$ och $E^\circ = E$

3.3.1.2 Högben

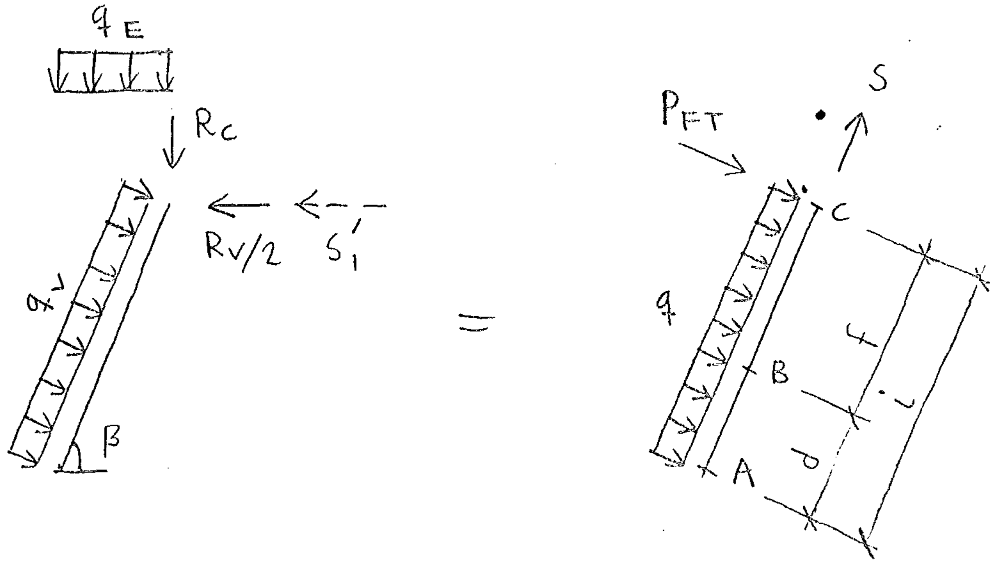
Beräkningen utförs för kombinationer av följande laster:

egentyngd q_E
last från ovanliggande verkligt eller fiktivt fackverk
vindlast A
—"— B
—"— C

$\left.\begin{matrix} A \\ B \\ C \end{matrix}\right\} q_V$

Last som verkar på tass av måttlig längd beaktas ej.

Lasten från fackverket utgörs av:
i vertikal led: R_C
i horisont led: $R_V/2$ samt vid tvåstödsbalk S_1'



Kraften R_v:s transversella komposant är alltid motriktad q_v.

Fackverkslasternas komposanter blir i transversell led, för tvåstödsbalk

$$P_{FT} = R_c \cos\beta - (S_1' \pm \frac{R_v}{2}) \sin\beta \quad * \qquad (:72)$$

för trestödsbalk

$$P_{FT} = R_c \cos\beta \pm \frac{R_v \sin\beta}{2} \quad ** \qquad (:73)$$

samt i axiell led för tvåstödsbalk

$$P_{FA} = -R_c \cdot \sin\beta - (S_1' \pm \frac{R_v}{2}) \cos\beta \quad * \qquad (:74)$$

och för trestödsbalk

$$P_{FA} = -R_c \sin\beta \pm \frac{R_v \cdot \cos\beta}{2} \quad ** \qquad (:75)$$

Egentyngdens transversella komposant blir

$$q_{ET} = q_E \cos^2\beta \qquad (:76)$$

och dess axiella

$$P_{EA} = -q_E \cdot i \cdot \cos\beta \cdot \sin\beta \qquad (:77)$$

---

* För vänster högben plustecken och för höger minustecken.

** För vänster högben minustecken och för höger plustecken.

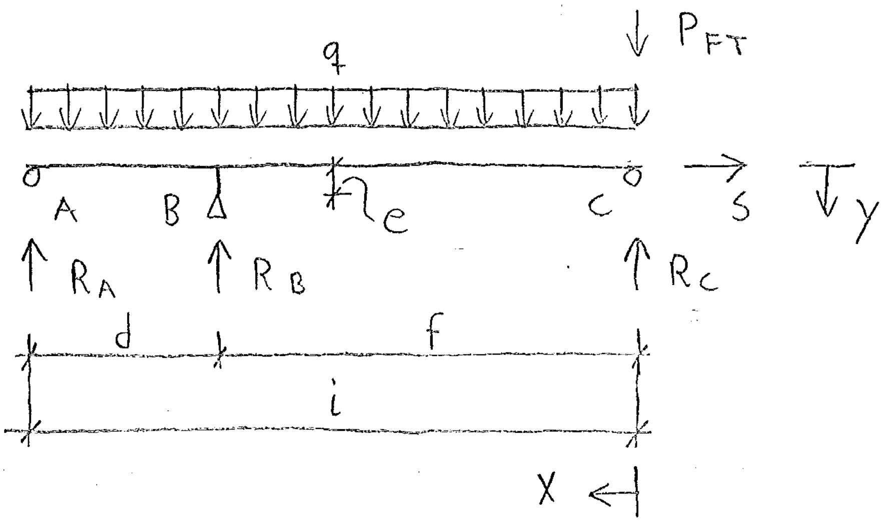
Total utbredd transversell last blir:

$$q = q_{ET} + q_V \tag{:78}$$

Den axiella kraften blir:

$$S = P_{EA} + P_{FA} \tag{:79}$$

A Trestödsbalk med fast stöd vid C



Om $e = 0$ kan moment, tvärkraft och nedböjning beräknas enl. följande.

Stödmomentet beräknas med vinkeländringsmetoden.

$$\theta_{BA(M_B)} + \theta_{BA(q)} + \theta_{BC(M_B)} + \theta_{BC(q)} = 0$$

$$\frac{M_B \cdot d}{3EI} + \frac{q d^3}{24EI} + \frac{M_B \cdot f}{3EI} + \frac{q \cdot f^3}{24EI} = 0$$

$$M_B = -\frac{q}{8i}(d^3 + f^3) \tag{:80}$$

$$R_A = \frac{M_B}{d} + \frac{q \cdot d}{2} \qquad (:81)$$

$$R_C = \frac{M_B}{f} + \frac{q \cdot f}{2} + P_{FT} \qquad (:82)$$

$$R_B = q \cdot i + P_{FT} - R_A - R_C \qquad (:83)$$

Fältmomentet för balkdel B–C blir:

$$M_X = (R_C - P_{FT})\,X - \frac{q\,X^2}{2} \qquad (:84)$$

Fältmomentet har maximum (minimum) för:

$$X = \frac{R_C - P_{FT}}{q} \qquad (:85)$$

Deformationen bestäms genom integrering av elastiska linjens ekvation.

$$\frac{d^2 Y_X}{dX^2} = -\frac{1}{EI}\left((R_C - P_{FT})\,X - \frac{q\,X^2}{2}\right)$$

$$\frac{dY_X}{dX} = -\frac{1}{EI}\left((R_C - P_{FT})\,\frac{X^2}{2} - \frac{q\,X^3}{6} + C_1\right)$$

$$Y_X = -\frac{1}{EI}\left((R_C - P_{FT})\,\frac{X^3}{6} - \frac{q\,X^4}{24} + C_1 X + C_2\right)$$

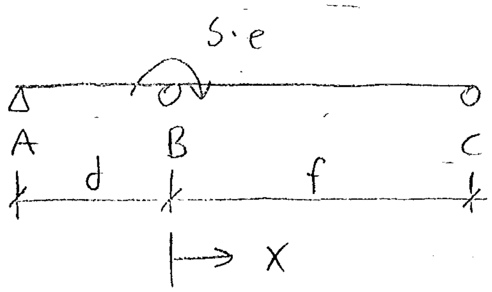
$Y_X = 0$ för $X = 0 \Rightarrow C_2 = 0$

$Y_X = 0$ för $X = f \Rightarrow C_1 = \frac{q f^3}{24} - \frac{(R_C - P_{FT}) \cdot f^2}{6}$

$$y_x = -\frac{1}{24EI}\left[4(R_c - P_{FT})X^3 - 4(R_c - P_{FT})\cdot f^2 X + q\cdot f^3 \cdot X - qX^4\right] \qquad (:86)$$

Om $e \neq 0$ adderas ΔM^e, Δy^e och ΔR^e till moment, deformation och reaktionskrafter beräknade enl. ovan.

Vid beräkning av tillskotten tillämpas nedanstående beräkningsmodell.



$$\begin{cases} \Delta M^e_{BC} - \Delta M^e_{BA} = S\cdot e \\ \Delta\theta^e_{BC} + \Delta\theta^e_{BA} = 0 = \dfrac{\Delta M^e_{BC}\cdot f}{3EI} + \dfrac{\Delta M^e_{BA}\cdot d}{3EI} \end{cases}$$

Ekvationssystemet ger:

$$\Delta M^e_{BC} = \frac{S\cdot e}{\frac{f}{d}+1} \qquad (:87)$$

$$\Delta M^e_{BA} = S\cdot e\left(\frac{1}{\frac{f}{d}+1} - 1\right) \qquad (:88)$$

$$\Delta M^e_X = \Delta M_{BC}\left(1 - \frac{X}{f}\right) \qquad (:89)$$

Nedböjningstillskottet erhålles ur elastiska linjens ekvation.

$$\frac{d^2 \Delta y^e}{dx^2} = -\frac{1}{EI}\left[\frac{S \cdot e}{f^2 + fd}(df - dx)\right]$$

$$\frac{d \Delta y^e}{dx} = -\frac{S \cdot e}{EI(f^2+fd)}\left(d \cdot f \cdot x - \frac{dx^2}{2} + c_1\right)$$

$$\Delta y_x^e = -\frac{S \cdot e}{EI(f^2+fd)}\left(\frac{dfx^2}{2} - \frac{dx^3}{6} + c_1 x + c_2\right)$$

$\Delta y_x^e = 0$ för $x = 0 \Rightarrow c_2 = 0$

$\Delta y_x^e = 0$ för $x = f \Rightarrow c_1 = -\frac{df^2}{3}$

$$\Delta y_x^e = \frac{S \cdot e \cdot d}{6EI(f^2+fd)}\left(x^3 + 3fx^2 + 2f^2 x\right) \quad (:90)$$

Tillskotten till reaktionskrafterna blir:

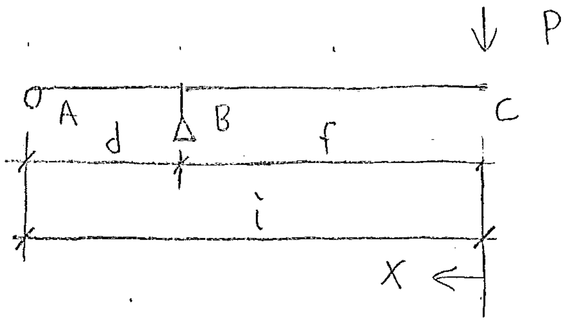
$$\Delta R_A^e = \frac{\Delta M_{BA}^e}{d} \quad (:91)$$

$$\Delta R_C^e = \frac{\Delta M_{BC}^e}{f} \quad (:92)$$

$$\Delta R_B^e = -\Delta R_A^e - \Delta R_C^e \quad (:93)$$

B Trestödsbalk med förskjutet stöd vid C

Stödsreaktionerna R_C^V och R_C^H beräknas först för de bägge högbenen som om stöden C1 och C2 vore fasta. Därefter antas högbenen utgöra överkragade tvåstödsbalkar belastade av skillnaden $R_C^H - R_C^V$



$$P = \frac{R_C^V - R_C^H}{2} \tag{:94}$$

Stödreaktioner, ΔR, moment, ΔM, och deformationer, Δy, beräknas. Dessa adderas för vänster balk och subtraheras för höger balk till stödreaktioner, moment och deformationer beräknade för trestödsbalk med fast stöd (ekv. (3:80)-(3:93))

$$\Delta R_B = \frac{P \cdot i}{d} \tag{:95}$$

$$\Delta R_A = P - \Delta R_B \tag{:96}$$

$$\Delta M_X = -P \cdot X \tag{:97}$$

$$\Delta M_B = -P \cdot f \qquad (:98)$$

Balkdel B-C:s deformation kan skrivas:

$$\Delta y_x = \Delta y_x^{\circ} - \theta_{BA}(f - x)$$

där $\Delta y_x^{\circ} = \iint -\frac{\Delta M_x}{EI} dx$

$$\frac{d^2 \Delta y^{\circ}}{dx^2} = \frac{Px}{EI}$$

$$\frac{d \Delta y^{\circ}}{dx} = \frac{1}{EI}\left(\frac{Px^2}{2} + K_1\right)$$

$$\Delta y_x^{\circ} = \frac{1}{EI}\left(\frac{Px^3}{6} + K_1 x + K_2\right)$$

$$\frac{d \Delta y^{\circ}}{dx} = 0 \text{ för } x = f \Rightarrow K_1 = -\frac{Pf^2}{2}$$

$$\Delta y_x^{\circ} = 0 \text{ för } x = f \Rightarrow K_2 = \frac{Pf^3}{3}$$

Stödvinkeln θ_{BA} blir:

$$\theta_{BA} = \frac{\Delta M_B \cdot d}{3EI} = -\frac{P \cdot f \cdot d}{3EI}$$

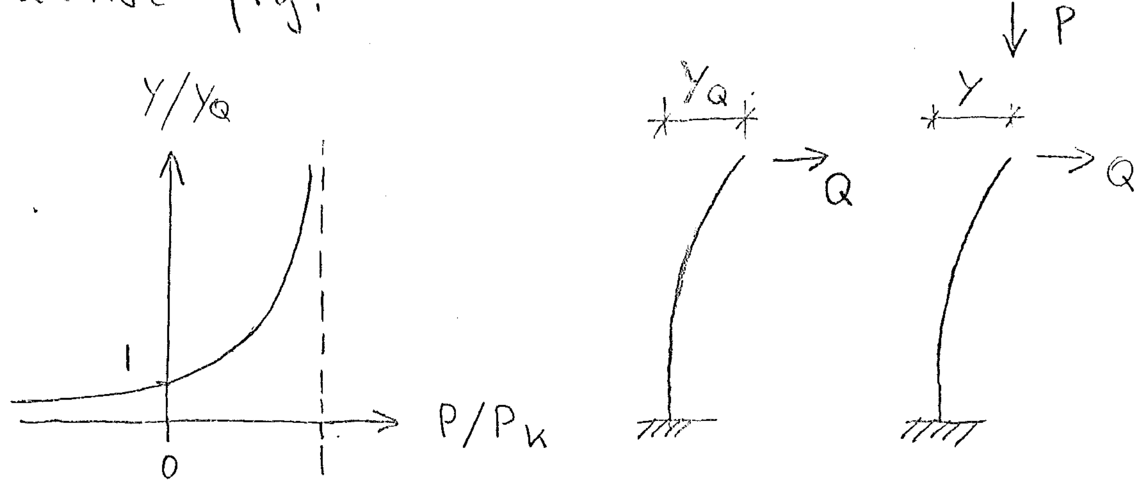
Deformationen blir:

$$\Delta y_x = \frac{P}{6EI}(x^3 - 3f^2x + 2f^3 - 2df^2 + 2xdf) \qquad (:99)$$

Överkragad tvåstödsbalk

Eftersom punkten C:s utböjning måste vara känd vid beräkning av fackverkslasternas fördelning i transversell och axiell led, bör för slankt högben som utgör en överkragad tvåstödsbalk utböjningen beräknas under hänsynstagande till den axiella kraftens inverkan på deformationstillståndet.

Beräkningen av utböjningen för en transversal- och axialbelastad balk är mycket tidskrävande. Axialkraftens principiella inverkan på deformationen illustreras av nedanstående fig.



P_K = Knäcklasten

För att ge en uppfattning om när hänsyn kan behöva tagas till den axiella kraften återges här ett exempel hämtat ur Bygg:

En fast inspänd pelare belastas av en axialkraft P och en transversallast Q enl. fig. ovan. Kraften Q ensam ger spetsutböjningen y_Q och inspänningsmomentet M_Q. Krafterna tillsammans ger spetsutböjningen y och inspänningsmomentet M. Nedanstående tabell ger y/y_Q och M/M_Q som funktion av P/P_K då M och y beräknas enl. teorin för små utböjningar.

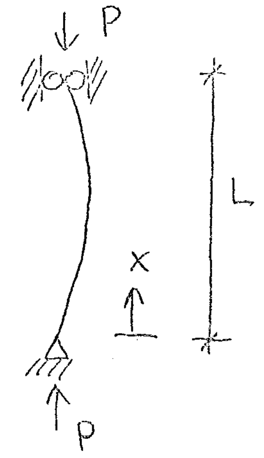
P/P_K	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
y/y_Q	1,000	1,110	1,247	1,423	1,658	1,986
M/M_Q	1,000	1,091	1,205	1,351	1,545	1,817

P/P_K	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
y/y_Q	2,479	3,301	4,943	9,872	∞
M/M_Q	2,223	2,900	4,253	8,307	∞

I ovanstående exempel förutsätts initialkrokigheten vara noll. Om initialkrokigheten är stor minskar kvoten P/P_K över vilken högbenet bör beräknas med hänsynstagande till axialkraften.

Om en sträva enl. fig. nedan antas ha en initialkrokighet

$$y_0 = A \sin(\pi x/L)$$

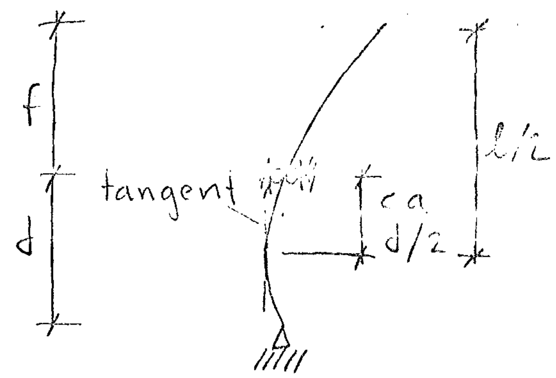


erhålles för totalutböjningen sambandet

$$y = y_0/(1-P/P_k)$$

Knäcklängden för högbenet kan approximativt bestämmas grafiskt. Detta ger:

$$\ell \approx 2 \cdot f + d$$



Knäcklasten blir:

$$P_K \approx \frac{\pi^2 E I'}{\ell^2}$$

där I' är tröghets-momentet för den effektiva delen av balktvärsnittet (se 4.2).

C Slank överkragad tvåstödsbalk

Beräkningarna för slank tvåstödsbalk redovisas endast för fallet e=0 eftersom en balk av detta slag bör ha stödet vid B så utformat att axialkraften överförs vid balkens tyngdpunktslinje.

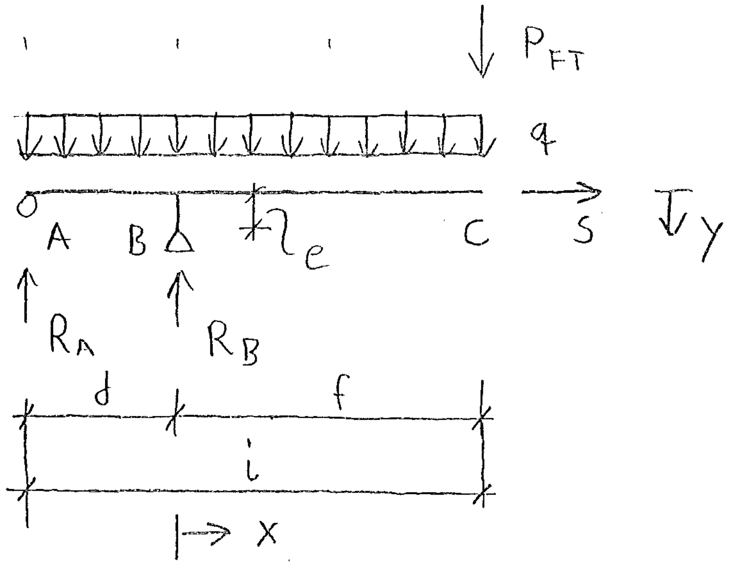
Om $s > 0$ beräknas balken lämpligast enl. 3.3.1.2 D.

Initialkrokigheten kan skrivas:

$$y^I = y^F + y^K$$

där y^F = deformationen genererad av fuktkvotsskillnader.

y^K = krypdeformationen



För balkdel B-C blir momentet:

$$M_x = -\frac{q(f-x)^2}{2} - P_{FT}(f-x) +$$
$$+ S(y_C^M - y_x^M + y_C^I - y_x^I)$$

där y^M betecknar "momentana" deformationen.

Den momentana deformationen blir:

$$y_x^M = y_x^o - \theta_{BA} \cdot x$$

där y_x^o = momentana deformationen för balkdel B-C under antagande att denna utgör en inspänd konsol. (:100)

θ_{BA} = momentana stödvinkeländringen för balkdel A-B vid B.

Vid C blir utböjningen:

$$y_C^M = y_C^o - \theta_{BA} \cdot f$$

(:101)

Stödvinkel θ_{BA} blir:

$$\theta_{BA} = \frac{d}{3EI}\left(M_B + \frac{qd^2}{8}\right)$$

Momentet M_B fås genom att sätta $X = 0$ i ovanstående momentekvation.

$$M_B = -\frac{qf^2}{2} - P_{FT} \cdot f + S(y_c^I + y_c^o - \theta_{BA} \cdot f)$$

De två senaste ekvationerna ger:

$$\theta_{BA} = \frac{d}{3EI + Sdf}\left(\frac{qd^2}{8} - \frac{q \cdot f^2}{2} - P_{FT} \cdot f + \right.$$

$$\left. + S y_c^I + S y_c^o \right) \qquad (:102)$$

Den sista termen i momentekvationen kan skrivas:

$$S[y_c^o - y_x^o + \theta_{BA}(x - f) + y_c^F - y_x^F +$$
$$+ y_c^K - y_x^K] \qquad (:103)$$

Insättning i momentekvationen av θ_{BA} enl. ekv. (3:102) och av deformationer enl. ekv (3:11), (3:12), (3:29) och (3:30) ger:

$$M_x = -\frac{q(f-x)^2}{2} - P_{FT}(f-x) + S[y_c^o - y_x^o +$$

$$+ \frac{d(x-f)}{3EI + Sdf}\left(\frac{qd^2}{8} - \frac{qf^2}{2} - P_{FT} \cdot f + S y_c^I + \right.$$

$$\left. + S y_c^o\right) + \frac{\varepsilon^F}{2h}(f^2 + fd - x^2 - xd) +$$

$$+ \frac{\varphi_s}{24 E_0 I}(3q^K f^4 + 8p^K \cdot f^3 + 4q^K d f^3 - q^K d^3 f +$$

$$+ 8 p^K d f^2 - 6 q^K f^2 x^2 - q^K x^4 + 4 q^K f x^3 -$$
$$- 12 p^K f x^2 + 4 p^K x^3 - 4 q^K d f^2 x +$$
$$+ q^K d^3 x - 8 p^K d f x)\Big]$$

Ekvationen kan skrivas:

$$M_x = - EI \, (K_4 X^4 + K_3 X^3 + K_2 X^2 + K_1 X +$$
$$+ K_5 + K_6 y^o_c + K_7 X y^o_c + K_8^2 y^o_x)$$

där

$$K_1 = - \frac{S}{EI} \Big[\frac{qf}{S} + \frac{P_{FT}}{S} - \frac{\varepsilon^F \cdot d}{2h} +$$
$$+ \frac{d}{3EI + Sdf} \Big(\frac{qd^2}{8} - \frac{qf^2}{2} - P_{FT} \cdot f + S y^I_c \Big) +$$
$$+ \frac{\varphi_s}{24 E_0 I} \left(q^K d^3 - 4 q^K d f^2 - 8 p^K d f \right) \Big] \qquad (:104)$$

$$K_2 = \frac{S}{EI} \Big[\frac{q}{2S} + \frac{\varepsilon^F}{2h} + \frac{\varphi_s}{24 E_0 I} (6 q^K f^2 +$$
$$+ 12 p^K f) \Big] \qquad (:105)$$

$$K_3 = - \frac{S \cdot \varphi_s}{6 E_0 \cdot E \cdot I^2} \, (p^K + q^K f) \qquad (:106)$$

$$K_4 = \frac{S \cdot \varphi_s \cdot q^K}{24 E^0 \cdot E \cdot I^2} \qquad (:107)$$

$$K_5 = -\frac{S}{EI}\left[-\frac{qf^2}{2S} - \frac{P_{FT}\cdot f}{S} - \right.$$
$$- \frac{df}{3EI+Sdf}\left(\frac{qd^2}{8} - \frac{qf^2}{2} - P_{FT}\cdot f + Sy_c^I\right) +$$
$$+ \frac{\varepsilon F}{2h}\left(f^2+fd\right) + \frac{\varphi_s}{24E_0I}\left(3q^kf^4 + 8P^kf^3 + \right.$$
$$\left.\left. + 4q^kdf^3 - q^kd^3f + 8P^kdf^2\right)\right] \qquad (:108)$$

$$K_6 = \frac{S}{EI}\left(\frac{Sdf}{3EI+Sdf} - 1\right) \qquad (:109)$$

$$K_7 = -\frac{S^2d}{EI(3EI+Sdf)} \qquad (:110)$$

$$K_8^2 = \frac{S}{EI} \qquad (:111)$$

Elastiska linjens ekvation ger:

$$y_x^{0''} - K_8^2 y_x^0 = K_4x^4 + K_3x^3 + K_2x^2 + K_1x +$$
$$+ K_5 + y_c^0\left(K_6 + K_7x\right)$$

Partikulärlösningen y^P beräknas genom ansättning av

$$y_x^P = ax^4 + bx^3 + cx^2 + gx + h$$

$$y_x^{P'} = 4ax^3 + 3bx^2 + 2cx + g$$

$$y_x^{P''} = 12ax^2 + 6bx + 2c$$

Differentialekvationens vänsterled blir efter insättning av partikulärlösningen:

$$12ax^2+6bx+2c-K_8^2ax^4-K_8^2bx^3-$$
$$-K_8^2cx^2-K_8^2gx-K_8^2h$$

En jämförelse mellan höger- och vänsterled ger:

$$\begin{cases} -K_8^2\,a = K_4 \\ -K_8^2\,b = K_3 \\ 12a - K_8^2\cdot c = K_2 \\ 6b - K_8^2\,g = K_1 + K_7 Y_c^\circ \\ 2c - K_8^2\,h = K_5 + K_6 Y_c^\circ \end{cases}$$

Ekvationssystemet har lösningen:

$$a = -\frac{K_4}{K_8^2} \qquad (:112)$$

$$b = -\frac{K_3}{K_8^2} \qquad (:113)$$

$$c = -\frac{1}{K_8^2}(K_2 - 12a) \qquad (:114)$$

$$g = -\frac{1}{K_8^2}\left(K_1 + K_7 Y_c^\circ + \frac{6K_3}{K_8^2}\right) \qquad (:115)$$

$$h = -\frac{1}{K_8^2}\left[K_5 + K_6 Y_c^\circ + \frac{2}{K_8^2}\left(K_2 + \right.\right.$$
$$\left.\left. + \frac{12K_4}{K_8^2}\right)\right] \qquad (:116)$$

Partikulärlösningen kan också skrivas:

$$y_x^p = ax^4 + bx^3 + cx^2 + mx + r -$$

$$- \frac{K_7}{K_8^2} y_c^o \cdot x - \frac{K_6}{K_8^2} y_c^o$$

där:

$$m = g + \frac{K_7}{K_8^2} y_c^o \qquad (:117)$$

$$r = h + \frac{K_6}{K_8^2} y_c^o \qquad (:118)$$

Den allmänna lösningen till differentialekvationen är beroende av om K_8^2 är positivt eller negativt.

Om K_8^2 är positivt får den homogena ekvationen lösningen:

$$y_x^H = Ae^{K_8 x} + Be^{-K_8 x}$$

Differentialekvationens allmänna lösning blir då:

$$y_x^o = Ae^{K_8 x} + Be^{-K_8 x} + ax^4 + bx^3 +$$

$$+ cx^2 + mx + r - \frac{K_7}{K_8^2} y_c^o \cdot x - \frac{K_6}{K_8^2} y_c^o \qquad (:119)$$

Spetsutböjningen. y^0_c samt konstanterna A och B bestäms ur randvillkoren:

$y^0_x = 0$ för $x = 0$
$y^{0\prime}_x = 0$ för $x = 0$
$y^0_x = y^0_c$ för $x = f$

Derivering av ekv. (3;119) ger:

$$y^{0\prime}_x = AK_8 e^{K_8 x} - BK_8 e^{-K_8 x} + 4ax^3 + 3bx^2 +$$
$$+ 2cx + m - \frac{K_7}{K_8^2} y^0_c$$

Randvillkoren ger:

$$\begin{cases} 0 = A + B + r - \dfrac{K_6}{K_8^2} y^0_c \\ 0 = AK_8 - BK_8 + m - \dfrac{K_7}{K_8^2} y^0_c \\ y^0_c = Ae^{K_8 f} + Be^{-K_8 f} + af^4 + bf^3 + cf^2 + mf + \\ + r - \dfrac{K_7}{K_8^2} y^0_c \cdot f - \dfrac{K_6}{K_8^2} y^0_c \end{cases}$$

Ekvationssystemet har lösningen:

$$Y_c^o = \left[\frac{1}{2K_8}\left(\frac{K_6}{K_8} - \frac{K_7}{K_8^2}\right) + \frac{1}{e^{-K_8 f} - e^{K_8 f}} \cdot \right.$$

$$\left. \cdot \left(\frac{K_6}{K_8^2} e^{K_8 f} - 1 + \frac{K_7}{K_8^2} f + \frac{K_6}{K_8^2}\right)\right]^{-1} \cdot$$

$$\cdot \left[\frac{r}{2} - \frac{m}{2K_8} - \frac{1}{e^{-K_8 f} - e^{K_8 f}}\left(af^4 + bf^3 + \right.\right.$$

$$\left.\left. + cf^2 + mf + r - re^{K_8 f}\right)\right] \qquad (:120)$$

$$B = \frac{1}{2K_8}\left[Y_c^o\left(\frac{K_6}{K_8} - \frac{K_7}{K_8^2}\right) - rK_8 + m\right] \qquad (:121)$$

$$A = \frac{K_6}{K_8^2} Y_c^o - B - r \qquad (:122)$$

Den momentana deformationen kan nu beräknas med hjälp av ekvationerna (3:100) – (3:122).

Stödmomentet M_B blir:

$$M_B = -\frac{qf^2}{2} - P_{FT} \cdot f + S(Y_c^o - \Theta_{BA} \cdot f +$$

$$+ Y_c^F + Y_c^K) \qquad (:123)$$

Stödreaktionerna blir:

$$R_B = \frac{q \cdot i^2}{2d} + \frac{P_{FT} \cdot i}{d} \qquad (:124)$$

$$R_A = P_{FT} + q \cdot i - R_B \qquad (:125)$$

Om K_8^2 är negativt får den homogena ekvationen lösningen:

$$y_x^H = A\cos\alpha x + B\sin\alpha x$$

där

$$\alpha = \sqrt{-K_8^2}$$

(:126)

Differentialekvationens allmänna lösning blir då.

$$y_x^o = A\cos\alpha x + B\sin\alpha x + ax^4 + bx^3 + cx^2 + mx + r - \frac{K_7}{K_8^2}y_c^o \cdot x - \frac{K_6}{K_8^2}y_c^o \qquad (:127)$$

Randvillkoren blir samma som vid fallet att K_8^2 är positivt. De ger:

$$0 = A + r - \frac{K_6}{K_8^2}y_c^o$$

$$0 = B\alpha + m - \frac{K_7}{K_8^2}y_c^o$$

$$y_c^o = A\cos\alpha f + B\sin\alpha f + af^4 + bf^3 + cf^2 + mf + r - \frac{K_7}{K_8^2}y_c^o \cdot f - \frac{K_6}{K_8^2}y_c^o$$

Ekvationssystemet har lösningen :

$$y_c^{\circ} = \left[1 - \frac{K_6}{K_8^2} \cos\alpha f - \frac{K_7}{\alpha K_8^2} \sin\alpha f + \right.$$

$$\left. + \frac{K_7}{K_8^2} f + \frac{K_6}{K_8^2} \right]^{-1} \cdot \left[a f^4 + b f^3 + c f^2 + m f + r - \right.$$

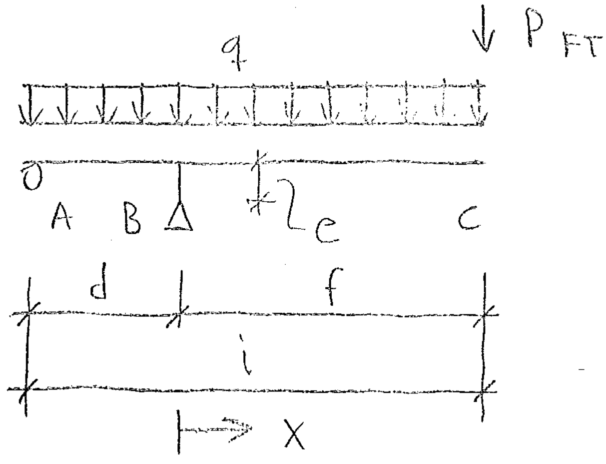
$$\left. - r \cos\alpha f - \frac{m}{\alpha} \sin\alpha f \right] \qquad (:128)$$

$$A = \frac{K_6}{K_8^2} y_c^{\circ} - r \qquad (:129)$$

$$B = \frac{K_7}{\alpha K_8^2} y_c^{\circ} - \frac{m}{\alpha} \qquad (:130)$$

Den momentana deformationen beräknas med hjälp av ekvationerna (3:100) – (3:118) och (3:126) – (3:130). Momentet fås ur ekv. (3:123) och stödreaktionerna ur (3:124) – (3:125).

D Icke-slank överkragad tvåstödsbalk



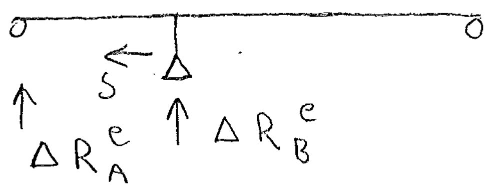
$$M_x = -\frac{q(f-x)^2}{2} - P_{FT}(f-x) \qquad (:131)$$

$$M_B = -\frac{qf^2}{2} - P_{FT}\cdot f \qquad (:132)$$

Om $e = 0$ erhålles reaktionskrafterna ur ekv. (3:124)-(3:125)

Om $e \neq 0$ blir reaktionskrafterna vid A och B, $R_A + \Delta R_A^e$ resp. $R_B + \Delta R_B^e$.

Tillskotten beräknas ur två jämviktsekvationer.



$$\begin{cases} \Delta R^e_A + \Delta R^e_B = 0 \\ S \cdot e - \Delta R^e_B \cdot d = 0 \end{cases}$$

$$\Delta R^e_A = -\frac{S \cdot e}{d} \tag{:133}$$

$$\Delta R^e_B = \frac{S \cdot e}{d} \tag{:134}$$

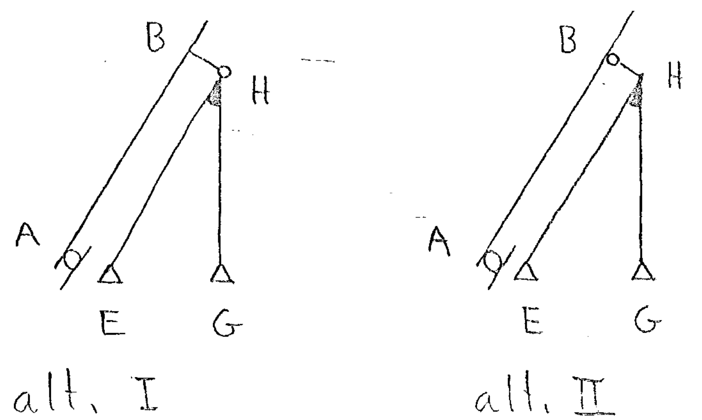
Den momentana deformationen beräknas enl. ekv. (3:100). Stödvinkeländringen θ_{BA} kan bestämmas med ekv. (3:102) om man sätter $S = 0$. y^0_x erhålles ur Bygg, tab 1:41.

$$y^0_x = \frac{f x^2}{EI}\left(\frac{P_{FT}}{2} - \frac{P_{FT} \cdot x}{6f} + \frac{q \cdot f}{4} - \frac{q x}{6} + \frac{q x^2}{24 f}\right) \tag{:135}$$

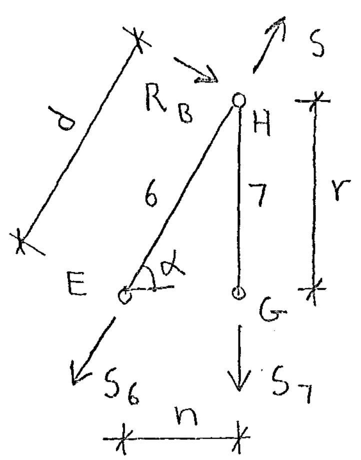
$$y^0_c = \frac{f^3}{EI}\left(\frac{P_{FT}}{3} + \frac{q \cdot f}{8}\right) \tag{:136}$$

3.3.1.3 Upplagskonstruktion

Vid knutpunkt B är beslaget H-B utformat på sådant sätt att både stångkraft och tvärkraft överförs från högben till upplagskonstruktion. Vid A överförs endast tvärkraft. Kraftöverföringen kan ske enligt de två alternativen som illustreras av nedanstående figurer.



Om förbindningen utförs enl. alt. I påverkas H ej av något yttre moment. För att underlätta beräkningen betraktas knutpunkt H som en led



Stångkrafterna kan beräknas ur moment-ekvationer.

$$S_6 = \frac{R_B \cdot d}{n \cdot \sin\alpha} + S \tag{:137}$$

$$S_7 = -\frac{R_B \cdot d}{n} \tag{:138}$$

Om förbindningen är utförd enl. alt. II påverkas H, förutom av ovan nämnda krafter, också av ett yttre moment. Momentfördelningen mellan upplagskonstruktionens stänger kan beräknas ur en elasticitetsekvation. Om tröghetsmomentet är lika för de bägge stängerna erhålles:

$$M_6 = \frac{S \cdot e \cdot r}{d + r} \tag{:139}$$

$$M_7 = \frac{S \cdot e \cdot d}{d + r} \tag{:140}$$

De av det yttre momentet förorsakade tillskotten till stångkrafterna blir:

$$\Delta S_6 = \frac{S \cdot e}{n} \cdot \sin\alpha \tag{:141}$$

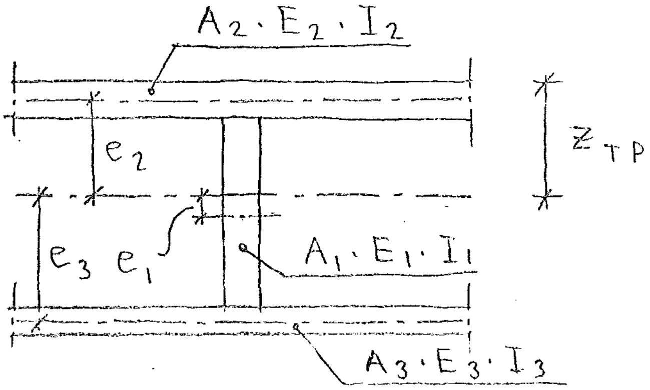
$$\Delta S_7 = -\frac{S \cdot e}{n} \tag{:142}$$

4 DIMENSIONERING

4.1 TRÖGHETSMOMENT

Om tvärsnittet är sammansatt av olika material kan tyngdpunktens läge bestämmas enligt:

$$z_{TP} = \frac{\sum E_i \cdot A_i \cdot z_i}{\sum E_i \cdot A_i} \qquad (:1)$$



Det tröghetsmoment (I) som multiplicerat med elasticitetsmodulen för livet (E_1) ger ett rätt värde på balkens böjstyvhet beräknas ur:

$$I = \sum \frac{E_i}{E_1} \left(I_i + A_i \cdot e_i^2 \right) \qquad (:2)$$

Normalspänningarna av böjning blir:

$$\sigma_i = \frac{M}{n_i I} \cdot y \qquad (:3)$$

där $n_i = E_1 / E_i$

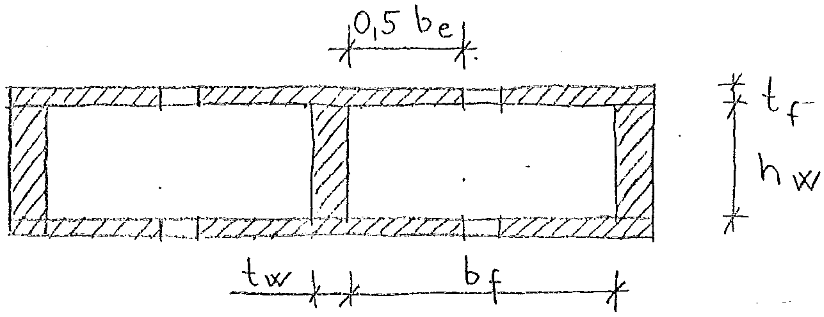
4.2 MEDVERKANDE FLÄNSBREDD OCH TILLÅTEN LIVHÖJD

I SBN 75 anges godtagna värden för livhöjd h_w, flänsbredd b_f och medverkande flänsbredd b_e. Dessa värden får överskridas om noggrannare undersökningar genomförs. Den medverkande flänsbredden definieras som den flänsbredd som svarar mot en konstant böjspänning i flänsen lika med maximalspänningen.

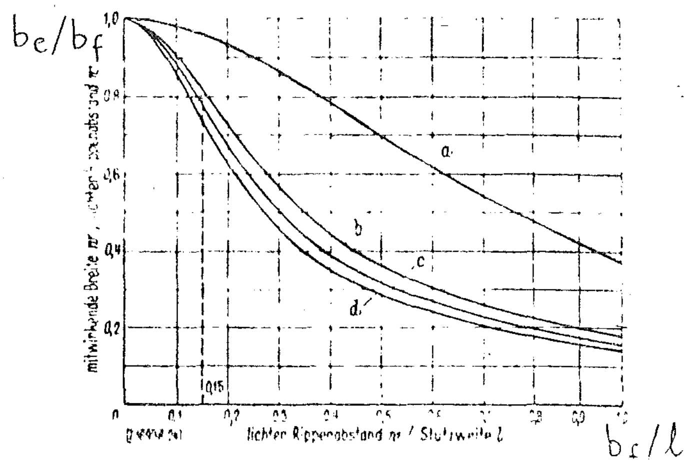
Risk för buckling av liv anses inte föreligga enl. SBN 75 om livhöjden h_w är mindre än h_o enl. följande tab.

Skivmaterial		Livhöjd h_o
K-plywood	$\eta < 0{,}33$	$(11+35)\,\eta \cdot t_w$
—— " ——	$\eta \geq 0{,}33$	$23\ t_w$
K-board		$18\ t_w$

I tabellen betecknar η kvoten mellan böjstyvheten för en remsa plywood vinkelrätt mot balkaxeln och bruttoböjstyvheten $E \cdot t_w^3/12$.



Medverkande flänsbredd i förhållande till verklig flänsbredd med hänsyn till skjuvdeformationen kan uttryckas som en funktion av b_f/l och E_x/G ([4], [5]). Förhållandet framgår av nedanstående fig.



Mitwirkende Breite w' der Sperrholzbeplankung in Abhängigkeit vom Verhältnis aus lichtem Rippenabstand w und Stützweite l.

a	Stahl ($E_{Stahl}/G_{Stahl} = 2,6$)
b	Sperrholz ($E \parallel/G = 12,0$)
c	Sperrholz ($E \parallel/G = 16,0$)
d	Sperrholz ($E \parallel/G = 20,0$)
E_{Stahl}	Elastizitätsmodul des Stahls
G_{Stahl}	Schubmodul des Stahls
$E \parallel$	Elastizitätsmodul des Sperrholzes parallel zur Faserrichtung
G	Schubmodul des Sperrholzes

l anger spännvidden vid fri uppläggning eller avståndet mellan momentnollpunkter vid kontinuerlig uppläggning för böjning och knäcklängden för knäckning.

Ex anger panelskivans elasticitetsmodul i längdriktningen. Följande värden på Ex/G kan användas;

Board	2,1
Spånskiva	4,0
Plywood	10,0

SBN 1975 anger nedanstående värden på medverkande flänsbredd, be, med hänsyn till buckling.

K-plywood med ytfaner	
i balkens längdriktning	$25\ t_f$
i balkens tvärriktning	$30\ t_f$
K-board och K-spånskiva	$30\ t_f$

Flänsbredden b_f får uppgå till dubbla medverkande flänsbredden med hänsyn till buckling.

4.3 PÅKÄNNINGAR

Elementen har påkänningar av böjning, stångkraft och tvärkraft.

Normalpåkänningarna antas vara mindre än de tillåtna om

$$\frac{\sigma_n}{k_\lambda \sigma_{nxa}} + \frac{\sigma_b}{\sigma_{ba}} < 1$$

där σ_n = påkänning av normalkraft
σ_b = —— " —— –"– böjning.
σ_{nxa} = tillåten påkänning av normalkraft.
σ_{ba} = tillåten påkänning av böjning

k_λ är en funktion av

$$\lambda = l \Big/ \sqrt{I^K / A^K} \qquad (:4)$$

där l är knäcklängden och där I^K och A^K beräknas för den effektiva delen av balktvärsnittet enl. 4.2. Under förutsättning att initialkrokigheten inte överstiger 1/300 erhålles för tryckt stång värdet på k_λ ur SBN tab. 27.32. Om elementet är draget gäller $k_\lambda = 1$

Tillåtna påkänningar och elasticitets-
moduler för K-board och K-spånskiva
framgår av SBN 1975 tab 27:213-
-:214. Vid exceptionellt lastfall ökar
de tillåtna värdena. Vid kontinuerlig
limfog mellan fläns av K-board eller
K-spånskiva och liv med högst 30 mm
bredd godtas att tillåtna skiktskjuv-
påkänningar fördubblas. För K-plywood
i motsvarande konstruktion godtas
att tillåten skiktskjuvpåkänning ökas
med 50%.

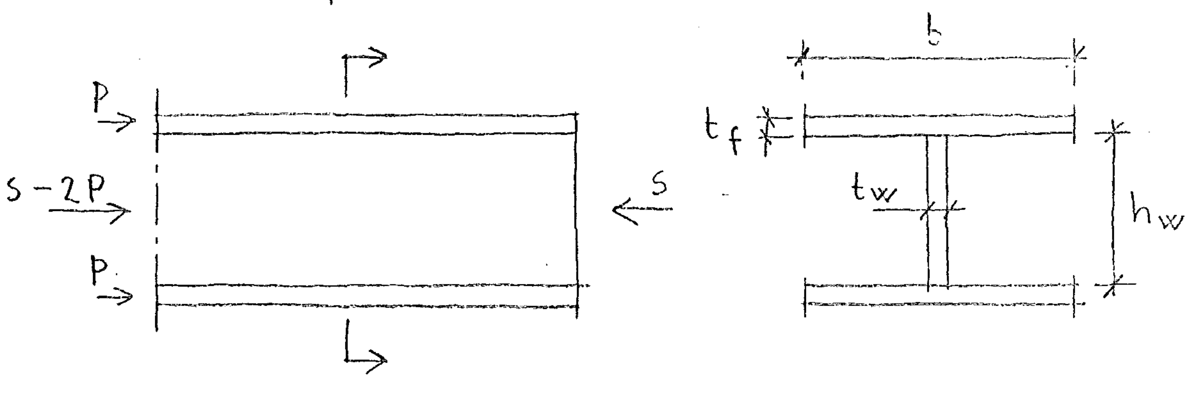
SBN 1975 anger för skivmaterial
ingen metod att kontrollera resulterande
påkänning vid tvådimensionella på-
känningstillstånd. För konstruktionsvirke
anges: "Vid belastning i sned vinkel
mot fibrerna beräknas normalpåkänni-
ngar och skjuvpåkänningar parallellt
med och vinkelrätt mot fiberriktningen,
vilka var för sig skall vara mindre
än tillåtet värde. Resulterande påkän-
ning får dock uppgå till högst tillåten
påkänning i fiberriktningen." Motsvaran-
de antas kunna tillämpas för skiv-
material påverkat av normalpåkänning

parallellt med och skjuvpåkänning vinkelrätt mot skivans plan. Den resulterande påkänningen fås ur:

$$\sigma_r = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} \tag{:5}$$

Vid upplag B antas att livet ensamt upptar stångkraften. Från livet överförs en del av stångkraften till flänsarna. Om normalpåkänningen av stångkraft antas jämnt fördelad över tvärsnittet vid mitten av elementet överförs till flänsarna en kraft som är proportionell mot kvoten mellan flänsarea och total area d.v.s.

$$P = |S| \frac{b \cdot t_f}{2b \cdot t_f + h \cdot t_w} \tag{:6}$$



Skjuvpåkänningen mellan livet och flänsarna antas jämnt fördelad i elementets längdriktning. Detta är en approximation på osäkra sidan och därför multipliceras påkänningen med 2 d.v.s.

$$\tau_s = 2 \cdot \frac{P}{l/2 \cdot t_w} \tag{:7}$$

där l = elementlängden

Skjuvpåkänningen av böjning blir

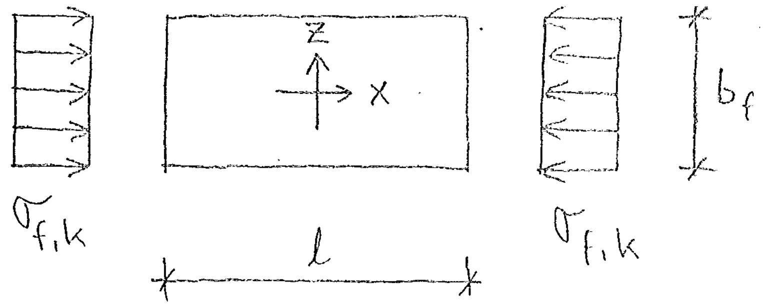
$$\tau_b = \frac{T \cdot S_z}{b \cdot I} \tag{:8}$$

där S_z = statiska momentet.

Medverkande flänsbredd med hänsyn till buckling kan enl. 4.2 skrivas som en funktion av flänstjockleken. Alternativt kan den tillåtna knäckpåkänningen beräknas. Den kritiska påkänningen för flänsbuckling ($\sigma_{f,k}$) kan enl. Bygg 362:236 beräknas ur:

$$\sigma_{f,k} = K_\sigma \frac{\pi^2}{t_w \left(\frac{b_f}{2}\right)^2} \sqrt{D_x \cdot D_z} \tag{:9}$$

där $D_x \approx (EI)_x$ = styvheten per längdenhet i z-axelns riktning.
$D_z \approx (EI)_z$ = styvheten per längdenhet i x-axelns riktning

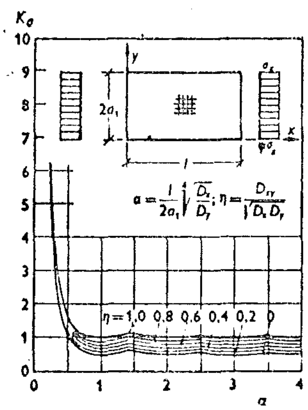


Koefficienten K_σ är en funktion av:

$$\alpha = \frac{l}{b_f}\left(\frac{D_z}{D_x}\right)^{1/4}$$

$$\eta = \frac{D_{xz}}{\sqrt{D_x D_z}}, \quad D_{xz} \approx \frac{G t^3}{6}$$

och kan erhållas ur figuren nedan.



Om den tillåtna påkänningen för flänsen ($\sigma_{f,t}$) sätts till $\sigma_{f,k}/1,5$ och de ovan angivna approximativa uttrycken för D_x, D_z och D_{xz} används fås efter omskrivning:

$$\sigma_{f,t} = \frac{11,4\, K_\sigma \cdot E \cdot t^2}{b_f^2} \qquad (:10)$$

$$\alpha = \frac{l}{b_f} \qquad (:11)$$

$$\eta = \frac{G}{1{,}7\,E} \qquad (:12)$$

Upplagskonstruktionen skall uppfylla kravet

$$\frac{\sigma_A}{\sigma_{A,till}} + \frac{\sigma_B}{\sigma_{B,till}} \leq 1$$

där σ_A och σ_B betecknar påkänningar förorsakade av axialkraft resp. böjning. Tillåtna stålpåkänningar erhålles ur StBK-N1.

5 BERÄKNINGSEXEMPEL

5.0 ALLMÄNT

För att belysa hur moment, krafter och deformationer beräknas och hur påkänningar kontrolleras genomförs här en beräkning för en konstruktion med dragstag. Beräkningar genomförs också för motsvarande konstruktion med dragstag ersatt av hanbjälkar.

Konstruktionen är belägen i Lund d.v.s. ca 10 km från kusten. Höjden över omgivande terräng är 4 m och läget är oskyddat.

Både flänsar och liv är av K-spånskiva. Elementens byggbredd är 2400 mm och de har 5 liv med centrumavståndet 592 mm. Varje liv har upplag. Vid upplagen finns tvärgående liv.

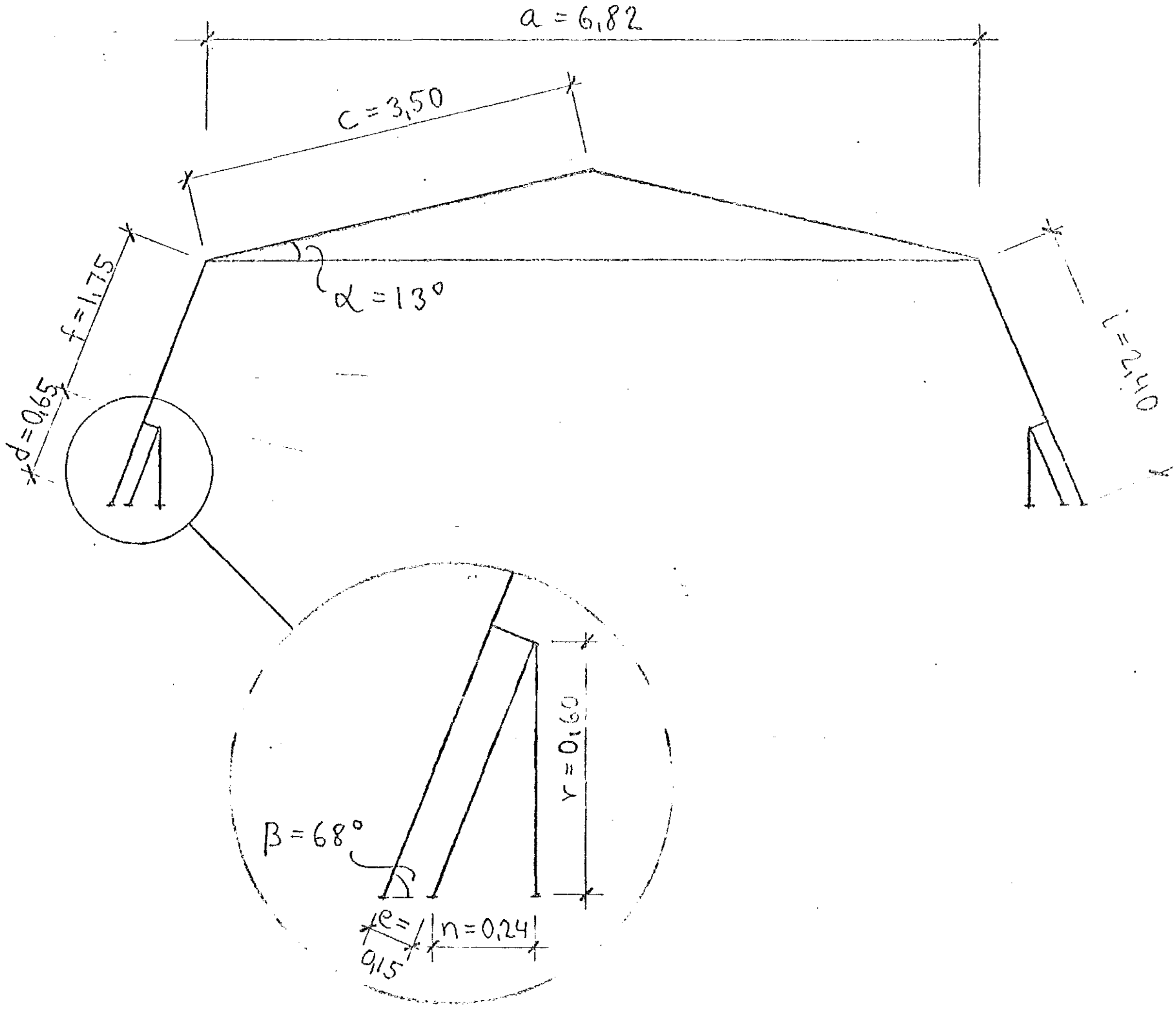
Högbenen är infästa vid upplagskonstruktionerna med leder vid B d.v.s. enl. alternativ II i kapitel 3.3.1.3.

Konstruktionen täcker ett uppvärmt utrymme och fukttöjningen ε^F antas vintertid uppgå till $6 \cdot 10^{-4}$ då elementen kan böja sig fritt och $3 \cdot 10^{-4}$ då böjningen är förhindrad.

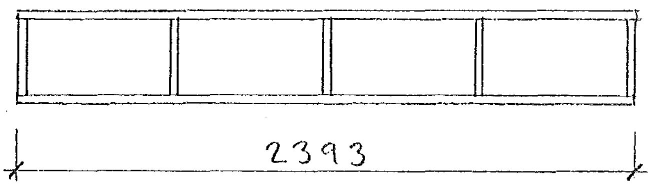
Det bör påpekas att elementens dimensioner och material inte är valda på mest ekonomiska sätt utan att syftet med beräkningen endast är att illustrera beräkningsmetoden och att ge en uppfattning om erforderliga dimensioner ur hållfasthets- och deformationssynpunkt.

5.1 DIMENSIONER OCH BÖJSTYVHET

Elementens längder och lutningar framgår av nedanstående figur.



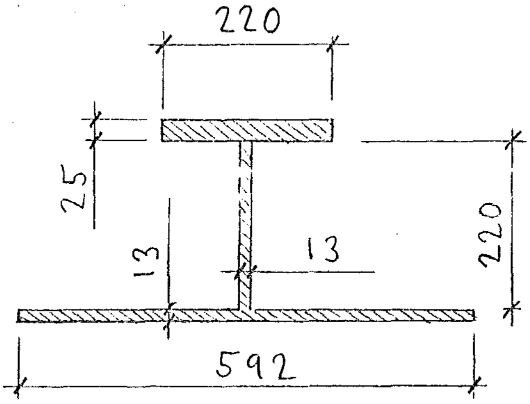
Överramstängerna och högbenen har bygglängden 2393 mm och centrumavståndet mellan liven är 592 mm



Överramstängerna och högbenen har följande dimensioner (mm):

	överram-stång	högben
flänstjocklek, t_f	16	16
livtjocklek , t_w	25	25
livhöjd , h_w	235	200
elementhöjd , h	267	232
isoleringstjocklek	200	180
luftspalt	35	20

Hanbjälkarna har dimensioner enl. figuren nedan.



Elementens livhöjder underskrider den maximalt tillåtna ($18\,t_w$).

Medverkande flänsbredd i förhållande till verklig flänsbredd, med hänsyn till skjuvdeformationen, fås ur diagrammet i kap. 4.2. För överramstången fås:

$$\left.\begin{array}{l} \frac{b_f}{l} = \frac{0{,}567}{3{,}5} = 0{,}16 \\ \\ \frac{E}{G} = 4{,}0 \end{array}\right\} \Rightarrow \quad b_e = 0{,}93\, b_f = 0{,}527 \text{ m}$$

För högbenet fås för balkdel A–B:

$$\frac{b_f}{l} = \frac{0{,}567}{0{,}65} = 0{,}87 \quad \Rightarrow \quad b_e = 0{,}227 \text{ m}$$

för B–C vid tvåstödsbalk:

$$\frac{b_f}{l} = \frac{0{,}567}{1{,}75} = 0{,}32 \quad \Rightarrow \quad b_e = 0{,}442 \text{ m}$$

och för B–C vid trestödsbalk:

$$\frac{b_f}{l} = \frac{0{,}567}{1{,}40} = 0{,}41 \quad \Rightarrow \quad b_e = 0{,}408 \text{ m}$$

Tröghetsmomentet för den med hänsyn till skjuvdeformationen bärande delen av elementet blir för överram:

$$I'_ö = \frac{1}{12}\left(0{,}552 \cdot 0{,}267^3 - 0{,}527 \cdot 0{,}235^3\right) =$$
$$= 3{,}06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

För högben på två stöd erhålles:

$$I'_{A-B} = \frac{1}{12}\left(0{,}252 \cdot 0{,}232^3 - 0{,}227 \cdot 0{,}200^3\right) =$$
$$= 1{,}11 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I'_{B-C} = \frac{1}{12}\left(0{,}467 \cdot 0{,}232^3 - 0{,}442 \cdot 0{,}200^3\right) =$$
$$= 1{,}91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

Om högbenet vilar på tre stöd blir tröghetsmomentet för balkdel B–C.

$$I''_{B-C} = \frac{1}{12}\left(0{,}432 \cdot 0{,}232^3 - 0{,}408 \cdot 0{,}200^3\right) =$$
$$= 1{,}78 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

Tröghetsmomentet för hela balktvärsnittet blir för överram:

$$I_{\ddot{o}} = \frac{1}{12}\left(0{,}592 \cdot 0{,}267^3 - 0{,}567 \cdot 0{,}235^3\right) =$$
$$= 3{,}26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

och för högben:

$$I_{H\ddot{o}} = \frac{1}{12}\left(0{,}592 \cdot 0{,}232^3 - 0{,}567 \cdot 0{,}200^3\right) =$$
$$= 2{,}38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

Tyngdpunktsavståndet för hanbjälken blir:

$$z_{TP} = \left(\frac{592 \cdot 13 \cdot 6{,}5 + 220 \cdot 13 \cdot 123 + 220 \cdot 25 \cdot 245{,}5}{592 \cdot 13 + 220 \cdot 13 + 220 \cdot 25}\right) \cdot 10^{-3} =$$

$$= 0{,}109 \text{ m}$$

Tröghetsmomentet för hanbjälken blir:

$$I_{HA} = \left[\frac{1}{12}(592\cdot 13^3 + 13\cdot 220^3 + 220\cdot 25^3) + \right.$$
$$+ 592\cdot 13\cdot 102{,}5^2 + 13\cdot 220\cdot 14^2 +$$
$$\left. + 220\cdot 25\cdot 136{,}5^2\right]\cdot 10^{-12} = 1{,}96\cdot 10^{-4}\ m^4$$

De mot ovanstående tröghetsmoment svarande böjstyvheterna blir:

böj-styvhet	vanl. lastfall [kN m²]	except. lastfall [kN m²]
$EI'_{ö}$	398	597
EI'_{A-B}	140	210
EI'_{B-C}	248	372
$EI_{ö}$	424	636
$EI_{Hö}$	309	464
EI_{HA}	255	383
EI''_{B-C}	232	347

Tvärsnittsarean blir för överram:

$$A_{ö} = (2\cdot 592\cdot 16 + 235\cdot 25)\cdot 10^{-6} = 2{,}48\cdot 10^{-2}\ m^2$$

för högben:

$$A_{Hö} = (2\cdot 592\cdot 16 + 200\cdot 25)\cdot 10^{-6} = 2{,}39\cdot 10^{-2}\ m^2$$

och för hanbjälke:

$$A_{HA} = (592\cdot 13 + 220\cdot 13 + 220\cdot 25)\cdot 10^{-6} = 1{,}61\cdot 10^{-2}\ m^2$$

5.2 LASTER

Allmänt

Samtliga laster räknas per längdenhet av ett liv.

Egentyngd

Vikten av de tvärgående liven vid upplagen försummas.

$$q_{E1} = [(2 \cdot 0{,}592 \cdot 0{,}016 + 0{,}235 \cdot 0{,}025) \cdot 7 + 0{,}592 \cdot 0{,}20 \cdot 0{,}5] \frac{1}{\cos 13°} = 0{,}24 \text{ kN/m}$$

$$q_{E2} = [(2 \cdot 0{,}592 \cdot 0{,}016 + 0{,}200 \cdot 0{,}025) \cdot 7 + 0{,}592 \cdot 0{,}18 \cdot 0{,}5)] \frac{1}{\cos 68°} = 0{,}59 \text{ kN/m}$$

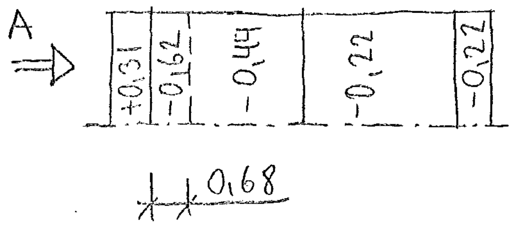
$$q_{E3} = (0{,}592 \cdot 0{,}013 + 0{,}220 \cdot 0{,}013 + 0{,}220 \cdot 0{,}025) \cdot 7 = 0{,}11 \text{ kN/m}$$

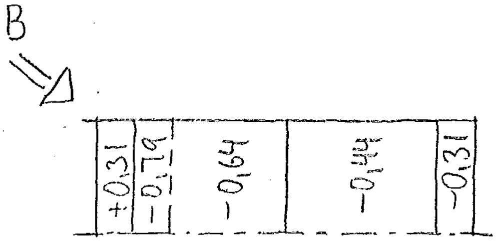
Vindlast

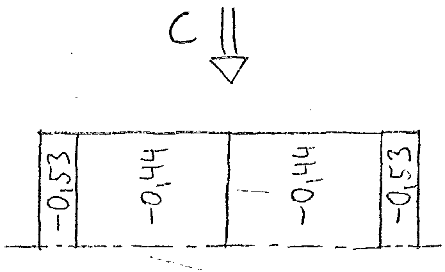
$$q_v = \mu \cdot q \cdot b = \qquad (2:1)$$

$$= \mu \cdot 0{,}75 \cdot 0{,}592 = 0{,}44\mu \text{ kN/m}$$

Vindlasten [kN/m] vid de olika vindriktningarna framgår av nedanstående figurer:







Snölast

$q_{sv} = 0{,}592 \cdot 0{,}8 = 0{,}47$ kN/m

$q_{se} = 0{,}592 \cdot 1{,}0 = 0{,}59$ kN/m

Punktlast

$P_p = 1$ kN

5.3 KRYPNING

Överramstång

$$q^K = q_{E1} \cdot \cos^2 \alpha = \qquad (3:19)$$
$$= 0{,}24 \cdot \cos^2 13° = 0{,}23 \text{ kN/m}$$

$$y^K_{mitt} = \frac{\varphi_s \cdot 5 \cdot q^K \cdot c^4}{384\, E° \cdot I} = \qquad (3:21)$$
$$= \frac{4{,}1 \cdot 5 \cdot 0{,}23 \cdot 3{,}5^4}{384 \cdot 3{,}1 \cdot 10^6 \cdot 3{,}26 \cdot 10^{-4}} = 1{,}82 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad *$$

Högben

$$q^K = q_{E2} \cdot \cos^2 \beta = \qquad (3:22)$$
$$= 0{,}59 \cdot \cos^2 68° = 0{,}083 \text{ kN/m}$$

$$M_B = -\frac{q^K}{8i}(d^3 + f^3) =$$
$$= -\frac{0{,}083}{8 \cdot 2{,}4}(0{,}65^3 + 1{,}75^3) = -2{,}44 \cdot 10^{-2} \text{ kNm}$$

$$R_C = \frac{M_B}{f} + \frac{q^K f}{2} = \qquad (3:24)$$
$$= \frac{-2{,}44 \cdot 10^{-2}}{1{,}75} + \frac{0{,}083 \cdot 1{,}75}{2} = 0{,}06 \text{ kN}$$

---

* Vid krypning gäller att $I = I_ö$, ty hela flänsen antas bärande vid dessa låga flänspåkänningar

Deformationen antas approximativt vara maximal för $x = f/2$

$$y^{k}_{f/2} = -\frac{q_s}{24E^{\circ}I}(4R_c x^3 - 4R_c f^2 x + q^k f^3 x - q^k x^4) = \qquad (3:23)$$

$$= -\frac{4{,}1}{24 \cdot 3{,}1 \cdot 10^6 \cdot 2{,}38 \cdot 10^{-4}}(4 \cdot 0{,}06 \cdot 0{,}88^3 - 4 \cdot 0{,}06 \cdot 1{,}75^2 \cdot 0{,}88 + 0{,}083 \cdot 1{,}75^3 \cdot 0{,}88 - 0{,}083 \cdot 0{,}88^4) = 3{,}3 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{m}$$

Hanbjälke

$$S_1' = \frac{q_{E1} \cdot a}{4 \cdot \tan\alpha} = \qquad (3:35)$$

$$= \frac{0{,}24 \cdot 6{,}82}{4 \cdot \tan 13^{\circ}} = 1{,}77\ \mathrm{kN}$$

$$y^{K}_{mitt} = \frac{q_s \cdot 5 \cdot q_{E3} \cdot a^4 \cdot \pi^2}{384(\pi^2 E^{\circ} I + S_1' \cdot a^2)} = \qquad (3:31)$$

$$= \frac{4{,}1 \cdot 5 \cdot 0{,}11 \cdot 6{,}82^4 \cdot \pi^2}{384(\pi^2 \cdot 3{,}1 \cdot 10^6 \cdot 1{,}96 \cdot 10^{-4} + 1{,}77 \cdot 6{,}82^2)} =$$

$$= 2{,}06 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m}$$

5.4 FUKT

Överramstång

$$y^F_{c/2} = -\frac{\varepsilon^F \cdot c^2}{8h} = \qquad (3:2)$$

$$= -\frac{6 \cdot 10^{-4} \cdot 3{,}5^2}{8 \cdot 0{,}267} = -3{,}45 \cdot 10^{-3}\ \text{m}$$

Högben på tre stöd

$$P = \frac{i\,EI \cdot \varepsilon^F}{h}\left[\left(\frac{3}{8}i + \frac{1}{4}f\right)^2 - \frac{f^2}{3}\right]^{-1} = \qquad (3:4)$$

$$= \frac{2{,}4 \cdot 309 \cdot 3 \cdot 10^{-4}}{0{,}232}\left[\left(\frac{3}{8} \cdot 2{,}4 + \frac{1}{4} \cdot 1{,}75\right)^2 - \right.$$

$$\left. - \frac{1{,}75^2}{3}\right]^{-1} = 1{,}25\ \text{kN}$$

$$c_1 = \frac{Pd\left(\frac{3}{8}i + \frac{1}{4}f\right)^2}{2i\,EI} = \qquad (3:5)$$

$$= \frac{1{,}25 \cdot 0{,}65 \cdot \left(\frac{3}{8} \cdot 2{,}4 + \frac{1}{4} \cdot 1{,}75\right)^2}{2 \cdot 2{,}4 \cdot 309} = 9{,}80 \cdot 10^{-4}$$

$$y^F_{f/2} = -\frac{\varepsilon^F \cdot i^2}{2h}\left(\frac{f}{2i} - \frac{f^2}{4i^2}\right) - \frac{Pdf^3}{48\,i\,EI} +$$

$$+ \frac{c_1 f}{2} = \qquad (3:6)$$

$$= -\frac{3 \cdot 10^{-4} \cdot 2{,}4^2}{2 \cdot 0{,}232}\left(\frac{1{,}75}{2 \cdot 2{,}4} - \frac{1{,}75^2}{4 \cdot 2{,}4^2}\right) -$$

$$- \frac{1{,}25 \cdot 0{,}65 \cdot 1{,}75^3}{48 \cdot 2{,}4 \cdot 309} + \frac{9{,}80 \cdot 10^{-4} \cdot 1{,}75}{2} =$$

$$= -1{,}28 \cdot 10^{-4}\ \text{m}$$

$$M_B = \frac{P \cdot d \cdot f}{i} = \tag{3:7}$$

$$= \frac{1{,}25 \cdot 0{,}65 \cdot 1{,}75}{2{,}4} = 0{,}59 \text{ kNm}$$

$$M_{f/2} = \frac{P \cdot d \cdot f}{2i} = \tag{3:8}$$

$$= \frac{0{,}59}{2} = 0{,}30 \text{ kNm}$$

$$R_A = \frac{P \cdot f}{i} = \tag{3:9}$$

$$= \frac{1{,}25 \cdot 1{,}75}{2{,}4} = 0{,}91 \text{ kN}$$

$$R_c = \frac{P \cdot d}{i} = \tag{3:10}$$

$$= \frac{1{,}25 \cdot 0{,}65}{2{,}4} = 0{,}34 \text{ kN}$$

Högben på två stöd

$$y_c^F = \frac{\varepsilon^F}{2h} \left(f^2 + fd \right) = \tag{3:12}$$

$$= \frac{6 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 0{,}232} \left(1{,}75^2 + 1{,}75 \cdot 0{,}65 \right) = 5{,}46 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

5.5 KRAFTER, MOMENT OCH MOMENTANA DEFORMATIONER FÖR KONSTRUKTION MED DRAGSTAG

5.5.1 Överramstång

5.5.1.1 Utbredd vertikal last

egentyngd: $q_{E1} = 0{,}24$ kN/m
vanlig snölast: $q_{sv} = 0{,}47$ kN/m
exceptionell snölast: $q_{se} = 0{,}59$ kN/m

$$R_{c1} = R_{c2} = \frac{q \cdot a}{2} = \qquad (3:34)$$

$$= \frac{q \cdot 6{,}8}{2} = 3{,}4 \cdot q \text{ kN}$$

$$S_1' = \frac{q \cdot a}{4 \cdot \tan\alpha} = \qquad (3:35)$$

$$= \frac{q \cdot 6{,}8}{4 \cdot \tan 13^\circ} = 7{,}36\, q \text{ kN}$$

$$S_2 = S_3 = -\frac{q \cdot a}{4 \cdot \sin\alpha} = \qquad (3:36)$$

$$= -\frac{q \cdot 6{,}8}{4 \cdot \sin 13^\circ} = -7{,}56\, q \text{ kN}$$

$$q_T = q \cdot \cos^2\alpha = \qquad (3:37)$$

$$= q \cdot \cos^2 13^\circ = 0{,}95\, q \text{ kN/m}$$

$$M_{mitt} = \frac{q_T \cdot c^2}{8} = \qquad (3:38)$$

$$= \frac{q_T \cdot 3{,}5^2}{8} = 1{,}53\, q_T \text{ kNm}$$

$$y_{mitt} = \frac{5 \cdot q_T \cdot c^4}{384\ EI} = \qquad (3:39)$$

$$= \frac{5 \cdot q_T \cdot 3{,}5^4}{384 \cdot EI_ö} = 1{,}95\ \frac{q_T}{EI_ö}\ m$$

$$T_o = \frac{q_T \cdot c}{2} = \qquad (3:40)$$

$$= \frac{q_T \cdot 3{,}5}{2} = 1{,}75\ q_T\ kN$$

last	$R_{c1} = R_{c2}$ [kN]	S'_1 [kN]	$S_2 = S_3$ [kN]	q_T [kN/m]	M_{mitt} [kNm]	T_o [kN]	y_{mitt} [m]
egent. vanl.	0,82	1,77	-1,81	0,23	0,35	0,40	$1{,}13 \cdot 10^{-3}$
—"— except.	0,82	1,77	-1,81	0,23	0,35	0,40	$0{,}75 \cdot 10^{-3}$
snöl. vanl.	1,60	3,46	-3,55	0,45	0,69	0,79	$2{,}20 \cdot 10^{-3}$
—"— except.	2,01	4,34	-4,46	0,56	0,86	0,98	$1{,}83 \cdot 10^{-3}$

5.5.1.2 Punktlast på nocken

$$R_{c1} = R_{c2} = \frac{P}{2} = \qquad (3:45)$$

$$= \frac{1}{2} = 0{,}50\ kN \quad *$$

$$S'_1 = \frac{P}{2 \cdot \tan\alpha} = \qquad (3:46)$$

$$= \frac{1}{2 \cdot \tan 13°} = 2{,}17\ kN$$

---

* Punktlasten antas belasta ett liv.

$$S_2 = S_3 = -\frac{P}{2 \cdot \sin\alpha} = \tag{3:47}$$

$$= -\frac{1}{2 \cdot \sin 13^\circ} = -2{,}22 \text{ kN}$$

5.5.1.3 Puntlast på en takhalva

$$R_{c2} = \frac{P}{4} = \tag{3:48}$$

$$= \frac{1}{4} = 0{,}25 \text{ kN}$$

$$R_{c1} \quad \frac{3P}{4} = \tag{3:49}$$

$$= \frac{3 \cdot 1}{4} = 0{,}75 \text{ kN}$$

$$S_1' = \frac{P}{4 \cdot \tan\alpha} = \tag{3:50}$$

$$= \frac{1}{4 \cdot \tan 13^\circ} = 1{,}08 \text{ kN}$$

$$S_2 = S_3 = -\frac{P}{4 \cdot \sin\alpha} = \tag{3:51}$$

$$= -\frac{1}{4 \cdot \sin 13^\circ} = -1{,}11 \text{ kN}$$

$$P_T = P \cdot \cos\alpha = \tag{3:52}$$

$$= 1 \cdot \cos 13^\circ = 0{,}97 \text{ kN}$$

$$M_{mitt} = \frac{P_T \cdot c}{4} = \tag{3:53}$$

$$= \frac{0{,}97 \cdot 3{,}5}{4} = 0{,}85 \text{ kN}$$

$$y_{mitt} = \frac{P_T \cdot c^3}{48\,EI} = \qquad (3:54)$$

$$= \frac{0{,}97 \cdot 3{,}5^3}{48 \cdot 597} = 1{,}45 \cdot 10^{-3}\ m$$

$$T_0 = \frac{P_T}{2} = \qquad (3:55)$$

$$= \frac{0{,}97}{2} = 0{,}49\ kN$$

5.5.1.4 Vindlast A

$q_1 = -0{,}62$ kN/m

$q_2 = -0{,}44$ — " —

$q_3 = -0{,}22$ — " —

$$z' = \frac{z}{\cos 13^\circ} = \qquad (3:56)$$

$$= \frac{0{,}68}{\cos 13^\circ} = 0{,}70\ m$$

$$R_{c2} = q_3 \cdot c \cdot \cos\alpha + \frac{1}{2a}\left(q_2 c^2 + (q_1 - q_2) z'^2 - q_3 \cdot c^2\right) = \qquad (3:57)$$

$$= (-0{,}22) \cdot 3{,}5 \cdot \cos 13^\circ + \frac{1}{2 \cdot 6{,}80}\left[(-0{,}44) \cdot 3{,}50^2 + ((-0{,}62) - (-0{,}44)) \cdot 0{,}70^2 - (-0{,}22) \cdot 3{,}50^2\right] =$$

$$= -0{,}96\ kN$$

$$R_{c1} = \cos\alpha\,(q_1 z' + q_2 (c - z') + q_3 \cdot c) - R_{c2} = \qquad (3:58)$$

$$= \cos 13^\circ\,((-0{,}62) \cdot 0{,}7 + (-0{,}44)(3{,}5 - 0{,}7) + (-0{,}22) \cdot 3{,}5) - (-0{,}96) = -1{,}41\ kN$$

$$R_v = \tan\alpha\,[q_3 \cdot c - q_1 z' - q_2(c - z')] = \quad (3{:}59)$$
$$= \tan 13°\,[(-0{,}22) \cdot 3{,}5 - (-0{,}62) \cdot 0{,}7 - (-0{,}44) \cdot$$
$$\cdot (3{,}5 - 0{,}7)] = 0{,}21 \text{ kN}$$

$$P_{c1} = (R_{cT}) = \frac{q_2 \cdot c}{2} + \frac{(q_1 - q_2)\,z'}{c} \cdot$$
$$\cdot \left(c - \frac{z'}{2}\right) = \quad (3{:}60)$$
$$= \frac{-0{,}44 \cdot 3{,}5}{2} + \frac{((-0{,}62) - (-0{,}44)) \cdot 0{,}7}{3{,}5} \cdot$$
$$\cdot \left(3{,}5 - \frac{0{,}7}{2}\right) = -0{,}88 \text{ kN}$$

$$S_2 = S_3 = \frac{P_{c1} \cdot \cos\alpha - R_{c1}}{\sin\alpha} = \quad (3{:}61)$$
$$= \frac{-0{,}88 \cdot \cos 13° - (-1{,}41)}{\sin 13°} = 2{,}46 \text{ kN}$$

$$S_1' = R_v - S_2 \cos\alpha - P_{c1} \cdot \sin\alpha = \quad (3{:}62)$$
$$= 0{,}21 - 2{,}46 \cdot \cos 13° - (-0{,}88) \cdot \sin 13° =$$
$$= -1{,}99 \text{ kN}$$

$$M_{c/2} = \frac{R_{cT} \cdot c}{2} - \frac{q_2 \cdot c^2}{8} -$$
$$-(q_1 - q_2)\,\frac{z'}{2}\,(c - z') = \quad (3{:}65)$$
$$= \frac{-0{,}88 \cdot 3{,}5}{2} - \frac{-0{,}44 \cdot 3{,}5^2}{8} - ((-0{,}62) - (-0{,}44)) \cdot$$
$$\cdot \frac{0{,}7}{2}\,(3{,}5 - 0{,}7) = -0{,}69 \text{ kNm}$$

$$y_{c/2} = -\frac{1}{EI}\left[\frac{7 \cdot q_2 \cdot c^4}{384} - \frac{R_{cT} \cdot c^3}{16} +\right.$$

$$\left. + (q_1 - q_2)\, z'\left(\frac{3c^3}{48} - \frac{z' \cdot c^2}{16}\right)\right] = \qquad (3{:}67)$$

$$= -\frac{1}{579}\left[\frac{7(-0{,}44) \cdot 3{,}5^4}{384} - \frac{-0{,}88 \cdot 3{,}5^3}{16} +\right.$$

$$\left. + ((-0{,}62) - (-0{,}44)) \cdot 0{,}7\left(\frac{3 \cdot 3{,}5^3}{48} - \frac{0{,}7 \cdot 3{,}5^2}{16}\right)\right] =$$

$$= -1{,}48 \cdot 10^{-3}\ m$$

5.5.1.5 Vindlast B

$q_1 = -0{,}79$ kN/m

$q_2 = -0{,}64$ kN/m

$q_3 = -0{,}44$ kN/m

$$R_{c2} = -0{,}44 \cdot 3{,}5 \cdot \cos 13° + \frac{1}{2 \cdot 6{,}3}\left[(-0{,}64 \cdot 3{,}5^2 +\right.$$

$$\left. + ((-0{,}79) - (-0{,}64)) \cdot 0{,}7^2 - (-0{,}44) \cdot 3{,}5^2\right] =$$

$$= -1{,}69 \text{ kN}$$

$$R_{c1} = \cos 13° \left(-0{,}79 \cdot 0{,}7 + (-0{,}64)(3{,}5 - 0{,}7) +\right.$$

$$\left. + (-0{,}44) \cdot 3{,}5\right) - (-1{,}69) = -2{,}10 \text{ kN}$$

$$R_v = \tan 13° \left[(-0{,}44) \cdot 3{,}5 - (-0{,}79) \cdot 0{,}7 -\right.$$

$$\left. - (-0{,}64)(3{,}5 - 0{,}7)\right] = 0{,}19 \text{ kN}$$

$$R_{cT} = \frac{-0{,}64 \cdot 3{,}5}{2} + \frac{((-0{,}79) - (-0{,}64)) \cdot 0{,}7}{3{,}5} \cdot$$

$$\cdot \left(3{,}5 - \frac{0{,}7}{2}\right) = -1{,}21 \text{ kN}$$

$$S_2 = S_3 = \frac{-1{,}21 \cdot \cos 13^\circ - (-2{,}10)}{\sin 13^\circ} = 4{,}09 \text{ kN}$$

$$S_1' = 0{,}19 - 4{,}09 \cdot \cos 13^\circ - (-1{,}21) \cdot \sin 13^\circ =$$
$$= -3{,}52 \text{ kN}$$

$$M_{c/2} = \frac{-1{,}21 \cdot 3{,}5}{2} - \frac{-0{,}64 \cdot 3{,}5^2}{8} -$$
$$-((-0{,}79) - (-0{,}64)) \cdot \frac{0{,}7}{2} (3{,}5 - 0{,}7) = -0{,}99 \text{ kNm}$$

$$Y_{c/2} = -\frac{1}{597} \left[\frac{7(-0{,}64) \cdot 3{,}5^4}{384} - \right.$$
$$- \frac{(-1{,}21) \cdot 3{,}5^3}{16} + ((-0{,}79) - (-0{,}64)) \cdot 0{,}7 \cdot$$
$$\left. \cdot \left(\frac{3 \cdot 3{,}5^3}{48} - \frac{0{,}7 \cdot 3{,}5^2}{16} \right) \right] = -2{,}12 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

5.5.1.6 <u>Vindlast c</u>

$q_1 = -0{,}44$ kN/m
$q_2 = -0{,}44$ kN/m
$q_3 = -0{,}44$ kN/m

$$R_{c2} = -0{,}44 \cdot 3{,}5 \cdot \cos 13^\circ + \frac{1}{2 \cdot 6{,}8} (-0{,}44 \cdot 3{,}5^2 +$$
$$+ 0 - (-0{,}44) \cdot 3{,}5^2) = -1{,}50 \text{ kN}$$

$R_{c1} = R_{c2}$

$R_v = 0$ m

$$R_{CT} = \frac{-0{,}44 \cdot 3{,}5}{2} + 0 = -0{,}77 \text{ kN}$$

$$S_2 = S_3 = \frac{-0{,}77 \cdot \cos 13° - (-1{,}50)}{\sin 13°} = 3{,}33 \text{ kN}$$

$$S_1' = 0 - 3{,}33 \cos 13° - (-0{,}77) \cdot \sin 13° =$$
$$= -3{,}07 \text{ kN}$$

$$M_{c/2} = \frac{-0{,}77 \cdot 3{,}5}{2} - \frac{-0{,}44 \cdot 3{,}5^2}{8} - 0 =$$
$$= -0{,}67 \text{ kNm}$$

$$Y_{c/2} = -\frac{1}{597}\left[\frac{7(-0{,}44) \cdot 3{,}5^4}{384} - \frac{-0{,}77 \cdot 3{,}5^3}{16} +\right.$$
$$\left. + 0\right] = -1{,}44 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

5.5.1.7 Sammanställning

	s'_1 [kN]	$S_2 = S_3$ [kN]	R_{c1} [kN]	R_{c2} [kN]	R_v [kN]	T_o [kN]	M_{mitt} [kNm]	y_{mitt} [m]
1 egent. vanl.	1,77	-1,81	0,82	0,82	0,00	0,40	0,35	$1{,}13 \cdot 10^{-3}$
2 —"— except.	~~1,77~~ 1,86	-1,81	0,82	0,82	0,00	0,40	0,35	$0{,}75 \cdot 10^{-3}$
3 snölast. vanl.	3,46	-3,55	1,60	1,60	0,00	0,79	0,69	$2{,}20 \cdot 10^{-3}$
4 —"— except.	4,34	-4,46	2,01	2,01	0,00	0,98	0,86	$1{,}83 \cdot 10^{-3}$
5 punktl. på nocken	2,17	-2,22	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00
6 —"— på en takh.	1,08	-1,11	0,25	0,25	0,00	0,49	0,85	$1{,}45 \cdot 10^{-3}$
7 vindlast A	~~-1,99~~ -2,41	2,46	-1,41	-0,96	0,21	-0,88	-0,69	$-1{,}48 \cdot 10^{-3}$
8 —"— B	~~-3,52~~ -3,96	4,09	-2,10	-1,69	0,19	-1,21	-0,99	$-2{,}12 \cdot 10^{-3}$
9 —"— C	-3,07	3,33	-1,50	-1,50	0,00	-0,77	-0,67	$-1{,}44 \cdot 10^{-3}$

5.5.2 Högben och dragstag

5.5.2.1 Knäcklast

$l = 2f + d =$
$= 2 \cdot 1{,}75 + 0{,}65 = 4{,}15 \text{ m}$

$$\left.\begin{aligned} \frac{b_f}{l} &= \frac{0{,}567}{4{,}15} = 0{,}14 \\ \frac{E}{G} &= 4 \end{aligned}\right\} \quad b_e = 0{,}94 \cdot b_f = 0{,}533 \text{ m}$$

$I' = \frac{1}{12}\left(0{,}558 \cdot 0{,}232^3 - 0{,}533 \cdot 0{,}200^3\right) =$
$= 2{,}25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$

$P_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I'}{L_k^2} =$
$= \frac{\pi^2 \cdot 1{,}3 \cdot 10^6 \cdot 2{,}25 \cdot 10^{-4}}{4{,}15^2} = 168 \text{ kN}$

5.5.2.2 Egentyngd

$q = 0{,}59 \text{ kN/m}$

$q_{ET} = q_E \cdot \cos^2\beta =$ (3:76)
$= 0{,}59 \cdot \cos^2 68° = 0{,}08 \text{ kN/m}$

$P_{EA} = -q_E \cdot i \cdot \cos\beta \cdot \sin\beta =$ (3:77)
$= -0{,}59 \cdot 2{,}4 \cos 68° \sin 68° = -0{,}49 \text{ kN}$

5.5.2.3 Egentyngd + Snölast + Punktlast

Lastfallet är exceptionellt.

$S_1' = 8,28$ kN

$R_{c1} = R_{c2} = 3,33$ kN

$R_V = 0$ m

$q_V = 0$ kN/m

$$P_{FT} = R_c \cdot \cos\beta - \frac{R_V \cdot \sin\beta}{2} = \qquad (3:73)$$

$$= 3,33 \cdot \cos 68° - 0 = 1,25 \text{ kN}$$

$$P_{FA} = -R_c \cdot \sin\beta - \frac{R_V \cdot \cos\beta}{2} = \qquad (3:75)$$

$$= -3,33 \sin 68° - 0 = -3,09 \text{ kN}$$

$$q = q_{ET} + q_V = \qquad (3:78)$$

$$= 0,08 + 0 = 0,08 \text{ kN/m}$$

$$S = P_{EA} + P_{FA} = \qquad (3:79)$$

$$= (-0,49) + (-3,09) = -3,58 \text{ kN}$$

$$M_B = -\frac{q}{8i}(d^3 + f^3) = \qquad (3:80)$$

$$= -\frac{0,08}{8 \cdot 2,4}(0,65^3 + 1,75^3) = -0,02 \text{ kNm}$$

$$R_c^V = R_c^H = \frac{M_B}{f} + \frac{q \cdot f}{2} + P_{FT} = \qquad (3:82)$$

$$= \frac{-0,02}{1,75} + \frac{0,08 \cdot 1,75}{2} + 1,25 = 1,31 \text{ kN}$$

$$R'_c = \frac{\sin\beta}{2}\left(R^V_c + R^H_c + 2R^F_c\right) = \qquad (3{:}32)$$

$$= \frac{\sin 68^\circ}{2}\left(1{,}31 + 1{,}31 + 2\cdot 0{,}34\right) = 1{,}53 \text{ kN}$$

om fuktpåkänningen är maximal.
$R'_c < s'_1 \Rightarrow$ Högbenet fungerar som trestödsbalk både med och utan hänsyn till fuktpåkänningar.

$$R_A = \frac{M_B}{d} + \frac{qd}{2} = \qquad (3{:}81)$$

$$= \frac{-0{,}02}{0{,}65} + \frac{0{,}08\cdot 0{,}65}{2} = -0{,}01 \text{ kN}$$

$$R_B = q\cdot i + P_{FT} - R_A - R_c = \qquad (3{:}83)$$
$$= 0{,}08\cdot 2{,}4 + 1{,}25 - (-0{,}01) - (1{,}31) = 0{,}14 \text{ kN}$$

$$|T_A|^{max} = |R_A + R^F_A| = |-0{,}01 + 0{,}91| = 0{,}90 \text{ kN.}$$

$$|T_{BA}|^{max} = |R_A + R^F_A - dq| = |0{,}90 - 0{,}65\cdot 0{,}08| =$$
$$= 0{,}85 \text{ kN}$$

$$|T_{Bc}|^{max} = |R_A - dq + R_B + R^F_c| = |-0{,}01 -$$
$$- 0{,}65\cdot 0{,}08 + 0{,}14 + (-0{,}34)| = 0{,}26 \text{ kN}$$

$$|R_c + R^F_c - P_{FT}| = |1.31 + 0.34 - 1.25| = 0.40$$
$$|T_c| = \cancel{|P_{FT} + R^F_c|} = |1{,}25 + 0{,}34| = 1{,}59 \text{ kN.}$$

$$|M_B|^{max} = |M_B + M^F_B| = |-0{,}02 + 0{,}59| = 0{,}57 \text{ kNm.}$$

$$s_1^{max} = s'_1 - \frac{\sin\beta}{2}\left(R^V_c + R^H_c\right) =$$

$$= 8{,}28 - \frac{\sin 68^\circ}{2}\left(1{,}31 + 1{,}31\right) = 7{,}07 \text{ kN}$$

5.5.2.4 Egentyngd + Vindlast A

Lastfallet är exceptionellt.

$S_1' = \cancel{-0{,}22}$ -0.55 kN

$R_{c1} = -0{,}59$ kN

$R_{c2} = -0{,}14$ kN

$R_V = 0{,}21$ kN

$q_V^V = 0{,}31$ kN/m *

$q_V^H = -0{,}22$ kN/m *

$$P_{FT}^V = -0{,}59\cos 68^\circ - \frac{0{,}21 \cdot \sin 68^\circ}{2} = -0{,}32 \text{ kN}$$

$$P_{FT}^H = -0{,}14\cos 68^\circ + \frac{0{,}21 \sin 68^\circ}{2} = 0{,}04 \text{ kN}$$

$$P_{FA}^V = -(-0{,}59)\sin 68^\circ - \frac{0{,}21 \cos 68^\circ}{2} = 0{,}51 \text{ kN}$$

$$P_{FA}^H = -(-0{,}14)\cdot\sin 68^\circ + \frac{0{,}21 \cdot \cos 68^\circ}{2} = 0{,}17 \text{ kN}$$

$q^V = 0{,}08 + 0{,}31 = 0{,}42$ kN/m

$q^H = 0{,}08 + (-0{,}22) = -0{,}14$ kN/m

$S^V = (-0{,}49) + 0{,}51 = 0{,}02$ kN

$S^H = (-0{,}49) + 0{,}17 = -0{,}32$ kN

---

* Index V och H betecknar vänster resp. höger högben.

$$M_B^V = -\frac{0{,}42}{8 \cdot 2{,}4}\left(0{,}65^3 + 1{,}75^3\right) = -0{,}12 \text{ kNm}$$

$$M_B^H = -\frac{-0{,}14}{8 \cdot 2{,}4}\left(0{,}65^3 + 1{,}75^3\right) = 0{,}04 \text{ kNm}$$

$$R_c^V = \frac{-0{,}12}{1{,}75} + \frac{0{,}42 \cdot 1{,}75}{2} + (-0{,}32) = -0{,}02 \text{ kN}$$

$$R_c^H = \frac{0{,}04}{1{,}75} + \frac{-0{,}14 \cdot 1{,}75}{2} + 0{,}04 = -0{,}06 \text{ kN}$$

$$R'_c = \frac{\sin 68^\circ}{2}\left((-0{,}02) - (-0{,}06)\right) = -0{,}04 \text{ kN}$$

om fuktpåkänningen är noll.
$R'_c > S'_1$ både med hänsyn till fukt ⇒
⇒ Högbenet fungerar som en tvåstöds-balk.

Om konstruktionen även belastas av snö + punklast erhålles:

$$S'_1 = -0{,}22 + 4{,}34 + 2{,}17 = 6{,}29 \text{ kN}$$
$$R_{c1} = -0{,}59 + 2{,}01 + 0{,}50 = 1{,}92 \text{ kN}$$
$$R_{c2} = -0{,}14 + 2{,}01 + 0{,}50 = 2{,}37 \text{ kN}$$

$$P_{FT}^V = 1{,}92 \cdot \cos 68^\circ - \frac{0{,}21 \cdot \sin 68^\circ}{2} = 0{,}62 \text{ kN}$$

$$P_{FT}^H = 2{,}37 \cdot \cos 68^\circ + \frac{0{,}21 \cdot \sin 68^\circ}{2} = 0{,}99 \text{ kN}$$

$$P_{FA}^V = -1{,}92 \sin 68^\circ - \frac{0{,}21 \cdot \cos 68^\circ}{2} = -1{,}82 \text{ kN}$$

$$P^H_{FA} = -2{,}37 \cdot \sin 68° + \frac{0{,}21 \cdot \cos 68°}{2} = -2{,}16 \text{ kN}$$

$$S^V = (-0{,}49) + (-1{,}82) = -2{,}31 \text{ kN}$$
$$S^H = (-0{,}49) + (-2{,}16) = -2{,}65 \text{ kN}$$

$$R^V_C = \frac{-0{,}12}{1{,}75} + \frac{0{,}42 \cdot 1{,}75}{2} + 0{,}62 = 0{,}92 \text{ kN}$$

$$R^H_C = \frac{0{,}04}{1{,}75} + \frac{-0{,}14 \cdot 1{,}75}{2} + 0{,}99 = 0{,}89 \text{ kN}$$

$$R'_C = \frac{\sin 68°}{2}(0{,}92 + 0{,}89 + 0{,}34) = 1{,}00 \text{ kN}$$

om fuktpåkänningen är maximal.
$R'_C < S'_1 \Rightarrow$ Högbenet fungerar som tre-stödsbalk både med och utan hänsyn till fuktpåkänningen.

$$S_1 = 6{,}29 - \frac{\sin 68°}{2}(0{,}92 + 0{,}89) = 5{,}45 \text{ kN}$$

<u>förskjutningens inverkan</u>

$$P_V = \frac{R^V_C - R^H_C}{2} = \qquad (3:94)$$
$$= \frac{0{,}92 - 0{,}89}{2} = 0{,}01 \text{ kN}$$

$$\Delta R_B = \frac{P \cdot i}{d} = \qquad (3:95)$$
$$= \frac{0{,}01 \cdot 2{,}4}{0{,}65} = 0{,}04 \text{ kN}$$

$$\Delta R_A = P - \Delta R_B = \qquad (3{:}96)$$
$$= 0{,}01 - 0{,}04 = -0{,}03 \text{ kN}$$

$$\Delta M_B = -P \cdot f = \qquad (3{:}98)$$
$$= -0{,}01 \cdot 1{,}75 = -0{,}02 \text{ kNm}$$

<u>trestödsbalk + vänster högben</u>

$$R_A = \frac{-0{,}12}{0{,}65} + \frac{0{,}42 \cdot 0{,}65}{2} = -0{,}05 \text{ kN}$$

$$R_B = 0{,}42 \cdot 2{,}45 + 0{,}62 - (-0{,}05) - 0{,}92 = 0{,}76 \text{ kN}$$

$$|T_A|^{max} = |R_A + \Delta R_A + R_A^F| =$$
$$= |-0{,}05 + (-0{,}03) + 0{,}91| = 0{,}83 \text{ kN}$$

$$|T_{BA}|^{max} = |R_A + \Delta R_A + R_A^F - dq| = \qquad *$$
$$= |-0{,}05 + (-0{,}03) + 0{,}91 - 0{,}65 \cdot 0{,}421| = 0{,}56 \text{ kN}$$

$$|T_{BC}|^{max} = |R_A + \Delta R_A - dq + R_B + \overbrace{\Delta R_B}^{-R_C^F}| = \qquad *$$
$$= |-0{,}05 + (-0{,}03) - 0{,}65 \cdot 0{,}42 + 0{,}76 + \underbrace{0{,}04}_{-0{,}34}| =$$
$$= \underset{0.11}{\cancel{0{,}45}} \text{ kN}$$

$$|T_C|^{max} = |R_C - P + R_C^F - P_{FT}| = |0{,}92 - 0{,}01 +$$
$$+ 0{,}34 - 0{,}62| = 0{,}63 \text{ kN}$$

$$|M_B|^{max} = |M_B + \Delta M_B + M_B^F| =$$
$$= |-0{,}12 + \underset{-0.02}{\cancel{0{,}30}} + 0{,}59| = \underset{0.45}{\cancel{0{,}77}} \text{ kNm}$$

---

* Index BA och BC betyder vänster resp. höger om stöd B.

<u>trestödsbalk, höger högben</u>

$$R_A = \frac{0,04}{0,65} + \frac{-0,14 \cdot 0,65}{2} = 0,02 \text{ kN}$$

$$R_B = -0,14 \cdot 2,4 + 0,99 - 0,02 - 0,89 = -0,26 \text{ kN}$$

$$|T_A|^{max} = |R_A - \Delta R_A + R_A^F| = |0,02 - (-0,03) + 0,91| = 0,96 \text{ kN}$$

$$|T_{BA}|^{max} = |R_A - \Delta R_A + R_A^F - dq| = |0,96 - 0,65(-0,14)| = 1,05 \text{ kN}$$

$$|T_{BC}|^{max} = |R_A - \Delta R_A + R_A^F - dq + R_B + R_B^F - \Delta R_B| = |1,05 + (-0,26) + (-1,25) - 0,04| = 0,50 \text{ kN}$$

$$|T_C|^{max} = |R_C - P_{FT} + R_C^F - \Delta R_C| = |0,99 - 0,99 + 0,34 - (-0,01)| = 0,25 \text{ kN}$$

$$|M_B|^{max} = |M_B - \Delta M_B + M_B^F| = |0,04 - (-0,02) + 0,59| = 0,65 \text{ kNm}$$

<u>tvåstödsbalk + vänster högben</u>

$$P_{FT} = -0,59 \cdot \cos 68^\circ - (\overset{-0.55}{\cancel{(-0,22)}} + \frac{0,21}{2}) \sin 68^\circ = \overset{0.19}{\cancel{-0,11}} \text{ kN}$$

$$P_{FA} = -(-0,59) \sin 68^\circ - ((-0,22) + \frac{0,21}{2}) \cos 68^\circ = 0,59 \text{ kN}$$

$$S = -0{,}49 + 0{,}59 = 0{,}10 \text{ kN}$$

$S \ll P_k \Rightarrow$ icke-slank balk.

$$R_B = \frac{q \cdot i^2}{2d} + \frac{P_{FT} \cdot i}{d} = \qquad (3;124)$$

$$= \frac{0{,}42 \cdot 2{,}4^2}{2 \cdot 0{,}65} + \frac{\overset{0.19}{\cancel{0{,}11}} \cdot 2{,}4}{0{,}65} = \overset{2.56}{\cancel{1{,}15}} \text{ kN}$$

$$R_A = P_{FT} + q \cdot i - R_B = \qquad (3;125)$$

$$= \overset{0.19}{\cancel{-0{,}11}} + 2{,}4 \cdot 0{,}42 - \overset{2.56}{\cancel{1{,}15}} = \overset{-1.36}{\cancel{-0{,}55}} \text{ kN}$$

$$|T_A| = |R_A| = \overset{1.36}{\cancel{0{,}55}} \text{ kN}$$

$$|T_{BA}| = |R_A - dq| = |\overset{-1.36}{\cancel{-0{,}55}} - 0{,}65 \cdot 0{,}42| = \overset{1.63}{\cancel{0{,}82}} \text{ kN}$$

$$|T_{BC}| = |R_A - dq + R_B| = |\overset{-1.63}{\cancel{-0{,}82}} + \overset{2.56}{\cancel{1{,}15}}| = \overset{0.93}{\cancel{0{,}33}} \text{ kN}$$

$$|T_C| = |P_{FT}| = \overset{0.19}{\cancel{0{,}11}} \text{ kN}$$

$$M_B = -\frac{q \cdot f^2}{2} - P_{FT} \cdot f = \qquad (3;132)$$

$$= -\frac{0{,}42 \cdot 1{,}75^2}{2} - (\overset{0.19}{\cancel{-0{,}11}}) \cdot 1{,}75 = \overset{-0.98}{\cancel{-0{,}45}} \text{ kNm}$$

$$y_c^0 = \frac{f^3}{EI}\left(\frac{P_{FT}}{3} + \frac{q \cdot f}{8}\right) = * \qquad (3;136)$$

$$= \frac{1{,}75^3}{372}\left(\frac{-0{,}11}{3} + \frac{0{,}42 \cdot 1{,}75}{8}\right) = 7{,}95 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$* \; EI = EI'_{BC}$

$$\theta_{BA} = \frac{d}{3EI}\left(\frac{q d^2}{8} - \frac{q f^2}{2} - P_{FT}\cdot f\right) = \qquad (3:102)$$

$$= \frac{0,65}{3\cdot 210}\left(\frac{0,42\cdot 0,65^2}{8} - \frac{0,42\cdot 1,75^2}{2} - (-0,11)\cdot 1,75\right) = -4,42\cdot 10^{-4} \text{ rad} \quad *$$

$$y_C^M = y_C^0 - \theta_{BA}\cdot f = \qquad (3:100)$$

$$= 7,95\cdot 10^{-4} - (-4,42\cdot 10^{-4})\cdot 1,75 = 1,57\cdot 10^{-3} \text{ m}$$

<u>tvåstödsbalk, höger högben</u>

$$P_{FT} = -0,14\cdot\cos 68^\circ - \left((-0,22) - \frac{0,21}{2}\right)\sin 68^\circ = 0,25 \text{ kN}$$

$$P_{FA} = -(-0,14)\cdot\sin 68^\circ - \left((-0,22) - \frac{0,21}{2}\right)\cdot\cos 68^\circ = 0,25 \text{ kN}$$

$$S = -0,49 + 0,25 = -0,24 \text{ kN}$$

$S \ll P_K \Rightarrow$ icke-slank balk

$$R_B = \frac{-0,14\cdot 2,4^2}{2\cdot 0,65} + \frac{0,25\cdot 2,4}{0,65} = 0,30 \text{ kN}$$

$$R_A = 0,25 + (-0,14)\cdot 2,4 - 0,30 = -0,39 \text{ kN}$$

$$|T_A| = 0,39 \text{ kN}$$

$*\quad EI = EI'_{A-B}$

$$|T_{BA}| = |-0{,}39 - 0{,}65\,(-0{,}14)| = 0{,}30 \text{ kN}$$

$$|T_{BC}| = |-0{,}30 + 0{,}30| = 0{,}00 \text{ kN}$$

$$|T_C| = 0{,}25 \text{ kN}$$

$$M_B = -\frac{-0{,}14 \cdot 1{,}75^2}{2} - 0{,}25 \cdot 1{,}75 = -0{,}22 \text{ kNm}$$

$$y_c^0 = \frac{1{,}75^3}{372} + \left(\frac{0{,}25}{3} + \frac{(-0{,}14)\cdot 1{,}75}{8}\right) =$$
$$= 7{,}59 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$\theta_{BA} = \frac{0{,}65}{3 \cdot 210}\left(\frac{(-0{,}14)\cdot 0{,}65^2}{8} - \frac{(-0{,}14)\cdot 1{,}75^2}{2} -\right.$$
$$\left. - 0{,}25 \cdot 1{,}75\right) = -2{,}38 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$$

$$y_c^M = 7{,}59 \cdot 10^{-4} - (-2{,}38 \cdot 10^{-4}) \cdot 1{,}75 = 1{,}18 \cdot 10^{-3} \ldots$$

5.5.2.5 Egentyngd + Vindlast B

Lastfallet är exceptionellt.

$S_1' = \cancel{1,75}\ -2,10$ kN

$R_{C1} = -1,28$ kN

$R_{C2} = -0,87$ kN

$R_V = 0,19$ kN

$q_V^V = 0,31$ kN/m

$q_V^H = -0,31$ kN/m

$$P_{FT}^V = -1,28 \cdot \cos 68° - \frac{0,19 \cdot \sin 68°}{2} = -0,57 \text{ kN}$$

$$P_{FT}^H = -0,87 \cdot \cos 68° + \frac{0,19 \cdot \sin 68°}{2} = -0,24 \text{ kN}$$

$$P_{FA}^V = -(-1,28) \cdot \sin 68° - \frac{0,19 \cdot \cos 68°}{2} = 1,15 \text{ kN}$$

$$P_{FA}^H = -(-0,87) \cdot \sin 68° + \frac{0,19 \cdot \cos 68°}{2} = 0,84 \text{ kN}$$

$$q^V = 0,08 + 0,31 = 0,39 \text{ kN/m}$$

$$q^H = 0,08 + (-0,31) = -0,23 \text{ kN/m}$$

$$S^V = (-0,49) + 1,15 = 0,66 \text{ kN}$$

$$S^H = (-0,49) + 0,84 = 0,35 \text{ kN}$$

$$M_B^V = -\frac{0,39}{8 \cdot 2,4}\left(0,65^3 + 1,75^3\right) = -0,11 \text{ kNm}$$

$$M_B^H = -\frac{-0,23}{8 \cdot 2,4}\left(0,65^3 + 1,75^3\right) = 0,07 \text{ kNm}$$

$$R_c^V = \frac{-0{,}11}{1{,}75} + \frac{0{,}39 \cdot 1{,}75}{2} + (-0{,}57) = -0{,}29 \text{ kN}$$

$$R_c^H = \frac{0{,}07}{1{,}75} + \frac{-0{,}23 \cdot 1{,}75}{2} + (-0{,}24) = -0{,}40 \text{ kN}$$

$$R'_c = \frac{\sin 68^\circ}{2}\left((-0{,}29)+(-0{,}40)\right) = -0{,}32 \text{ kN}$$

om fuktpåkänningen är noll.
$R'_c > S'_1$ både med och utan hänsyn till fukt => Högbenet fungerar som en tvåstödsbalk.

Om konstruktionen även belastas av snö + punktlast erhålles:

$$S'_1 = -1{,}75 + 4{,}34 + 2{,}17 = 4{,}76 \text{ kN}$$

$$R_{c1} = -1{,}28 + 2{,}01 + 0{,}50 = 1{,}23 \text{ kN}$$

$$R_{c2} = -0{,}87 + 2{,}01 + 0{,}50 = 1{,}64 \text{ kN}$$

$$P_{FT}^V = 1{,}23 \cdot \cos 68^\circ - \frac{0{,}19 \cdot \sin 68^\circ}{2} = 0{,}37 \text{ kN}$$

$$P_{FT}^H = 1{,}64 \cdot \cos 68^\circ + \frac{0{,}19 \cdot \sin 68^\circ}{2} = 0{,}70 \text{ kN}$$

$$P_{FA}^V = -1{,}23 \cdot \sin 68^\circ - \frac{0{,}19 \cdot \cos 68^\circ}{2} = -1{,}18 \text{ kN}$$

$$P_{FA}^H = -1{,}64 \cdot \sin 68^\circ + \frac{0{,}19 \cdot \cos 68^\circ}{2} = -1{,}48 \text{ kN}$$

$$S^V = (-0{,}49) + (-1{,}18) = -1{,}67 \text{ kN}$$

$$S_H = (-0{,}49) + (-1{,}48) = -1{,}97 \text{ kN}$$

$$R_c^V = \frac{-0{,}11}{1{,}75} + \frac{0{,}39 \cdot 1{,}75}{2} + 0{,}37 = 0{,}65 \text{ kN}$$

$$R_c^H = \frac{0{,}07}{1{,}75} + \frac{-0{,}23 \cdot 1{,}75}{2} + 0{,}70 = 0{,}54 \text{ kN}$$

$$R'_c = \frac{\sin 68^\circ}{2}(0{,}65 + 0{,}54 + 0{,}34) = 0{,}71 \text{ kN}$$

om fuktpåkänningen är maximal.
$R'_c < S'_1 \Rightarrow$ Högbenet fungerar som tre-stödsbalk både med och utan hänsyn till fuktpåkänningar.

$$S_1 = 4{,}76 - \frac{\sin 68^\circ}{2}(0{,}65 + 0{,}54) = 4{,}21 \text{ kN}$$

<u>förskjutningens inverkan</u>

$$P = \frac{0{,}65 - 0{,}54}{2} = 0{,}06 \text{ kN}$$

$$\Delta R_B = \frac{0{,}06 \cdot 2{,}4}{0{,}65} = 0{,}22 \text{ kN}$$

$$\Delta R_A = 0{,}06 - 0{,}22 = -0{,}16 \text{ kN}$$

$$\Delta M_B = -0{,}06 \cdot 1{,}75 = -0{,}11 \text{ kNm}$$

<u>trestödsbalk, vänster högben</u>

$$R_A = \frac{-0{,}11}{0{,}65} + \frac{0{,}39 \cdot 0{,}65}{2} = -0{,}04 \text{ kN}$$

$$R_B = 0{,}39 \cdot 2{,}4 + 0{,}37 - (-0{,}04) - 0{,}65 = 0{,}70 \text{ kN}$$

$$|T_A|^{max} = |R_A + \Delta R_A + R_A^F| =$$
$$= |(-0{,}04) + (-0{,}16) + 0{,}91| = 0{,}71 \text{ kN}$$

$$|T_{BA}|^{max} = |R_A + \Delta R_A + R_A^F - dq| =$$
$$= |0{,}71 - 0{,}65 \cdot (0{,}39)| = 0{,}46 \text{ kN}$$

$$|T_{BC}|^{max} = |R_A + \Delta R_A - dq + R_B + \overbrace{\Delta R_B}^{-R^F_c}| =$$
$$= |(-0{,}04) + (-0{,}16) - 0{,}65 \cdot 0{,}39 + 0{,}70 + \underbrace{0{,}22}_{-0.34}| =$$
$$= \underset{0.13}{\cancel{0{,}47}} \text{ kN}$$

$$|T_C|^{max} = |R_C - P_{FT} - P + R_C^F| =$$
$$= |0{,}65 - 0{,}37 - 0{,}06 + 0{,}34| = 0{,}56 \text{ kN}$$

$$|M_B|^{max} = |M_B + \Delta M_B + M_B^F| =$$
$$= |(-0{,}11) + \underset{-0.11}{\cancel{(-0{,}16)}} + 0{,}59| = \underset{0.37}{\cancel{0{,}32}} \text{ kNm}$$

<u>trestödsbalk, höger högben</u>

$$R_A = \frac{0{,}07}{0{,}65} + \frac{-0{,}23 \cdot 0{,}65}{2} = 0{,}03 \text{ kN}$$

$$R_B = -0{,}23 \cdot 2{,}4 + 0{,}70 - 0{,}03 - 0{,}54 = -0{,}42 \text{ kN}$$

$$|T_A|^{max} = |R_A - \Delta R_A + R_A^F| =$$
$$= |0{,}03 - (-0{,}16) + 0{,}91| = 1{,}10 \text{ kN}$$

$$|T_{BA}|^{max} = |R_A - \Delta R_A + R_A^F - dq| =$$
$$= |1{,}10 - 0{,}65 \cdot (-0{,}23)| = 1{,}25 \text{ kN}$$

$$|T_{BC}|^{max} = |R_A - \Delta R_A + R_A^F - dq + R_B - \Delta R_B + R_B^F| =$$
$$= |1{,}25 + (-0{,}42) - 0{,}22 - 1{,}25| = 0{,}66 \text{ kN}$$

$$|T_C|^{max} = |R_C + P + R_C^F - P_{FT}| =$$
$$= |0{,}54 + 0{,}06 + 0{,}34 - 0{,}70| = 0{,}24 \text{ kN}$$

$$|M_B|^{max} = |M_B - \Delta M_B + M_B^F| =$$
$$= |0{,}07 - (-0{,}11) + 0{,}59| = 0{,}77 \text{ kNm}$$

<u>tvåstödsbalk, vänster högben</u>

$$P_{FT} = -1{,}28 \cdot \cos 68° - \left(\overset{-2.10}{\cancel{(-1{,}75)}} + \frac{0{,}19}{2} \right) \cdot \sin 68° =$$
$$= \overset{1.38}{\cancel{1{,}05}} \text{ kN}$$

$$P_{FA} = -(-1{,}28) \cdot \sin 68° - \left((-1{,}75) + \frac{0{,}19}{2} \right) \cdot \cos 68° =$$
$$= 1{,}81 \text{ kN}$$

$$S = -0{,}49 + 1{,}81 = 1{,}32 \text{ kN}$$

$S \ll P_K \Rightarrow$ icke-slank balk

$$R_B = \frac{0{,}39 \cdot 2{,}4^2}{2 \cdot 0{,}65} + \frac{\overset{1.38}{\cancel{1{,}05}} \cdot 2{,}4}{0{,}65} = \overset{6.82}{\cancel{5{,}60}} \text{ kN}$$

$$R_A = \overset{1.38}{\cancel{1{,}05}} + 0{,}39 \cdot 2{,}4 - \overset{6.82}{\cancel{5{,}60}} = \overset{-4.50}{\cancel{-3{,}61}} \text{ kN}$$

$$|T_A| = \overset{4.50}{\cancel{3{,}61}} \text{ kN}$$

$$|T_{BA}| = |\overset{-4.50}{\cancel{-3{,}61}} - 0{,}65 \cdot 0{,}39| = \overset{4.75}{\cancel{3{,}86}} \text{ kN}$$

$$|T_{BC}| = |\overset{-4.75}{\cancel{-3{,}86}} + \overset{6.82}{\cancel{5{,}60}}| = \overset{2.07}{\cancel{1{,}74}} \text{ kN}$$

$$|T_C| = |P_{FT}| = \overset{1.38}{\cancel{1{,}05}} \text{ kN}$$

$$M_B = -\frac{0{,}39 \cdot 1{,}75^2}{2} - \overset{1.38}{\cancel{1{,}05}} \cdot 1{,}75 = \overset{-3.01}{\cancel{-2{,}43}} \text{ kNm}$$

$$y_C^0 = \frac{1{,}75^3}{372}\left(\frac{1{,}05}{3} + \frac{0{,}39 \cdot 1{,}75}{8}\right) = 6{,}27 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\theta_{BA} = \frac{0{,}65}{3 \cdot 210}\left(\frac{0{,}39 \cdot 0{,}65^2}{8} - \frac{0{,}39 \cdot 1{,}75^2}{2} - 1{,}05 \cdot 1{,}75\right) = -2{,}49 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

$$y_C^M = 6{,}27 \cdot 10^{-3} - (-2{,}49 \cdot 10^{-3}) \cdot 1{,}75 = 10{,}6 \cdot 10^{-3} \text{ m} \; *$$

<u>tvåstödsbalk + höger högben</u>

$$P_{FT} = -0{,}87 \cdot \cos 68° - \left(\left(-1{,}75 - \frac{0{,}19}{2}\right) \cdot \sin 68°\right) = 1{,}38 \text{ kN}$$

---

* Deformationen blir något mindre än den beräknade eftersom vinkeln α – p.g.a högbenets deformation – blir större än den antagna. Vinkelökningen ger minskad "tryck-kraft" i staget, d.v.s S_1 ökar, vilket leder till minskad kraft P_{FT}.

$$P_{FA} = -(-0{,}87)\sin 68° - \left((-1{,}75) - \frac{0{,}19}{2}\right)\cdot\cos 68° =$$
$$= 1{,}50 \text{ kN}$$

$$S = -0{,}49 + 1{,}50 = 1{,}01 \text{ kN}$$

$S \ll P_k \Rightarrow$ icke-slank balk

$$R_B = \frac{-0{,}23\cdot 2{,}4^2}{2\cdot 0{,}65} + \frac{1{,}38\cdot 2{,}4}{0{,}65} = 4{,}08 \text{ kN}$$

$$R_A = 1{,}38 + (-0{,}23)\cdot 2{,}4 - 4{,}08 = -3{,}25 \text{ kN}$$

$$|T_A| = 3{,}25 \text{ kN}$$

$$|T_{BA}| = |-3{,}25 - 0{,}65\,(-0{,}23)| = 3{,}10 \text{ kN}$$

$$|T_{BC}| = |-3{,}10 + 4{,}08| = 0{,}98 \text{ kN}$$

$$|T_C| = 1{,}38 \text{ kN}$$

$$M_B = -\frac{-0{,}23\cdot 1{,}75^2}{2} - 1{,}38\cdot 1{,}75 = -2{,}06 \text{ kNm}$$

$$y_c^0 = \frac{1{,}75^3}{372}\left(\frac{1{,}38}{3} + \frac{-0{,}23\cdot 1{,}75}{8}\right) = 5{,}90\cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\theta_{BA} = \frac{0{,}65}{3\cdot 210}\left(\frac{-0{,}23\cdot 0{,}65^2}{8} - \frac{-0{,}23\cdot 1{,}75^2}{2} - \right.$$
$$\left. - 1{,}38\cdot 1{,}75\right) = -2{,}14\cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

$$y_c^M = 5{,}90\cdot 10^{-3} - (-2{,}14\cdot 10^{-3})\cdot 1{,}75 = 9{,}65\cdot 10^{-3} \text{ m}$$

5.5.2.6 Egentyngd + Vindlast C

Lastfallet är exceptionellt.

$S_1' = -1{,}30$ kN

$R_{C1} = R_{C2} = -0{,}68$ kN

$R_V = 0{,}00$ kN

$q_V^V = q_H^V = -0{,}53$ kN

$$P_{FT} = -0{,}68 \cdot \cos 68^\circ - 0 = -0{,}25 \text{ kN}$$

$$P_{FA} = -(-0{,}68) \cdot \sin 68^\circ - 0 = 0{,}63 \text{ kN}$$

$$q = 0{,}08 + (-0{,}53) = -0{,}45 \text{ kN/m}$$

$$S = (-0{,}49) + 0{,}63 = 0{,}14 \text{ kN}$$

$$M_B = -\frac{-0{,}45}{8 \cdot 2{,}4}(0{,}65^3 + 1{,}75^3) = 0{,}13 \text{ kNm}$$

$$R_C^V = R_C^H = \frac{0{,}13}{1{,}75} + \frac{-0{,}45 \cdot 1{,}75}{2} + (-0{,}25) = -0{,}57 \text{ kN}$$

$$R_C' = \frac{\sin 68^\circ}{2}\left((-0{,}57) + (-0{,}57)\right) = -0{,}53 \text{ kN}$$

om fuktpåkänningen är noll.
$R_C' > S_1'$ både med och utan hänsyn till fuktpåkänningar $\Rightarrow$ Högbenet fungerar som en tvåstödsbalk.

Om konstruktionen även belastas av snö + punktlast erhålles:

$S_1' = -1{,}30 + 4{,}34 + 2{,}17 = 5{,}21$ kN

$R_{c1} = R_{c2} = -0{,}68 + 2{,}01 + 0{,}50 = 1{,}83$ kN

$P_{FT} = 1{,}83 \cdot \cos 68° - 0 = 0{,}69$ kN

$P_{FA} = -1{,}83 \sin 68° - 0 = -1{,}70$ kN

$S = (-0{,}49) + (-1{,}70) = -2{,}19$ kN

$R_c^V = R_c^H = \frac{0{,}13}{1{,}75} + \frac{-0{,}45 \cdot 1{,}75}{2} + 0{,}69 = 0{,}37$ kN

$R_c' = \frac{\sin 68°}{2}(0{,}37 + 0{,}37 + 0{,}34) = 0{,}50$ kN

om fuktpåkänningen är maximal.
$R_c' < S_1'$ ⇒ Högbenet fungerar som trestödsbalk både med och utan hänsyn till fuktpåkänningar.

$S_1 = 5{,}21 - \frac{\sin 68°}{2}(0{,}37 + 0{,}37) = 4{,}87$ kN

<u>trestödsbalk</u>

$R_A = \frac{0{,}13}{0{,}65} + \frac{-0{,}45 \cdot 0{,}65}{2} = 0{,}05$ kN

$R_B = (-0{,}45) \cdot 2{,}4 + 0{,}69 - 0{,}05 - 0{,}37 = -0{,}81$ kN

$|T_A|^{max} = |R_A + R_A^F| = |0{,}05 + 0{,}91| = 0{,}96$ kN

$|T_{BA}|^{max} = |R_A + R_A^F - dq| = |0{,}96 - 0{,}65(-0{,}45)| =$
$1{,}25$ kN

$$|T_{BC}|^{max} = |R_A + R_A^F - dq + R_B + R_B^F| =$$
$$= |1{,}25 + (-0{,}81) + (-1{,}25)| = 0{,}81 \text{ kN}$$

$$|T_C|^{max} = \cancel{|R_C - P_{FT}| = |0{,}37 - 0{,}69| = 0{,}32 \text{ kN}}$$
$$|R_C + R_C^F - P_T^F| = |-0{,}57 + 0{,}34 - (-0{,}25)| = 0{,}02$$

$$|M_B|^{max} = |M_B + M_B^F| = |0{,}13 + 0{,}59| = 0{,}72 \text{ kN}$$

<u>tvåstödsbalk</u>

$$P_{FT} = -0{,}68 \cdot \cos 68° - ((-1{,}30) - 0) \cdot \sin 68° =$$
$$= 0{,}95 \text{ kN}$$

$$P_{FA} = -(-0{,}68) \sin 68° - ((-1{,}30) - 0) \cos 68° =$$
$$= 1{,}12 \text{ kN}$$

$$S = (-0{,}49) + 1{,}12 = 0{,}63 \text{ kN}$$

$S \ll P_k \Rightarrow$ icke-slank balk

$$R_B = \frac{-0{,}45 \cdot 2{,}4^2}{2 \cdot 0{,}65} + \frac{0{,}95 \cdot 2{,}4}{0{,}65} = 1{,}51 \text{ kN}$$

$$R_A = 0{,}95 + (-0{,}45) \cdot 2{,}4 - 1{,}51 = -1{,}64 \text{ kN}$$

$$|T_A| = 1{,}64 \text{ kN}$$

$$|T_{BA}| = |-1{,}64 - 0{,}65(-0{,}45)| = 1{,}35 \text{ kN}$$

$$|T_{BC}| = |-1{,}35 + 1{,}51| = 0{,}16 \text{ kN}$$

$$|T_C| = 0{,}95 \text{ kN}$$

$$M_B = -\frac{-0{,}45 \cdot 1{,}75^2}{2} - 0{,}95 \cdot 1{,}75 = -0{,}97 \text{ kNm}$$

$$y_c^{0} = \frac{1{,}75^3}{372}\left(\frac{0{,}95}{3} + \frac{(-0{,}45)\cdot 1{,}75}{8}\right) = 3{,}14\cdot 10^{-3}\,m$$

$$\theta_{BA} = \frac{0{,}65}{3\cdot 210}\left(\frac{(-0{,}45)\cdot 0{,}65^2}{8} - \frac{(-0{,}45)\cdot 1{,}75^2}{2} - \right.$$
$$\left. - 0{,}95\cdot 1{,}75\right) = -1{,}03\cdot 10^{-3}\ \text{rad}$$

$$y_c^{M} = 3{,}14\cdot 10^{-3} - (-1{,}03\cdot 10^{-3})\cdot 1{,}75 = 4{,}94\cdot 10^{-3}\ m$$

5.5.3 Upplagskonstruktion

Tre lastfall som kan tänkas vara dimensionerande för upplagsstängerna undersöks.

<u>egentyngd + vindlast B, vänster högben</u>

$R_B = 5{,}60$ kN

$S = 0{,}66$ kN

$$M_6 = \frac{S \cdot e \cdot r}{d + r} = \qquad (3{:}139)$$

$$= \frac{0{,}66 \cdot 0{,}15 \cdot 0{,}60}{1{,}25} = 0{,}048 \text{ kNm}$$

$$M_7 = \frac{S \cdot e \cdot d}{d + r} = \qquad (3{:}140)$$

$$= \frac{0{,}66 \cdot 0{,}15 \cdot 0{,}65}{1{,}25} = 0{,}051 \text{ kNm}$$

$$S_6 = \frac{R_B \cdot d}{n \cdot \sin\alpha} + S = \qquad (3{:}137)$$

$$= \frac{5{,}60 \cdot 0{,}65}{0{,}24 \cdot \sin 68^\circ} + 0{,}66 = 17{,}0 \text{ kN}$$

$$S_7 = -\frac{R_B \cdot d}{n} = \qquad (3{:}138)$$

$$= -\frac{5{,}60 \cdot 0{,}65}{0{,}24} = -15{,}2 \text{ kN}$$

$$\Delta S_6 = \frac{S \cdot e}{n} \cdot \sin\alpha = \qquad (3{:}141)$$

$$= \frac{0{,}66 \cdot 0{,}15}{0{,}24} \sin 68^\circ = 0{,}4 \text{ kN}$$

$$\Delta S_7 = -\frac{S \cdot e}{n} = \qquad (3:142)$$

$$= -\frac{0,66 \cdot 0,15}{0,24} = -0,4 \text{ kN}$$

egentyngd + vindlast A + snölast + punkt-last, höger högben

$R_B = -0,26$ kN
$S = -2,65$ kN

$$M_6 = \frac{-2,65 \cdot 0,15 \cdot 0,60}{1,25} = -0,19 \text{ kNm}$$

$$M_7 = \frac{-2,65 \cdot 0,15 \cdot 0,65}{1,25} = -0,21 \text{ kNm}$$

$$S_6 = \frac{-0,26 \cdot 0,65}{0,24 \cdot \sin 68°} + (-2,65) = -3,41 \text{ kN}$$

$$S_7 = -\frac{-0,26 \cdot 0,65}{0,24} = 0,70 \text{ kN}$$

$$\Delta S_6 = \frac{-2,65 \cdot 0,15}{0,24} \cdot \sin 68° = -1,54 \text{ kN}$$

$$\Delta S_7 = -\frac{-2,65 \cdot 0,15}{0,24} = 1,66 \text{ kN}$$

egentyngd + snölast + punktlast

$R_B = 0,14$ kN
$S = -3,58$ kN

$$M_6 = \frac{-3,58 \cdot 0,15 \cdot 0,60}{1,25} = -0,26 \text{ kNm}$$

$$M_7 = \frac{-3{,}58 \cdot 0{,}15 \cdot 0{,}65}{1{,}25} = -0{,}28 \text{ kNm}$$

$$S_6 = \frac{0{,}14 \cdot 0{,}65}{0{,}24 \cdot \sin 68^\circ} + (-3{,}58) = -3{,}17 \text{ kN}$$

$$S_7 = -\frac{0{,}14 \cdot 0{,}65}{0{,}24} = -0{,}38 \text{ kN}$$

$$\Delta S_6 = \frac{-3{,}58 \cdot 0{,}15}{0{,}24} \cdot \sin 68^\circ = -2{,}07 \text{ kN}$$

$$\Delta S_7 = -\frac{-3{,}58 \cdot 0{,}15}{0{,}24} = 2{,}24 \text{ kN}$$

5.6 KRAFTER, MOMENT OCH MOMENTANA DEFORMATIONER FÖR KONSTRUKTION MED HANBJÄLKE

5.6.0 Allmänt

Moment och tvärkraft för överramstång och högben blir samma som för konstruktion med dragstag då staget är draget, om man försummar hanbjälkens deformation. Kraften S för högbenen blir något mindre än för konstruktion med dragstag, eftersom hanbjälkens egenvikt är större än dragstagets. Krafterna R_c^V och R_c^H blir något större, men ger en försumbar minskning av S_1 för hanbjälken. Några nya kraft- eller momentberäkningar jämfört med dragstagsfallet genomförs alltså inte för överramstång eller högben. Endast moment, stångkraft och deformation för hanbjälke samt deformation för högben behöver beräknas.

5.6.1 Högben

5.6.1.1 Egentyngd + Vindlast A

$R_C^V = -0{,}02$ kN
$R_C^H = -0{,}06$ kN
$P_{FT}^V = -0{,}32$ kN
$qV = 0{,}42$ kN

För vänster balk beräknas deformationen för trestödsbalk med fast stöd för $x = f/2$

$$y_x = -\frac{1}{24EI}\left(4(R_C - P_{FT})x^3 - 4(R_C - P_{FT})\cdot f^2x + qf^3x - qx^4\right) = \qquad (3:86)$$

$$= -\frac{1}{24\cdot 372}\left(4(-0{,}02-(-0{,}32))\cdot 0{,}88^3 - 4(-0{,}02-(-0{,}32))\cdot 1{,}75^2\cdot 0{,}88 + 0{,}42\cdot 1{,}75^3\cdot 0{,}88 - 0{,}42\cdot 0{,}88^3\right) = 8{,}08\cdot 10^{-5}\ \text{m}$$

Beräkningen ovan visar att deformationen för trestödsbalk med fast stöd är helt försumbar. Endast deformation av stödförskjutning beaktas i fortsättningen.

$$P = \frac{-0{,}02-(-0{,}06)}{2} = 0{,}02\ \text{kN}$$

För $x = f/2$ blir deformationen förorsakad av stödförskjutning :

$$\Delta y_x = \frac{P}{6EI}\left(x^3 - 3f^2x + 2f^3 - 2df^2 + \right.$$

$$\left. + 2xdf\right) = \qquad (3:99)$$

$$= \frac{0{,}02}{6 \cdot 372}\left(0{,}88^3 - 3 \cdot 1{,}75^2 \cdot 0{,}88 + 2 \cdot 1{,}75^3 - \right.$$

$$\left. - 2 \cdot 0{,}65 \cdot 1{,}75^2 + 2 \cdot 0{,}88 \cdot 0{,}65 \cdot 1{,}75\right) = 1{,}20 \cdot 10^{-5}\ \text{m}$$

För $x = 0$ erhålles :

$$\Delta y_c = \frac{0{,}02}{6 \cdot 372}\left(0 - 0 + 2 \cdot 1{,}75^3 - 2 \cdot 0{,}65 \cdot 1{,}75^2 + 0\right) =$$

$$= 6{,}04 \cdot 10^{-5}\ \text{m}$$

5.6.1.2 Egentyngd + Vindlast B

$R^V_c = -0{,}29$ kN

$R^H_c = -0{,}40$ kN

$$P = \frac{-0{,}29 - (-0{,}40)}{2} = 0{,}06\ \text{kN}$$

Deformationen förorsakad av stödförskjutning är proportionell mot P och deformationen kan därför beräknas som 3 X (deformationen av egentyngd + vindlast A)

$$\Delta y_{f/2} = 3 \cdot 1{,}2 \cdot 10^{-5} = 3{,}6 \cdot 10^{-5}\ \text{m}$$

$$\Delta y_c = 3 \cdot 6{,}04 \cdot 10^{-5} = 18{,}1 \cdot 10^{-5}\ \text{m}$$

5.6.2 Hanbjälke

Dimensionerande lastfall för hanbjälken är egenvikt + vindlast B + fuktens inverkan

$S_1' = -1{,}75 \text{ kN}$

$q_{E3} = 0{,}11 \text{ kN/m}$

$$R_c = \frac{\sin 68°}{2}\left((-0{,}29)+(-0{,}40)+0{,}34\right) = -0{,}16 \text{ kN}$$

$$S_1 = -1{,}75-(-0{,}16) = -1{,}59 \text{ kN}$$

$$M_{mitt} = \frac{q_{E3}\cdot a^2}{8} = \qquad (3{:}70)$$

$$= \frac{0{,}11\cdot 6{,}82^2}{8} = 0{,}64 \text{ kNm}$$

$$T_{max} = \frac{q_{E3}\cdot a}{2} = \qquad (3{:}71)$$

$$= \frac{0{,}11\cdot 6{,}82}{2} = 0{,}38 \text{ kN}$$

$$Y_{mitt} = \frac{5\cdot q_{E3}\cdot a^4\cdot \pi^2}{384\,(\pi^2\cdot EI + S_1'\cdot a^2)} = \qquad (3{:}31)$$

$$= \frac{5\cdot 0{,}11\cdot 6{,}82^4\cdot \pi^2}{384\,(\pi^2\cdot 255+(-1{,}75)\cdot 6{,}82^2)} = 1{,}26\cdot 10^{-2} \text{ m}$$

5.7 PÅKÄNNINGAR OCH DEFORMATION FÖR KONSTRUKTION MED DRAGSTAG

5.7.1 Tillåtna påkänningar

För stål SIS 1412 är tillåten dragpåkänning $1{,}73 \cdot 10^5$ kN/m² vid vanligt lastfall och $2{,}00 \cdot 10^5$ vid except. Tillåten tryckpåkänning som funktion av slankhetstalet framgår av tab. i Stålbyggnadsnormen.

För spånskiva anges i SBN 1975 nedanstående värden (kN/m²) på tillåtna påkänningar.

Påkänning	Skivtjockl. 16–19 mm		Skivtjockl. 22–25 mm	
	vanl.	except.	vanl.	except.
σ_{ba}, böjning kring axel i skivans plan	4000	6000	3500	5300
σ_{tla}, dragning parallellt skivans plan	1600	2400	1300	2000
σ_{cla}, tryck parallellt skivans plan	2400	3600	2100	3200
τ_{lta}, panelskjuvning	1300	2000	1100	1700
τ_{rta}, skiktskjuvning*	200	200	200	200

* För fog mellan liv och fläns, dubbla värdet.

5.7.2 Kontroll av påkänningar och deformationer

5.7.2.1 Överramstång

$|y^{I}|^{max} = |y^{F}_{c/2}| = 3,45 \cdot 10^{-3}$ m $\Rightarrow$ initialkrokigheten är mindre än 1/300.

Knäcklängden är lika med elementlängden och därav följer $I^{K} = (I'_{ö}$ enl. 5.2),

$I^{K} = 3,06 \cdot 10^{-4}$ m^4

$A^{K} = 0,527 \cdot 0,267 - 0,502 \cdot 0,235 = 2,27 \cdot 10^{-2}$ m^2

$$\lambda = \frac{l}{\sqrt{\frac{I^K}{A^K}}} = \qquad (4;4)$$

$$= \frac{3,5}{\sqrt{\frac{3,06 \cdot 10^{-4}}{2,27 \cdot 10^{-2}}}} = 30,2 \Rightarrow k_l = 0,91$$

balkmitt, egentyngd + snölast + punktlast på en takhalva

$|S| = 7,38$ kN

$|M| = 2,06$ kN

$y_{mitt} = 4,41 \cdot 10^{-3}$ m

$$\sigma_b = \frac{|M| \cdot h}{I \cdot 2} = \frac{2,06 \cdot 0,267}{3,06 \cdot 10^{-4} \cdot 2} = 902 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_n = \frac{|S|}{A} = \frac{7,38}{1,89 \cdot 10^{-2}} = 390 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{\sigma_n}{k_l \sigma_{cla}} + \frac{\sigma_b}{\sigma_{ba}} =$$

$$= \frac{390}{0{,}91 \cdot 3600} + \frac{902}{6000} = 0{,}27 < 1 \quad \text{OK}$$

$$\alpha = \frac{l}{b_f} = \qquad (4:11)$$

$$= \frac{3{,}5}{0{,}567} = 6{,}17$$

$$\eta = \frac{G}{1{,}7\,E} = \qquad (4:12)$$

$$= \frac{450}{1{,}7 \cdot 1200} = 0{,}22$$

$$K_\sigma = 0{,}6$$

$$\sigma_{f,t} = \frac{11{,}4\, K_\sigma \cdot E \cdot t^2}{b_f^2} = \qquad (4:10)$$

$$= \frac{11{,}4 \cdot 0{,}6 \cdot 1{,}2 \cdot 10^6 \cdot 0{,}016^2}{0{,}567^2} = 6{,}54 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2 \quad \text{OK}$$

$$|y|^{max} = y_{mitt} + y^{k}_{mitt} = 4{,}41 \cdot 10^{-3} + 1{,}82 \cdot 10^{-3} =$$
$$= 6{,}23 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

<u>balkände, egentyngd + snölast + punktlast på en takhalva</u>

$|S| = 7{,}38$ kN

$|T| = 1{,}87$ kN

$$P = |S| \frac{b \cdot t_f}{2 \cdot b \cdot t_f + h \cdot t_w} = \qquad (4:6)$$

$$= 7{,}38 \frac{0{,}592 \cdot 0{,}016}{2 \cdot 0{,}592 \cdot 0{,}016 + 0{,}235 \cdot 0{,}025} = 2{,}82 \text{ kN}$$

$$\tau_s = 2 \frac{P}{\ell/2 \cdot t_w} = \qquad (4:7)$$

$$= 2 \frac{2{,}82}{1{,}75 \cdot 0{,}025} = 129 \text{ kN/m}^2$$

$$S_z = 0{,}592 \cdot 0{,}016 \cdot 0{,}126 = 1{,}19 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\tau_b = \frac{|T| \cdot S_z}{b \cdot I} = \frac{1{,}87 \cdot 1{,}19 \cdot 10^{-3}}{0{,}025 \cdot 3{,}26 \cdot 10^{-4}} = 273 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau = \tau_s + \tau_b = 129 + 273 =$$

$$= 402 \approx 400 \text{ kN/m}^2 = \tau_{rta} \quad \text{OK}$$

Skjuvpåkänningen av böjning för snitt tvärs fläns eller liv behöver ej kontrolleras eftersom påkänningen blir av samma storleksordning som för snittet mellan fläns och liv, och den tillåtna påkänningen är högre ($\tau_{lta} = 1700$ kN/m²).

<u>balkände, egentyngd + snölast + punktlast på nocken</u>

$$|S| = 8{,}49 \text{ kN}$$

$$|T| = 1{,}38 \text{ kN}$$

$$P = 8{,}49 \cdot 0{,}38 = 3{,}23 \text{ kN}$$

$$\tau_s = 2 \cdot \frac{3{,}23}{1{,}75 \cdot 0{,}025} = 147 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_b = \frac{1{,}38 \cdot 1{,}19 \cdot 10^{-3}}{0{,}025 \cdot 3{,}26 \cdot 10^{-4}} = 201 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau = 147 + 201 = 348 < 400 \text{ kN/m}^2 \quad \text{OK}$$

5.7.2.2 Högben på tre stöd

stöd A

Dimensionerande lastfall är egentyngd + + vindlast B + snölast + punktlast + fuktens inverkan, för höger högben.

$|T_A| = 1{,}10$ kN

Statiska momentet för flänsen blir:

$$S_z = 0{,}592 \cdot 0{,}016 \cdot 0{,}108 = 1{,}02 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Skjuvpåkänningen för snittet mellan liv och fläns blir:

$$\tau = \frac{1{,}10 \cdot 1{,}02 \cdot 10^{-3}}{0{,}025 \cdot 2{,}38 \cdot 10^{-4}} = 189 < 400 \text{ kN/m}^2 = \tau_{rta}$$

stöd B, vänster sida

Stångkraften är liten och normalpåkänningen av stångkraft behöver ej kontrolleras.

Egentyngd + vindlast B + snölast + punktlast + + fuktens inverkan, för höger högben är dimensionerande.

$|M|^{max} = 0{,}77$ kNm
$|T|^{max} = 1{,}25$ kN

$$\sigma_b = \frac{0{,}77 \cdot 0{,}232}{1{,}11 \cdot 10^{-4} \cdot 2} = 804 < 6000 \text{ kN/m}^2 = \sigma_{ba} \quad \text{OK}$$

$$\tau_b = \frac{1{,}25 \cdot 1{,}02 \cdot 10^{-3}}{0{,}025 \cdot 2{,}38 \cdot 10^{-4}} = 214 < 400 \text{ kN/m}^2 = \tau_{rta} \quad \text{OK}$$

Interaktion mellan σ och τ behöver ej kontrolleras p.g.a. de låga spänningarna,

<u>stöd B, höger sida</u>

Det maximala momentet är 0,77 kNm och den maximala stångkraften är 3,58 kN Normalpåkänningen behöver ej kontrolleras. Dimensionerande lastfall för skjuvpåkänningen blir: egentyngd + vindlast C + + snölast + punktlast + fuktens inverkan.

$|S| = 2{,}19$ kN
$|T| = 0{,}81$ kN

$$P = 2{,}19 \; \frac{0{,}592 \cdot 0{,}016}{2 \cdot 0{,}592 \cdot 0{,}016 + 0{,}200 \cdot 0{,}025} = 0{,}88 \text{ kN}$$

$$\tau_s = 2 \cdot \frac{0{,}88}{0{,}88 \cdot 0{,}025} = 80{,}0 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_b = \frac{0{,}81 \cdot 1{,}02 \cdot 10^{-3}}{0{,}025 \cdot 2{,}38 \cdot 10^{-4}} = 138{,}9 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau = 80{,}0 + 138{,}9 = 218{,}9 < 400 \text{ kN/m}^2 \quad \text{OK}$$

<u>stöd C</u>

Dimensionerande lastfall blir: egentyngd + + snölast + punktlast

$$|S| = |P_{FA}| = 3{,}09 \text{ kN}$$
$$|T| = 1{,}59 \text{ kN}$$

$$P = 3{,}09 \cdot 0{,}40 = 1{,}23 \text{ kN}$$

$$\tau_s = 2 \, \frac{1{,}23}{0{,}88 \cdot 0{,}025} = 112 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_b = \frac{1{,}59 \cdot 1{,}02 \cdot 10^{-3}}{0{,}025 \cdot 2{,}38 \cdot 10^{-4}} = 273 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau = 112 + 273 = 385 < 400 \text{ kN/m}^2 \quad \text{OK}$$

5.7.2.3 <u>Högben på två stöd</u>

Dimensionerande lastfall blir: egen- tyngd + vindlast B, för vänster högben.

$$|T_A| = 3{,}61 \text{ kN}$$
$$|T_{BA}| = 3{,}86 \text{ kN}$$
$$|T_{BC}| = 1{,}74 \text{ kN}$$

$|T_c| = 1{,}05$ kN
$|S| = 1{,}32$ kN
$|M_B| = 2{,}43$ kNm
$|y_c| = 10{,}6 \cdot 10^{-3}$ m

En jämförelse av ovanstående värden med dimensionerande värden för hög-ben på två stöd och för överram visar att endast skjuvpåkänningen vid stöd B behöver kontrolleras.

Vänster om stöd B blir skjuvkraften:

$$\tau_b = \frac{3{,}86 \cdot 1{,}02 \cdot 10^{-3}}{0{,}025 \cdot 2{,}38 \cdot 10^{-4}} = 661 > 400 \text{ kN/m}^2 = \tau_{rta}$$

Höger om stöd B blir skjuvkraften:

$$\tau_b = \frac{1{,}74 \cdot 1{,}02 \cdot 10^{-3}}{0{,}025 \cdot 2{,}38 \cdot 10^{-4}} = 298{,}3 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_s = 2 \; \frac{1{,}32 \cdot 0{,}40}{0{,}88 \cdot 0{,}025} = 48{,}0 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau = 298{,}3 + 48{,}0 = 346{,}3 < 400 \text{ kN/m}^2 \quad \text{OK}$$

$$|y|^{max} = y_c + y_c^F = (10{,}60 + 5{,}46) \cdot 10^{-3} =$$
$$= 16{,}06 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

5.7.2.4 Dragstag

$S_1 = 7{,}07$ kN

för egentyngd + snölast + punktlast

$$A = \frac{S}{\sigma} = \frac{7{,}07}{2{,}0 \cdot 10^5} = 3{,}5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Ø 7 mm väljs.

Om dragstaget saknar deformationsupptagande anordning beräknas nedböjningen enl. nedan.

Egentyngd + vindlast B + fuktdeformation ger:

$$y_1 + y_2 = (10{,}6 + 9{,}65 + 2 \cdot 5{,}46) \cdot 10^{-3} = 31{,}17 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\Delta a = (y_1 + y_2) \cdot \sin\beta = \qquad (3:69)$$
$$= 31{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot \sin 68^\circ = 28{,}9 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{28{,}9 \cdot 10^{-3}}{6{,}82} = 4{,}2 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \frac{y^{max}}{a} = 34 \cdot 10^{-3}$$

$$y^{max} = 34 \cdot 10^{-3} \cdot 6{,}82 = 0{,}23 \text{ m}$$

5.7.2.5 Upplagskonstruktion

stång 6, drag

$$|M_6| = 0{,}048 \text{ kNm}$$

$$S_6 + \Delta S_6 = 17{,}4 \text{ kN}$$

$$\sigma_{A,till} = \sigma_{B,till} = 1{,}99 \cdot 10^5 \text{ kN/m}^2$$

Antag T 30 x 30

$$A = 2{,}26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$W = 7{,}99 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$\sigma_A = \frac{S_6 + \Delta S_6}{A} = \frac{17{,}4}{2{,}26 \cdot 10^{-4}} = 7{,}70 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_B = \frac{|M_6|}{W} = \frac{0{,}048}{7{,}99 \cdot 10^{-7}} = 6{,}01 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{\sigma_A}{\sigma_{A,till}} + \frac{\sigma_B}{\sigma_{B,till}} =$$

$$= \frac{7{,}70 \cdot 10^4}{1{,}99 \cdot 10^5} + \frac{6{,}01 \cdot 10^4}{1{,}99 \cdot 10^5} = 0{,}69 < 1$$

T 30 x 30 är tillräcklig.

stång 6, tryck

$$|M_6| = 0{,}26 \text{ kNm}$$

$$S_6 + \Delta S_6 = -5{,}24 \text{ kN}$$

Antag T 40 x 40

$A = 3{,}77 \cdot 10^{-4}$ m^2

$W = 1{,}79 \cdot 10^{-6}$ m^3

$i = 8{,}2 \cdot 10^{-3}$ m

$$\lambda = \frac{d}{i} = \frac{0{,}65}{8{,}2 \cdot 10^{-3}} = 79{,}3$$

$\sigma_{A,till} = 1{,}21 \cdot 10^5$ kN/m^2

$\sigma_{B,till} = 1{,}99 \cdot 10^5$ kN/m^2

$$\sigma_A = \frac{5{,}24}{3{,}77 \cdot 10^{-4}} = 1{,}39 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_B = \frac{0{,}26}{1{,}79 \cdot 10^{-6}} = 1{,}45 \cdot 10^5 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{\sigma_A}{\sigma_{A,till}} + \frac{\sigma_B}{\sigma_{B,till}} =$$

$$= \frac{1{,}39 \cdot 10^4}{1{,}21 \cdot 10^5} + \frac{1{,}45 \cdot 10^5}{1{,}99 \cdot 10^5} = 0{,}84 < 1$$

T 40 x 40 är tillräcklig

<u>stång 7</u>

Dragpåkänning blir dimensionerande.

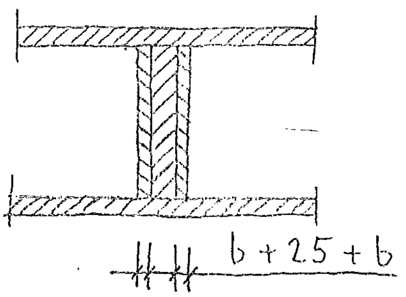
$|M_7| = 0{,}28$ kNm

$S_7 + \Delta S_7 = 1{,}86$ kN

En jämförelse med beräkningarna för stång 6 visar att T 40 x 40 är tillräcklig.

5.7.3 Korrigering av dimensioner

För egentyngd + vindlast B verkande på vänster högben blir skjuvpåkänningen till vänster om stöd B, 661 kN/m². Tillåten påkänning är 400 kN/m². För att minska påkänningen ökas livtjockleken för balkdelen mellan A och B



Skjuvpåkänningen är omvänt proportionell mot skjuvsnittets bredd. Erforderlig ökning av livtjockleken fås ur:

$$\frac{25}{25+2b} = \frac{400}{661} \quad \Rightarrow \quad b = 8{,}2 \text{ mm}$$

b = 9 mm väljs.

5.8 PÅKÄNNINGAR OCH DEFORMATION FÖR KONSTRUKTION MED HANBJÄLKE

5.8.1 Hanbjälke

Dimensionerande lastfall blir egentyngd + vindlast B + fuktens inverkan.

$|S_1| = 1{,}59$ kN

$|T|^{max} = 0{,}38$ kN

$|M_{mitt}| = 0{,}64$ kNm

$|y_{mitt}| = 1{,}26 \cdot 10^{-2}$ m

$|y^{I}|^{max} = |y^{K}_{mitt}| = 2{,}06 \cdot 10^{-2}$ m

Initialkrokigheten är mindre än 1/300.

$$\lambda = \frac{6{,}82}{\sqrt{\frac{1{,}96 \cdot 10^{-4}}{1{,}61 \cdot 10^{-2}}}} = 61{,}8 \Rightarrow k_l = 0{,}61$$

$$\sigma_b = \frac{0{,}64 \cdot 0{,}149}{1{,}96 \cdot 10^{-4} \cdot 2} = 243 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_n = \frac{1{,}59}{1{,}32 \cdot 10^{-2}} = 120{,}5 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{\sigma_n}{k_l \sigma_{cla}} + \frac{\sigma_b}{\sigma_{ba}} = \frac{120{,}5}{0{,}61 \cdot 2100} + \frac{243}{3500} = 0{,}16 < 1 \text{ OK}$$

Statiska momentet för flänsen blir:

$$S_z = 0{,}592 \cdot 0{,}013 \cdot 0{,}103 = 7{,}93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Skjuvpåkänningen för snittet mellan liv och fläns blir:

$$\tau = \frac{0,38 \cdot 7,93 \cdot 10^{-4}}{0,025 \cdot 1,96 \cdot 10^{-4}} = 61,5 < 400 \text{ kN/m}^2 \quad \text{OK}$$

$$|y_{mitt}|^{max} = y_{mitt} + y^{K}_{mitt} = 1,26 \cdot 10^{-2} + $$
$$+ 2,06 \cdot 10^{-2} = 3,32 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

För att få en ungefärlig uppfattning om effekten av den med hanbjälkens nedböjning sammanhängande deformationen av högbenen används figuren i kap. 3.3.1.1 F.

$$\frac{y^{max}}{a} = \frac{3,32 \cdot 10^{-2}}{6,82} = 4,9 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \frac{\Delta a}{a} \approx 3 \cdot 10^{-4}$$

$$\Delta a \approx 3 \cdot 10^{-4} \cdot 6,82 = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

5.8.2 Högben

Om man antar att hanbjälkarna kan längdändra sig fritt och $\Delta a = 2 \cdot 10^{-3}$ m blir för högbenen punkten C:s förskjutning förorsakad av hanbjälkens förkortning:

$$\frac{\sin 68°}{2} \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 9{,}3 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Detta motsvarar för högbenen en punktlast vid C. Denna punktlast kan beräknas ur ekv. (   ).

$$9{,}3 \cdot 10^{-4} = \frac{1{,}75^3}{37 \cdot 2}\left(\frac{P}{3} + 0\right) \Rightarrow P = 0{,}2 \text{ kN}$$

Punktlasten kan betraktas som försumbar vid beräkning av normal- och skjuvpåkänning. Dessa blir alltså ungefär lika stora som för konstruktion med dragstag då staget är draget. Någon förstärkning av livet för balkdel B-C erfordras därför ej.

De av laster, krypning och fukt förorsakade deformationerna är försumbara.

5.9 KOMMENTAR OCH SLUTSATSER

Ur det genomförda beräkningsexemplet kan flera slutsatser dragas. Ett noggrannt studium ax exemplet ger också underlag för bedömning av vilka dimensioner som kan vara lämpliga att utgå ifrån vid en dimensionering av en konstruktion med andra huvudmått.

Vid studium av krafterna som påverkar högbenen kan man enkelt konstatera att en konstruktion utan dragstag eller hanbjälke ej kan fungera eftersom den beräknade skjuvpåkänningen avsevärt skulle överskrida den tillåtna.

En konstruktion med dragstag får om EI för högbenen är litet en så stor deformation av högbenen att konstruktionen är acceptabel endast för vissa typer av byggnader t.ex. förråd. Dragstaget bör alltid förses med deformationsupptagande anordning för att minska den annars kraftiga deformationen.

Dimensionerande storhet blir i allmänhet skjuvpåkänningen mellan liv och fläns. Skjuvpåkänningen härrör dels från böjning och dels från överföringen av axiell kraft mellan liv och fläns.

Elementens erforderliga dimensioner kan minskas genom att man väljer material med högre tillåten skjuvpåkänning eller genom att man minskar skjuvpåkänningen, som för högbenen främst orsakas av den förhindrade fuktdeformationen. Om man väljer plywood istället för spånskiva får man både lägre skjuvpåkänning och högre tillåten skjuvpåkänning.

En annan möjlighet att minska skjuvpåkänningen är att öka livtjockleken. Enl. SBN 75 är dock den maximala livtjockleken för att få utnyttja förhöjningen av den tillåtna skiktskjuvpåkänningen, 30 mm.

Minskning av flänstjockleken ger en minskning av skjuvpåkänningarna härrörande både från böjningen och från överföringen av axialkraft mellan liv och fläns. Normalpåkänningen och deformationen ökar, men detta är ofta acceptabelt.

I ouppvärmda lokaler får högbenen ingen skjuvpåkänning av förhindrad fuktdeformation och eftersom man för sådana lokaler också ofta kan tolerera stora deformationer blir momentet dimensionerande och de erforderliga dimensionerna därigenom små.

Genom beräkningsexemplet kan man konstatera att det – som antagits – är förmånligt att uppta högbenens axialkraft vid stöd B. Man uppnår på detta sätt en förmånligare samverkan mellan τ_s och τ_b än om axialkraften hade upptagits vid A.

De genomförda beräkningarna visar också, att det är angeläget att ytterligare studera vissa av de faktorer som styr den beräknade skjuvpåkänningen. Den fria fuktrörelsen, ε^F, är av avgörande betydelse vid dimensioneringen. Den av axialkraften förorsakade skjuvpåkänningen mellan liv och fläns har också stor inverkan.

6 LITTERATURFÖRTECKNING

[1] Väg- och Vattenbyggaren, nr 1, 1974

[2] Svensk Byggnorm, SBN 1975, Statens Planverk, Stockholm

[3] Lundgren S Å, Träskivor som byggnadsmaterial, Nyköping 1967.

[4] Bygg, Huvuddel 1A, 1B och 3, 3 uppl., Stocholm 1971, 1972 resp 1969.

[5] VDI Zeitschrift, nr 17, Düsseldorf, 1965, sid 736-738

[6] Edlund-Harryson-Nordin, Ytbärande kasettelement av trä och träskivor. Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för konstruktionsteknik, Stål och träbyggnad, Publ S68:14, 2 uppl. Göteborg, 1973

7 APPENDIX

För att kontrollera resultatet av beräkningsexemplet gjordes i maj 1980 en motsvarande datorberäkning med FEM-programmet RAM2. En jämförelse mellan "hand"- och datorberäkningens resultat redovisas för vissa värden i nedanstående tabell.

last	antal stöd för högben 3	antal stöd för högben 2	vänster överramstång N_{max} H	N_{max} D	T_{max} H	T_{max} D	M_{max} H	M_{max} D	vänster högben T_A H	T_A D	T_{BA} H	T_{BA} D	T_{BC} H	T_{BC} D	T_C H	T_C D	M_B H	M_B D
egent. + snö + punktl. på nocken + fukt	X		-8,49	-8.83	1.38	1.37	1,21	1.20	0.90	0,97	0.85	0,92	-0.26	-0,28	[1] -1.59	-0.42	0.57	0.61
egent. + vind A + snö + punktl. på nocken + fukt	X		-6,03	-6,36	0.50	0,49	0,52	0.51	0,83	0,90	0.56	0,64	[2] 0,45	0,05	-0,63	-0,63	[3] 0,77	0,50
egent. + vind B + snö + punktl. på nocken + fukt	X		-4,40	-4,77	0,17	0,16	0,22	0,20	0,71	0,75	0,46	0,50	[4] 0,47	0,11	-0,57	-0,57	[5] 0,32	0,40
egent. + vind C + snö + punktl. på nocken + fukt	X		-5,16	-5,50	0,61	0,61	0,54	0,53	0,96	1,00	1,25	1,29	-0,81	-0,81	[6] -0,32	-0,03	0,72	0,74
egent. + vind A		X	0,65	0,74	-0,48	-0,48	-0,34	-0,35	[7] -0,55	-1,29	[7] -0,82	-1,55	[7] 0,63	0,87	[7] 0,11	0,18	[7] -0,45	-0,92
egent. + vind B		X	2,28	2,33	-0,81	-0,82	-0,64	-0,65	[7] -3,61	-4,28	[7] -3,86	-4,53	[7] 1,74	1,98	[7] 1,05	1,29	[7] -2,43	-2,86
egent + vind C		X	1,52	1,60	-0,33	-0,37	-0,32	-0,32	-1,64	-1,64	-1,35	-1,35	0,16	0,16	0,95	0,95	-0,97	-0,97

H = "Handberäkning"
D = Datorberäkning

<u>Anmärkningar</u>

1. Räknefel sid 123, $T_C = -0,40$
2. — " — — " — 127, $T_{Bc} = 0,11$
3. — " — — " — 127, $M_B = 0,45$
4. — " — — " — 135, $T_{Bc} = 0,13$
5. — " — — " — 135, $M_B = 0,37$
6. — " — — " — 141, $T_c = -0,02$
7. Felen beror på att parametern S_1', som i hög grad inverkar på tvärkraft och moment, har beräknats för approximativt vid handberäkningen. Beräkningen gav $S_1' = 1,77 + (-1,99) = -0,22$ kN för egentyngd + vindlast A och $S_1' = 1,77 + (-3,52) = -1,75$ kN för egentyngd + vindlast B. Parametern S_1' utgör alltså skillnaden mellan två tal av samma storleksordning och felet i S_1' blir därför stort även om felen i de två talen är små.

Om man utgående från resultatet av datorberäkningen beräknar S_1' fås $-0,55$ resp. $-2,10$ för de båda lastfallen. En handberäkning av moment och tvärkraft med dessa värden på S_1' ger nedanstående acceptabla värden.

egent. + vindl. A :

$T_A = -1,36$ kN

$T_{BA} = -1,63$ kN

$T_{BC} = 0,93$ kN

$T_C = 0,19$ kN

$M_B = -0,98$ kNm

egent. + vindl. B

$T_A = -4,50$ kN

$T_{BA} = -4,75$ kN

$T_{BC} = 2,07$ kN

$T_C = 1,38$ kN

$M_B = -3,01$ kNm