



**LUND**  
UNIVERSITY



# **DIMENSIONERING AV LIMTRÄBALKAR**

## **Effekt av osymmetrisk snölast enligt EKS 10**

ADAM HULTIN och OSCAR BENGTSSON

---

Structural  
Mechanics

*Bachelor's Dissertation*

---



DEPARTMENT OF CONSTRUCTION SCIENCES

**DIVISION OF STRUCTURAL MECHANICS**

ISRN LUTVDG/TVSM--19/4003--SE (1-154) | ISSN 0281-6679

BACHELOR'S DISSERTATION | EXAMENSARBETE | HÖGSKOLEINGENJÖRSUTBILDNINGEN

# **DIMENSIONERING AV LIMTRÄBALKAR**

## **Effekt av osymmetrisk snölast enligt EKS 10**

**ADAM HULTIN och OSCAR BENGTSSON**

Supervisors: **SUSANNE HEYDEN**, Associate Professor, and Dr **HENRIK DANIELSSON**,  
Division of Structural Mechanics, LTH.

Examiner: Professor **OLA DAHLBLOM**, Division of Structural Mechanics, LTH.

Copyright © 2019 Division of Structural Mechanics,  
Faculty of Engineering LTH, Lund University, Sweden.

Printed by V-husets tryckeri LTH, Lund, Sweden, February 2019 (*PI*)

**For information, address:**

Division of Structural Mechanics,  
Faculty of Engineering LTH, Lund University, Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden.

Homepage: [www.byggmek.lth.se](http://www.byggmek.lth.se)



## Sammanfattning

De europeiska konstruktionsstandarderna, eurokoderna, utgör tillsammans med nationella val i föreskriftsserien EKS (Boverkets föreskrifter om ändring i verkets föreskrifter och allmänna råd (2011:10) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)) ett regelsystem för konstruktionsberäkningar. EKS har sedan 2010 ersatt Boverkets tidigare konstruktionsregler, BKR. Dessa regler och standarder som används inom byggnadskonstruktion är i ständig förändring. Anledningen till ändringar i sådana dokument är att säkerhetsställa kvalitén och säkerheten efter ny forskning och nya förutsättningar. Den senaste uppdateringen av EKS utkom 2015-10-28.

Vid beräkning av snölaster används karakteristiska värden som är extremvärden med en beräknad återkomsttid på 50 år. Allt eftersom nederbörden och temperaturer förändras måste karakteristiska värden förändras i takt med dessa. En av de större ändringarna i den senaste EKS:en berör dock formfaktorerna för lutande tak, som beror av takytans form och av risk för snöanhopning till följd av vind, ras och glidning. Denna formfaktor har nu ett större värde på en takhälva.

Det generella målet med examensarbetet är att utreda hur ändringarna när det gäller snölaster i EKS påverkar lasteffekten för byggnader, samt hur tak, särskilt för hallbyggnader i limträ, ska dimensioneras för att klara de eventuella lastförändringarna.

En litteraturstudie har utförts där tidigare utgåvor av liknande föreskrifter jämförts och analyserats. Beräkningar har sedan genomförts för att ta fram hur dimensioner med hänsyn till moment, tvärkraft, upplagskraft, nedböjning och tvärdragsspänning påverkats av ändringarna i EKS 10. Spännvidd, taklutning och snözon har varierats i beräkningarna.

Resultaten visar att värdet på de varierande spännvidderna, taklutningarna samt snölastervärdena påverkar om momentkapacitet, tvärkraftskapacitet, nedböjning eller tvärdragsspänningar är dimensionerande. Generellt måste dimensionerna för både raka balkar och sadelbalkar öka om dessa ska klara de nya lasterna som beror på ändringarna i EKS 10. Det framkommer även att snölasterens grundvärde på mark, beroende på snözon, har stor betydelse för dimensionerna.

Nyckelord: Snölaster, formfaktor, dimensionering, limträ, balk, sadelbalk.



## **Abstract**

The European design standards, the Eurocodes, constitute together with national choices in the provision series EKS (mandatory provisions amending the Board's regulations and general recommendations (2011:10) on the application of European construction standards (Eurocodes)), a system of rules for the design calculations. EKS has since 2010 replaced the previous Board's Design Regulations, BKR. These rules and standards used in building construction are in constant change and improvement. The reason for changes to such documents is to safeguard the quality and safety after new research and new conditions. The latest update of the EKS was published 2015-10-28.

The calculation of snow loads uses characteristic values that are high values with an estimated return period of 50 years. As the rainfall and temperature changes, characteristic values must change along with them. One of the major changes in the new EKS did however concern the shape coefficients for pitched roofs, caused by the roof shape and the risk of snow accumulation due to wind, slippage and sliding. This shape coefficient now has a greater value on one roof half.

The general objective of the project is to investigate how these changes concerning snow load in the EKS affect the loading effect on buildings, and how roofs, especially for large span single-storey buildings with glulam structures, should be designed to handle the possible load change.

A literature review was performed where previous issues of similar regulations were compared and analysed. Calculations have then been made to elucidate how dimensions with respect to moments, shear force, reaction force, deflection and transverse tensile stress have been affected by the changes in the EKS. Span length, roof pitch and snow zone have been varied in the calculations.

The results show that the value of the varying spans, roof pitches and snowload values influence whether the moment capacity, shear capacity, deflection or transverse tensile stresses is the designing factor. Generally, the dimensions of both straight beams and symmetrical double pitched beams must be increased to cope with the the new loads that are caused by the changes in EKS 10. It also appears that the snowload on the ground, depending on snow zone, significantly affects the dimensions.

**Keywords:** Snow load, shape coefficient, design, glulam, beam, symmetrical double pitched beam.





## **Förord**

Denna rapport är skriven som en del av den avslutande kursen inom högskoleingenjörsprogrammet Byggteknik med arkitektur vid Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet motsvarar 15 veckors heltidsarbete och ger 22,5 högskolepoäng. Målet med rapporten är att belysa de förändringar som gjorts inom området snölast.

Alla figurer som inte själva skapats har krävt tillstånd från Boverket, vilket har beviljats.

Vi vill passa på att tacka vår handledare Susanne Heyden, biträdande handledare Henrik Danielsson och examinator Ola Dahlblom för stöd och råd.



# Innehållsförteckning

|                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 Inledning</b> .....                                      | <b>1</b>  |
| <b>1.1 Bakgrund</b> .....                                     | <b>1</b>  |
| <b>1.2 Syfte och målsättning</b> .....                        | <b>1</b>  |
| <b>1.3 Frågeställningar</b> .....                             | <b>1</b>  |
| <b>1.4 Avgränsningar</b> .....                                | <b>1</b>  |
| <b>1.5 Metodik</b> .....                                      | <b>2</b>  |
| <b>1.6 Arbetsfördelning</b> .....                             | <b>2</b>  |
| <b>2 Regelverk för snölast</b> .....                          | <b>3</b>  |
| <b>2.1 Allmänt om snölast</b> .....                           | <b>3</b>  |
| <b>2.2 Litteraturstudie</b> .....                             | <b>4</b>  |
| 2.2.1 Beräkning av snölast.....                               | 4         |
| 2.2.2 Snölastens grundvärde på mark.....                      | 7         |
| 2.2.3 Formfaktorn på tak.....                                 | 13        |
| 2.2.4 Exponeringsfaktorn .....                                | 21        |
| 2.2.5 Termiska koefficienten .....                            | 22        |
| 2.2.6 Lastreduktionsfaktorn .....                             | 23        |
| 2.2.7 Lastkombinationer i brott- och bruksgränstillstånd..... | 25        |
| <b>2.3 Sammanfattning av förändringar</b> .....               | <b>30</b> |
| <b>3 Dimensionering av balkar</b> .....                       | <b>31</b> |
| <b>3.1 Laster</b> .....                                       | <b>31</b> |
| 3.1.1 Egentyngd.....                                          | 31        |
| 3.1.2 Snölast .....                                           | 31        |
| 3.1.3 Vindlast .....                                          | 32        |
| 3.1.4 Dimensionerande last .....                              | 34        |
| 3.1.5 Last på balk.....                                       | 35        |
| <b>3.2 Lasteffekter</b> .....                                 | <b>35</b> |
| 3.2.1 Upplagskraft.....                                       | 36        |
| 3.2.2 Tvärkraft och moment.....                               | 36        |
| 3.2.3 Utböjning .....                                         | 40        |
| <b>3.3 Bärförmåga och dimensioneringskriterier</b> .....      | <b>44</b> |
| 3.3.1 Moment .....                                            | 44        |
| 3.3.2 Tvärkraft.....                                          | 49        |
| 3.3.3 Upplagstryck .....                                      | 50        |
| 3.3.4 Tvärdragspänning .....                                  | 51        |
| 3.3.5 Utböjning .....                                         | 53        |
| <b>4 Resultat</b> .....                                       | <b>57</b> |
| <b>4.1 Raka balkar</b> .....                                  | <b>58</b> |
| 4.1.1 Varierande spännvidd, 10-30 m .....                     | 58        |
| 4.1.2 Varierande taklutning, 0-15 ° .....                     | 62        |
| 4.1.3 Varierande snölastvärde .....                           | 66        |

|                                                      |            |
|------------------------------------------------------|------------|
| <b>4.2 Sadelbalkar .....</b>                         | <b>70</b>  |
| 4.2.1 Varierande spännvidd, 10-30 m .....            | 71         |
| 4.2.2 Varierande taklutning, 0-22,5° .....           | 75         |
| 4.2.3 Varierande snölastvärde .....                  | 80         |
| <b>5 Slutsatser .....</b>                            | <b>85</b>  |
| <b>5.1 Raka balkar .....</b>                         | <b>85</b>  |
| 5.1.1 Varierande spännvidd.....                      | 85         |
| 5.1.2 Varierande taklutning.....                     | 85         |
| 5.1.3 Varierande snölastvärde .....                  | 86         |
| <b>5.2 Sadelbalkar .....</b>                         | <b>86</b>  |
| 5.2.1 Varierande spännvidd.....                      | 86         |
| 5.2.2 Varierande taklutning.....                     | 86         |
| 5.2.3 Varierande snölastvärde .....                  | 86         |
| <b>5.3 Avslutande ord .....</b>                      | <b>87</b>  |
| 5.3.1 Sammanfattning av svar på frågeställning ..... | 88         |
| <b>5.4 Framtida studier .....</b>                    | <b>89</b>  |
| <b>Referenser .....</b>                              | <b>91</b>  |
| <b>Bilagor .....</b>                                 | <b>93</b>  |
| <b>A Beräkning för referensfall .....</b>            | <b>93</b>  |
| A.1 Förutsättningar och laster .....                 | 93         |
| A.2 Raka balkar .....                                | 98         |
| A.3 Sadelbalkar .....                                | 104        |
| <b>B Exempel av matlabkod .....</b>                  | <b>107</b> |
| B.1 Raka balkar, varierande spännvid .....           | 107        |
| B.2 Raka balkar, varierande taklutning .....         | 109        |
| B.3 Raka balkar, varierande snölastvärde .....       | 113        |
| B.4 Sadelbalkar, varierande spännvidd .....          | 117        |
| B.5 Sadelbalkar, varierande taklutning .....         | 124        |
| B.6 Sadelbalkar, varierande snölastvärde .....       | 142        |

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Under vintern 2009-2010 inträffade i Sverige drygt 180 takras på stora byggnader. Dessutom fick ca 4000 ekonomibygnader mer eller mindre allvarliga skador. Ofta gällde det byggnader med låglutande tak och stora spännvidder [7]. Detta är exempel som visar på hur viktig dimensionering för snölast är då det ofta är den avgörande faktorn när det gäller takras.

Föreskrifter som behandlar dimensionering för snölast uppdateras kontinuerligt och den senaste utgåvan av EKS [6] (Boverkets föreskrifter om ändring i verkets föreskrifter och allmänna råd (2011:10) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)) utkom i oktober 2015. Denna utgåva medförde en del ändringar när det gäller dimensionering för snölast.

## 1.2 Syfte och målsättning

Det generella målet med examensarbetet är att utreda hur ändringarna när det gäller snölast i EKS påverkar lasteffekten för byggnader samt hur tak, särskilt för hallbyggnader i limträ, ska dimensioneras för att klara lastförändringarna.

Examensarbetet förväntas resultera i djupare kunskap om inverkan på takdimensionering på grund av ändringarna i EKS.

## 1.3 Frågeställningar

- Vilka ändringar i EKS är relevanta när det gäller snölast på tak?
- Hur har karakteristisk snölast och formfaktorerna för snölast på sadeltak ändrats sedan tidigare?
- Hur kommer dessa förändringar att påverka moment, tvärkraft, upplagstryck och nedböjning för olika taklutningar och spännvidder?
- Kommer ändringarna i lasteffekt att ge upphov till ändrade dimensioner för balkar av limträ, med avseende på momentkapacitet, tvärkraftskapacitet, upplagstryck, tvärdragsspänningar och nedböjning?

## 1.4 Avgränsningar

Vindlast beaktas endast vid tryck då den verkar ogynnsamt. Det har även valts att endast analysera raka balkar och sadelbalkar av limträ. Snöfickor beaktas inte i arbetet.

## **1.5 Metodik**

Först genomfördes en litteraturstudie, där en jämförelse av snölastens påverkan har gjorts för föreskrifter mellan 1979-2015. Därefter undersöktes momentkapacitet, tvärkraftskapacitet, upplagstryck, nedböjning och tvärdragspänningar med analytiska beräkningar samt numeriska beräkningar med Matlab [25].

## **1.6 Arbetsfördelning**

Arbetet delas lika mellan författarna. Under arbetets gång har vissa moment fördelats mellan författarna för att sedan granskas gemensamt. Båda författarna har varit involverade i litteraturstudie och beräkningar.

## 2 Regelverk för snölast

### 2.1 Allmänt om snölast

Snölasten ska antas vara en variabel och bunden last [11]. Snölasten antas variabel eftersom den inte alltid påverkar konstruktionen, till skillnad från till exempel egentygnd som är en permanent last. Om en variabel last verkar gynnsamt ska denna sättas till noll för att säkerställa bärförmågan då detta leder till den farligaste lasten. Bunden last hette tidigare ”vilande” last, den har en entydig fördelning över konstruktionen. Den kan vara kontinuerligt fördelad eller koncentrerad till bestämda delar eller punkter. Snölasten skall bestämmas som tyngden per horisontell area. Det finns även exceptionella lastfall som inte behöver beaktas då exceptionell snölast inte är relevant för typiska svenska förhållanden (BFS 2015:6, [6]). Snölasten beror på flera olika parametrar: mängd snö på mark ( $s_k$ ), omgivningens topografi ( $C_e$ ), byggnadens geometri ( $\mu$ ) samt effekter av uppvärmning och värmeövergångskoefficient på byggnaden ( $C_t$ ).

Eftersom varje projekt är unikt kan vissa tillägg till parametrar förekomma. Om byggherren vill säkerställa kvaliteten på ett nybygge finns det vissa allmänna råd i EKS-10, ett exempel på detta är:

Snölaster på nivåer över 1500 meter över havsnivån bör bestämmas för varje enskilt projekt där det är relevant med hänsyn till de rådande omständigheterna. Då påverkas  $s_k$ -värdet.

Regler för snölast, tillsammans med alla konstruktionsregler, har förändrats och förbättrats genom tiderna. De har utvecklats genom forskning och förbättrad förståelse för parametrar som påverkar snölasten, allt från topografi till påverkan av taklutning.

Karakteristisk snölast beräknas idag enligt följande ekvation [12]:

$$s = \mu_i C_e C_t s_k$$

|         |                                                                                                                                                                  |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\mu_i$ | formfaktor som beror av takytans form och av risk för snöanhopning till följd av vind, ras och glidning. För enklare fall se tabell 2.5 och figur 2.10 samt 2.11 |
| $C_e$   | exponeringsfaktor enligt tabell 2.6                                                                                                                              |
| $C_t$   | termisk koefficient som beror av energiförluster genom taket. $C_t$ är normalt 1,0                                                                               |
| $s_k$   | snölastens grundvärde på mark enligt figur 2.3                                                                                                                   |

## 2.2 Litteraturstudie

För att få en tydligare överblick över regelverket för snölasts utveckling har flera föreskrifter studerats. I denna rapport har följande verk behandlats:

- PFS (1979:7), Bärande konstruktioner [1]
- BFS (1988:18), Boverkets nybyggnadsregler [2]
- BSV (1997), Boverkets handbok om snö- och vindlast [3]
- BFS (2006:11), Boverkets författningssamling [4]
- BFS (2013:10), EKS 9 [5]
- BFS (2015:6), EKS 10 [6]

Det finns betydligt fler föreskrifter än de som behandlas i denna rapport, men för att inte göra rapporten för omfattande har endast dessa valts ut, vilket räcker för att ge en övergripande bild. De största förändringarna inom snölast behandlas i dessa verk. Beteckningarna för de olika variablerna skiljer sig mellan de olika regelverken, för att inte förvirra läsaren har modifieringar gjorts på beteckningar så att de överensstämmer med dagens beteckningar.

### 2.2.1 Beräkning av snölast

PFS 1979:7, Bärande konstruktioner [1]

1979 användes en annorlunda ekvation för att beskriva snölaster jämfört med dagens EKS 10. Snölastens karakteristiska värde,  $s$ , ska för tak bestämmas per horisontell ytenhet som:

$$s = \mu_i s_k$$



Det vanliga värdet på snölasten är:

$$s_{dim} = \psi \cdot s$$

Det vanliga värdet kan jämföras med dagens samverkande värde när snölasten inte är huvudlast och multipliceras med lastreduktionsfaktorn. För att inte orsaka förvirring döps  $s$  till  $s_{dim}$  i denna rapport.

Det framkommer tydligt hur ekvationen har förändrats sedan 1979. Exponeringsfaktor,  $C_e$ , samt termisk koefficient,  $C_t$ , saknas. Det förändrar dock inte mycket då dessa värden oftast sätts till 1, men ekvationen saknar dessa element som i dagens beräkningar kan säkerhetsställa kvaliteten när man till exempel bygger på mycket vindutsatta områden.

Denna snölastekvation fick ingen förändring i nästa verk som behandlats; *Boverkets nybyggnadsregler från 1988*.

BSV 97, Boverkets handbok om snö- och vindlast [2]

Snölastens ekvation i *Boverkets handbok om snö- och vindlast* baseras på Eurokod från 1991. I *SS-ENV 1991-2-3:1995* [23] och även i *ISO-förslaget*, mars 1992 (revidering av *ISO 4355*) [24], skrivs det allmänna uttrycket för snölast på tak i princip som det gör idag. Ekvationen ser ut som följande:

$$s = \mu_i C_e C_t s_k$$

$\mu_i$  formfaktor

$C_e$  exponeringsfaktor som tar hänsyn till vindens inverkan

$C_t$  termisk koefficient som t.ex. beror på energiförluster genom tak eller annan termisk påverkan

$s_k$  snölastens grundvärde

Variablerna förklaras mindre utförligt än vad de gör idag. Ett exempel är variabeln  $C_e$ , som i princip inte beaktas eftersom det inte tagits fram en tabell som beskriver exponeringsfaktorn liknande dagens tabell 2.6. Istället används följande argument:

”Då vi inte anser oss kunna ange värden på  $C_e$  som avviker från 1,0 har vi valt att använda det enkla uttrycket:”

$$s = \mu_i C_t s_k$$

Utöver detta beskrivs variabeln  $C_t$  grundligt i litteraturen genom två grafer som förklarar hur snölastens karakteristiska värde beror på U-värde och temperatur. Detta saknas i senare verk där den oftast sätts lika med 1.

BFS 2006:11 Boverkets författningssamling [4]

15 år senare användes endast den förenklade versionen av ekvationen för att beräkna snölast, exponeringsfaktorn försvinner helt.

$$s = \mu_i C_t s_k$$

BFS 2013:10, EKS 9 och BFS 2015:6, EKS 10 [5][6]

I de senare regelverk som behandlas i rapporten ser snölastekvationen ut som den gör i avsnitt 2.1. Det är denna ekvation som används idag för att räkna ut snölast.

$$s = \mu_i C_e C_t s_k$$

Snölastekvationen har alltså inte förändrats särskilt mycket förutom när det gäller exponeringsfaktorn och den termiska koefficienten. Benämningarna på variablerna har emellertid ändrats fram och tillbaka vilket kan vara förvirrande. För att förtydliga ytterligare beskriver tabell 2.1 hur ekvationen såg ut i alla verk som behandlats, med sina äldre beteckningar.

*Tabell 2.1: Beräkning av snölast genom åren.*

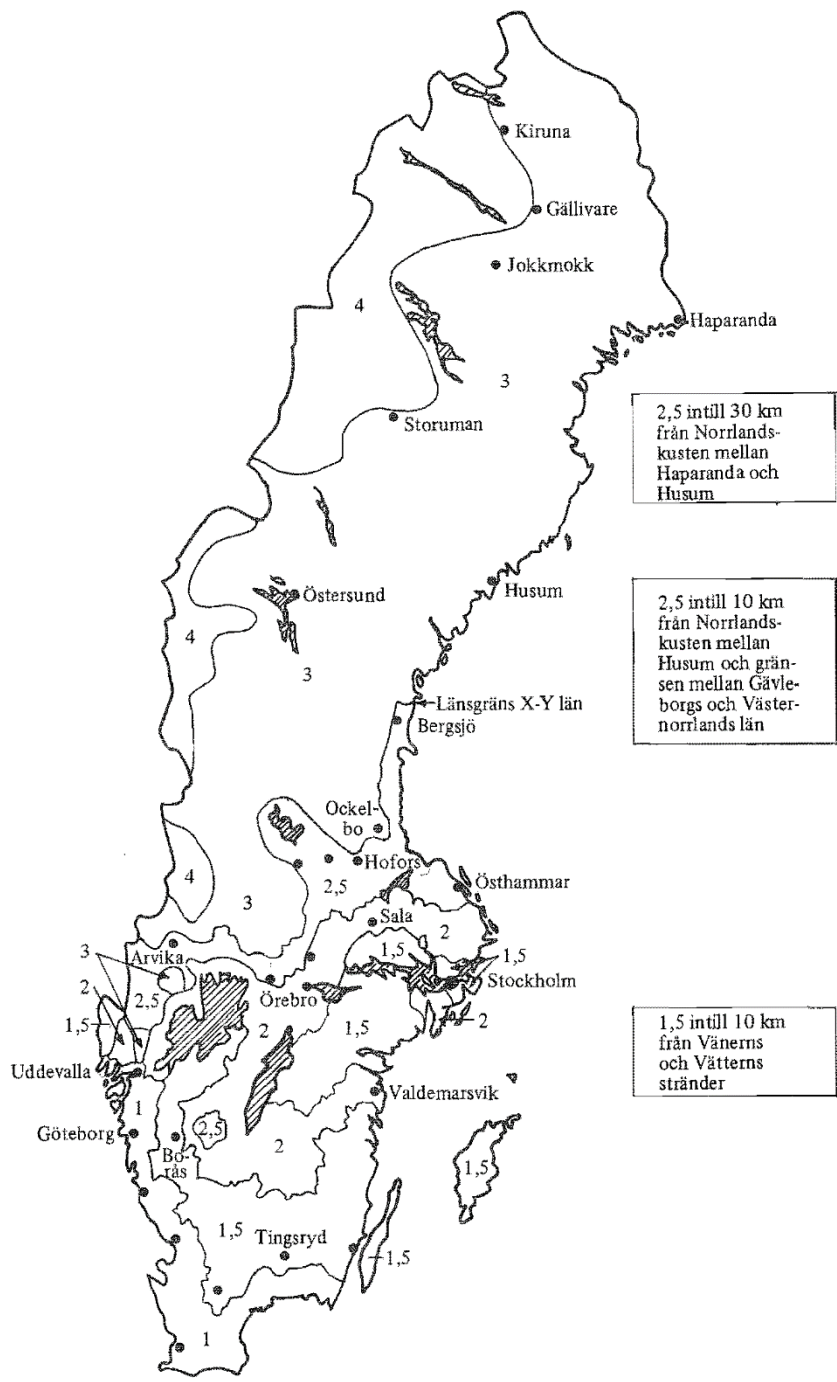
| <b>Regelverk, år</b> | <b>Ekvation</b>         |
|----------------------|-------------------------|
| 1979 [1]             | $s_k = \mu \cdot s_0$   |
| 1988 [2]             | $s_k = \mu \cdot s_0$   |
| 1997 [3]             | $s_k = \mu C_e C_t s_0$ |
| 2006 [4]             | $s_k = \mu C_t s_0$     |
| 2013 [5]             | $s = \mu_i C_e C_t s_k$ |
| 2015 [6]             | $s = \mu_i C_e C_t s_k$ |

### 2.2.2 Snölastens grundvärde på mark

Snölastens grundvärde är utgångspunkten vid bestämning av snölast. Värdet varierar beroende på tid samt geografiskt läge. För att säkerställa kvalitén används ett värde som motsvarar en återkomsttid på 50 år.

#### PFS 1979:7, Bärande konstruktioner [1]

I detta regelverk anges att ”Snölastens grundvärden,  $s_k$ , för exceptionell snölast och för vanlig snölast skall inom snözoner enligt figur 2.1 antas ha värden enligt tabell 2.2.” I denna tabell finns lastreduktionsfaktorn,  $\psi$ , som är ett värde som en variabel last multipliceras med då den inte är huvudlast.



Figur 2.1 Snölastenens  $s_k$ -värde i olika områden i Sverige [1].

Tabell 2.2: Föreskrivna grundvärden,  $s_k$ , för snölast och värden på lastreduktionsfaktorn,  $\psi$ , för olika snözoner [1].

| Snözon | Snölastens grundvärde $s_k$ kN/m <sup>2</sup> | Lastreduktionsfaktor $\psi$ |
|--------|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| 4      | 4,0                                           | 0,8                         |
| 3      | 3,0                                           | 0,8                         |
| 2,5    | 2,5                                           | 0,7                         |
| 2      | 2,0                                           | 0,7                         |
| 1,5    | 1,5                                           | 0,7                         |
| 1      | 1,0                                           | 0,6                         |

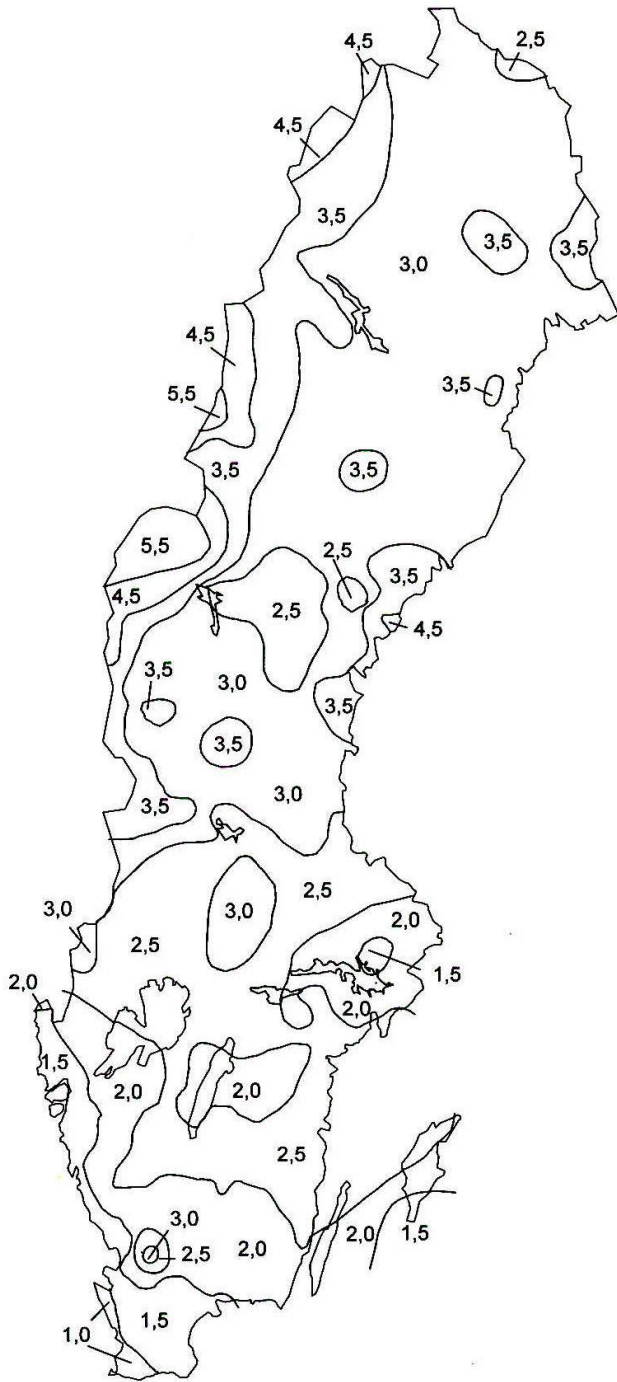
På samma sätt som ekvationen för snölast har inte snölastkartan med dess zoner förändrats i BFS Nybyggnadsregler 1988. Här finns det endast 6 olika snözoner

BSV 97, boverkets handbok om snö- och vindlast [3]

I boverkets handbok om snö- och vindlast saknas en snölastkarta. Istället fås snölastens grundvärde på mark från tabeller som beskriver värdena i Sveriges alla kommuner. Efter jämförelse med tabellvärdena och tidigare snölastkartor dras slutsatsen att inga förändringar gjorts på snölastkartan och dess zoner.

BFS 2006:11 Boverkets författningssamling [4]

Här anges det att ”Zoner för snölast på mark,  $s_k$ , som med en sannolikhet av 0,98 inte överskrids under ett år. Lasterna är baserade på snödjupsmätningar från 148 stycken meteorologiska stationer kombinerat med tre olika, geografiskt relaterade, densitetsvärden vid tiden för maximalt snödjup.” Se figur 2.2.



Figur 2.2 Snölastenens  $s_k$ -värde för olika områden i Sverige [4].

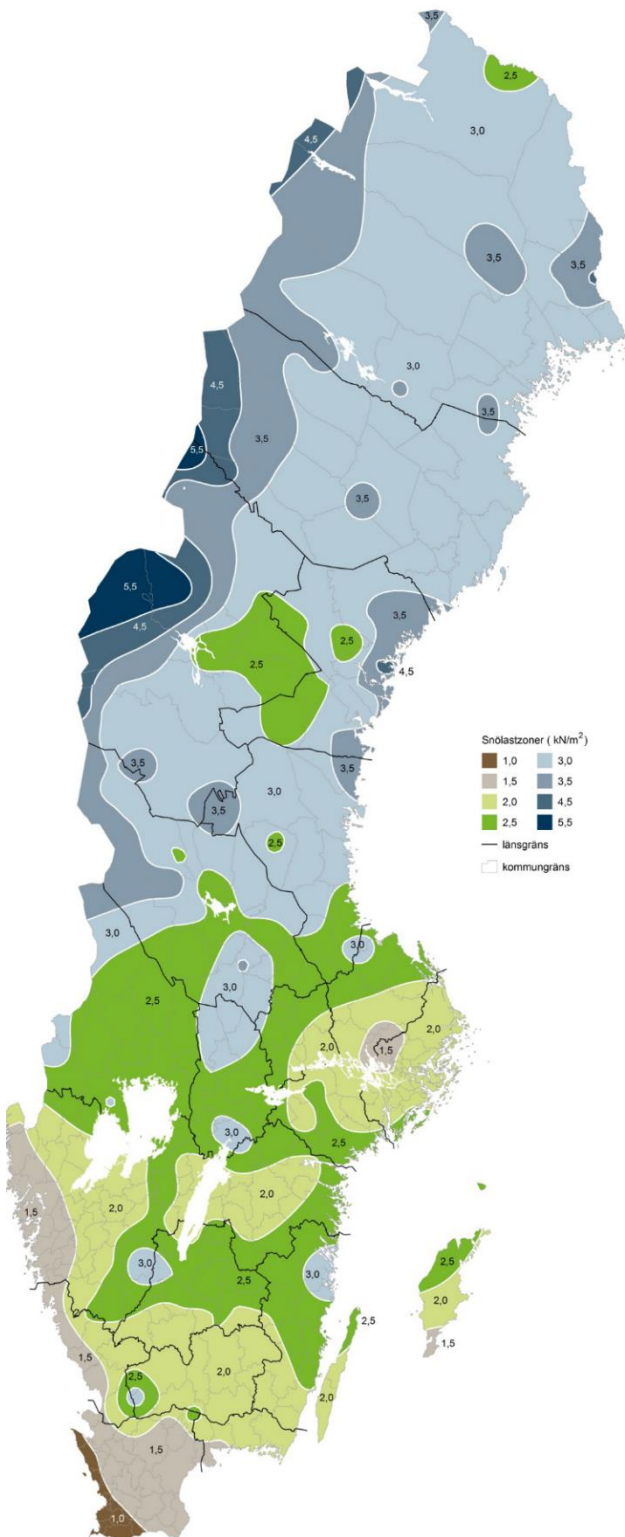
Tabell 2.3: Föreskrivna grundvärden,  $s_k$ , för snölast och värden på lastreduktionsfaktorn,  $\psi$ , för olika snözoner [4].

| <b>Snölastens grundvärde</b><br>$s_k$ (kN/m <sup>2</sup> ) | <b>Lastreduktionsfaktor</b><br>$\psi$ |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 5,5                                                        | 0,8                                   |
| 4,5                                                        | 0,8                                   |
| 3,5                                                        | 0,8                                   |
| 3,0                                                        | 0,8                                   |
| 2,5                                                        | 0,7                                   |
| 2,0                                                        | 0,7                                   |
| 1,5                                                        | 0,7                                   |
| 1,0                                                        | 0,6                                   |

I BFS 2006 gäller även här tabellerna som beskriver snölasterna i de olika kommunerna. Snölastkartan har blivit mer komplicerad med fler snözoner, 8 olika totalt, 2 fler än snölastkartan från 1979.

#### BFS 2013:10, EKS 9 [5]

I den näst senaste utgåvan av EKS har vissa ändringar gjorts på tabellvärdena för de olika kommunerna. De flesta förändringarna är ökningar av  $s_k$ -värdet för kommunerna, oftast med ett värde på 0,5. Exempel på detta är Alingsås som ändrats från 1,5 till 2. Ett annat exempel där en stor ökning inträffat är Övertorneå som ändrats från 3,0 till 3,0 - 4,5 där det övre värdet gäller för bebyggelse belägen i högre terräng. Det gäller som allmän tumregel att snömängden ökar med ca 15 % per 100 meter höjddökning.



Figur 2.3: Snölastens  $s_k$ -värde för olika områden i Sverige [6].



Tabellerna som beskriver varje kommuns  $s_k$ -värde gäller inte längre. Endast snölastkartan är aktuell. Detta beror på att det kan förekomma olika snözoner i en och samma kommun. Snölastkartan liknar den från *BFS 2006 boverkets författningssamling*, med mindre förändringar på snözönernas täckande yta.

För att enkelt illustrera hur snölastens grundvärde på mark förändrats genom regelverken har tabell 2.4 tagits fram. Denna tabell beskriver Krokoms kommun som är belägen i nordöstra Sverige.

Tabell 2.4: Överblick över Krokoms kommuns  $s_k$ -värde genom åren.

| Regelverk, år | Snömängd på mark, $s_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|---------------|----------------------------------------------|
| 1979 [1]      | 3,0                                          |
| 1988 [2]      | 3,0                                          |
| 1997 [3]      | 3,0–4,0                                      |
| 2006 [4]      | 3,0–5,5                                      |
| 2013 [5]      | 3,0–5,5                                      |
| 2015 [6]      | 3,5–5,5                                      |

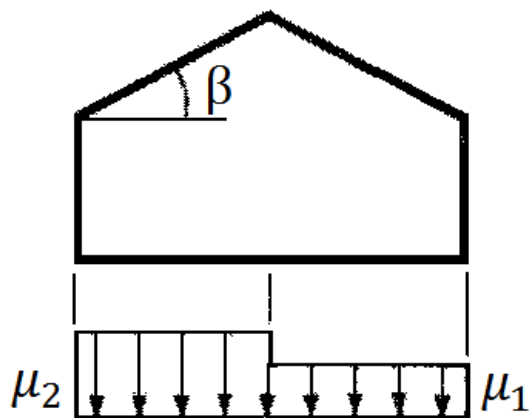
### 2.2.3 Formfaktorn på tak

Vid bestämning av snölast måste man ta hänsyn till formfaktorn,  $\mu$ , där inverkan av byggnadens form och snöanhopningar på grund av vindpåverkan, ras och glidning beaktas. På vissa taktyper kan snöfickor förekomma, dessa snöfickor leder till en större koncentrerad last och måste beaktas när formfaktorn för tak ska bestämmas. I denna rapport beaktas dock inte snöfickor.

Formfaktorn,  $\mu$ , hämtas från ett diagram, där man med hjälp av taklutningen kan få fram värden på de olika formfaktorerna. Vilka av formfaktorerna som ska användas beror på vilken typ av tak man beräknar snölasten på. I detta arbete kommer endast kontroller på sadeltak att utföras, och figurer för andra taktyper tas därför inte upp.

För ett icke symmetriskt sadeltak behandlas varje takhalva som ena halvan av ett symmetriskt sadeltak.

Vilka formfaktorer som ska användas för sadeltak visas i figur 2.4.

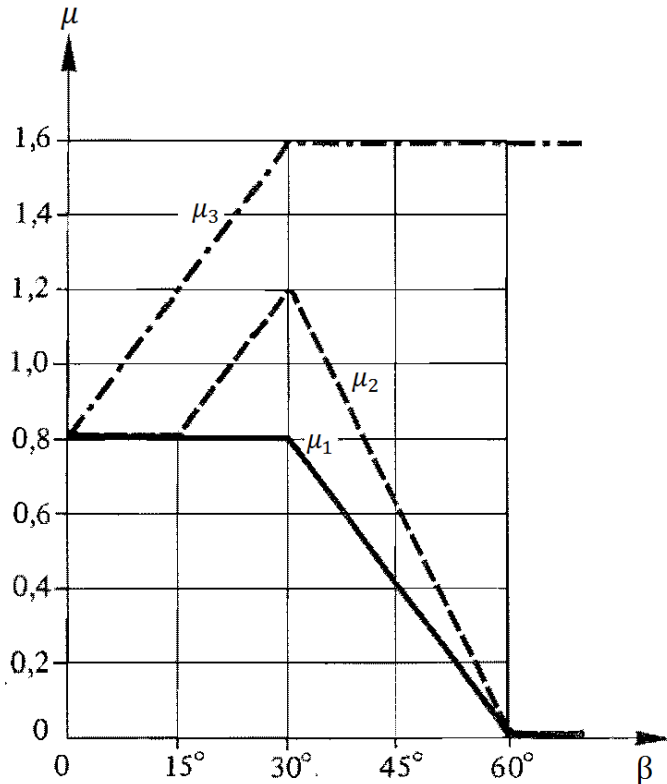


Figur 2.4: Formfaktorer för sadeltak [1].

”Vid dimensionering av sadeltak för inverkan av snölast och samtidig vindlast godtas att snölasten antas fördelad jämnt över takytan och att formfaktorn sätts lika med  $\mu_1$  enligt figuren.”

Hur  $\mu_2$  används förklaras inte i regelverket, men då vindlast inte verkar samtidigt som snölast ska  $\mu_2$  användas till ena halvan av taket samt  $\mu_1$  till andra halvan. Att endast  $\mu_1$  används i fallet snölast och samtidig vindlast beror på att den uppåtriktade lyftkraften som beror på vinden förenklat ”tar ut” skillnaden mellan formfaktorerna  $\mu_1$  och  $\mu_2$ .

Formfaktorernas värden kan hämtas från figur 2.5.  $\mu_3$  är en formfaktor som används vid andra taktyper.



Figur 2.5: Värden som formfaktorerna  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  och  $\mu_3$  antar för olika taklutningar [1].

Som kommentar står det även att ”taklutningens inverkan på lastens storlek behöver inte beaktas om lutningen är  $< 5^\circ$ ”.

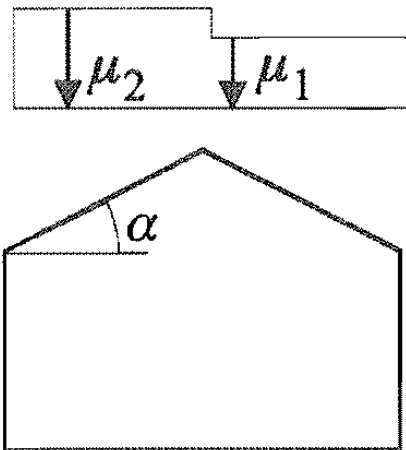
BFS 1988:18, Boverkets nybyggnadsregler [2]

Inget angående formfaktorn,  $\mu$ , för sadeltak har ändrats sedan *PFS 1979:7, Bärande konstruktioner*.

BSV 97, Boverkets handbok om snö- och vindlast [3]

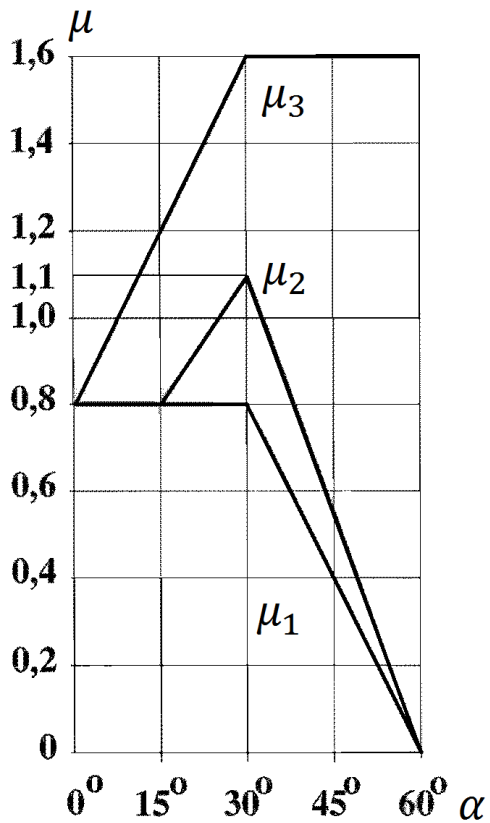
I denna utgåva gäller i princip samma sak när det gäller formfaktorn som *PFS 1979:7, Bärande konstruktioner*. Det har skett små förändringar vad det gäller beteckning för taklutning samt hur figuren angående formfaktorn på sadeltak ser ut.

Vilka formfaktorer som ska användas för sadeltak visas i figuren nedan.



*Figur 2.6: Formfaktorer för sadeltak [3].*

Formfaktorernas värden kan hämtas från figur 2.7.



Figur 2.7: Värden för formfaktorerna  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  och  $\mu_3$  vid olika taklutningar [3].

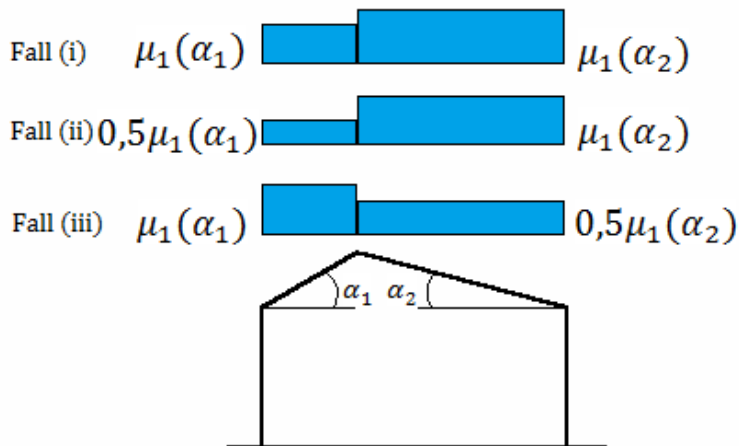
BFS 2013:10, EKS 9 [5]

Formfaktorn har förändrats markant i denna utgåva. Det finns nu tre olika lastfall för sadeltak för fall då snölasten är, eller inte är, påverkad av snödrift. Från figur 2.8 utläses det att endast  $\mu_1$  används för sadeltak. Det enda fallet där både  $\mu_1$  och  $\mu_2$  beaktas samtidigt är vid fall för multipeltak.

Tabell 2.5: Formfaktorer för snölast på tak [5].

| Taklutning $\alpha$ | $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ | $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ | $\alpha \geq 60^\circ$ |
|---------------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| $\mu_1$             | 0,8                                 | $0,8(60 - \alpha)/30$          | 0,0                    |
| $\mu_2$             | $0,8 + 0,8\alpha/30$                | 1,6                            | -                      |

Vilka formfaktorer som ska användas för sadeltak visas i figuren nedan.



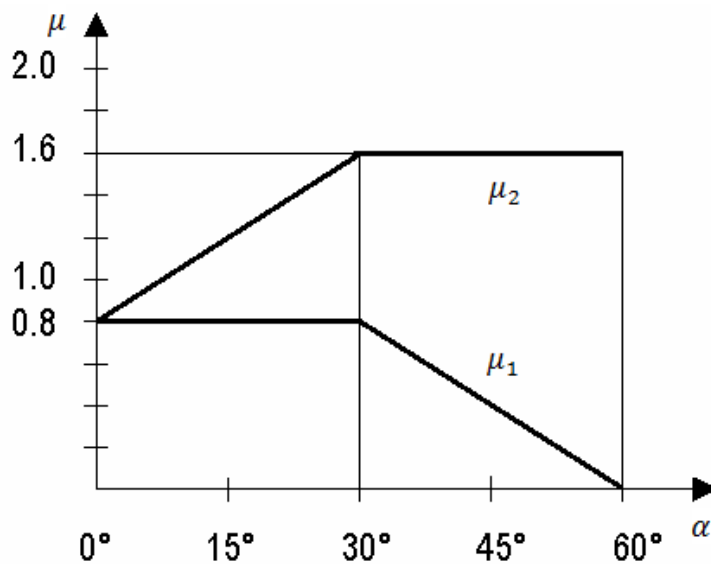
Figur 2.8: Formfaktorer för sadeltak [5].

Fall 1 bör användas då snölasten inte påverkas av snödrift.

Fall 2 och 3 bör användas då snölasten påverkas av snödrift.

Snödrift bör beaktas när byggnadsverket befinner sig på ett vindutsatt område där det är vindexponerat i alla riktningar utan skydd. Snödrift beskriver snölastens fördelning efter det att snön har omfördelats på taket på grund av vind.

Formfaktorernas värden kan även hämtas från figur 2.9.

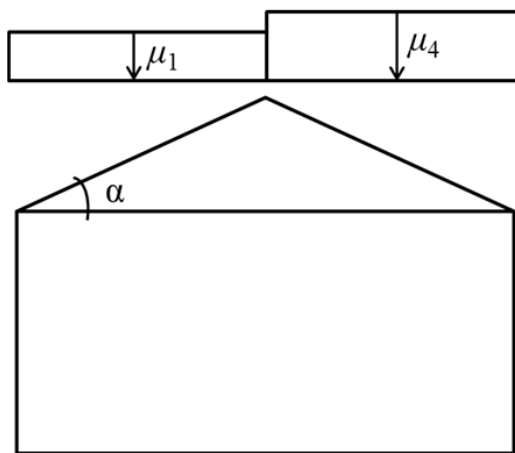


Figur 2.9: Värden för formfaktorerna  $\mu_1$  och  $\mu_2$  vid olika taklutningar [5].

BFS 2015:6, EKS 10 [6]

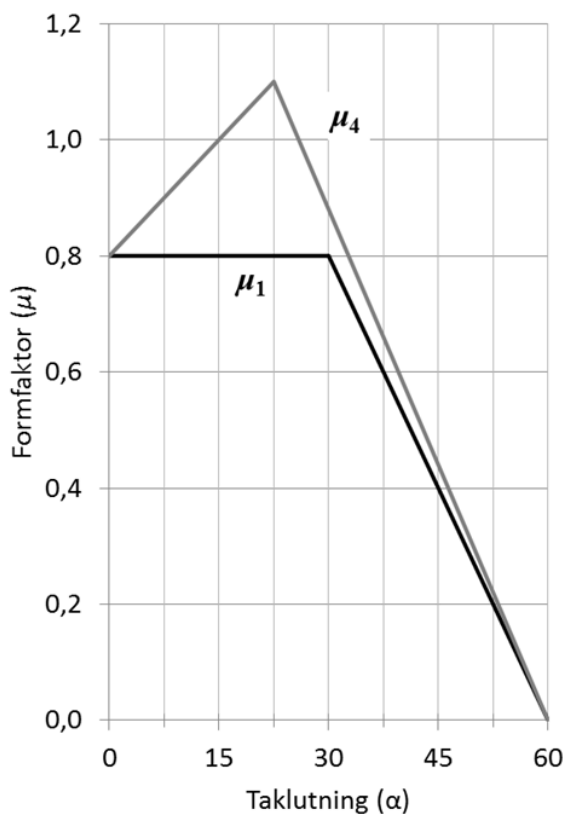
I den senaste utgåvan av EKS har formfaktorerna och figurerna ändrats ytterligare, och figuren över hur formfaktorerna beror av taklutningen anger olika snölast på de olika takhalvorna.

Vilka formfaktorer som ska användas för sadeltak visas i figur 2.10.



Figur 2.10: Formfaktorer för sadeltak [6].

Formfaktorernas värden kan hämtas från figur 2.11.



Figur 2.11: Värderna för formfaktorerna  $\mu_1$  och  $\mu_4$  vid olika taklutningar [6].

Det som kan avläsas ur figurerna är att  $\mu_1$  inte har ändrats någonting. Den större förändringen sker när det kommer till  $\mu_2$  som i den senaste EKS:en heter  $\mu_4$ . Från PFS 1979:7, *Bärande konstruktioner* fram till BSV 97, *Boverkets handbok om snö- och vindlast* erhålls värdet på formfaktorn,  $\mu_2$ , till 0,8 upp till 15° taklutning för att sedan stiga till 1,2 respektive 1,1 vid 30° taklutning där den sedan avtar. I EKS 9 stiger värdet på formfaktorn mellan 0° till 30° upp till 1,6 för att sedan fortsätta på samma värde till 60° taklutning. I EKS 10 stiger värdet endast upp till 1,1 vid 22,5° taklutning för att sedan hastigt avta.

Figurerna som beskriver formfaktorernas inverkan har inte förändrats i någon större utsträckning förutom i EKS 9, där man tar hänsyn till olika fall beroende på om snölasten påverkas av snödrift.

Som det även beskrevs tidigare i detta kapitel sätter man de olika formfaktorerna lika med varandra vid samtidig snö- och vindlast i BSV 97, *Boverkets handbok om snö- och vindlast*. Men i övrigt kommer skillnaden mellan formfaktorernas värden att ge upphov till olika snölaster på respektive takhalva.



#### 2.2.4 Exponeringsfaktorn

Exponeringsfaktorn bestäms med hänsyn till den aktuella topografin, alltså terrängens fysiska form där byggnaden står placerad. Faktorn beror främst på hur vindutsatt byggnaden är. Om det förekommer starka vindar kan snön blåsa av taket, vilket i sin tur leder till mindre påverkan av snölasten. Om ett byggnadsverk istället är omgivet av höga ytor som begränsar vindens styrka kommer mer snö att samlas på taket. Ligger byggnadsverket lågt i förhållande till omgivningen så kan det även falla ner snö på taket från omgivningen.

BSV 97, Boverkets handbok om snö- och vindlast [3]

Av de regelverk som behandlas i denna rapport återfinns exponeringsfaktorn först i *BSV 97, boverkets handbok om snö- och vindlast*. Dock, som det tidigare beskrivits: ”Då vi inte anser oss kunna ange värden på  $C_e$  som avviker från 1,0 har vi valt att använda det enkla uttrycket”, försummas exponeringsfaktorn. Detta kan bero på otillräcklig forskning om hur topografin påverkar snölasten.

BFS 2006:11 Boverkets författningssamling [4]

Istället för att sätta exponeringsfaktorn till 1 har man här valt att helt enkelt ta bort exponeringsfaktorn från snölastekvationen helt och hållet.

BFS 2013:10, EKS 9 och BFS 2015:6, EKS 10 [5][6]

I EKS har man utgått från Eurokod 1991 och exponeringsfaktorn anges i tabell 2.6.

*Tabell 2.6: Rekommenderade värden på  $C_e$  för olika topografier.*

| <b>Topografi</b>                                                                                                                                                       | $C_e$ |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Vindutsatt</b><br>Plan, öppen terräng, vindexponerat i alla riktningar utan skydd eller med lite skydd av terräng, träd och högre byggnadsverk                      | 0,8   |
| <b>Normal</b><br>Områden där snön endast i undantagsfall blåser av byggnadsverk, avhängigt terräng, andra byggnadsverk eller träd.                                     | 1,0   |
| <b>Skyddad</b><br>Området för det aktuella byggnadsverket är väsentligt lägre än omgivande terräng eller omgivet av höga träd och/eller omgivet av högre byggnadsverk. | 1,2   |

Exponeringsfaktorn har inte genomgått några stora förändringar genom regelverken. Enda fallet där exponeringsfaktorn skiljer sig från 1 är i EKS, där exponeringsfaktorn beror av topografin. Det framkommer dock i EKS 10 att värdet på  $C_e$  inte får väljas lägre än 1,0.

### 2.2.5 Termiska koefficienten

Den termiska koefficienten beror på transmissionsförluster genom tak eller annan termisk påverkan. Hur välisolerad en byggnad är påverkar denna koefficient i stor utsträckning. Den termiska påverkan gäller även till exempel för glatta tak med tillräcklig lutning som leder till att snön mycket lätt glider av om snön smälter.

PFS 1979:7, Bärande konstruktioner & BFS 1988:18, Boverkets nybyggnadsregler [1]

Här finns ingen termisk koefficient beskriven.

### BSV 97, Boverkets handbok om snö- och vindlast [3]

På samma sätt som exponeringsfaktorn kommer den termiska koefficienten,  $C_t$ , först till användning i Boverkets handbok om snö- och vindlast från 1997. Den förklaras här grundligt och om mer information önskas om hur man räknar ut koefficienten hänvisas till regelverket.

Om taklutningen  $\alpha = 0$  samt för bestämda innetemperaturer gäller två grafer, men om taklutningen  $0 \leq \alpha \leq 45^\circ$  gäller följande formler:

$$C_t = \left( 1 - 0,054 \left( \frac{s_k}{3,5} \right)^{0,25} f(U_0, T) \right) \cos(2\alpha) \quad 0 \leq \alpha \leq 45^\circ$$

$$f(U_0, T) \begin{cases} 0 & U_0 < 1,0 \\ (T - 5)(\sin(0,4U_0 - 0,1))^{0,75} & 1,0 \leq U_0 \leq 4,5 \text{ och } 5 \leq T \leq 18 \\ T - 5 & U_0 > 4,5 \text{ och } 5 \leq T \leq 18 \end{cases}$$

$U_0$  värmeegenomgångskoefficient ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ) om utvändigt övergångsmotstånd är noll, dvs.  $R_e = 0$

$\alpha$  taklutning i grader

$T$  lägsta förväntade innetemperatur ( $^\circ\text{C}$ ) under vintern.  
Sätt  $T = 5^\circ$  om  $T < 5^\circ$  och  $T = 18^\circ$  om  $T > 18^\circ$ .

### BFS 2013:10, EKS 9 och BFS 2015:6, EKS 10 [5][6]

I dessa föreskrifter är den termiska koefficienten,  $C_t$ , oftast lika med 1. De fallen där  $C_t$  antar ett annat värde än 1 är där tak med hög värmeegenomgångskoefficient beaktas. Ett sådant exempel är glastak där snösmältning kan förorsakas av värmeförlust.

#### 2.2.6 Lastreduktionsfaktorn

Lastreduktionsfaktorn,  $\psi$ , är ett värde som en variabel last multipliceras med då den inte är huvudlast. Värdet tar hänsyn till att sannolikheten är liten att flera laster samtidigt uppgår till karakteristiskt värde. Lastreduktionsfaktorn bestäms av snölastens grundvärde och anges för de olika regelverken i tabell 2.7-2.9.

PFS 1979:7, Bärande konstruktioner och BFS 1988:18, Boverkets nybyggnadsregler [1]

*Tabell 2.7: Lastreduktionsfaktorer för snölast [1].*

| <b>Snölastens grundvärde</b><br>$s_k$ kN/m <sup>2</sup> | <b>Lastreduktionsfaktor</b><br>$\psi$ |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 4,0                                                     | 0,8                                   |
| 3,0                                                     | 0,8                                   |
| 2,5                                                     | 0,7                                   |
| 2,0                                                     | 0,7                                   |
| 1,5                                                     | 0,7                                   |
| 1,0                                                     | 0,6                                   |

BFS 2006:11 Boverkets författningssamling [4]

*Tabell 2.8: Lastreduktionsfaktorer för snölast [4].*

| <b>Snölastens grundvärde</b><br>$s_k$ (kN/m <sup>2</sup> ) | <b>Lastreduktionsfaktor</b><br>$\psi$ |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 5,5                                                        | 0,8                                   |
| 4,5                                                        | 0,8                                   |
| 3,5                                                        | 0,8                                   |
| 3,0                                                        | 0,8                                   |
| 2,5                                                        | 0,7                                   |
| 2,0                                                        | 0,7                                   |
| 1,5                                                        | 0,7                                   |
| 1,0                                                        | 0,6                                   |

Tabell 2.9: Lastreduktionsfaktorer för snölast [5][6].

|                                     | $\psi_0$ | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
|-------------------------------------|----------|----------|----------|
| $s_k \geq 3 \text{ kN/m}^2$         | 0,8      | 0,6      | 0,2      |
| $2,0 \leq s_k < 3,0 \text{ kN/m}^2$ | 0,7      | 0,4      | 0,2      |
| $1,0 \leq s_k < 2,0 \text{ kN/m}^2$ | 0,6      | 0,3      | 0,1      |

Det framgår att lastreduktionsfaktorn har i stort sett samma värde i alla de regelverk som behandlas i rapporten. Från och med EKS 9 införs det dock flera olika lastreduktionsfaktorer  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  och  $\psi_2$  som tar hänsyn till vilken lastkombination som används. I föregående regelverk används samma lastreduktionsfaktor till de olika lastkombinationerna. Detta står mer utförligt beskrivet i nästa stycke.

### 2.2.7 Lastkombinationer i brott- och bruksgränstillstånd

Partialkoefficientmetoden som idag används i många utvecklade länder kom först till användning i *PFS 1979:7, bärande konstruktioner*. Det som utmärker partialkoefficientmetoden är att man har separata säkerhetsfaktorer för olika parametrar som ingår i dimensioneringsprocessen. Detta gör att man kan anpassa säkerhetsfaktorn efter osäkerheten för en specifik parameter. Även tillämpningen av partialkoefficientmetoden har kommit att förändras med tiden.

#### PFS 1979:7, Bärande konstruktioner [1]

Tabell 2.10: Partialkoefficienter för brottgränstillståndet i allmänhet [1].

| Lasttyp                             | Lastvärde  | Partialkoefficient $\gamma_f$ |
|-------------------------------------|------------|-------------------------------|
| Permanent laster                    | $G_k$      | 1,0 och 0,8 <sup>b,c</sup>    |
| En variabel last                    | $Q_k$      | 1,3 <sup>c</sup>              |
| Övriga variabla laster <sup>a</sup> | $\psi Q_k$ | 1,0                           |

<sup>a</sup> Antalet laster för vilka  $\psi \leq 0,5$  får begränsas till 3.

<sup>b</sup> Värdena 1,0 och 0,8 gäller alternativt, varvid den ogynnsammaste lasteffekten skall beaktas. Laster av samma slag (t.ex. egentyngd för samma material) får åsättas samma partialkoefficient.

<sup>c</sup> Vid dimensionering med hänsynstagande till utmattning sätts  $\gamma_f = 1,0$ .

Tabell 2.11: Partialkoefficienter för bruksgränstillståndet i allmänhet [1].

| Lasttyp                      | Lastvärde  | Partialkoefficient $\gamma_f$ |
|------------------------------|------------|-------------------------------|
| Permanenta laster            | $G_k$      | 1,0                           |
| Variabla laster <sup>a</sup> | $\psi Q_k$ | 1,0                           |

<sup>a</sup> Om endast långtidslaster är av betydelse får i allmänhet lägre lastvärden än det vanliga lastvärdet  $\psi Q_k$  tillämpas.

Det framgår att partialkoefficientmetoden var mindre komplicerad än vad den är idag. Flera olika lastkombinationer beaktas inte, utan endast en standardlastkombination används.

#### BFS 1988:18, Boverkets nybyggnadsregler [2]

I nästa regelverk har istället flera lastkombinationer kommit till användning. Till brottgränstillståndet hör nu fyra olika lastkombinationer.

Även vid bruksgränstillståndet beaktas nu lastkombinationer. Här finns två olika lastkombinationer att beakta

Tabell 2.12: Föreskrivna lastkombinationer 1-4, tillhörande partialkoefficienten  $\gamma_f$  och lastvärden för brottgränstillståndet i allmänhet [2].

| Last                                                         | Lastkombination |                |            |            |
|--------------------------------------------------------------|-----------------|----------------|------------|------------|
|                                                              | 1               | 2              | 3          | 4          |
| Permanent last<br>Tyngd av byggnadsdelar $G_k$ , bunden last | $1,0 G_k$       | $0,85 G_k$     | $1,15 G_k$ | $1,0 G_k$  |
| $\Delta G_k$ , fri last                                      | —               | —              | —          | $-0,1 G_k$ |
| Tyngd av jord och vatten under medelvattenytan $G_k$         | $1,0 G_k$       | $1,0 G_k$      | $1,0 G_k$  | $1,0 G_k$  |
| Variabel last<br>En variabel last $Q_k$                      | $1,30 Q_k$      | $1,30 Q_k$     | —          | —          |
| Övriga variabla laster, vanligt värde                        | $1,0 \psi Q_k$  | $1,0 \psi Q_k$ | —          | —          |

Tabell 2.13: Föreskrivna lastkombinationer 8 och 9, tillhörande partialkoefficienten  $\gamma_f$  och lastvärden en konstruktion i bruksgränstillstånd [2].

| Last                                                | Lastkombination |                |
|-----------------------------------------------------|-----------------|----------------|
|                                                     | 8               | 9              |
| Permanent laster                                    | $1,0 G_k$       | $1,0 G_k$      |
| Variabel last                                       |                 |                |
| En variabel last med karakteristiskt värde $Q_k$    | $1,0 Q_k$       | —              |
| Övriga variabla laster med vanligt värde $\psi Q_k$ | $1,0 \psi Q_k$  | —              |
| Alla variabla laster med vanligt värde $\psi Q_k$   | —               | $1,0 \psi Q_k$ |

BFS 2013:10, EKS 9 och BFS 2015:6, EKS 10 [5][6]

En ändring som kom med Eurokod är att partialkoefficienten för säkerhetsklass, som beaktar konsekvenserna av ett brott, nu läggs på lasten. Tidigare låg denna på materialets hållfasthet. Detta visas i tabell 2.14 och 2.15.

I de senaste regelverken beaktas tre lastkombinationer för både brott- och bruksgränstillståndet. Förutom skillnaderna med lastkombinationerna har partialkoefficientmetoden följt samma stil genom de olika regelverken. Inga större förändringar har gjorts. Partialkoefficienten har endast förändrats med någon decimal. En stor förändring är dock att spännkraften,  $P$ , beaktas i EKS 9 och EKS 10.



Tabell 2.14: Lastkombinationer i brottgränstillståndet för STR och EQU.  
 Partialkoefficient  $\gamma_d$  för säkerhetsklass enligt tabell 1.2 (EKS 1).  
 Gråmarkerad kombination blir dimensionerande i de flesta fall [5][6].

| <b>Lastkombination</b>                            |                                     |                                     |                                     |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|                                                   | <b>STR<sup>2</sup></b>              | <b>STR<sup>2</sup></b>              | <b>EQU<sup>2</sup></b>              |
| <b>Uppsättning<sup>2</sup></b>                    | <b>B</b>                            | <b>B</b>                            | <b>A</b>                            |
| <b>Ekvation<sup>2</sup></b>                       | <b>6.10a<sup>3</sup></b>            | <b>6.10b<sup>4</sup></b>            | <b>6.10<sup>5</sup></b>             |
| <b>Permanent last G</b>                           |                                     |                                     |                                     |
| - ogynnsam $G_{kj,sup}$                           | $\gamma_d 1,35 G_{kj,sup}$          | $\gamma_d 1,2 G_{kj,sup}$           | $\gamma_d 1,1 G_{kj,sup}$           |
| - gynnsam $G_{kj,inf}$                            | $1,0 G_{kj,inf}$                    | $1,0 G_{kj,inf}$                    | $0,9 G_{kj,inf}$                    |
| <b>Spännkraft P</b>                               |                                     |                                     |                                     |
| - ogynnsam $P_k$                                  | $\gamma_d 1,35 P_k$                 | $\gamma_d 1,35 P_k$                 |                                     |
| - gynnsam $P_k$                                   | $1,0 P_k$                           | $1,0 P_k$                           |                                     |
| <b>Variabel last Q</b>                            |                                     |                                     |                                     |
| - huvudlast $Q_{k1}$                              | —                                   | $\gamma_d 1,5 Q_{k,1}^1$            | $\gamma_d 1,5 Q_{k,1}^1$            |
| - övriga var. Laster<br>$\sum \psi_{0,i} Q_{k,i}$ | $\gamma_d 1,5 \psi_{0,i} Q_{k,i}^1$ | $\gamma_d 1,5 \psi_{0,i} Q_{k,i}^1$ | $\gamma_d 1,5 \psi_{0,i} Q_{k,i}^1$ |

<sup>1</sup> När lasten är gynnsam: 0

<sup>2</sup> Enligt SS-EN 1990

<sup>3</sup> Dimensionerande vid dominerande permanent last

<sup>4</sup> Vanligtvis dimensionerande

<sup>5</sup> Kontroll av statisk jämvikt

Tabell 2.15: Lastkombinationer i bruksgränstillståndet [5][6].

| <b>Lastkombination</b>                            |                                   |                             |                                    |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
|                                                   | <b>Karakteristisk<sup>2</sup></b> | <b>Frekvent<sup>3</sup></b> | <b>Kvasi-permanent<sup>4</sup></b> |
| <b>Ekvation<sup>1</sup></b>                       | <b>6.14b</b>                      | <b>6.15b</b>                | <b>6.16b</b>                       |
| <b>Permanent last</b><br>$G_{k,j}$                | $1,0G_{k,j}$                      | $1,0G_{k,j}$                | $1,0G_{k,j}$                       |
| <b>Spännkraft <math>P</math></b>                  | $1,0P$                            | $1,0P$                      | $1,0P$                             |
| <b>Variabel last <math>Q</math></b>               |                                   |                             |                                    |
| - huvudlast $Q_{k1}$                              | $1,0Q_{k,1}$                      | $\psi_{1,1}Q_{k,1}$         | -                                  |
| - övriga var.<br>Laster $\sum \psi_{j,i} Q_{k,i}$ | $\psi_{0,i}Q_{k,i}$               | $\psi_{2,i}Q_{k,i}$         | $\psi_{2,i}Q_{k,i}$                |

<sup>1</sup> Enligt SS-EN 1990

<sup>2</sup> Motsvarar permanent skada – irreversibla gränstillstånd

<sup>3</sup> Motsvarar tillfällig olägenhet – reversibla gränstillstånd

<sup>4</sup> Motsvarar långtidslast – långtidseffekter och effekter rörande bärverkets utseende

## 2.3 Sammanfattning av förändringar

Vid de tidigare regelverk som behandlats i rapporten har snölast och partialkoefficientmetoden varit relativt enkel. Ju längre tiden gått har formler och regler blivit allt mer komplicerade, faktorer som inte tidigare beaktats har istället blivit mer relevanta. Exempel på detta är den termiska koefficienten samt exponeringsfaktorn. Samtidigt är vissa av de saker som har kommit med den senaste EKS 10 inte nytänkande utan mer en tillbakagång till tidigare regler. Ett tydligt exempel på detta är hur formfaktorn gått tillbaka till tidigare tankesätt.

### 3 Dimensionering av balkar

Fokus för detta arbete är effekterna av förändrad snölast i EKS 10 jämfört med EKS 9 på raka takbalkar och sadelbalkar av limträ. För raka balkar antas uppstolpat tak för att uppnå olika taklutningar.

För att ta reda på erforderliga dimensioner på de raka balkarna, sadelbalkarna samt pelare i yttervägg (med hänsyn till upplagstryck) måste alla de lasteffekter som verkar på balkarna tas fram. Dessa lasteffekter står beskrivna i kommande stycken. Dimensionen som är av största intresse är höjden på balk och pelare, för att få fram dessa värden måste vissa antaganden göras. Dessa presenteras efterhand samt i bilaga A.

#### 3.1 Laster

##### 3.1.1 Egentyngd

Egentyngden är en permanent samt bunden last. Den är summan av bärverkets tyngd samt tyngden av övriga byggnadsdelar. Egentyngder som verkar i detta fallet är yttertaket, där åsar, ev. uppstolpning samt takbalkarnas egentyngd ingår. Egentyngden för yttertak samt takbalkar beräknas utifrån konstruktionens utseende.

Egentyngd för tak:  $G_{tak}$

##### 3.1.2 Snölast

Snölasten står beskriven i kapitel 2 i rapporten. Det är snölasten som är av största intresse under jämförelsen mellan EKS 9 och EKS 10. Det är formfaktorernas olika värden som bidrar till den största förändringen för snölasten, även detta beskrivs i kapitel 2.

#### Snölast EKS 9

$$s = \mu_i C_e C_t s_k$$

$\mu_1$  hämtas från figur 2.9

$C_e$  hämtas från tabell 2.6

$C_t$  hämtas från kapitel 2.2.5

$s_k$  hämtas från figur 2.3

Snölasten är här konstant över hela taket.

## Snölast EKS 10

$$s = \mu_i C_e C_t s_k$$

$\mu_1$  och  $\mu_4$  hämtas från figur 2.11

$C_e$  hämtas från tabell 2.6

$C_t$  hämtas från kapitel 2.2.5

$s_k$  hämtas från figur 2.3

Detta ger följande:

$$s_1 = \mu_4 C_e C_t s_k$$

$$s_2 = \mu_1 C_e C_t s_k$$

Här är  $s_1$  den största lasten.

### 3.1.3 Vindlast

”Vindlast är en variabel last och uttrycks som *per ytenhet riktad vinkelrätt mot den aktuella ytan* och beskriver effekten av övertryck eller undertryck mot byggnadens ytskikt” [10].

För vind mot gaveln verkar vindkraften sugande på hela taket och kommer att medföra en totalt sett mindre last på taket. Detta innebär att denna vindriktning bortses från.

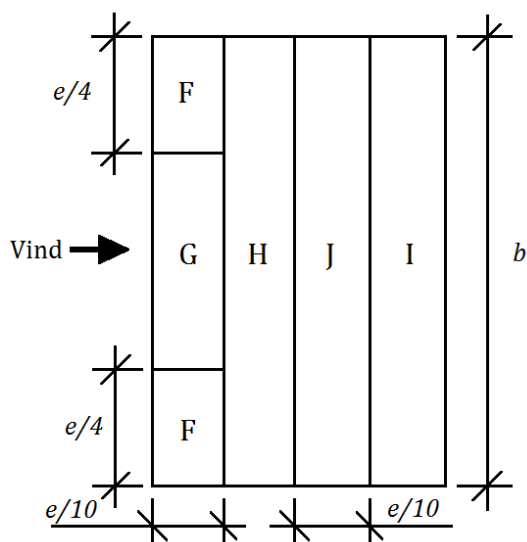
Vindlastens horisontella komponent bidrar till upplagstrycket vilket även bortses från.

För vind mot långsidan gäller följande [12]:

$$w = q_p(z_e) c_{pe} + q_p(z_i) c_{pi}$$

Kommun, byggnadens höjd,  $z$ , och terrängtyp ger  $q_p$  som hämtas från tabell 1.12 [12].

Beroende på taklutning fås  $c_{p,10}$ -värden för zonerna F, G, H, I och J. Där zonerna F, G och H verkar på lovartsidan och zonerna I och J verkar på läsidan.



Figur 3.1: Zonindelning och beteckningar för sadeltak [12].

Tabell 3.1: Formfaktorer för utvärdig vindlast på sadel- och motfallstak. Vind mot långsida [12].

| $\alpha$ | Zon för vindriktning $\theta=0^\circ$ |            |             |            |             |            |             |            |             |            |
|----------|---------------------------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
|          | F                                     |            | G           |            | H           |            | I           |            | J           |            |
|          | $c_{pe,10}$                           | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| -5       | -2,3                                  | -2,5       | -1,2        | -2,0       | -0,8        | -1,2       | +0,2        |            | +0,2        |            |
|          |                                       |            |             |            |             |            | -0,6        |            | -0,6        |            |
| 5        | -1,7                                  | -2,5       | -1,2        | -2,0       | -0,6        | -1,2       | -0,6        |            | +0,2        |            |
|          | +0,0                                  |            | +0,0        |            | +0,0        |            |             |            | -0,6        |            |
| 15       | -0,9                                  | -2,0       | -0,8        | -1,5       | -0,3        |            | -0,4        |            | -1,0        | -1,5       |
|          | +0,2                                  |            | +0,2        |            | +0,2        |            | +0,0        |            | +0,0        | +0,0       |
| 30       | -0,5                                  | -1,5       | -0,5        | -1,5       | -0,2        |            | -0,4        |            | -0,5        |            |
|          | +0,7                                  |            | +0,7        |            | +0,4        |            | +0,0        |            | +0,0        |            |

Uppdelat på två takhalvor beräknas ett viktat  $c_1$  för den ena takhalvan och  $c_2$  för den andra.

$c_1$  antas verka på samma takhalva som  $s_1$  och  $c_2$  på samma takhalva som  $s_2$ . Det vill säga att vinden har medfört att det ligger mer snö på ena takhalvan och att vindriktningen sedan vänt vilket medför ett tryck på samma takhalva som majoriteten av snön ligger. Detta fall ger maximalt osymmetrisk last.

Med en vindlast som verkar tryckande på takets ovansida blir det farligaste lastfallet att den inre vindlasten,  $c_{pi}$ , verkar sugande.

Med taklutning beräknas den vertikala komponenten av vindlasten enligt följande:

$$w_1 = (q_p c_1 + q_p c_{pi}) \cos(\alpha)$$

$$w_2 = (q_p c_2 + q_p c_{pi}) \cos(\alpha)$$

Finns det olika formfaktorer på samma takhalva väljs den formfaktor som ger störst last och antas verka över hela takhalvan.

#### 3.1.4 Dimensionerande last

För att kunna ta fram dimensioner på takbalkar och upplagslängd måste den dimensionerande lasten tas fram. Detta görs genom att räkna på lastkombinationen STR 6.10b för brottgränstillståndet samt karakteristisk lastkombination för bruksgränstillståndet. Vid dimensionering i brottgränstillstånd beaktas det att konstruktionen inte ska gå till brott. Bruksgränstillståndet beaktar hur konstruktioner fungerar på ett bra sätt vid normal användning.

##### Dimensionerande last i brottgränstillståndet

Dimensionering i brottgränstillståndet görs med hänsyn till tabell 2.14 och lastkombination STR 6.10b enligt föregående avsnitt.

##### **Med vind som huvudlast:**

$$q_1 = \gamma_d 1,5 w_1 + \gamma_d 1,5 \psi_{0,i} s_1 + \gamma_d 1,2 G_k$$

$$q_2 = \gamma_d 1,5 w_2 + \gamma_d 1,5 \psi_{0,i} s_2 + \gamma_d 1,2 G_k$$

$\gamma_d$  är en faktor som beror av säkerhetsklass

$\psi_0$  är en reduktionsfaktor som beror av  $s_k$ -värdet

**Med snö som huvudlast:**

$$q_1 = \gamma_d 1,5s_1 + \gamma_d 1,5\psi_{0,i}w_1 + \gamma_d 1,2G_k$$

$$q_2 = \gamma_d 1,5s_2 + \gamma_d 1,5\psi_{0,i}w_2 + \gamma_d 1,2G_k$$

**Dimensionerande last i bruksgränstillståndet**

Dimensionering i bruksgränstillståndet görs med hänsyn till tabell 2.15 och karakteristisk lastkombination enligt föregående avsnitt.

**Med vind som huvudlast:**

$$q_1 = 1,0w_1 + \psi_{0,i}s_1 + 1,0G_k$$

$$q_2 = 1,0w_2 + \psi_{0,i}s_2 + 1,0G_k$$

**Med snö som huvudlast:**

$$q_1 = 1,0s_1 + \psi_{0,i}w_1 + 1,0G_k$$

$$q_2 = 1,0s_2 + \psi_{0,i}w_2 + 1,0G_k$$

**3.1.5 Last på balk**

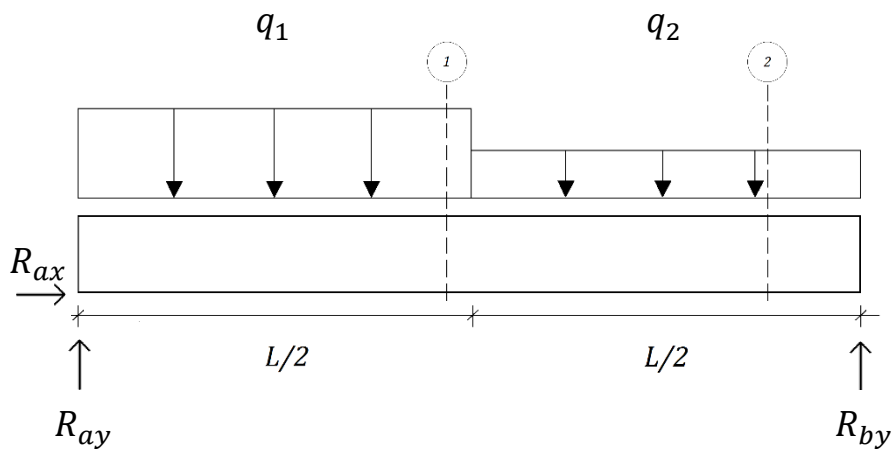
Den jämnt utbredda lasten på balkar beräknas. För att göra detta multipliceras de dimensionerande lasterna med c/c-avståndet för att få ut lasten i kN/m.

**3.2 Lasteffekter**

Ett lastfall som är av speciellt intresse är det som motsvarar två olika lastvärden på respektive takhalva. Eftersom detta lastfall inte finns tillgängligt i vanliga lastfallstabeller så tas uttryck för upplagskrafter, tvärkraft, moment samt nedböjning fram med hjälp av jämvikt och elastiska linjens ekvation. Taket förutsätts vara symmetriskt, d.v.s. ändringen i last inträffar mitt på balken. Balkens längd betecknas  $L$  och de två olika lastvärdena betecknas  $q_1$  och  $q_2$ . Balken förutsätts vara fritt upplagd.

### 3.2.1 Upplagskraft

För att ta reda på de uppåtriktade krafterna som verkar på takbalken måste jämviktsekvationer ställas upp enligt friläggningen i figur 3.2.



Figur 3.2: Balk med två olika utbredda laster.

Upplagskrafterna bestäms:

$$(\rightarrow): R_{ax} = 0$$

$$\overset{\curvearrowright}{(A)}: R_{by} \cdot L - q_2 \left( \frac{L}{2} \cdot \frac{3L}{4} \right) - q_1 \left( \frac{L}{2} \cdot \frac{L}{4} \right) = 0$$

$$\rightarrow R_{by} = L \left( \frac{q_1 + 3q_2}{8} \right)$$

$$\overset{\curvearrowleft}{(B)}: R_{ay} \cdot L - q_1 \left( \frac{L}{2} \cdot \frac{3L}{4} \right) - q_2 \left( \frac{L}{2} \cdot \frac{L}{4} \right) = 0$$

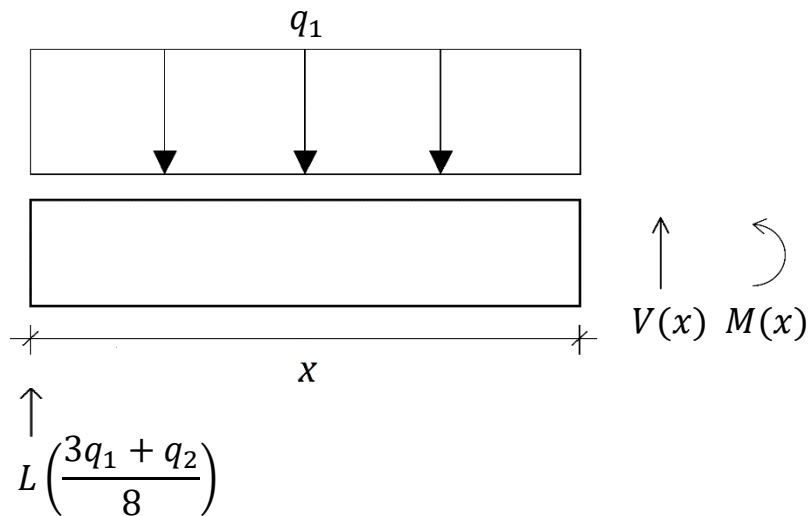
$$\rightarrow R_{ay} = L \left( \frac{3q_1 + q_2}{8} \right)$$

### 3.2.2 Tvärkraft och moment

För att få fram ekvationer som beskriver hur tvärkraft och moment påverkar takbalken måste snitt göras i balken. Jämviktsekvationer sätts sedan upp för att till sist lösa ut tvärkraft och moment.



Snitt 1:  $0 < x < 0,5L$



Figur 3.3: Frilagd balkdel, snitt 1.

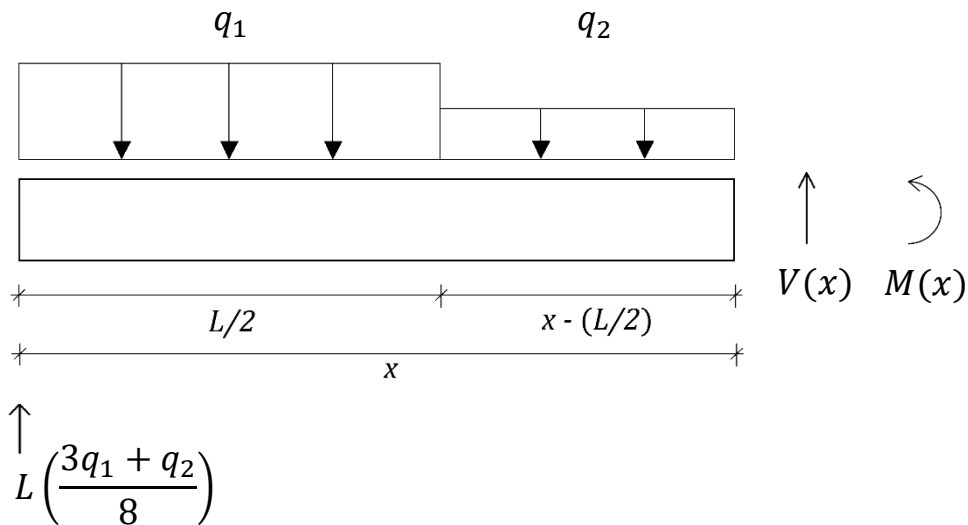
$$(\uparrow): V(x) + L \left( \frac{3q_1 + q_2}{8} \right) - q_1 x = 0$$

$$\rightarrow V(x) = q_1 x - L \left( \frac{3q_1 + q_2}{8} \right)$$

$$(\curvearrowright) : M(x) + q_1 x \cdot \frac{x}{2} - L \left( \frac{3q_1 + q_2}{8} x \right) = 0$$

$$M(x) = \frac{Lx(3q_1 + q_2) - 4q_1 x^2}{8}$$

Snitt 2:  $0,5L < x < L$



Figur 3.4: Frilagd balkdel, snitt 2.

$$(\uparrow): V(x) + L \left( \frac{3q_1 + q_2}{8} \right) - q_1 \left( \frac{L}{2} \right) - q_2 \left( x - \frac{L}{2} \right) = 0$$

$$\rightarrow V(x) = \frac{q_1 L - 5q_2 L + 8q_2 x}{8}$$

$$(\curvearrow): M(x) - L \left( \frac{3q_1 + q_2}{8} \right) x + q_2 \cdot \left( x - \frac{L}{2} \right) \cdot \frac{\left( x - \frac{L}{2} \right)}{2} + q_1 \cdot \frac{L}{2} \cdot \left( \frac{L}{4} + \left( x - \frac{L}{2} \right) \right) = 0$$

$$\rightarrow M(x) = \frac{-4q_2 x^2 + 5q_2 Lx - q_1 Lx + q_1 L^2 - q_2 L^2}{8}$$

För att verifiera att uttrycken stämmer med tabellfall [21] för fallet konstant last sätts  $q_1 = q_2 = q$ .

Kontroll att tvärkraft vid snitt 1 stämmer:

$$V(x) = qx - L \left( \frac{3q + q}{8} \right)$$

$$\rightarrow V(x) = q \left( x - \frac{L}{2} \right)$$

Kontroll av att moment vid snitt 1 stämmer:

$$M(x) = \frac{Lx(3q + q) - 4qx^2}{8}$$

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

Kontroll att tvärkraft vid snitt 2 stämmer:

$$V(x) = \frac{qL - 5qL + 8qx}{8}$$

$$\rightarrow V(x) = q\left(x - \frac{L}{2}\right)$$

Kontroll av att moment vid snitt 2 stämmer:

$$M(x) = \frac{-4qx^2 + 5qLx - qLx + qL^2 - qL^2}{8}$$

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

Utrycken stämmer med lastfall 3 [12].

Momentet har ett extremvärde där tvärkraften är noll. Därför beräknas det  $x$  där tvärkraften är noll i de olika snitten.

Snitt 1:  $0 \leq x \leq 0,5L$

$$V(x) = q_1x - L\left(\frac{3q_1 + q_2}{8}\right) = 0$$

$$\rightarrow x = L\left(\frac{3q_1 + q_2}{8q_1}\right)$$

Om lösningen för  $x$  ligger inom intervallet fås ett maxvärde på momentet där. Eftersom  $q_1 > q_2$  så kommer maxmomentet alltid att ligga i detta snitt.

Maxmomentet blir

$$M(x) = \frac{Lx(3q_1 + q_2) - 4q_1x^2}{8}$$

$$\rightarrow M_{max} = \frac{L \left( L \left( \frac{3q_1 + q_2}{8q_1} \right) \right) (3q_1 + q_2) - 4q_1 \left( L \left( \frac{3q_1 + q_2}{8q_1} \right) \right)^2}{8}$$

$$\rightarrow M_{max} = \frac{9q_1^2L^2 + 6q_1q_2L^2 + q_2^2L^2}{128q_1}$$

Kontroll av att momentet stämmer i fallet för jämt utbredd last d.v.s.

$$q_1 = q_2 = q:$$

$$q_1 = q_2 = q \rightarrow M(x) = \frac{qL^2}{8}$$

### 3.2.3 Utböjning

Balkens nedböjning bestäms med hjälp av elastiska linjens ekvation [21]. Här utnyttjas det att momentfördelningen redan har bestämts längs balken och därför behöver det endast integreras två gånger. Detta gäller för konstant EI, dvs. raka balkar och för att särskilja uttrycken för det vänstra respektive högra intervallet markeras de här med index 1 respektive 2.

$$0 \leq x \leq 0,5L$$

$$M_1(x) = EI \frac{d^2v_1}{dx^2} = Lx \left( \frac{3q_1 + q_2}{8} \right) - q_1 \frac{x^2}{2} = x \left( \frac{3q_1L + q_2L}{8} \right) - x^2 \left( \frac{q_1}{2} \right)$$

$$\frac{dv_1}{dx} = x^2 \left( \frac{3q_1L + q_2L}{16EI} \right) - x^3 \left( \frac{q_1}{6EI} \right) + C_1$$

$$v_1(x) = x^3 \left( \frac{3q_1L + q_2L}{48EI} \right) - x^4 \left( \frac{q_1}{24EI} \right) + C_1x + C_2$$

$$0,5L \leq x \leq L$$

$$\begin{aligned} M_2(x) &= EI \frac{d^2v_2}{dx^2} = q_1 \left( \frac{L^2 - Lx}{8} \right) - q_2 \left( \frac{L^2 - 5Lx + 4x^2}{8} \right) \\ &= \left( \frac{q_1L^2 - q_2L^2}{8} \right) + x \left( \frac{5q_2L - q_1L}{8} \right) - x^2 \left( \frac{4q_2}{8} \right) \end{aligned}$$

$$\frac{dv_2}{dx} = x \left( \frac{q_1 L^2 - q_2 L^2}{8EI} \right) + x^2 \left( \frac{5q_2 L - q_1 L}{16EI} \right) - x^3 \left( \frac{4q_2}{24EI} \right) + C_3$$

$$v_2(x) = x^2 \left( \frac{q_1 L^2 - q_2 L^2}{16EI} \right) + x^3 \left( \frac{5q_2 L - q_1 L}{48EI} \right) - x^4 \left( \frac{4q_2}{96EI} \right) + C_3 x + C_4$$

De fyra integrationskonstanterna kan bestämmas med hjälp av följande rand- och skarvvillkor:

$$v_1(0) = 0$$

$$v_2(L) = 0$$

$$v_1(0,5L) = v_2(0,5L)$$

$$\frac{dv_1}{dx}(0,5L) = \frac{dv_2}{dx}(0,5L)$$

Det första randvillkoret leder till

$$v_1(0) = 0 \rightarrow$$

$$0 - 0 + 0 + C_2 = 0 \rightarrow$$

$$C_2 = 0$$

De tre övriga villkoren leder till tre ekvationer där  $C_1$ ,  $C_3$  och  $C_4$  är obekanta.

$$v_2(L) = 0$$

$$\rightarrow L^2 \left( \frac{q_1 L^2 - q_2 L^2}{16EI} \right) + L^3 \left( \frac{5q_2 L - q_1 L}{48EI} \right) - L^4 \left( \frac{4q_2}{96EI} \right) + LC_3 + C_4 = 0$$

$$\rightarrow LC_3 + C_4 = (-L^4) \left( \frac{q_1}{24EI} \right)$$

$$v_1(0,5L) = v_2(0,5L)$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \left(\frac{L}{2}\right)^3 \left(\frac{3q_1L + q_2L}{48EI}\right) - \left(\frac{L}{2}\right)^4 \left(\frac{q_1}{24EI}\right) + C_1 \left(\frac{L}{2}\right) + C_2 \\ = \left(\frac{L}{2}\right)^2 \left(\frac{q_1L^2 - q_2L^2}{16EI}\right) + \left(\frac{L}{2}\right)^3 \left(\frac{5q_2L - q_1L}{48EI}\right) - \left(\frac{L}{2}\right)^4 \left(\frac{4q_2}{96EI}\right) \\ + C_3 \left(\frac{L}{2}\right) + C_4 \end{aligned}$$

$$\rightarrow \left(\frac{L}{2}\right) C_3 + C_4 - \left(\frac{L}{2}\right) C_1 = L^4 \left(\frac{q_2 - q_1}{128EI}\right)$$

$$\frac{dv_1}{dx}(0,5L) = \frac{dv_2}{dx}(0,5L)$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \left(\frac{L}{2}\right)^2 \left(\frac{3q_1L + q_2L}{16EI}\right) - \left(\frac{L}{2}\right)^3 \left(\frac{q_1}{6EI}\right) + C_1 \\ = \left(\frac{L}{2}\right) \left(\frac{q_1L^2 - q_2L^2}{8EI}\right) + \left(\frac{L}{2}\right)^2 \left(\frac{5q_2L - q_1L}{16EI}\right) - \left(\frac{L}{2}\right)^3 \left(\frac{4q_2}{24EI}\right) \\ + C_3 \end{aligned}$$

$$\rightarrow C_1 - C_3 = L^3 \left(\frac{q_1 - q_2}{48EI}\right)$$

Från  $v_2(L) = 0$ ,  $v_1(0,5L) = v_2(0,5L)$  och  $\frac{dv_1}{dx}(0,5L) = \frac{dv_2}{dx}(0,5L)$  fås följande ekvationssystem:

$$\begin{cases} (-L^4) \left(\frac{q_1}{24EI}\right) = LC_3 + C_4 & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} L^4 \left(\frac{q_2 - q_1}{128EI}\right) = \left(\frac{L}{2}\right) C_3 + C_4 - \left(\frac{L}{2}\right) C_1 & (2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} L^3 \left(\frac{q_1 - q_2}{48EI}\right) = C_1 - C_3 & (3) \end{cases}$$

Lösning av ekvationssystemet ger:

$$(2) \cdot 2 + (3) \cdot L \rightarrow$$

$$2 \left( L^4 \left(\frac{q_2 - q_1}{128EI}\right) \right) + L^4 \left(\frac{q_1 - q_2}{48EI}\right) = 2 \left( \left(\frac{L}{2}\right) C_3 + C_4 - \left(\frac{L}{2}\right) C_1 \right) + LC_1 - LC_3$$

$$\rightarrow C_4 = L^4 \left(\frac{q_1 - q_2}{384EI}\right)$$

Insättning av  $C_4$  i (1) ger  $\rightarrow$

$$(-L^4) \left( \frac{q_1}{24EI} \right) = LC_3 + L^4 \left( \frac{q_1 - q_2}{384EI} \right)$$

$$\rightarrow C_3 = L^3 \left( \frac{-17q_1 + q_2}{384EI} \right)$$

Insättning av  $C_3$  i (3) ger  $\rightarrow$

$$L^3 \left( \frac{q_1 - q_2}{48EI} \right) = C_1 - L^3 \left( \frac{17q_1 - q_2}{384EI} \right)$$

$$\rightarrow C_1 = L^3 \left( \frac{-9q_1 - 7q_2}{384EI} \right)$$

Med hjälp av uttrycken för  $v_1$  och  $v_2$  kan nu utböjningen bestämmas.

$$v_1(x) = x^3 \left( \frac{3q_1L + q_2L}{48EI} \right) - x^4 \left( \frac{q_1}{24EI} \right) + L^3 \left( \frac{-9q_1 - 7q_2}{384EI} \right) x$$

$$v_1(0,5L) = \left( \frac{L}{2} \right)^3 \left( \frac{3q_1L + q_2L}{48EI} \right) - \left( \frac{L}{2} \right)^4 \left( \frac{q_1}{24EI} \right) + C_1 \left( \frac{L}{2} \right)$$

$$\rightarrow v_1(0,5L) = \frac{L^4}{384EI} (-2,5q_1 - 2,5q_2)$$

En kontroll av att mittutböjningen för fallet konstant last stämmer med lastfall 3 [12] genomförs.

För  $q_1 = q_2 = q$  fås:

$$v_1(0,5L) = \frac{5qL^4}{384EI}$$

$$v_2(x) = x^2 \left( \frac{q_1L^2 - q_2L^2}{16EI} \right) + x^3 \left( \frac{5q_2L - q_1L}{48EI} \right) - x^4 \left( \frac{4q_2}{96EI} \right) \\ + L^3 \left( \frac{-17q_1 + q_2}{384EI} \right) x + L^4 \left( \frac{q_1 - q_2}{384EI} \right)$$

$$v_2(0,5L) = \left(\frac{L}{2}\right)^2 \left(\frac{q_1L^2 - q_2L^2}{16EI}\right) + \left(\frac{L}{2}\right)^3 \left(\frac{5q_2L - q_1L}{48EI}\right) - \left(\frac{L}{2}\right)^4 \left(\frac{4q_2}{96EI}\right) + C_3 \left(\frac{L}{2}\right) + C_4$$

$$\rightarrow v_2(0,5L) = \frac{L^4}{384EI} (-2,5q_1 - 2,5q_2)$$

En kontroll av att mittutböjningen för fallet konstant last stämmer med lastfall 3 [12] genomförs.

För  $q_1 = q_2 = q$  fås:

$$v_2(0,5L) = \frac{5qL^4}{384EI}$$

I beräkningarna har positiv riktning för last definierats nedåt men positiv riktning för utböjning definierats uppåt. Detta förklarar varför utböjningen får ett negativt värde.

### 3.3 Bärförmåga och dimensioneringskriterier

I detta avsnitt utnyttjas uttryck för laster och snittkrafter från föregående kapitel samt dimensioneringskriterier för att ta fram uttryck för vilken balkhöjd som krävs för att uppnå tillräcklig bärförmåga och styvhet. Dimensionering görs med avseende på moment, tvärkraft, upplagstryck och nedböjning, samt för sadelbalkar även tvärdragspänning.

#### 3.3.1 Moment

För raka balkar gäller nedanstående.

För att ta reda på höjden på takbalken, beroende på momentkapacitet,  $M_{Rd}$ , används formeln för böjmomentkapacitet [22]. Höjden löses ut ur formeln och det dimensionerande momentet, som tagits fram i förra avsnittet, sätts sedan in i samma formel. Momentkapaciteten bestäms enligt:

$$M_{Rd} = f_{md} W k_{crit}$$

$f_{md}$  är den dimensionerande böjhållfastheten och fås som [12]

$$f_{md} = \frac{k_{mod} f_{mk}}{\gamma_M}$$



För vissa material, som limträ, kan storlekseffekten beaktas för tvärsnittshöjder mindre än 600 mm. Detta beaktas dock inte i detta arbete.

$f_{mk}$  är karakteristisk böjhållfasthet för limträ,  $k_{mod}$  är en reduktionsfaktor som beaktar inverkan av fukt och långtidsbelastning och  $\gamma_M$  är en säkerhetsfaktor som tar hänsyn till spridning i materialegenskaperna.

$W$  är det elastiska böjmotståndet, som för rektangulärt tvärsnitt fås som

$$W = \frac{bh^2}{6}$$

där  $b$  och  $h$  är tvärsnittets bredd och höjd.

$k_{crit}$  är en reduktionsfaktor som beaktar risken för vippning. Detta ger:

$$M_{Rd} = \frac{k_{mod}f_{mk}}{\gamma_M} \frac{bh^2}{6} k_{crit}$$

Erforderlig höjd på balken blir då

$$h = \sqrt{\frac{M_{Rd}\gamma_M 6}{k_{mod}f_{mk}bk_{crit}}}$$

Maxmoment enligt avsnitt 3.2.2

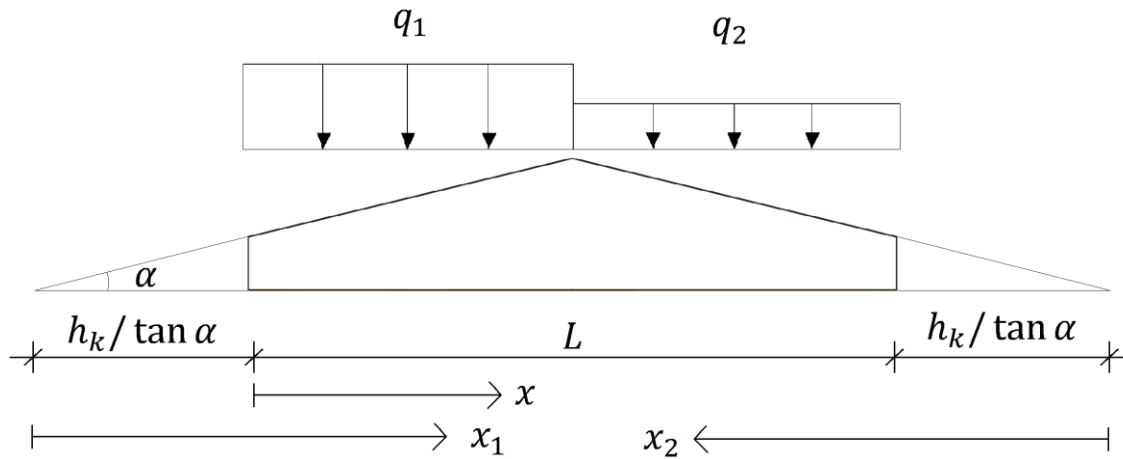
$$M_{Rd} = \frac{9q_1^2L^2 + 6q_1q_2L^2 + q_2^2L^2}{128q_1}$$

Med detta kan balkhöjden beräknas genom följande:

$$h = \sqrt{\frac{(9q_1^2L^2 + 6q_1q_2L^2 + q_2^2L^2)\gamma_M \cdot 6}{128q_1k_{mod}f_{mk}bk_{crit}}}$$

För sadelbalkar gäller följande:

För sadelbalkar fås i allmänhet inte största spänningen vid momentmax eftersom tvärsnittets höjd varierar. För detta fall bestäms erforderlig tvärsnittshöjd numeriskt genom att kontrollera ett stort antal snitt längs med balken. För att underlätta implementeringen av detta, samt beräkning av utböjning, modifieras här uttrycket för  $M(x)$  längs balken.



Figur 3.6: Sadelbalk med två olika utbredda laster.

Tre koordinatsystem:  $x, x_1, x_2$

$$x = x_1 - h_k / \tan \alpha$$

$$x = L + h_k / \tan \alpha - x_2$$

Balkens höjd:

$$\frac{h_k}{\tan \alpha} \leq x_1 \leq \frac{h_k}{\tan \alpha} + \frac{L}{2}$$

$$h(x_1) = \tan \alpha \cdot x_1$$

$$\frac{h_k}{\tan \alpha} \leq x_2 \leq \frac{h_k}{\tan \alpha} + \frac{L}{2}$$

$$h(x_2) = \tan \alpha \cdot x_2$$

Momentfördelning i balken:

$$0 \leq x \leq \frac{L}{2}$$

$$M(x) = -\frac{1}{2} q_1 x^2 + \left( \frac{3q_1 + q_2}{8} \right) Lx$$

$$\frac{L}{2} \leq x \leq L$$

$$M(x) = -\frac{1}{2} q_2 x^2 + \left(\frac{5q_2 - q_1}{8}\right) Lx + \frac{(q_1 - q_2)L^2}{8}$$

För vänster balkhalva används  $x_1$

$$\frac{h_k}{\tan \alpha} \leq x_1 \leq \frac{h_k}{\tan \alpha} + \frac{L}{2}$$

$$M(x_1) = -\frac{1}{2} q_1 \left(x_1 - \frac{h_k}{\tan \alpha}\right)^2 + \left(\frac{3q_1 + q_2}{8}\right) L \left(x_1 - \frac{h_k}{\tan \alpha}\right)$$

Skriver om formeln som:

$$M(x_1) = a_1 x_1^2 + b_1 x_1 + c_1$$

där

$$a_1 = -\frac{q_1}{2}$$

$$b_1 = \frac{(3q_1 + q_2)L}{8} + \frac{q_1 h_k}{\tan \alpha}$$

$$c_1 = -\frac{q_1 h_k^2}{2 \tan^2 \alpha} - \frac{(3q_1 + q_2)L h_k}{8 \tan \alpha}$$

$$M(x_1) = a_1 x_1^2 + b_1 x_1 + c_1$$

För höger balkhalva används  $x_2$

$$\frac{h_k}{\tan \alpha} \leq x_2 \leq \frac{h_k}{\tan \alpha} + \frac{L}{2}$$

$$M(x_2) = -\frac{1}{2} q_2 \left(L + \frac{h_k}{\tan \alpha} - x_2\right)^2 + \left(\frac{5q_2 + q_1}{8}\right) L \left(L + \frac{h_k}{\tan \alpha} - x_2\right) + \frac{(q_1 - q_2)L^2}{8}$$

Skriver om formeln som:

$$M(x_2) = a_2 x_2^2 + b_2 x_2 + c_2$$

där

$$a_2 = -\frac{q_2}{2}$$

$$b_2 = q_2 L + \frac{h_k q_2}{\tan \alpha} - \frac{(5q_2 - q_1)L}{8}$$

$$c_2 = \frac{(q_1 - q_2)L^2}{8} + \frac{(5q_2 - q_1)Lh_k}{8 \tan \alpha} + \frac{(5q_2 - q_1)L^2}{8} - \frac{h_k L q_2}{\tan \alpha} - \frac{h_k^2 q_2}{2 \tan^2 \alpha} - \frac{q_2 L^2}{2}$$

$$M(x_2) = a_2 x_2^2 + b_2 x_2 + c_2$$

Med hjälp av uttrycken för momenten på vänster och höger sida av balken dimensionerades sedan balken numeriskt enligt följande dimensioneringskriterie:

$$\frac{\sigma_{m,a,d}}{k_{m,a} f_{md}} < 1 \quad (1.1)$$

Där  $k_{m,a}$  är en reduktionsfaktor som tar hänsyn till samverkan av böjspänning, skjuvspänning och tryckspänning. Nedanstående formel används för att beräkna  $k_{m,a}$  [19]:

$$k_{m,a} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{md}}{1,5 f_{vd}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2 + \left(\frac{f_{md}}{f_{c,90,d}} \cdot \tan^2(\alpha)\right)^2}}$$

$f_{md}$  är den dimensionerande böjhållfastheten och fås som [12]:

$$f_{md} = \frac{k_{mod} f_{mk}}{\gamma_M}$$

$f_{vk}$  är den dimensionerande skjuvhållfastheten vid längsskjuvning och fås som [12]:

$$f_{vd} = \frac{k_{mod} f_{vk}}{\gamma_M}$$

$f_{c,90,d}$  är den dimensionerande tryckhållfastheten vinkelrätt fibrerna och fås som [12]:

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} f_{c,90,k}}{\gamma_M}$$

$$\sigma_{m,a,d} = \frac{M}{W}$$

Där  $W$  är det elastiska böjmotståndet, som för rektangulärt tvärsnitt fås som

$$W = \frac{bh(x)^2}{6}$$

För att dimensionera balken togs alltså värdet på  $\sigma_{m,a,d}$  fram i olika punkter längs med balken för balkhöjder mellan 0,1-5 meter. Den största spänningen för varje balkhöjd jämfördes sedan mot dimensioneringskriteriet (1.1) för att slutligen dimensionera balken.

### 3.3.2 Tvärkraft

För både raka och sadelbalkar gäller nedanstående.

För att ta reda på höjden på takbalken, beroende på tvärkraftskapacitet, används dimensioneringskriteriet för tvärkraft [12]. Höjden löses ut ur formeln och den dimensionerande tvärkraften, som tagits fram i förra avsnittet, sätts sedan in i samma formel. Tvärkraftskapaciteten för rektangulärt, böjbelastat tvärsnitt bestäms enligt:

$$V_{Rd} = \frac{Af_{vd}}{1,5}$$

$$f_{vd} = \frac{k_{mod}f_{vk}}{\gamma_M}$$

$f_{vk}$  är karakteristisk skjuvhållfasthet vid längsskjuvning

Material, klimatklass och kortvarigaste last ger  $k_{mod}$

Materialkvalitet ger  $f_{vk}$

Materialtyp ger  $\gamma_M$

$$A = b_{ef}h$$

$$b_{ef} = k_{cr}b$$

$k_{cr}$  är sprickmodifieringsfaktorn

Klimatpåverkan ger  $k_{cr}$

$b$  är balkens bredd

$$V_{Rd} = \frac{k_{cr} b h \frac{k_{mod} f_{vk}}{\gamma_M}}{1,5}$$

$$h = \frac{V_{Rd} \gamma_M 1,5}{k_{cr} b k_{mod} f_{vk}}$$

Maximal tvärkraft uppstår vid upplag A, vilket ger att  $V_{Rd} = L \left( \frac{3q_1 + q_2}{8} \right)$

Med detta insatt i formeln fås:

$$h = \frac{L \left( \frac{3q_1 + q_2}{8} \right) \gamma_M 1,5}{k_{cr} b k_{mod} f_{vk}}$$

För sadelbalkar beräknas balkhöjden på samma sätt som ovan, nockhöjden beräknas sedan enligt:

$$h_{nock} = h + \frac{L}{2} \tan \alpha$$

### 3.3.3 Upplagstryck

För att ta reda på erforderlig upplagslängd, beroende på upplagstryck, används dimensioneringsvillkoret för tryck vinkelrätt fibrerna [12]. För raka balkar samt sadelbalkar gäller nedanstående.

Höjden löses ut ur formeln och det dimensionerande upplagstrycket, som tagits fram i förra kapitlet, sätts sedan in i samma formel. Bärförmåga vid prägling av lokalt tryck vinkelrätt mot fiberriktningen bestäms enligt:

$$N_{Rc90d} = k_{c,90} f_{c,90,d} A$$

$k_{c90}$  är en förstöringsfaktor som beaktar belastningslängden. Värdet på  $k_{c90}$  sätts till en konstant beroende på kravet  $l > 400$  mm enligt limträhandbok del 3, kapitel 8 [19].

$A$  är effektiv kontaktarea mellan väggpelaren och takbalken, vilket ger:

$$A = bl$$

där  $b$  är pelarens bredd och  $l$  är upplagslängd, i regel pelartvårsnittets höjd. Pelarens bredd antas densamma som takbalkens bredd. Enligt Eurokod 1995 får upplagslängden,  $l$ , i beräkningarna öka med 30 mm [22].

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod}f_{c,90,k}}{\gamma_M}$$

$f_{c,90,d}$  är dimensionerande tryckhållfasthet vinkelrätt fibrerna

$\gamma_M$  är en partialkoefficient beroende av materialtyp

$f_{c,90,d}$  kommer att få olika värden beroende på ifall man räknar efter EKS 9 eller 10.

Klimatklass, material och den kortvarigaste lasten ger  $k_{mod}$

Materialtyp ger  $\gamma_M$

Upplagstrycket kan beräknas enligt:

$$N_{RC,90,d} = k_{c,90}f_{c,90,d}bl$$

Upplagslängden kan lösas ut enligt följande:

$$l = \frac{N_{RC,90,d}}{k_{c,90}f_{c,90,d}b}$$

Den maximala upplagskraften uppstår vid upplag A, vilket ger att  $N_{RC90d}$  skrivs som:

$$N_{RC,90,d} = L \left( \frac{3q_1 + q_2}{8} \right)$$

Med detta insatt löses alltså upplagslängden ut genom:

$$l = \frac{L \left( \frac{3q_1 + q_2}{8} \right)}{k_{c,90}f_{c,90,d}b}$$

### 3.3.4 Tvärdragspänning

Trä som material har en låg hållfasthet vid dragning vinkelrätt mot fiberriktningen. Dessa spänningar uppkommer främst på sadelbalkars nockparti och vid hål och urtag.

Dimensioneringssamband fås ur limträhandbok del 2 kapitel 7.3 [17].

Dragspänningen vinkelrätt mot fiberriktningen kan beräknas enligt:

$$\sigma_{t,90,d} = 0,2 \tan \alpha \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}}$$

$M_{ap,d}$  är det dimensionerande momentet vid nocken, och fås från kapitel 3, momentet från snitt 1.

$$M(x) = \frac{Lx(3q_1 + q_2) - 4q_1x^2}{8}$$

Med  $x = L/2$  fås:

$$M_{ap,d} = \frac{L\left(\frac{L}{2}\right)(3q_1 + q_2) - 4q_1\left(\frac{L}{2}\right)^2}{8}$$

$$\rightarrow M_{ap,d} = \frac{q_1L^2 + q_2L^2}{16}$$

$W_{ap}$  är balkens böjmotstånd vid nocken och kan skrivas som:

$$W_{ap} = \frac{bh_{nock}^2}{6}$$

För dragspänningen gäller följande villkor:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis}k_{vol}f_{t,90,d} = k_{dis}\left(\frac{0,01}{V}\right)^{0,2} f_{t,90,d}$$

$k_{dis}$  är en konstant som beror på vilken typ av balk som används.

$V$  är balkens volym med en längd på  $\frac{h_{nock}}{2}$  på var sida om nocken, och ett ungefärligt värde kan beräknas enligt:

$$V = bh_{nock}^2$$

$$f_{t,90,d} = \frac{k_{mod}f_{t,90,k}}{\gamma_m}$$



Med det ovanstående insatt i formeln för dragspänning fås:

$$\begin{aligned}
 (0,2 \cdot \tan \alpha) \cdot \frac{3(q_1 L^2 + q_2 L^2)}{8bh_{nock}^2} &\leq k_{dis} \left( \frac{0,01}{bh_{nock}^2} \right)^{0,2} \frac{k_{modf_{t,90,k}}}{\gamma_M} \\
 \rightarrow h_{nock}^2 \left( \frac{0,01}{bh_{nock}^2} \right)^{0,2} &\geq \frac{\gamma_M (0,2 \tan \alpha) 3(q_1 L^2 + q_2 L^2)}{8bk_{dis}k_{modf_{t,90,k}}} \\
 \rightarrow h_{nock}^{10} \frac{0,01}{bh_{nock}^2} &\geq \left( \frac{\gamma_M (0,2 \tan \alpha) 3(q_1 L^2 + q_2 L^2)}{8bk_{dis}k_{modf_{t,90,k}}} \right)^5 \\
 \rightarrow h_{nock}^8 &\geq 100b \left( \frac{\gamma_M (0,2 \tan \alpha) 3(q_1 L^2 + q_2 L^2)}{8bk_{dis}k_{modf_{t,90,k}}} \right)^5 \\
 \rightarrow h_{nock} &\geq (100b)^{\frac{1}{8}} \left( \frac{\gamma_M (0,2 \cdot \tan \alpha) 3(q_1 L^2 + q_2 L^2)}{8bk_{dis}k_{modf_{t,90,k}}} \right)^{\frac{5}{8}}
 \end{aligned}$$

### 3.3.5 Utböjning

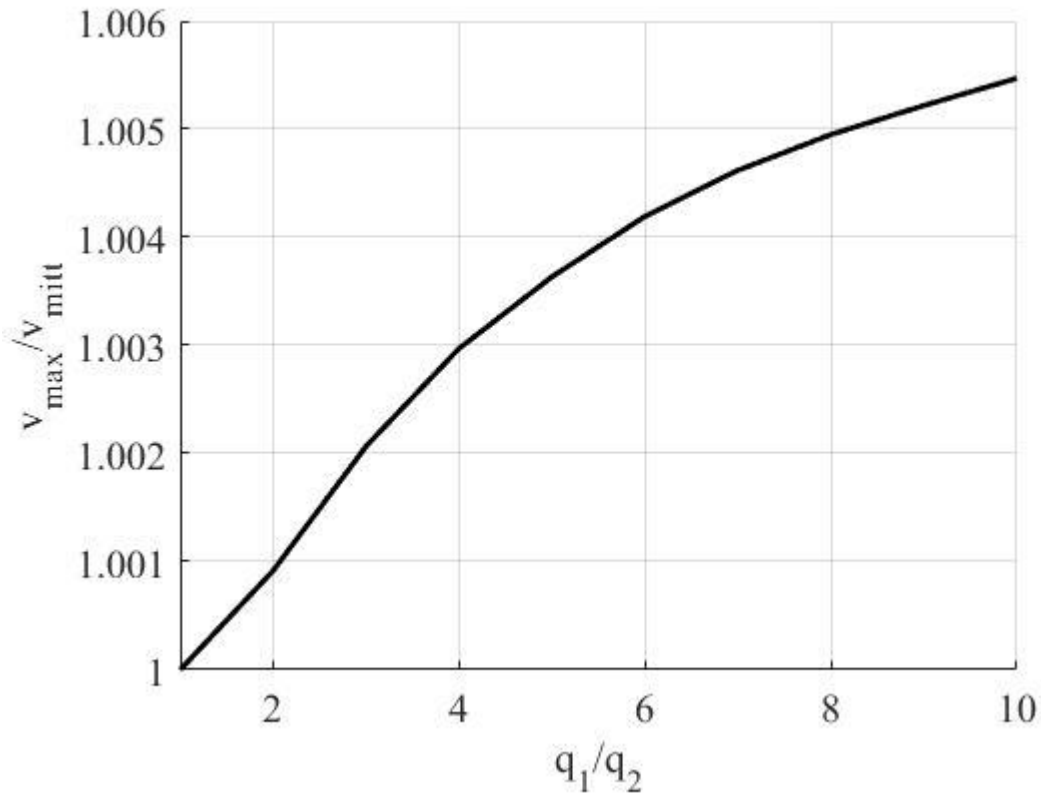
I detta arbete kontrolleras korttidsnedböjningen i bruksgränstillståndet, med karakteristisk lastkombination.

Som dimensioneringskriterium används att för balkar på två upplag får den maximala nedböjningen högst bli  $L/300$  [22].

För raka balkar gäller nedanstående.

För att ta reda på höjden på takbalk, beroende på utböjning, används formeln för utböjning som tagits fram i kapitel 3.2.3.

Lastfallet är inte symmetriskt och maximal nedböjning kommer därför inte att fås mitt på balken. För de fall när skillnaderna mellan de två lasterna är små kommer dock mittnedböjningen att vara mycket nära maxnedböjningen i storlek. Detta illustreras med följande figur.



Figur 3.5: Kvot mellan maxnedböjning och mittnedböjning för olika  $q_1/q_2$ .  
 $L = 20$  m.

Ovanstående figur visar att den maximala nedböjningen är väldigt nära mittnedböjningen.

I dessa fall kan största utböjning för raka balkar beräknas som

$$v = \frac{L^4}{384EI} (2,5q_1 + 2,5q_2)$$

Vid beräkning av korttidsnedböjning med karakteristisk lastkombination används  $E_{mean}$ , som beror av materialkvalitet.

För rektangulärt tvärsnitt gäller att

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Löser man ut balkhöjden ur ekvationen fås:

$$h = \sqrt[3]{\frac{L^4 (2,5q_1 + 2,5q_2)}{32Ebv}}$$

Med en maximal nedböjning på  $L/300$  beräknas alltså balkhöjden enligt:

$$h = \sqrt[3]{\frac{L^3 (2,5q_1 + 2,5q_2) 300}{32Eb}}$$

För sadelbalkar gäller nedanstående.

Utböjningen för sadelbalkar beror på balkhöjden på ett komplicerat sätt där även den maximala utböjningens läge är okänt, varav följande beräkningar gjorts.

Från kapitel 3.3.1 fås momentet för vänster balkhalva som:

$$M(x_1) = a_1x_1^2 + b_1x_1 + c_1$$

Elastiska linjens ekvation

$$E(x_1)I(x_1) \frac{d^2v}{dx_1^2} = M(x_1) \text{ ger}$$

$$\frac{d^2v_1}{dx_1^2} = \frac{a_1x^2 + b_1x + c_1}{\frac{Eb}{12} \tan^3\alpha x_1^3} = \frac{12}{Eb \tan^3\alpha} \left( \frac{a_1}{x_1} + \frac{b_1}{x_1^2} + \frac{c_1}{x_1^3} \right)$$

$$\frac{dv_1}{dx_1} = \frac{12}{Eb \tan^3\alpha} \left( a_1 \ln x_1 - \frac{b_1}{x_1} - \frac{c_1}{x_1^2} + A \right)$$

$$v_1(x_1) = \frac{12}{Eb \tan^3\alpha} \left( a_1 (x_1 \ln x_1 - x_1) - b_1 \ln x_1 + \frac{c_1}{x_1} + Ax_1 + B \right)$$

Från kapitel 3.3.1 fås momentet för höger balkhalva som:

$$M(x_2) = a_2x_2^2 + b_2x_2 + c_2$$

$$\frac{d^2v_2}{dx_2^2} = \frac{a_2x_2^2 + b_2x_2 + c_2}{\frac{Eb}{12} \tan^3\alpha x_2^3} = \frac{12}{Eb \tan^3\alpha} \left( \frac{a_2}{x_2} + \frac{b_2}{x_2^2} + \frac{c_2}{x_2^3} \right)$$

$$\frac{dv_2}{dx_2} = \frac{12}{Eb \tan^3\alpha} \left( a_2 \ln x_2 - \frac{b_2}{x_2} - \frac{c_2}{x_2^2} + C \right)$$

$$v_2(x_2) = \frac{12}{Eb \tan^3\alpha} \left( a_2 (x_2 \ln x_2 - x_2) - b_2 \ln x_2 + \frac{c_2}{x_2} + Cx_2 + D \right)$$

$A$ ,  $B$ ,  $C$  och  $D$  ska bestämmas. För det används följande rand- och skarvvillkor:

$$\left\{ \begin{array}{l} v_1 \left( \frac{h_k}{\tan \alpha} \right) = 0 \\ v_2 \left( \frac{h_k}{\tan \alpha} \right) = 0 \\ v_1 \left( \frac{h_k}{\tan \alpha} + \frac{L}{2} \right) = v_2 \left( \frac{h_k}{\tan \alpha} + \frac{L}{2} \right) \\ \frac{dv_1}{dx_1} \left( \frac{h_k}{\tan \alpha} + \frac{L}{2} \right) = - \frac{dv_2}{dx_2} \left( \frac{h_k}{\tan \alpha} + \frac{L}{2} \right) \end{array} \right.$$

Eftersom att läget för den maximala nedböjningen är okänt dimensionerades balken numeriskt genom att beräkna konstanterna  $A, B, C$  och  $D$  med hjälp av rand- och skarvvillkoren i 1500 punkter längs med balken för balkhöjder mellan 0,1-5 meter. Den maximala nedböjningen för de olika balkhöjderna jämfördes sedan med dimensioneringskriteriet  $v < L/300$  för att slutligen dimensionera balken.

## 4 Resultat

I resultaten kontrolleras raka balkar samt sadelbalkar enligt EKS 9 och EKS 10. Tre olika faktorer som påverkar dimensionerna varieras. Dessa faktorer är spännvidd, taklutning samt snölastens grundvärde på mark.

Resultaten förväntas visa att ändringarna i den senaste EKS 10 medför en ökning av dimensioner på både raka och sadelbalkar.

Resultaten redovisas i figurer där balkhöjder tagits fram beroende av momentkapacitet, tvärkraftskapacitet, nedböjning och tvärdragsspänningar med varierande spännvidd, taklutning och snözon. Även upplagslängden som är beroende på upplagstrycket redovisas. Spännvidd och taklutning varieras i intervall som i vissa fall ger dimensioner som inte är rimliga vid praktisk tillämpning.

Nedanstående tabeller visar indata och antaganden för beräkningarna:

*Tabell 4.1: Indata/antaganden gällande hallbyggnaden.*

| Spännvidd [m] <sup>1</sup> | Taklutning [°] <sup>2</sup> | C/c-avstånd [m] | Byggnadens höjd [m] |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------|---------------------|
| 10-30                      | 0-22,5                      | 6               | 5                   |

<sup>1</sup> När spännvidden varieras, är i övriga fall 20 meter.

<sup>2</sup> När taklutningen varieras 0-15° för raka balkar och 0-22,5° för sadelbalkar, är i övriga fall 10°.

*Tabell 4.2: Indata/antaganden gällande beräkning av laster.*

| Snözon [kN/m <sup>2</sup> ] <sup>1</sup> | Topografi | Termisk koefficient | Terrängtyp | Referensvindhastighet [m/s] | Takets egentyngd [kN/m <sup>2</sup> ] |
|------------------------------------------|-----------|---------------------|------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| 1-5,5                                    | Normal    | 1                   | 3          | 26                          | 0,5                                   |

<sup>1</sup> När snözonen varieras, är i övriga fall 1 kN/m<sup>2</sup>.

*Tabell 4.3: Indata/antaganden gällande dimensionering.*

| Material | Hållfasthetsklass | Balkbredd [m] | Säkerhetsklass | Klimatklass |
|----------|-------------------|---------------|----------------|-------------|
| Limträ   | GL30c             | 0,14          | 3              | 2           |

Generella antaganden:

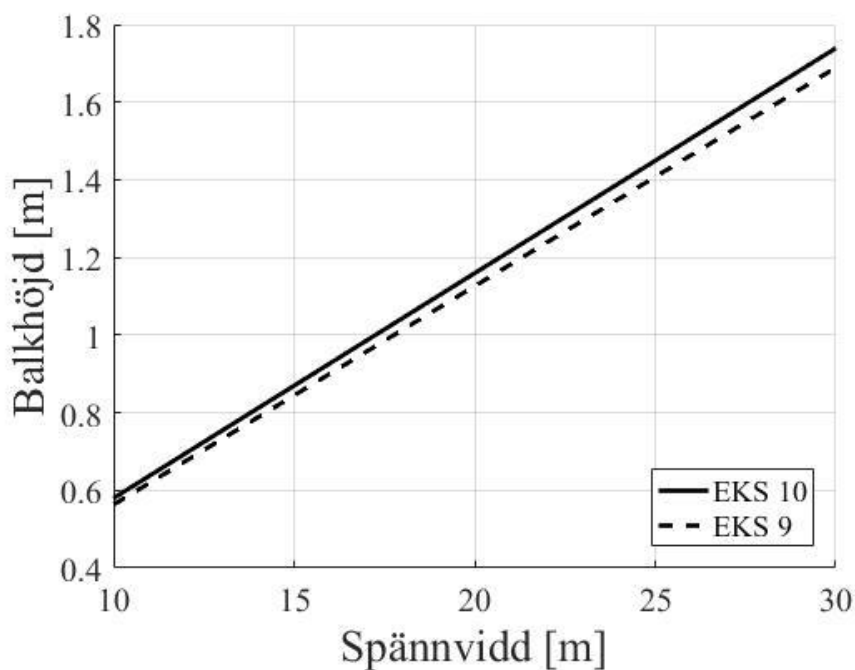
- Balken har ett rektangulärt tvärsnitt
- Balken är stagad i veka riktningen
- Vindlast beaktas endast vid tryck
- Snöfickor beaktas inte

#### 4.1 Raka balkar

Först varieras spännvidden samtidigt som taklutningen och värdet för snölast på mark är konstant på  $10^\circ$  respektive  $1 \text{ kN/m}^2$ . Sedan varieras taklutningen samtidigt som spännvidden och snölastvärdet är konstant på 20 m respektive  $1 \text{ kN/m}^2$ . Till sist varieras snölastens grundvärde,  $s_k$ , mellan det lägsta ( $1 \text{ kN/m}^2$ ) och högsta värdet ( $5,5 \text{ kN/m}^2$ ) för snölastzonerna samtidigt som spännvidden och taklutningen hålls konstant på 20 m, respektive  $10^\circ$ .

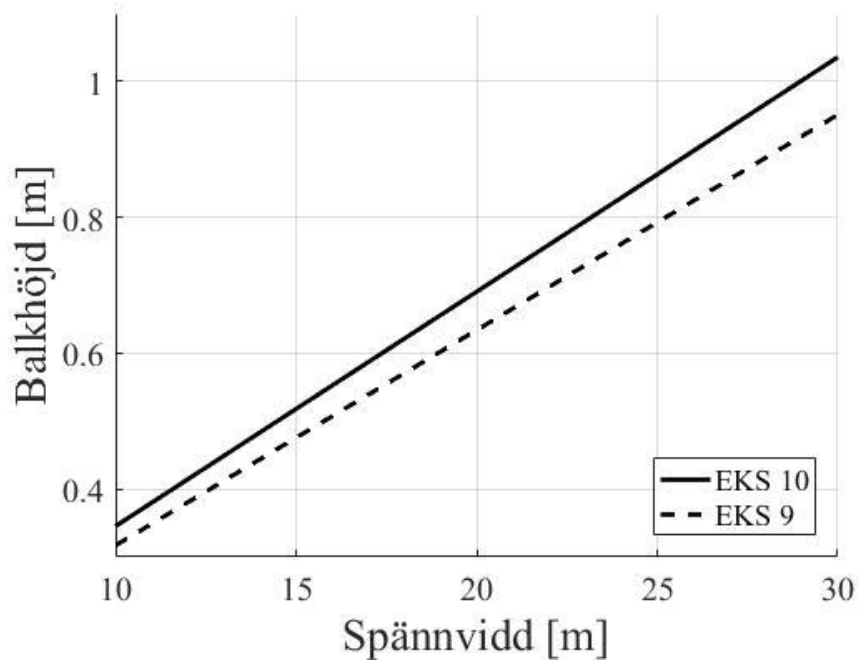
##### 4.1.1 Varierande spännvidd, 10-30 m

###### Momentkapacitet



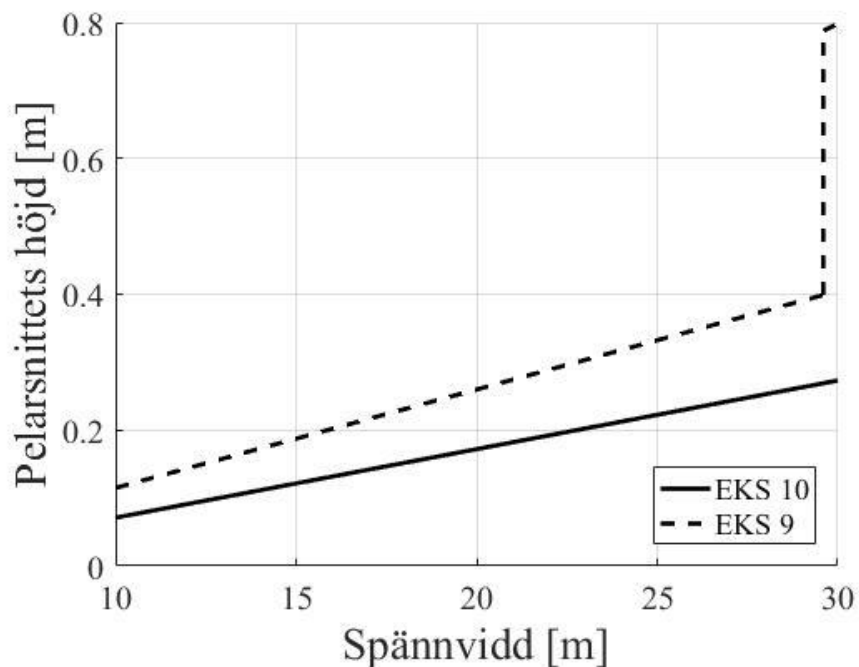
Figur 4.1: Balkhöjd med avseende på momentkapacitet som funktion av spännvidd.

## Tvärkraftskapacitet



Figur 4.2: Balkhöjd med avseende på tvärkraftskapacitet som funktion av spännvidd.

## Upplagstryck



Figur 4.3: Upplagslängd med avseende på upplagstryck som funktion av spännvidd.

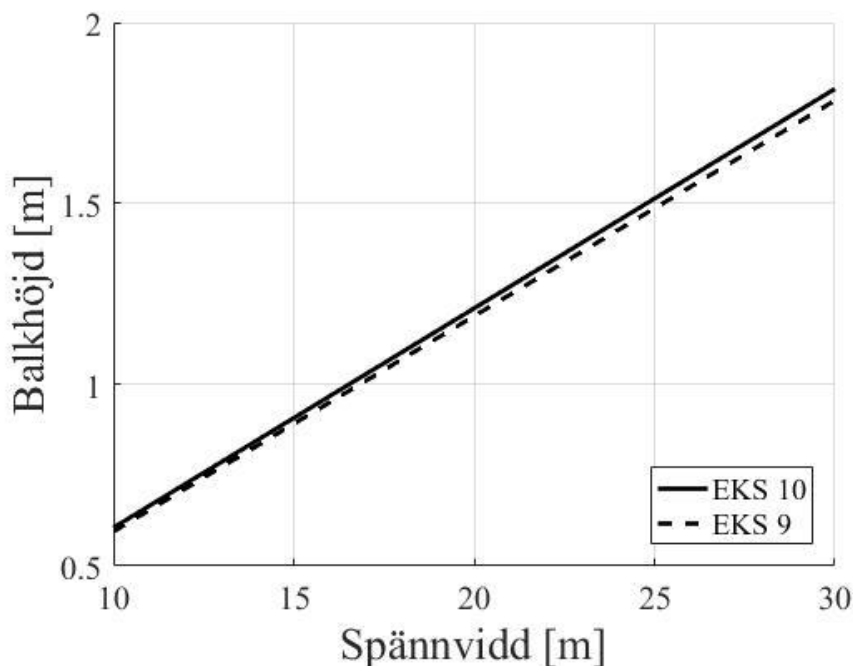
Figur 4.1 visar att dimensionerna hos raka balkar beroende på momentkapacitet och spännvidd skiljer sig åt mellan EKS 9 och EKS 10. EKS 10 ger en större höjd på takbalken. Dimensionerna skiljer sig en aning vid 10 meters spännvidd, sedan ökar skillnaden mer och mer med spännvidden.

Enligt limträhandbokens högsta dimension med en balkhöjd på 1395 mm och med samma hållfasthetsklass är den största spännvidd som kan klaras beroende av momentkapacitet 24,7 m för EKS 9 samt 24,0 m för EKS 10.

Figur 4.2 visar att skillnaden mellan dimensionerna vid EKS 9 och EKS 10 blir något större för tvärkraftskapacitet än momentkapacitet. Den största skillnaden vid 30 meters spännvidd är 85 mm.

Figur 4.3 visar att skillnaden mellan dimensionerna vid EKS 9 och EKS 10 blir lite större beroende på upplagstryck. Här tittar vi dock på upplagslängden,  $l$ , för pelaren. När  $l = 400$  mm gör linjen ett hopp på linjen för EKS 10, då  $k_{90}$ -värdet ändras från 1,75 till 1,0.

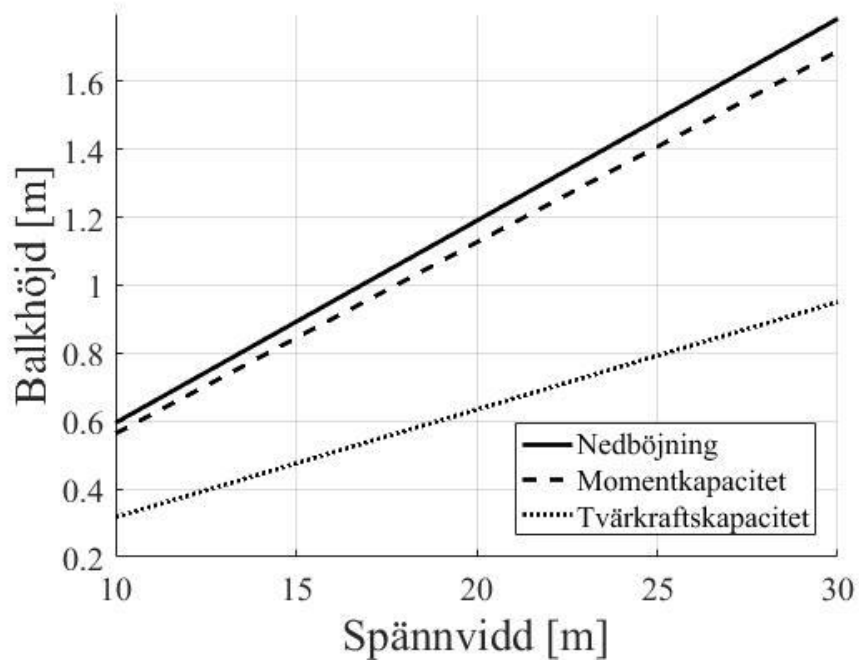
### Nedböjning



Figur 4.4: Balkhöjd med avseende på nedböjning som funktion av spännvidd.

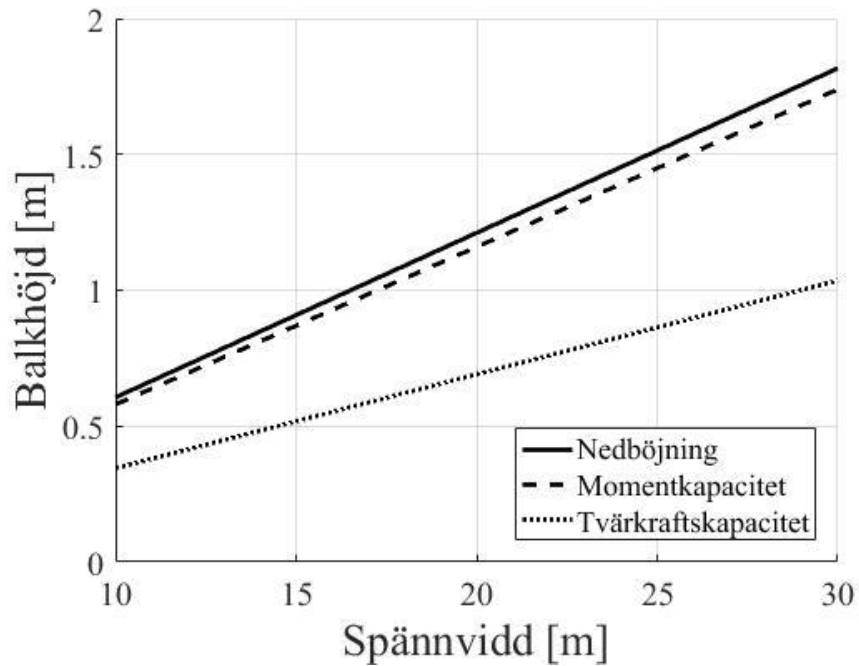


## EKS 9



Figur 4.5: Balkhöjd för EKS 9 med avseende på nedböjning, momentkapacitet samt tvärkraftskapacitet som funktion av spännvidd.

## EKS 10



Figur 4.6: Balkhöjd för EKS 10 med avseende på nedböjning, momentkapacitet samt tvärkraftskapacitet som funktion av spännvidd.

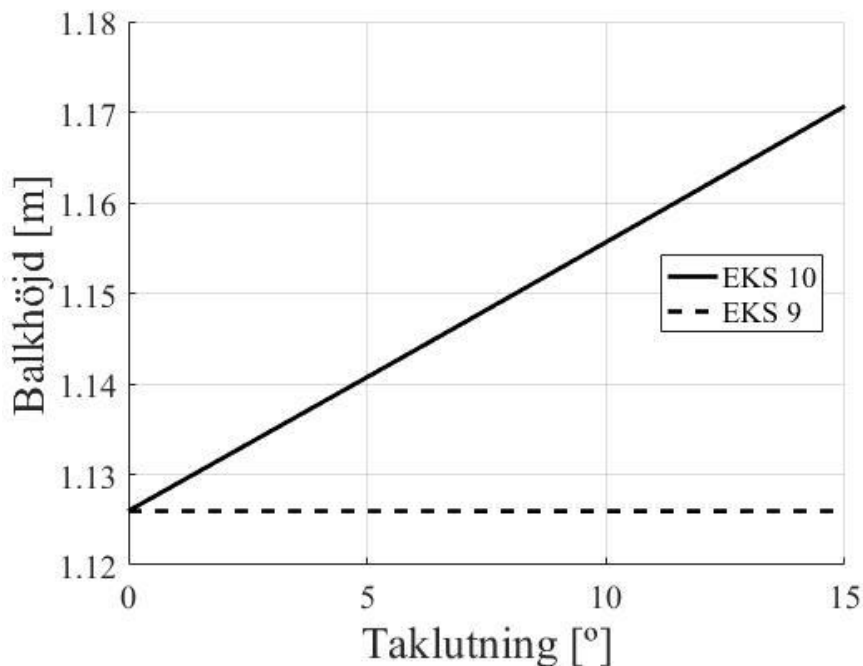
Figur 4.4 visar att skillnaden mellan dimensionerna vid EKS 9 och EKS 10 följer även samma mönster för nedböjning, skillnaden är dock mindre än för momentkapacitet och tvärkraftskapacitet. Största skillnaden, vid 30 meters spännvidd, är 32 mm. Balkhöjden beroende på nedböjning blir, trots de mindre skillnaderna mellan EKS 9 och EKS 10, större än både tvärkraft och moment och är därför dimensionerande.

Från figur 4.5 och 4.6 kan det tydligt avläsas att nedböjningen är dimensionerande både för EKS 9 och 10, följt av momentkapaciteten och till sist tvärkraftskapaciteten. Den största höjden blir, för nedböjning vid 30 meters spännvidd, således 1,78 meter för EKS 9 samt 1,82 meter för EKS 10. Enligt limträhandbokens standarddimensioner för rak takbalk blir den största spännvidd som kan klaras vid 10° taklutning beroende av den dimensionerande nedböjningen 23,4 meter för EKS 9 samt 23,0 meter för EKS 10.

För samtliga figurer gällande varierande spännvidd har beräkningar utförts i 201 punkter längs med balken.

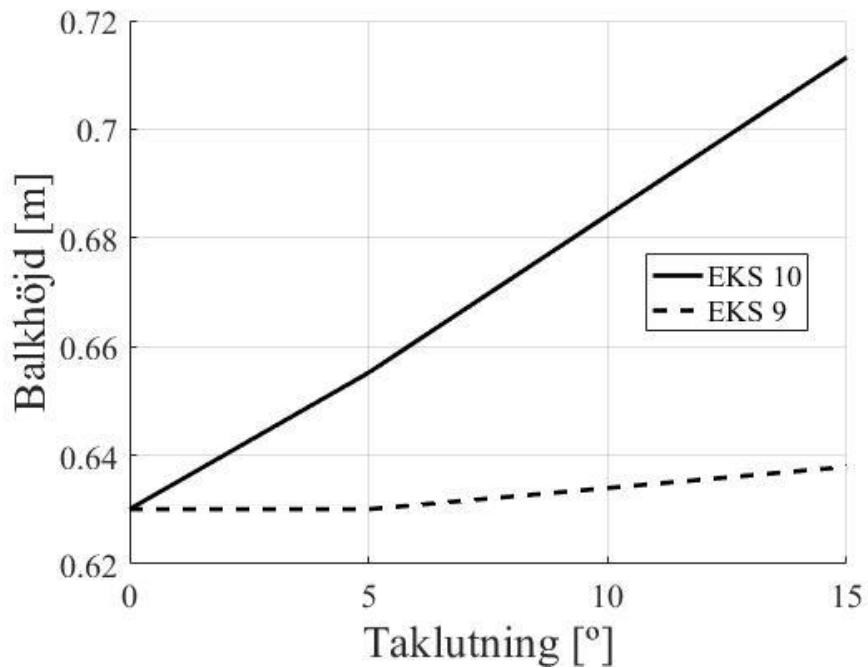
#### 4.1.2 Varierande taklutning, 0-15 °

##### Momentkapacitet



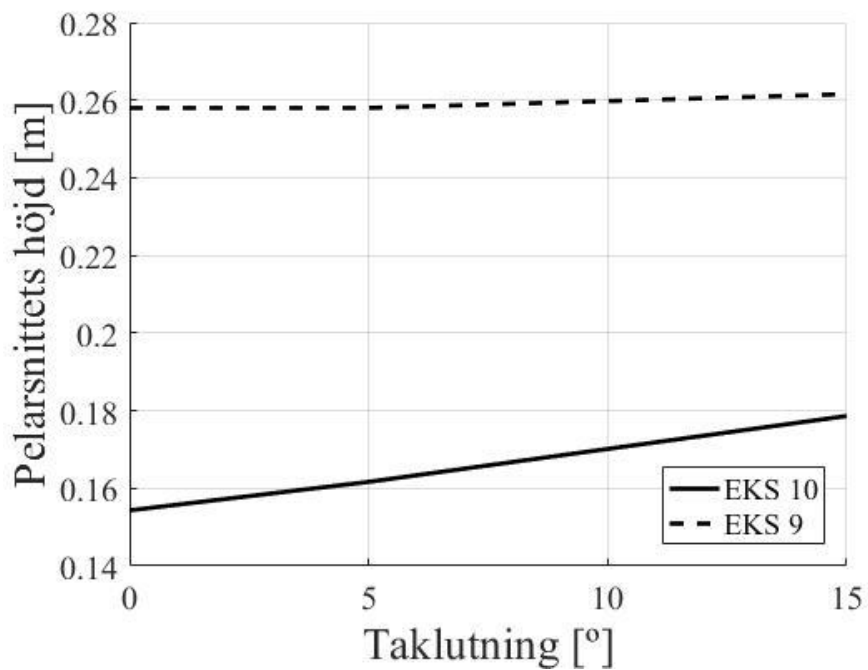
Figur 4.7: Balkhöjd med avseende på momentkapacitet som funktion av taklutning.

## Tvärkraftskapacitet



Figur 4.8: Balkhöjd med avseende på tvärkraftskapacitet som funktion av taklutning.

## Upplagstryck



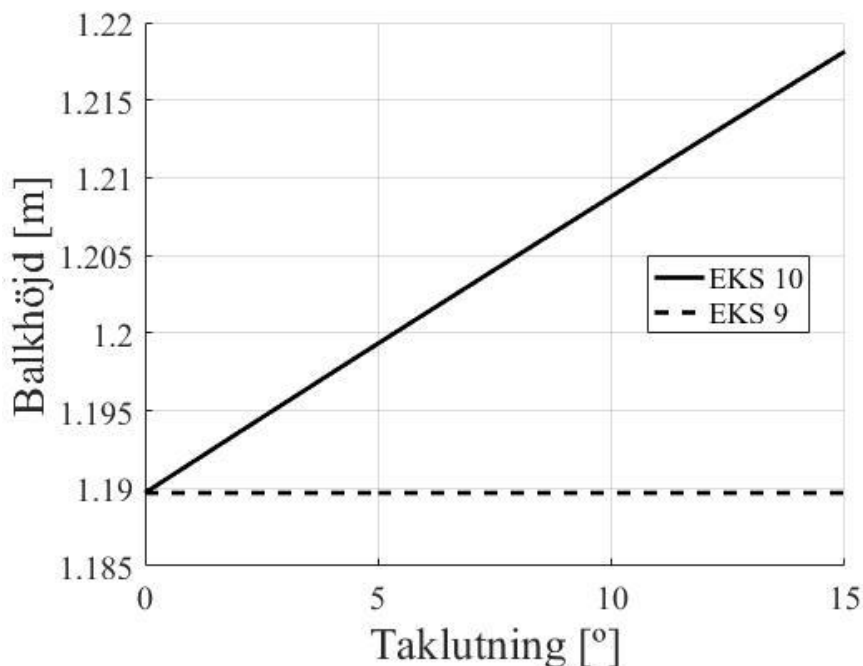
Figur 4.9: Upplagslängd med avseende på upplagstryck som funktion av taklutning.

Figur 4.7 visar att momentkapaciteten när taklutningen varierar ger en betydligt större visuell skillnad mellan EKS 9 och EKS 10 än när spännvidden varierar. Balkhöjden ökar inte lika kraftigt i EKS 9 som den gör i EKS 10. När taket är plant är höjden densamma i både EKS 9 och EKS 10. Den största skillnaden på höjden mellan EKS 9 och EKS 10 blir vid 15° taklutning och är 44,7 mm.

Figur 4.8 visar att balkhöjden beroende av tvärkraftskapaciteten och taklutning följer samma mönster som för momentkapacitet. Skillnaden mellan EKS 9 och EKS 10 är 75,3 mm vid 15° taklutning, något större än skillnaden beroende av momentkapaciteten.

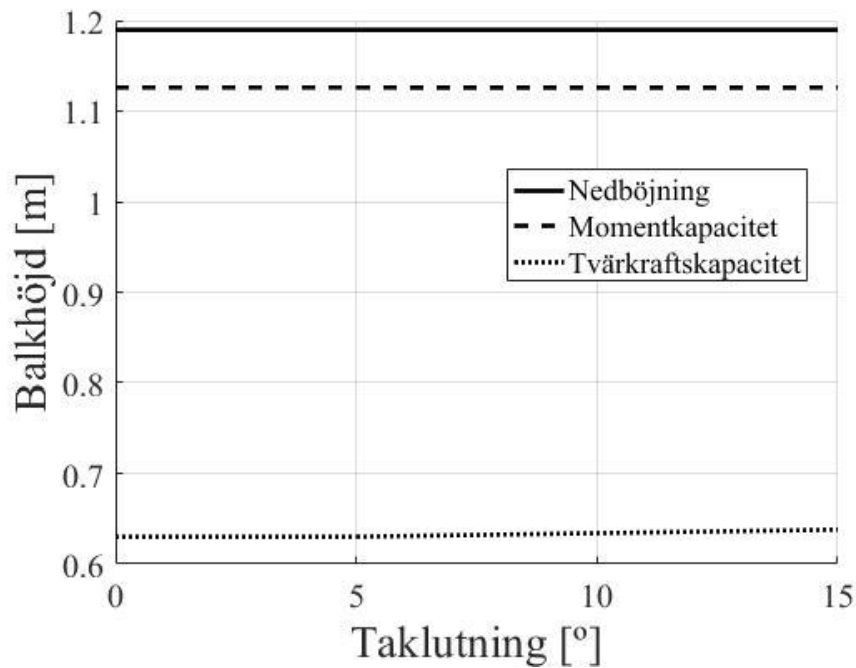
Figur 4.9 visar att för upplagstrycket blir skillnaden mellan upplagslängden för EKS 9 och EKS 10 mindre ju högre taklutningen är. Här sker till skillnad från fallet med varierande spännvidd inget hopp i diagrammet. Detta beror på att upplagslängden aldrig behöver vara mer än 400 mm.

### Nedböjning



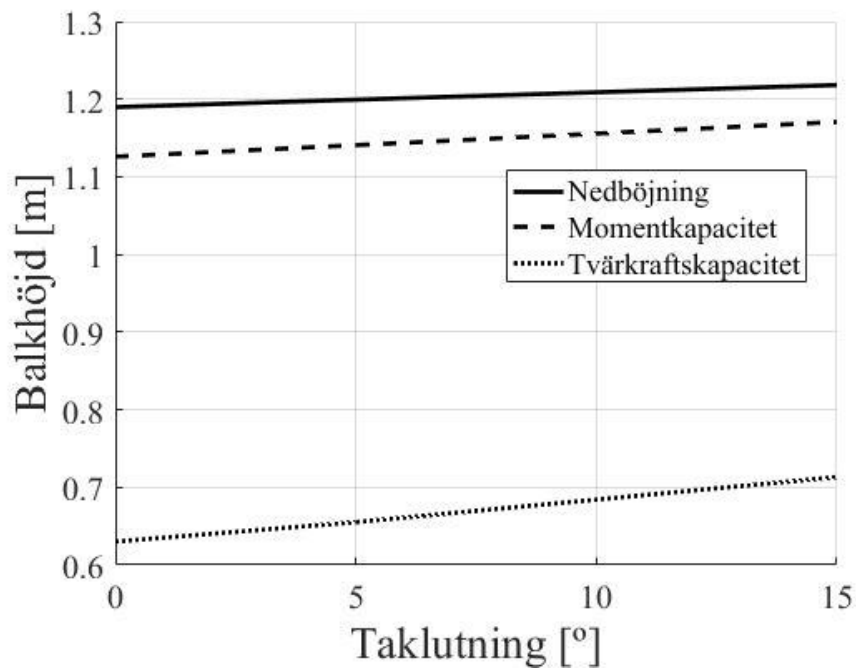
Figur 4.10: Balkhöjd med avseende på nedböjning som funktion av taklutning.

## EKS 9



Figur 4.11: Balkhöjd för EKS 9 med avseende på nedböjning, momentkapacitet samt tvärkraftskapacitet som funktion av taklutning.

## EKS 10



Figur 4.12: Balkhöjd för EKS 10 med avseende på nedböjning, momentkapacitet samt tvärkraftskapacitet som funktion av taklutning.

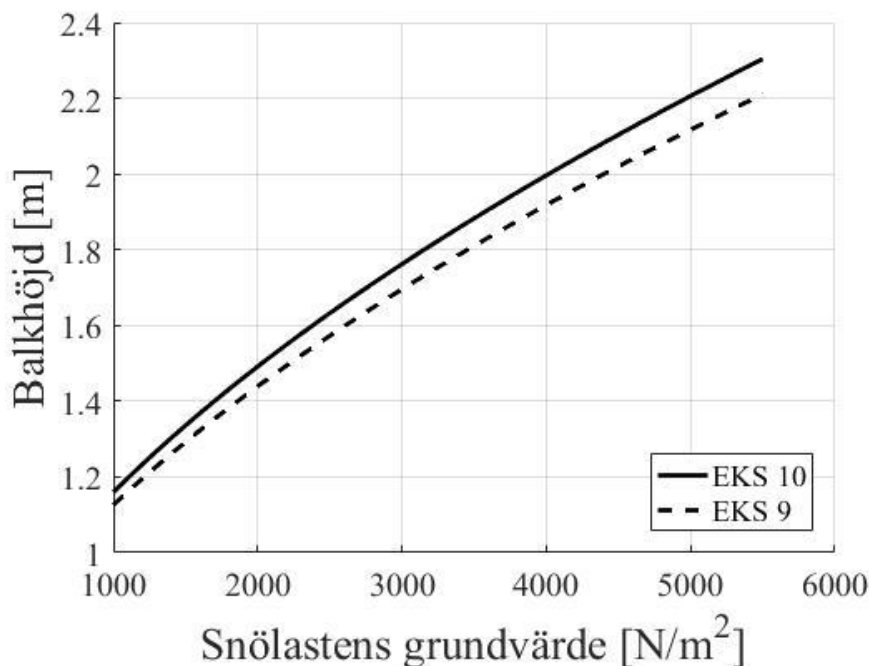
Figur 4.10 visar att dimensionerna beroende av nedböjning även vid varierande taklutning blir störst. Även här skiljer sig EKS 9 och EKS 10 åt. Vid 15° taklutning blir skillnaden mellan de båda regelverken 28,4 mm. Balkar med standarddimensioner klarar av alla laster som beror av taklutningarna när den antagna spännvidden är 20 meter.

Figur 4.11 och 4.12 visar även att vid jämförelse av nedböjning, momentkapacitet och tvärkraftskapaciteten blir värdet på höjden för den raka balken högre i EKS 10 än den blir i EKS 9. Man kan även vid varierande taklutning tydligt avläsa att nedböjningen är dimensionerande både för EKS 9 och 10. Följt av momentkapaciteten sedan tvärkraftskapaciteten. Den största höjden blir således för nedböjning vid 15 graders taklutning där den är 1,19 meter vid EKS 9 samt 1,22 meter vid EKS 10.

För alla figurer gällande varierande taklutning har beräkningarna utförts för taklutningar mellan 0 till 15 grader i 152 intervall.

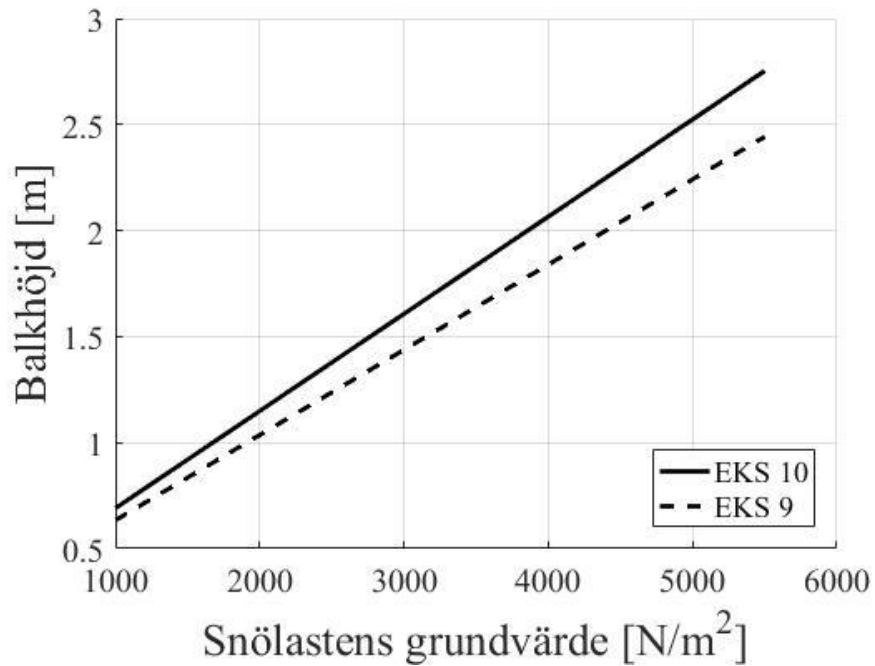
#### 4.1.3 Varierande snölastvärde

##### Momentkapacitet



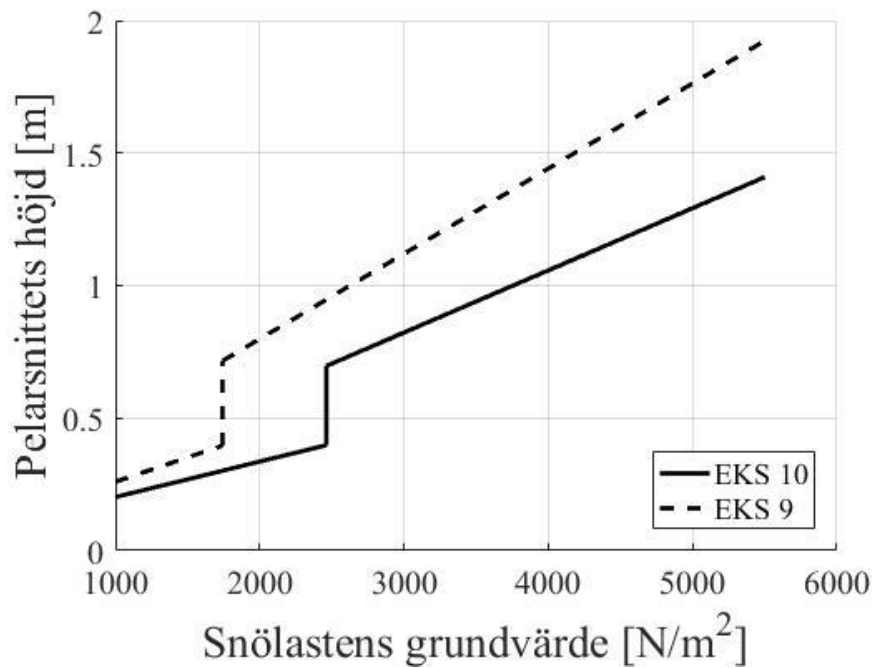
Figur 4.13: Balkhöjd med avseende på momentkapacitet som funktion av snölastvärde.

## Tvärkraftskapacitet



Figur 4.14: Balkhöjd med avseende på tvärkraftskapacitet som funktion av snölastvärde.

## Upplagstryck



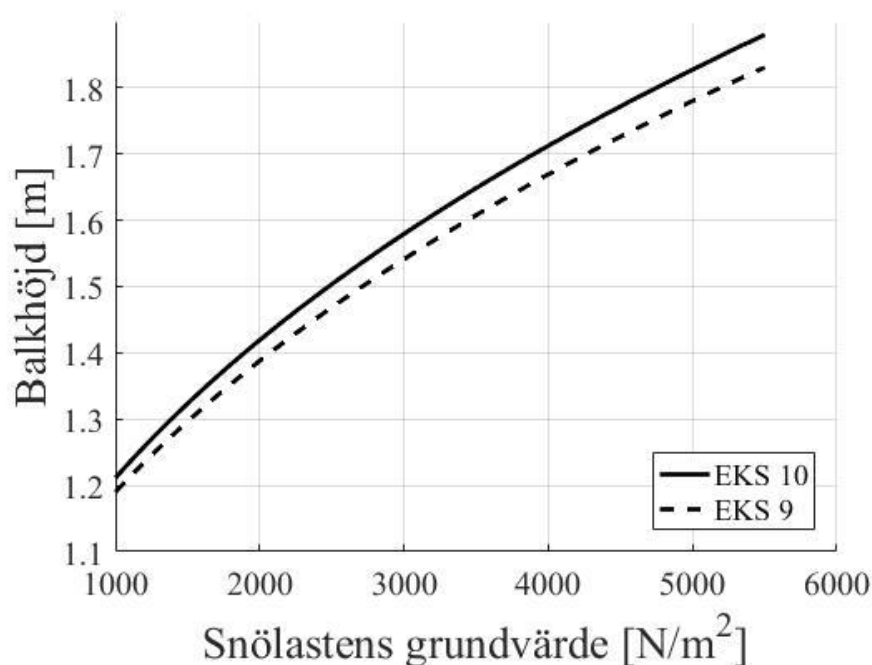
Figur 4.15: Upplagslängd med avseende på upplagstryck som funktion av snölastvärde.

Figur 4.13 visar att skillnaden i balkhöjd mellan EKS 9 och EKS 10 blir större ju högre snölastens grundvärde är. Balkhöjderna blir även stora och uppgår till 1395 mm redan när snölastens grundvärde är 1675 N/m<sup>2</sup> för EKS 10 och vid 1833 N/m<sup>2</sup> för EKS 9.

Figur 4.14 visar att balkhöjden beroende av tvärkraftskapacitet även följer samma mönster som för momentkapacitet där skillnaden mellan regelverken blir större ju högre värdet på snölastens grundvärde är.

Figur 4.15 visar pelarsnittets höjd beroende av upplagstryck där EKS 9 medför en större balkhöjd än EKS 10 för alla värdet på snölastens grundvärde.

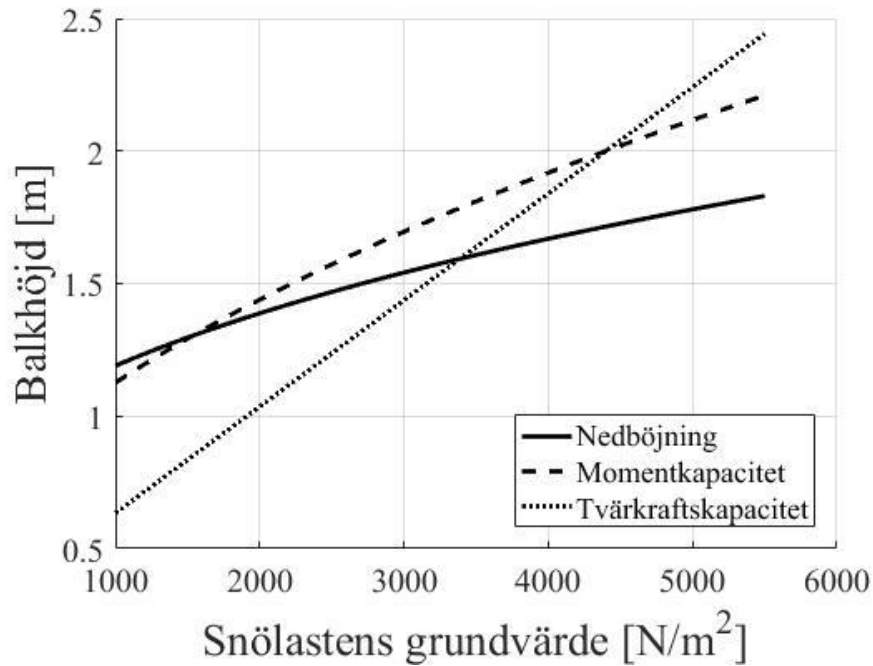
### Nedböjning



Figur 4.16: Balkhöjd med avseende på nedböjning som funktion av snölastvärde.

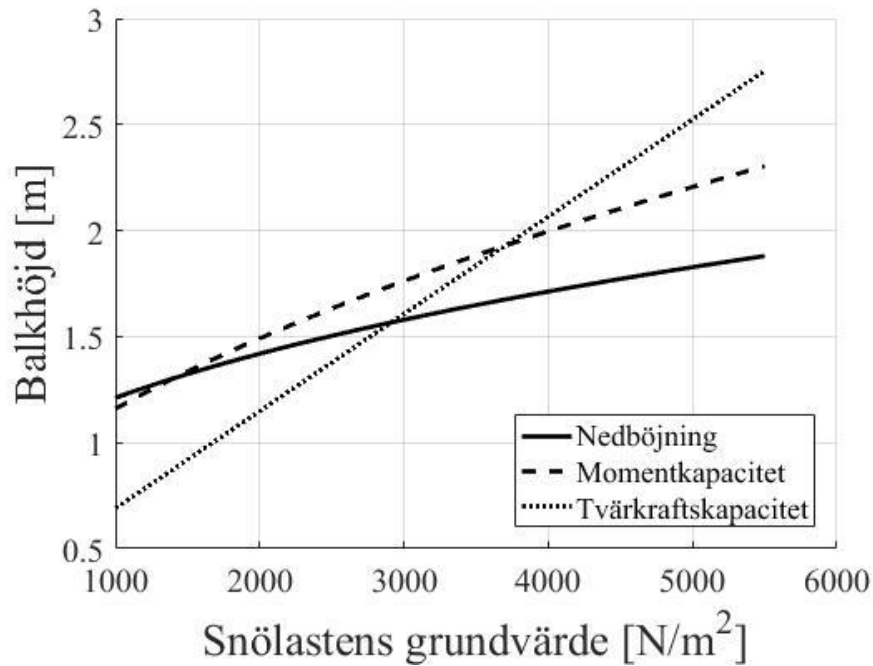


## EKS 9



Figur 4.17: Balkhöjd för EKS 9 med avseende på tvärkraftskapacitet, momentkapacitet samt nedböjning som funktion av snölastvärde.

## EKS 10



Figur 4.18: Balkhöjd för EKS 10 med avseende på tvärkraftskapacitet, momentkapacitet samt nedböjning som funktion av snölastvärde.

Figur 4.16 visar balkhöjden beroende av nedböjning som följer samma mönster som för momentkapaciteten där skillnaden mellan EKS 9 och EKS 10 växer i takt med ökning av snölastens grundvärde.

När snölastens grundvärde har varierats har olika snözoner beaktats. De lägsta värdena bygger på områden i södra Sverige och de högsta bygger på områden i nordvästra Sverige. Figur 4.17 och 4.18 visar att nedböjningen är dimensionerande för de lägre värdena på snölasten. När snölastens värde blir högre blir sedan momentkapaciteten dimensionerande. Vid ännu högre värden på snölasten blir till sist tvärkraften dimensionerande. Eftersom den totala lasten på taket blir större i EKS 10 än i EKS 9 skiljer sig figurerna 4.17 och 4.18 åt. I EKS 9 kan höjden på de raka takbalkarna öka med ca 2 meter beroende på snölastens grundvärde. I EKS 10 blir ökningen av höjden något större.

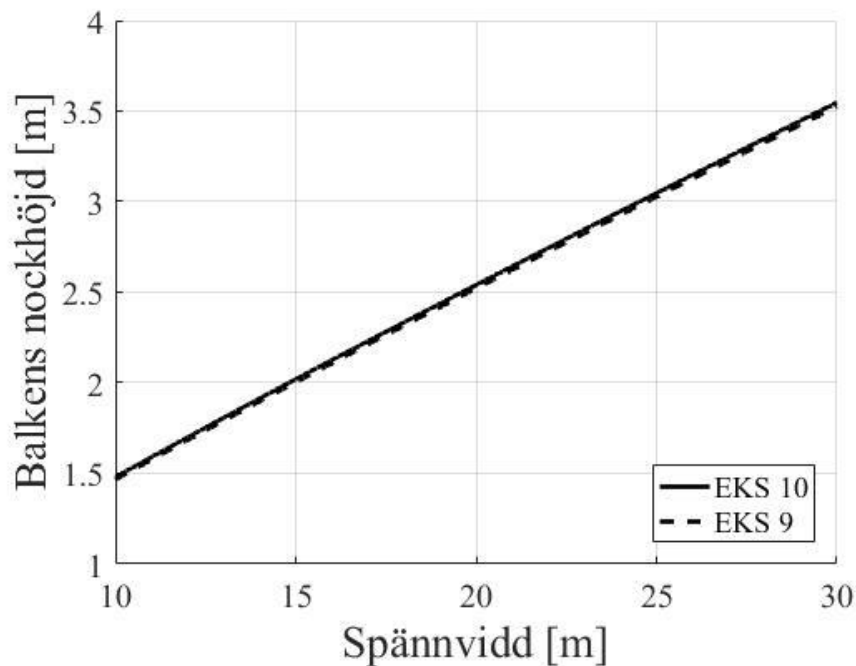
För samtliga figurer gällande varierande snölastvärde har beräkningarna utförts för snölastvärden mellan  $1000 \text{ N/m}^2$  och  $5500 \text{ N/m}^2$  i 201 intervall.

## 4.2 Sadelbalkar

Först varieras spännvidden samtidigt som taklutningen och snölastvärdet är konstant på  $10^\circ$  respektive  $1 \text{ kN/m}^2$ . Sedan varieras taklutningen samtidigt som spännvidden och snölastvärdet är konstant på 20 m respektive  $1 \text{ kN/m}^2$ . Till sist varieras snölastens grundvärde,  $s_k$ , samtidigt som spännvidden och taklutningen hålls konstant på 20 m, respektive  $10^\circ$ .

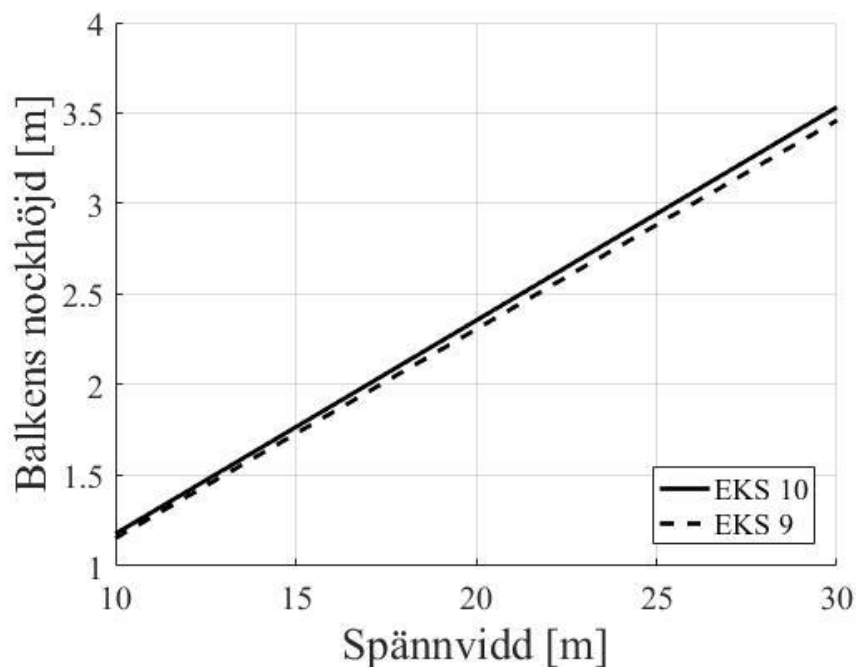
#### 4.2.1 Varierande spännvidd, 10-30 m

##### Momentkapacitet



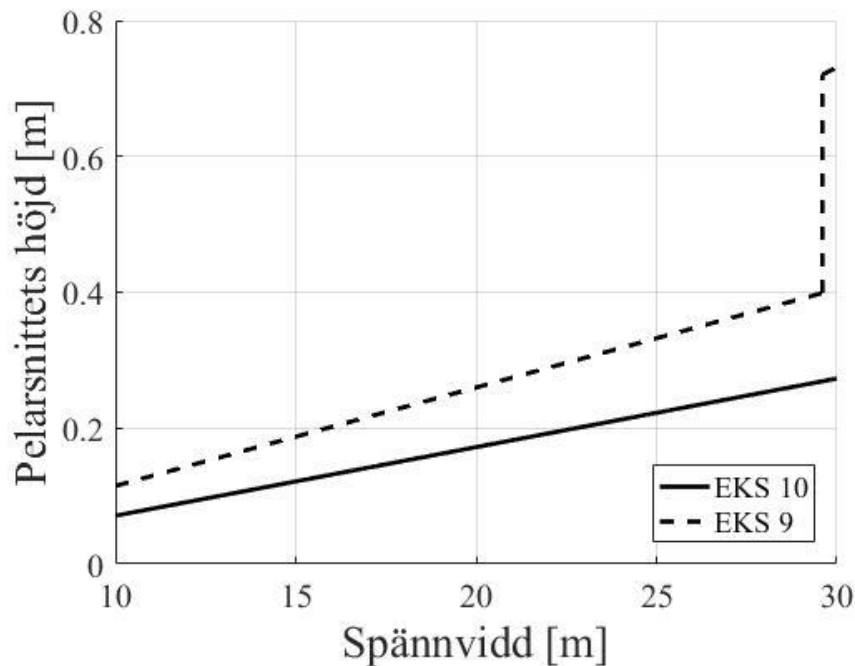
Figur 4.19: Sadelbalkens nockhöjd med avseende på momentkapacitet som funktion av spännvidd.

##### Tvärkraftskapacitet



Figur 4.20: Sadelbalkens nockhöjd med avseende på tvärkraftskapacitet som funktion av spännvidd.

## Upplagstryck



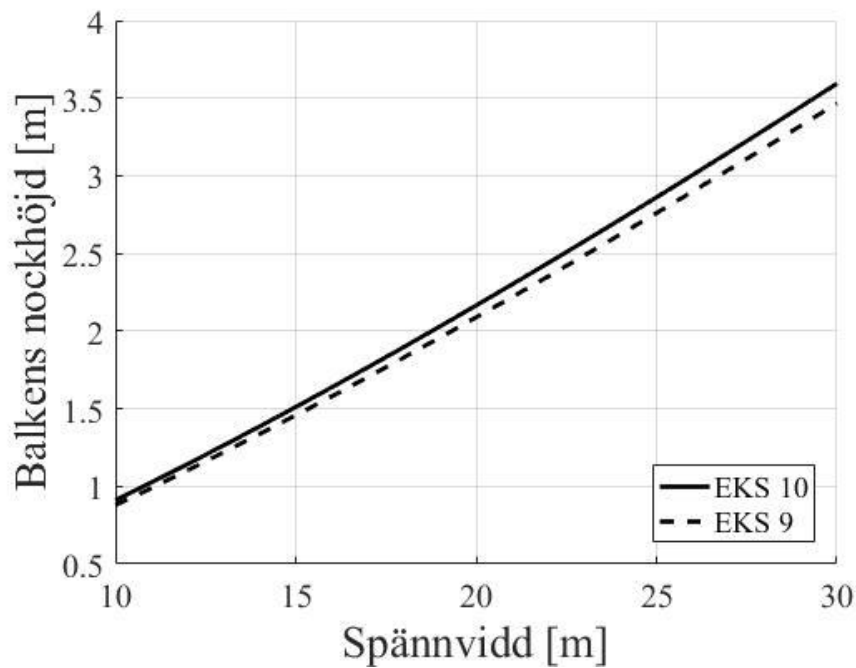
Figur 4.21: Upplagslängd med avseende på upplagstryck som funktion av spännvidd.

Figur 4.19 visar att nockhöjden beroende på momentkapacitet för sadelbalken är högre i EKS 10 än EKS 9. På samma sätt som för de raka balkarna, ökar nockhöjden med spännvidden. Nockhöjden blir över 3,5 meter vid 30 meters spännvidd.

Figur 4.20 visar att tvärkraftskapaciteten påverkar dimensionerna hos sadelbalkarna i större utsträckning än vad den gjorde vid raka balkar. Nockhöjden blir högre i EKS 10 än vid EKS 9.

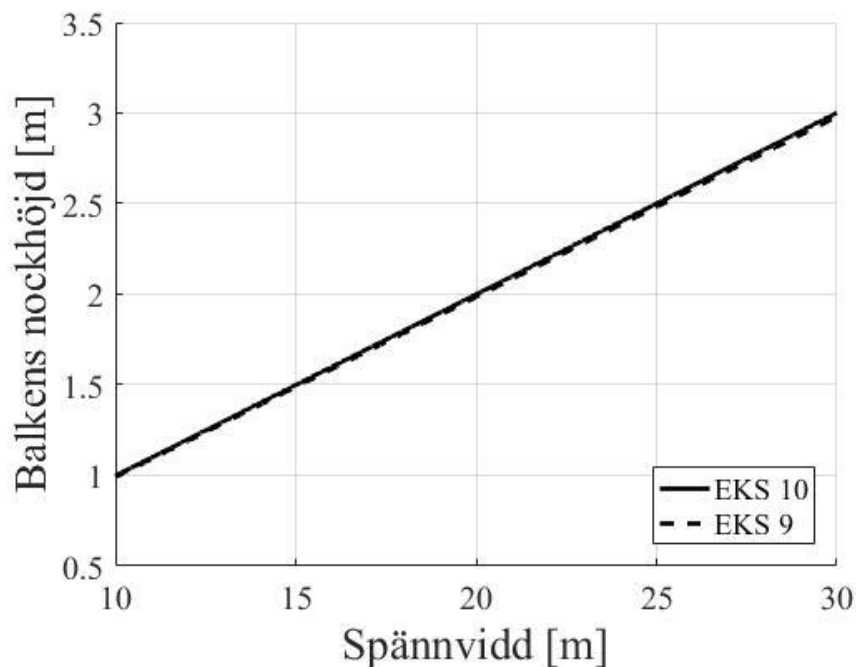
Figur 4.21 visar att upplagstrycket blir upplagslängden exakt densamma för sadelbalkar som för raka balkar. Detta beror på att det är samma laster samt formler, för att räkna ut upplagslängden, som används vid båda fallen.

## Tvådragsspänningar



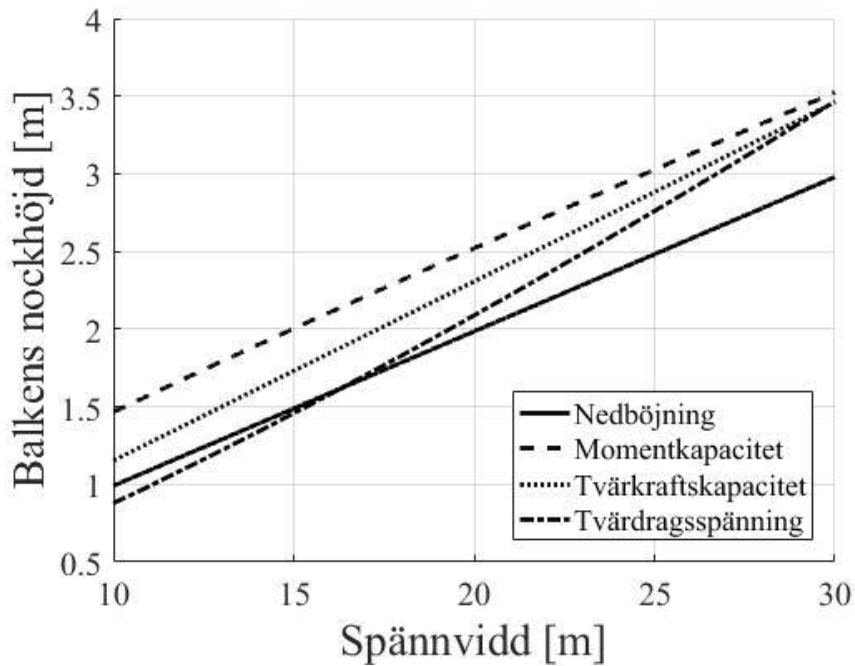
Figur 4.22: Sadelbalkens nockhöjd med avseende på tvådragsspänningar som funktion av spännvidd.

## Nedböjning



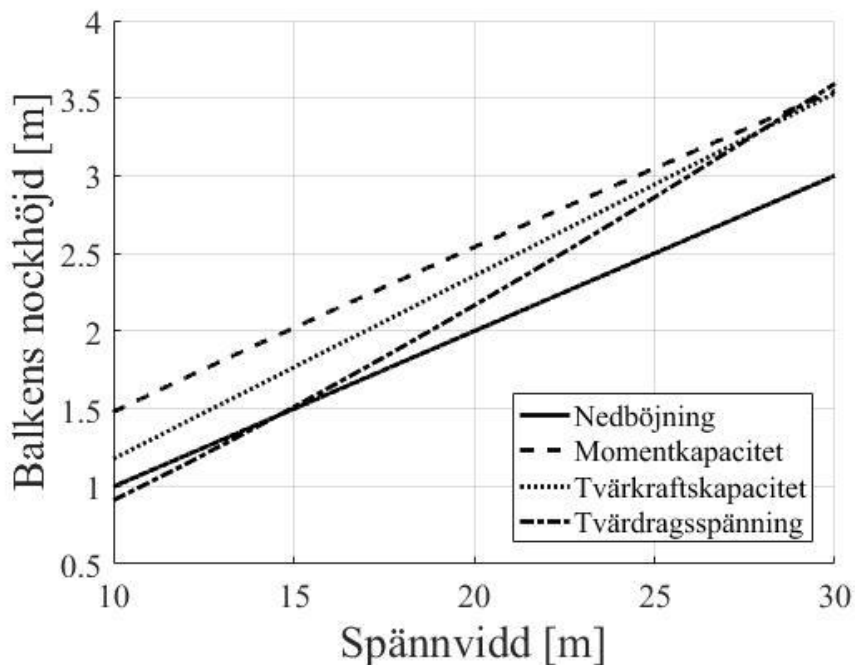
Figur 4.23: Sadelbalkens nockhöjd med avseende på nedböjning som funktion av spännvidd.

## EKS 9



Figur 4.24: Sadelbalkens nockhöjd för EKS 9 med avseende på momentkapacitet, tvärkraftskapacitet, tvärdragsspänning samt nedböjning som funktion av spännvidd.

## EKS 10



Figur 4.25: Sadelbalkens nockhöjd för EKS 10 med avseende på momentkapacitet, tvärkraftskapacitet, tvärdragsspänning samt nedböjning som funktion av spännvidd.

Figur 4.22 visar att skillnaderna mellan nockhöjden beroende på tvärdragsspänningar följer samma mönster som vid moment- och tvärkraftskapaciteten, där EKS 10 ger en något större dimension på höjden samt att nockhöjden ökar mer med spännvidden.

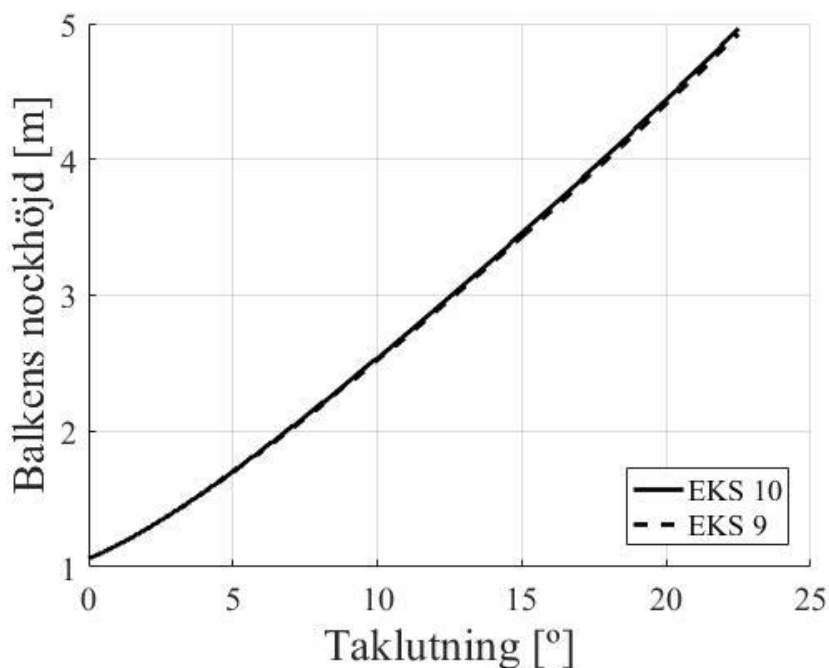
Figur 4.23 visar att nedböjningen påverkar nockhöjden i fallet för sadelbalkar i mindre utsträckning, där det även är liten skillnad mellan EKS 9 och EKS 10.

Figur 4.24 och figur 4.25 visar att momentkapaciteten är dimensionerande för alla spännvidder i EKS 9. Även för EKS 10 är momentkapaciteten dimensionerande fram till cirka 30 meters spännvidd där tvärdragsspänningarna därefter blir dimensionerande. EKS 10 ger för alla dimensioneringskriterier ett något större värde på nockhöjden.

För samtliga figurer gällande varierande spännvidd har beräkningarna utförts i 1500 punkter längs med balken.

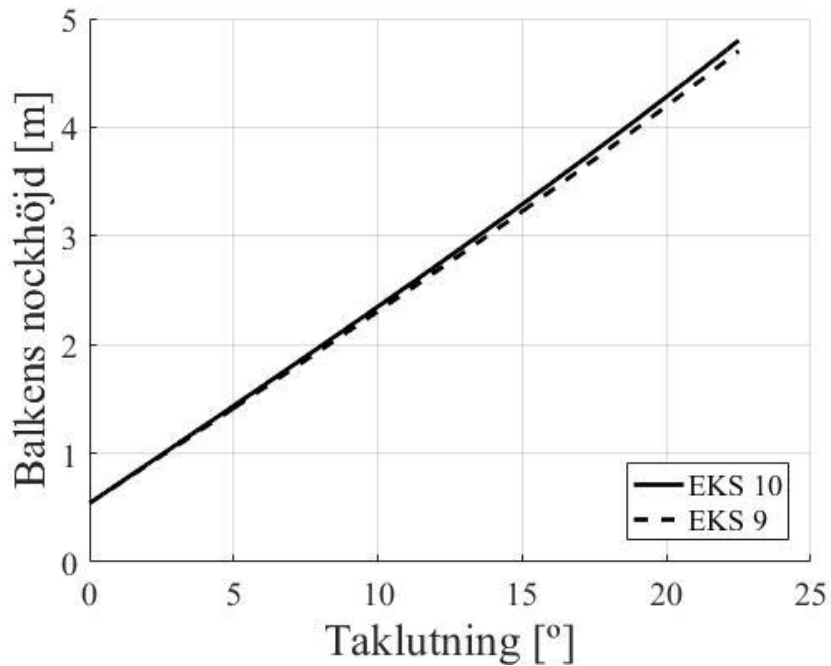
#### 4.2.2 Varierande taklutning, 0-22,5°

##### Momentkapacitet



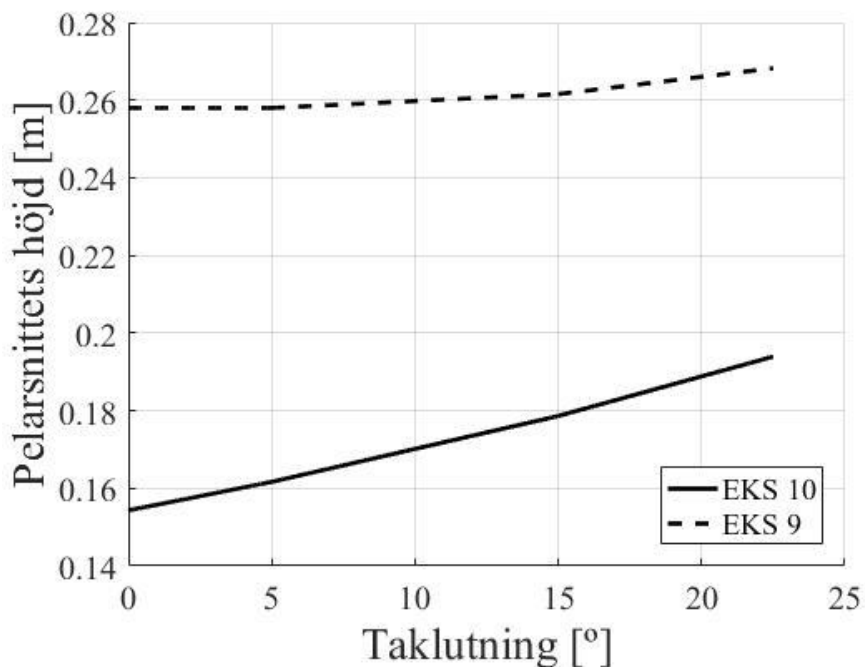
Figur 4.26: Sadelbalkens nockhöjd med avseende på momentkapacitet som funktion av taklutning.

## Tvärkraftskapacitet



Figur 4.27: Sadelbalkens nockhöjd med avseende på tvärkraftskapacitet som funktion av taklutning.

## Upplagstryck



Figur 4.28: Upplagslängd med avseende på upplagstryck som funktion av taklutning.

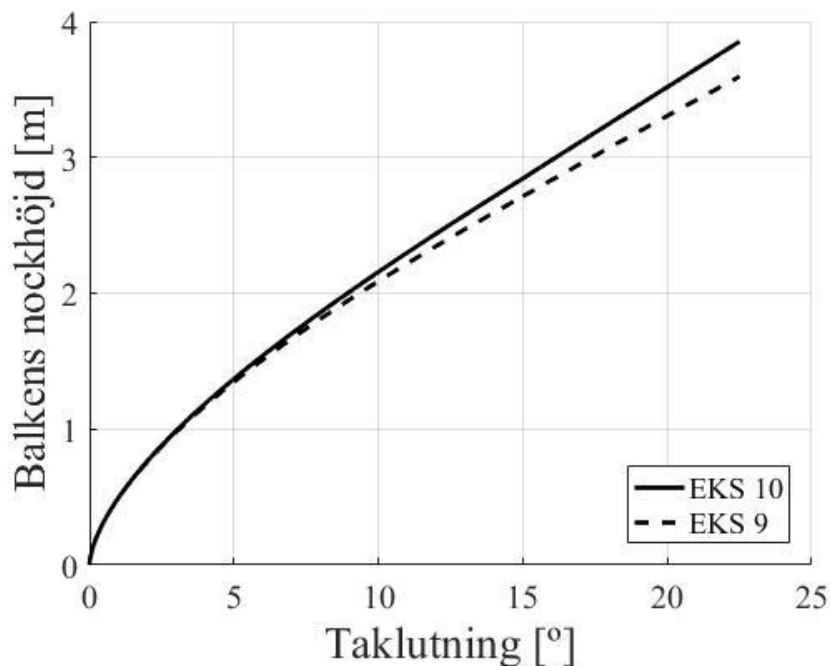


Figur 4.26 visar att skillnaderna mellan EKS 9 och 10 är små vid låga spännvidder och förblir relativt små även vid de högre spännvidderna.

Figur 4.27 visar att det knappt är någon skillnad mellan EKS 10 och EKS 9 när taket är plant, men att skillnaden i nockhöjd blir större med ökad taklutning.

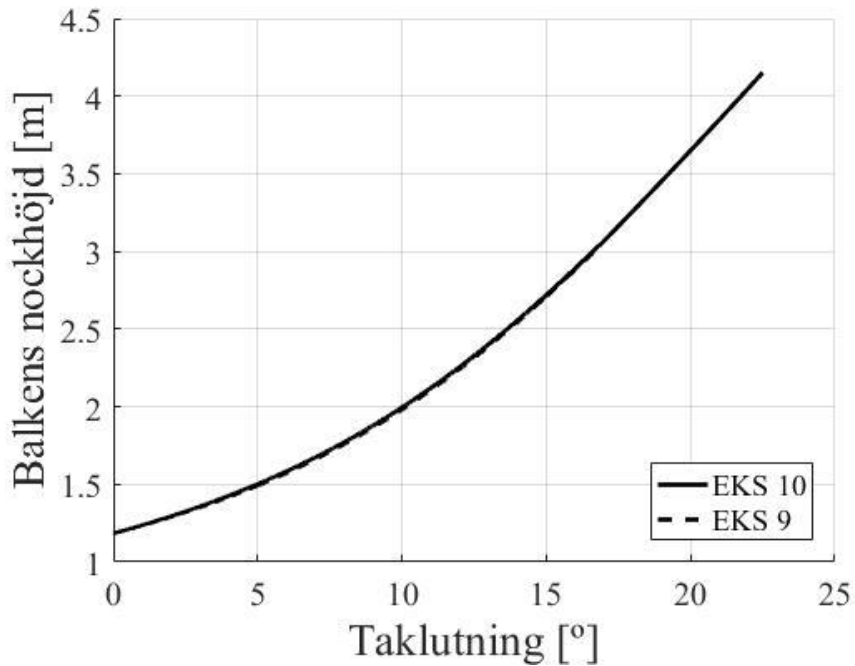
Figur 4.28 visar att samma sak gäller för upplagslängden vid varierande taklutning som det gjorde vid varierande spännvidd. Höjden blir densamma för sadelbalkar som för raka balkar.

### Tvärdragsspänningar



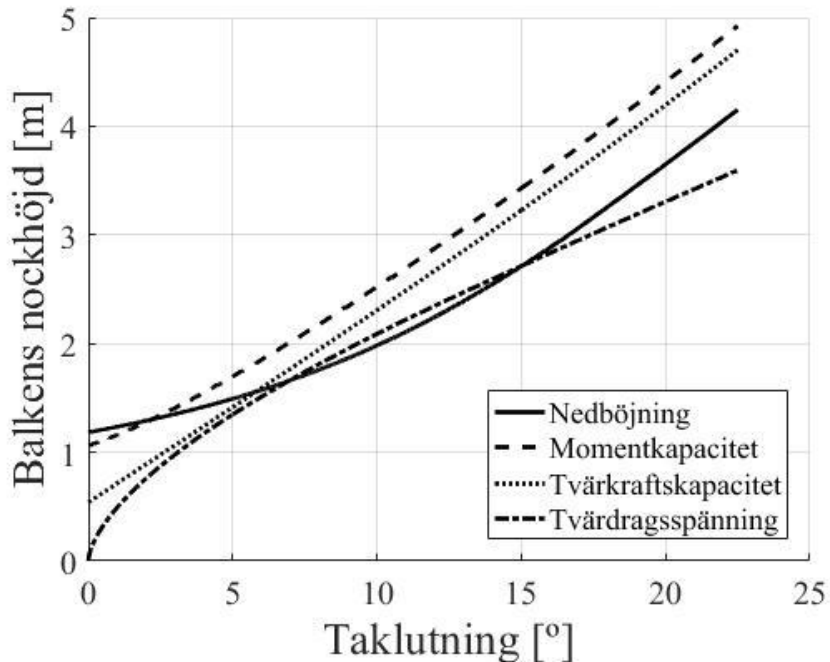
Figur 4.29: Sadelbalkens nockhöjd med avseende på tvärdragsspänningar som funktion av taklutning.

## Nedböjning



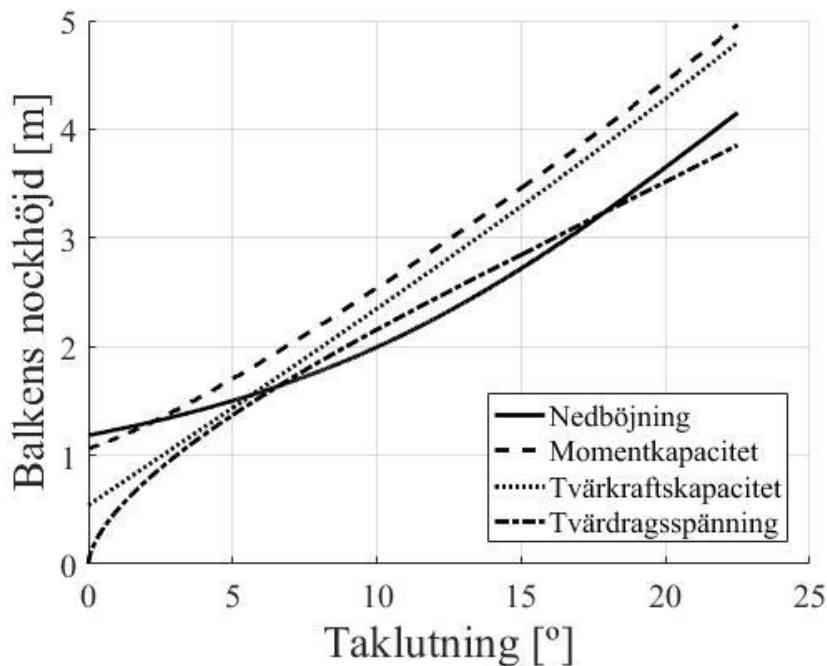
Figur 4.30: Sadelbalkens nockhöjd med avseende på nedböjning som funktion av taklutning.

## EKS 9



Figur 4.31: Sadelbalkens nockhöjd för EKS 9 med avseende på tvärfkraftskapacitet, momentkapacitet, tvärdragsspänning samt nedböjning som funktion av taklutning.

## EKS 10



Figur 4.32: Sadelbalkens nockhöjd för EKS 10 med avseende på tvärkraftskapacitet, momentkapacitet, tvärdragsspänning samt nedböjning som funktion av taklutning.

Figur 4.29 visar att skillnaderna mellan nockhöjden beroende på tvärdragsspänningar följer samma mönster som vid moment- och tvärkraftskapaciteten, där EKS 10 ger en något större dimension på höjden samt att nockhöjden ökar mer med taklutningen.

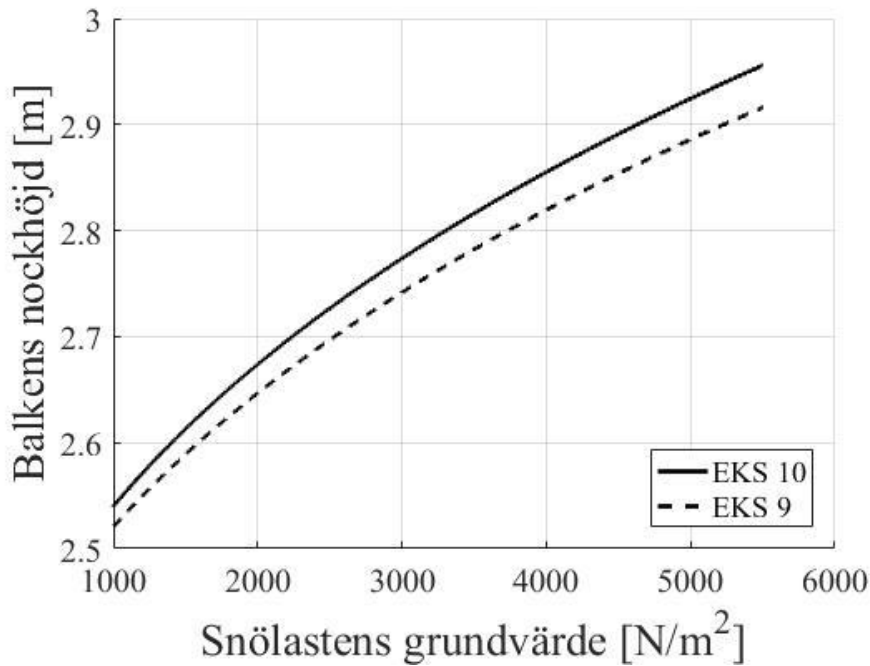
Figur 4.30 visar att gällande nedböjningen är skillnaden mellan EKS 9 och EKS 10 liten, där det som max endast skiljer några centimeter.

Figur 4.31 samt 4.32 visar att momentkapaciteten är huvudsakligen dimensionerande vid större taklutningar. Nedböjningen är endast dimensionerande vid låga taklutningar, fram till en lutning på cirka 2°.

För samtliga figurer gällande varierande taklutning har beräkningar utförts för taklutningar mellan 0 till 22,5 grader med 1500 intervall.

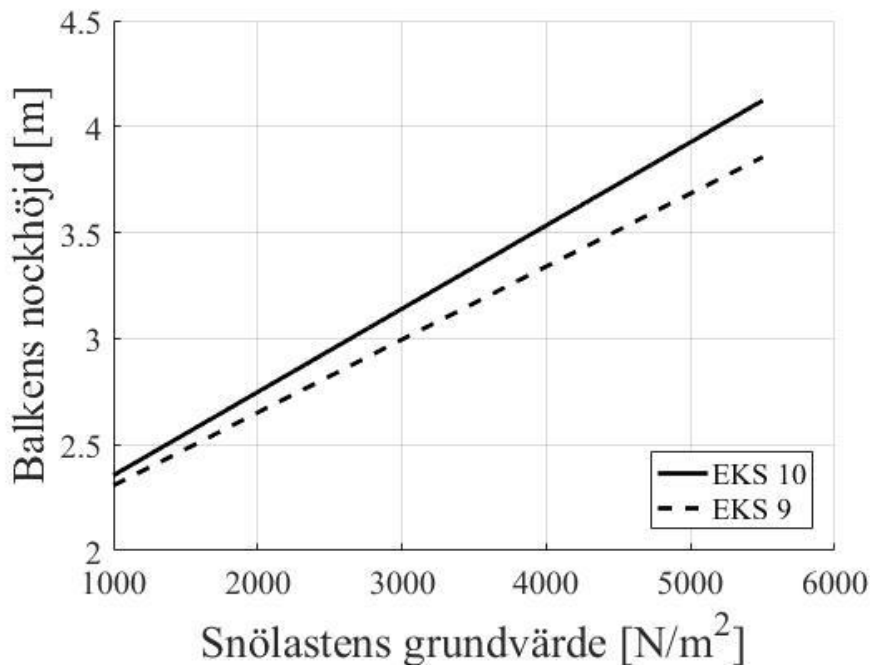
### 4.2.3 Varierande snölastvärde

#### Momentkapacitet



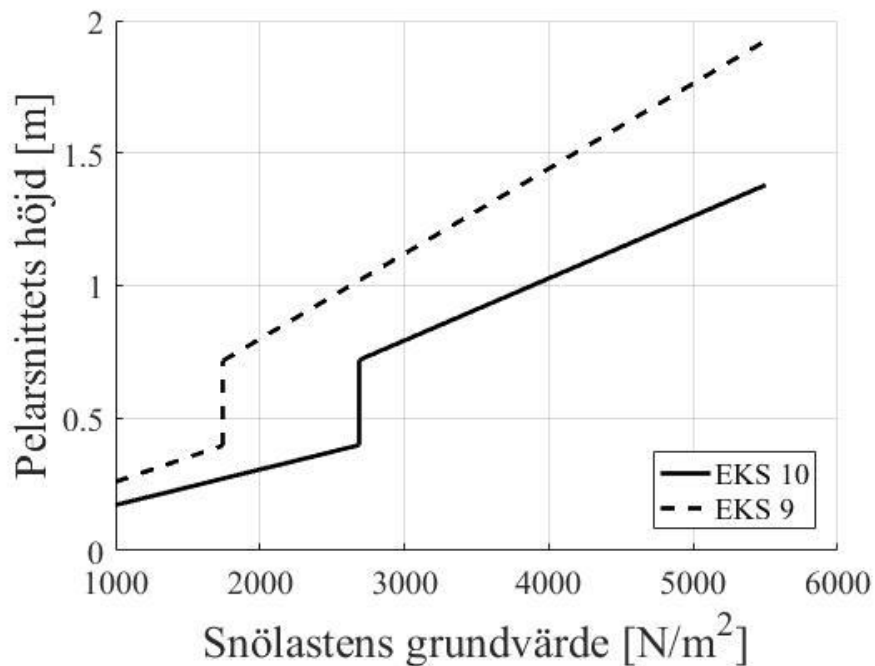
Figur 4.33: Sadelbalkens nockhöjd med avseende på momentkapacitet som funktion av snölastvärde.

#### Tvärkraftskapacitet



Figur 4.34: Sadelbalkens nockhöjd med avseende på tvärkraftskapacitet som funktion av snölastvärde.

## Upplagstryck



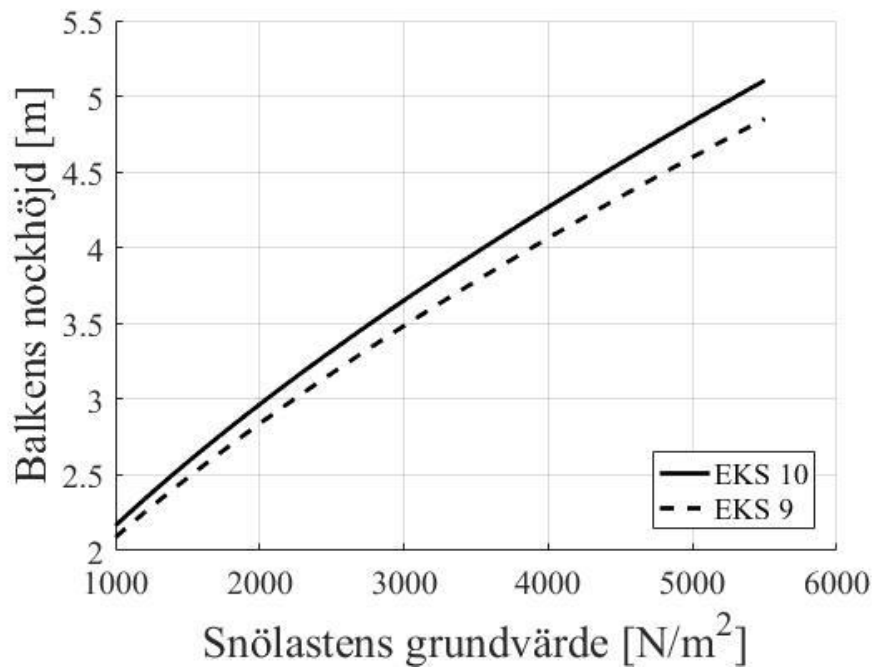
Figur 4.35: *Upplagslängd med avseende på upplagstryck som funktion av snölastvärde.*

Figur 4.33 visar nockhöjden beroende av momentkapacitet och följer samma mönster som för de raka balkarna. Balkens nockhöjd är däremot större än vad balkhöjden var för de raka balkarna.

Figur 4.34 visar att balkens nockhöjd beroende av tvärkraftskapacitet även här blir större för EKS 10 än EKS 9. Skillnaden i balkhöjd mellan de två regelverken blir större ju högre värdet på snölastens grundvärde är.

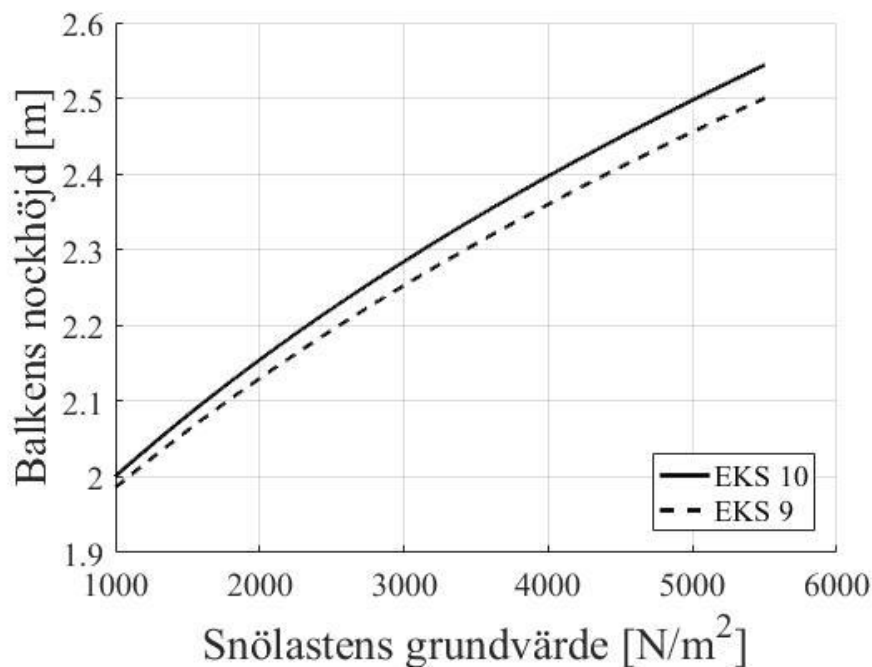
Figur 4.35 visar pelartvårsnittets höjd beroende av snölastens grundvärde och ger samma resultat som för de raka balkarna vid varierande snölastvärde.

## Tvärdragsspänningar



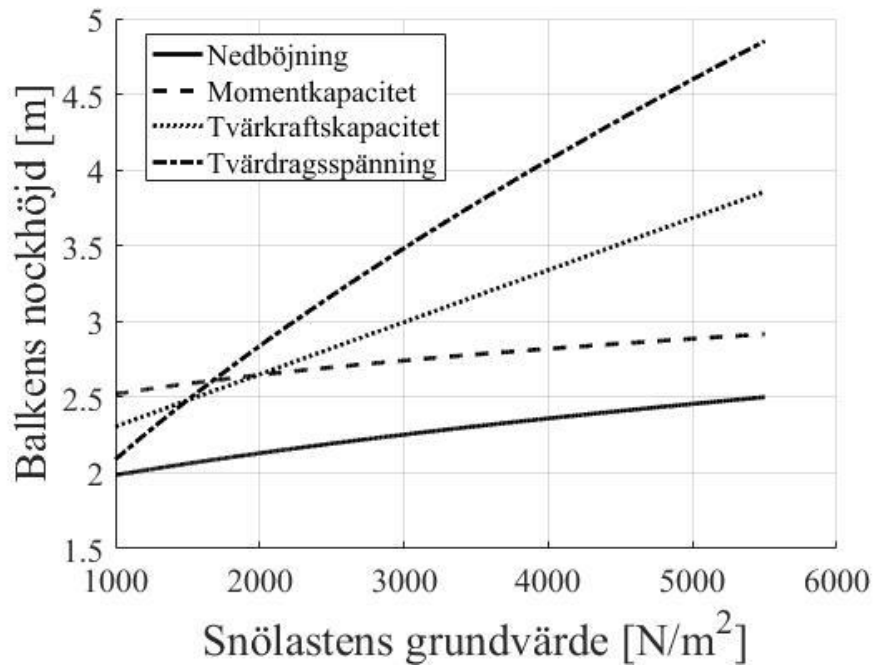
Figur 4.36: Sadelbalkens nockhöjd med avseende på tvärdragsspänningar som funktion av snölastvärde.

## Nedböjning



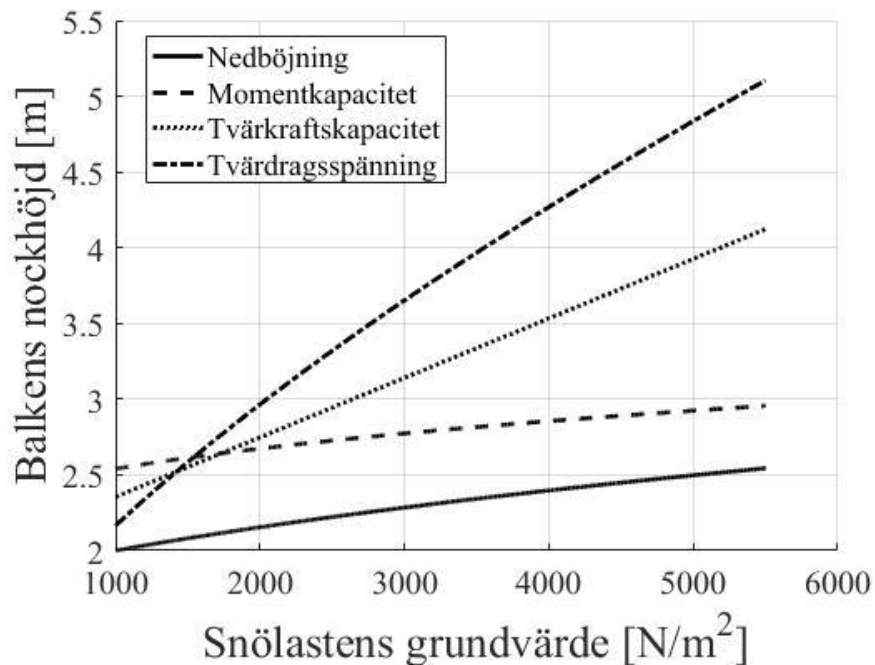
Figur 4.37: Sadelbalkens nockhöjd med avseende på nedböjning som funktion av snölastvärde.

## EKS 9



Figur 4.38: Sadelbalkens nockhöjd för EKS 9 med avseende på tvärkraftskapacitet, momentkapacitet, tvärdragsspänning samt nedböjning som funktion av snölastvärde.

## EKS 10



Figur 4.39: Sadelbalkens nockhöjd för EKS 10 med avseende på tvärkraftskapacitet, momentkapacitet, tvärdragsspänning samt nedböjning som funktion av snölastvärde.

Figur 4.36 visar nockhöjden beroende av tvärdragsspänningar där även skillnaden i nockhöjd mellan EKS 10 och EKS 9 blir större med större värden på snölastens grundvärde. Skillnaden i balkens nockhöjd från det lägsta och största värdet på snölastens grundvärde är cirka 3 meter för båda regelverken.

Figur 4.37 visar balkens nockhöjd med avseende på nedböjning där skillnaden mellan EKS 10 och EKS 9 vid ett snölastvärde på  $5500 \text{ N/m}^2$  är 43,9 mm.

Figur 4.38 och 4.39 visar att tvärkraftskapaciteten är dimensionerande för de högre värdena på snölasten. Vid de lägre värdena är dock momentkapaciteten dimensionerande. I EKS 9 kan nockhöjden på sadelbalkarna öka med nästan 3 meter beroende på snölastens grundvärde. I EKS 10 blir ökningen av höjden än större, balkhöjden ökar beroende på snölastens grundvärde med nästan 3,5 meter. Nockhöjderna varierar mellan ca 2 till 5 meter vilket är högt och beror på att balkhöjden först beräknades, och för att sedan få ut sadelbalkens nockhöjd antogs det att sadelbalken följer takets lutning vilket bidrar en del till nockhöjden då spannet är 20 meter.

För samtliga figurer gällande varierande snölastvärde har beräkningarna utförts för snölastvärden mellan  $1000 \text{ N/m}^2$  och  $5500 \text{ N/m}^2$  i 1500 intervall.



## 5 Slutsatser

### 5.1 Raka balkar

Vid raka balkar finns standarddimensioner i limträhandboken del 1, tabell 4 [17].

Med en hållfasthetsklass på GL30c samt en bredd på 140 mm kan höjden variera mellan 180 och 1395 mm. Största balken har dimensionerna 140 x 1395 mm. Vid stora värden på höjden måste dock risken för instabilitet beaktas.

#### 5.1.1 Varierande spännvidd

Dimensionerna med avseende på momentkapacitet blir större i EKS 10 på grund av den nya formfaktorn  $\mu_4$ . Enligt EKS 9 skulle formfaktorn  $\mu_1$  användas på båda takhalvorna och i EKS 10 blir det uppdelat så att  $\mu_1$  verkar på den ena takhalvan och  $\mu_4$  på den andra. Då  $\mu_4$  antar större värden än  $\mu_1$  medför det att snölasten blir större.

Skillnaderna med avseende på tvärkraftskapacitet beror också på de nya formfaktorerna i EKS 10. Dimensionerna blir även här större i EKS 10 än i EKS 9. Det enda fallet där höjden är större då man räknar efter EKS 9 är för fallet avseende upplagstryck. Detta beror till stor del på att man med EKS 10 kan sätta både  $k_{mod}$  och  $\gamma_m$  till 1, medan dessa konstanter i EKS 9 har värden på  $k_{mod} = 0,8$  och  $\gamma_m = 1,25$ . Skillnaderna mellan EKS 9 och 10 med avseende på nedböjning beror än en gång av de nya värdena på formfaktorerna.

En gemensam faktor är att höjden på takbalken alltid blir högre med de nya värdena på formfaktorn i EKS 10. Vid de större spännvidderna räcker inte standarddimensionerna på balkarna till, där får man antingen använda sig av lägre taklutning som medför lägre laster eller använda sig av en bredare balk.

#### 5.1.2 Varierande taklutning

Skillnaden i balkhöjd mellan regelverken för momentkapacitet, tvärkraftskapacitet och nedböjning beror som beskrivet tidigare på förändringen av formfaktorerna i EKS 10.

Nedböjningen är dimensionerande faktorn för alla taklutningar mellan 0 och 15 grader och medför aldrig en balkhöjd som överstiger standarddimensionen med en höjd på 1395 mm. Detta beror på att den spännvidd som antagits på 20 meter innebär att brottgränstillståndet inte är dimensionerande.

### 5.1.3 Varierande snölastvärde

Den största dimensionen på standardbalkarna, med en höjd på 1395 mm, kan inte klara av de höga värdena på snölasterna efter ett värde på 1832,5 N/m<sup>2</sup> för EKS 9 och ett värde på 1675 N/m<sup>2</sup> för EKS 10. Detta betyder att det inte går att ha samma dimensioner på takbalk i södra som norra Sverige. För att klara av dessa större snölaster måste en större bredd på balken användas.

## 5.2 Sadelbalkar

Vid sadelbalkar har de resultat som erhållits jämförts med standarddimensioner från projekteringsguide byggnader, sidan 5 [20].

Detta har gjorts för att få en fingervisning om vilka höjder som kan antas vara rimliga.

### 5.2.1 Varierande spännvidd

Erhållna nockhöjder med avseende på dimensionerande snittkrafter kan anses stora på en sådan liten bredd. Detta kan i sin tur orsaka vippning.

Nedböjningen var dimensionerande för raka balkar och hos sadelbalkar påverkar den minst efter en spännvidd på cirka 15 meter. Anledningen att nedböjningen påverkar så lite kan vara att sadelbalkarna uppnår en högre balkhöjd än de raka balkarna, vilket leder till ett större motstånd för nedböjningen.

Det kan anses vara orimligt att ha så stora nockhöjder som beräknats vid de större spännvidderna, då en bredd på 140 mm och en höjd på 3,5 meter med stor sannolikhet hade orsakat vippning hos konstruktionen. Så höga balkar kan normalt inte heller tillverkas i Sverige.

### 5.2.2 Varierande taklutning

Momentkapaciteten är, liksom fallet varierande spännvidd, i huvudsak dimensionerande vid varierande taklutning. Någon större skillnad mellan de olika utgåvorna av EKS erhålls inte. Även vid variation av taklutning blir nockhöjden väldigt stor vid de höga taklutningarna vilket kan anses vara orimligt.

### 5.2.3 Varierande snölastvärde

De stora ökningarna i dimensioner beror huvudsakligen på att snölastvärdet varierar från 1 – 5,5 kN/m<sup>2</sup>. Skillnaderna mellan de olika regelverken beror dock inte på snölastvärdet, utan de formfaktorer som används vid respektive EKS. Dessa stora värden på nockhöjder beror på den låga bredd som antagits, dessa nockhöjder anses vara orimliga vid de största antagna snölastvärdena.

### 5.3 Avslutande ord

Hallbyggnader med stora spännvidder är byggnadsverk som är av stort intresse då det gäller snölast. Att dessa är utsatta visar det flertal ras som inträffat [13]. Värt att notera är att många av de takras som inträffade under vintern 2010 sannolikt kan bero på ett icke fackmannamässigt utförande och inte otillräckliga standarder.

Det kan utläsas ur resultaten att det krävs större bredder på balkarna för de högre spännvidderna, taklutningarna och snölastvärdena.

När det gäller raka balkar med varierande spännvidd och taklutning blir nedböjningen dimensionerande för de fall som undersökts. Vid varierande snölast är nedböjningen endast dimensionerande vid låga snölastvärden, sedan blir det momentkapaciteten vid högre värden och till sist blir tvärkraftskapaciteten dimensionerande vid de allra högsta värdena. När det gäller sadelbalkar avseende varierande spännvidd samt taklutning är momentkapaciteten i huvudsak dimensionerande. När snölasten varierar är dock momentkapaciteten dimensionerande enbart vid de låga snölastvärdena. Tvärdragspänningen blir sedan dimensionerande vid de högre värdena på snölastens grundvärde.

Enligt beräkningarna i bilaga A måste dimensionerna enligt EKS 10 för både raka och sadelbalkar oftast ökas med ett steg. Enda fallen när dimensionerna minskar med ett steg mellan regelverken är när upplagslängden beroende av upplagstrycket beräknas enligt EKS 9 och EKS 10.

Vid kontroll av nockhöjder hos sadelbalkarna blev värdena mycket stora vid de stora spännvidderna samt taklutningarna. Enligt Limträhandboken del 2 kap 7.1 bör lutningsvinkeln inte överskrida  $10^\circ$ , där det även finns tumregler gällande balkbredd [17]. Detta är ett råd som enligt författarna bör följas.

Det framkommer även från resultaten att snölastens grundvärde påverkar dimensionerna i stor utsträckning. Det kan skilja flera meter på dimensionerna mellan ett snölastvärde från en snözon i södra Sverige jämfört med en zon belägen i nordliga delar av landet.

Sammanfattningsvis leder ändringarna i den nya EKS 10 till att dimensioner ofta måste ökas med ett steg om balkarna ska klara av de nya lastfallen som kommer med ändringarna. Av alla ändringar är det formfaktorn,  $\mu$ , som spelar störst roll för dimensionsändringarna, särskilt avseende fallet varierande snölast.

### 5.3.1 Sammanfattning av svar på frågeställning

- Vilka ändringar i EKS är relevanta när det gäller snölast på tak?

*Förändringen av  $\mu$ -värdena samt förändringen av snölastzonerna, som i sin tur har förändrat snölastens  $s_k$ -värde för ett fåtal orter.*

- Hur har karakteristisk snölast och formfaktorerna för snölast på sadeltak ändrats sedan tidigare?

*Karakteristisk snölast har varierat mellan upplagorna för vissa orter. Formfaktorn  $\mu_1$  har inte förändrats mellan EKS 9 och EKS 10. I EKS 9 användes dock  $\mu_1$  för båda takhalvorna, där det i EKS 10 har delats upp så att  $\mu_1$  används på ena takhalvan och  $\mu_4$  på den andra, se figur 2.8 och 2.10.*

- Hur kommer dessa förändringar att påverka moment, tvärkraft, upplagstryck och nedböjning för olika taklutningar och spannvidder?

*De kommer att medföra att man räknar med större laster och därmed större moment, tvärkraft och nedböjning för olika taklutningar och spannvidder. Förändring av  $k_{mod}$  och  $\gamma_m$  har medfört minskat upplagstryck i EKS 10 jämfört med EKS 9.*

- Kommer ändringarna i lasteffekt att ge upphov till ändrade dimensioner för balkar av limträ, med avseende på momentkapacitet, tvärkraftskapacitet, upplagstryck, tvärdragsspänningar och nedböjning?

*Ja, ökad dimension med ett steg beroende på moment, tvärkraft och nedböjning. Minskad dimension med ett steg beroende på upplagstryck. Detta gäller för de fall som undersökts i arbetet.*

## 5.4 Framtida studier

Det finns fler parametrar att studera när det gäller snölast på tak. Höjd över hav, snödrift och snöfickor är bara några exempel som skulle kunna studeras i ett kommande arbete.

Utförandet av takmontering kan även kontrolleras då denna kan ha varit otillräcklig vid vissa av de fall där takras uppstått.

Det kan även väljas att studera gamla hallbyggnader och räkna på om de skulle klara sig enligt dagens standarder från EKS 10.

Hur de stora värdena på balkhöjden eventuellt påverkar instabiliteten kan vara en frågeställning till en kommande studie.

Studien kan även utökas om man lägger till fler fall, exempelvis olika bredder. Man kan även välja att variera flera parametrar samtidigt.



## Referenser

- [1] Holm, L. Essunger, G. (1979) *Svensk Byggnorm: SBN avd 2a Bärande konstruktioner med kommentarer*. Stockholm: statens planverks författningssamling liber förlag, 1980.
- [2] Blücher, G. Nylander, J-O. (1988) *Nybyggnadsregler: Boverkets nybyggnadsregler (föreskrifter och allmänna råd)*. Stockholm: Allmänna förlaget AB, 1990.
- [3] Boverket. (1997). *Snö och vindlast: Boverkets handbok om snö- och vindlast*. Karlskrona: tryckeri Balder, 1977.
- [4] Bjerström, S. (2006) BFS 2006: 11 BKR 10 Boverkets författningssamling Boverket, 2006.
- [5] BFS 2013:10 EKS 9. *Boverkets föreskrifter om ändring i verkets föreskrifter och allmänna råd (2011:10) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)*.
- [6] BFS 2015:6 EKS 10. *Boverkets föreskrifter om ändring i verkets föreskrifter och allmänna råd (2011:10) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)*.
- [7] Boverket, 2011:8. *Erfarenheter från takras i Sverige vintrarna 2009/10 och 2010/11*. Karlskrona: Boverket.
- [8] Konsekvensutredning 2015:10 EKS 10. *Ändring i Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)* Karlskrona: Boverket.
- [9] SVENSK STANDARD SS-EN 1990. *Eurokod 1 – Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk*. SIS Förlag AB, Stockholm.
- [10] SVENSK STANDARD SS-EN 1991-1-3. *Eurokod 1 – Laster på bärverk – Del 1-3: Allmänna laster – Snölast*. SIS Förlag AB, Stockholm.
- [11] Isaksson, T. Mårtensson, A. 2011. *Byggkonstruktion*. Studentlitteratur. ISBN: 978-91-44-07030-8.
- [12] Isaksson, T. Mårtensson, A. 2011. *Byggkonstruktion – Regel och formelsamling*. Studentlitteratur. ISBN: 978-91-44-07032-2.
- [13] Åkerlund, Sture. 2011. Jämförelse BKR och EKS-Eurokoder. *Bygg & Teknik* (4): 21-23.

- [14] "Traguiden.se," Träguiden, [Online]. Available: <http://www.traguiden.se/konstruktion/dimensionering/hjalpmedel---tabeller/tak/treledstakstolar-av-limtra/>.
- [15] "Traguiden.se," Träguiden, [Online]. Available: <http://www.traguiden.se/konstruktion/dimensionering/hjalpmedel---tabeller/tak/sadelbalkar-av-limtra-i-ett-fack/>.
- [16] "Traguiden.se," Träguiden, [Online]. Available: <http://www.traguiden.se/konstruktion/dimensionering/berakningsexempel/hallbyggnader/rak-sadelbalk-av-limtra/>.
- [17] Gross, Holger. 2016. Limträhandbok Del 1. Femte upplagan. Stockholm: ProService Kommunikation AB.
- [18] Crocetti, Roberto. Fröbel, Johan. Borgström, Eric. Danielsson, Henrik. Fröwald Hansson, Eva. Klinger, Robert. Mårtensson, Annika. Serrano, Erik. Johansson, Marie. Just, Alar. Piazza, Maurizio. Östman, Birgit. 2016. Limträhandbok Del 2. Femte upplagan. Stockholm: ProService Kommunikation.
- [19] Crocetti, Roberto. Rossi, Simone. 2016. Limträhandbok del 3. Femte upplagan. Stockholm: ProService Kommunikation AB.
- [20] "Martinsons.se," Projekteringsguide byggnader, [Online]. Available: <http://www.martinsons.se/Allm%C3%A4n/Filer/Byggsystem/Projekteringsguide.pdf>.
- [21] Heyden, S. Dahlblom, O. Olsson, A. Sandberg, G. 2007. Introduktion till strukturmekniken. Studentlitteratur. ISBN: 978-91-44-05125-3.
- [22] SVENSK STANDARD SS-EN 1991-1-1:2004. *Eurokod 5 – Dimensionering av träkonstruktioner – Del 1-1: Allmänt – Gemensamma regler och regler för byggnader*. SIS Förlag AB, Stockholm.
- [23] SVENSK STANDARD SS-EN 1991-2-3:1995. Eurokod 1 – Laster på bärverk – Del 1-3: Allmänna laster – Snölast. SIS Förlag AB, Stockholm
- [24] INTERNATIONAL STANDARD ISO 4355. 1998-12-01. Bases for design of structures – Determination of snow loads on roofs. International Organization for Standardization, Genève.
- [25] MATLAB Release R2016a, The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States.



## Bilagor

### A Beräkning för referensfall

För att på enklast sätt att illustrera hur beräkningarna genomförts visas ett beräkningsexempel där vägen till resultaten kan följas.

#### A.1 Förutsättningar och laster

Antaganden:

Spännvidd är 20 meter

C/c är 6 meter

Byggnadens höjd är 5 meter

Taklutning är  $10^\circ$

Takets egentyngd är  $0,5 \text{ kN/m}^2$  (inklusive takbalkar, verkar per horisontell längd och antas vara konstant för raka balkar och sadelbalkar)

Snözon 1 ger  $s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$  (t.ex. Malmö kommun)

Topografi är normal

Termisk koefficient antas vara 1 ( $C_t = 1,0$ )

Terrängtyp 3

Referensvindhastighet,  $v_b$ , är 26 m/s.

Hållfasthetsklass är GL30c

Klimatklass 2

Material är limträ

Balken förutsätts stagad mot vippning

Balken har ett rektangulärt tvärsnitt

Bredden är 140 mm

Säkerhetsklass 3

## Snölast

$$s = \mu_i C_e C_t s_k$$

Från figur 2.3:  $s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$  ( $s_k$  värdet för Malmö kommun har inte förändrats från EKS 9 till EKS 10)

Från tabell 2.6:  $C_e = 1,0$

$$C_t = 1,0$$

## Snölast EKS 9

Från figur 2.9:  $\mu_1 = 0,8$

Detta ger följande:

$$s = \mu_1 C_e C_t s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

## Snölast EKS 10

Från figur 2.11:  $\mu_1 = 0,8$  och  $\mu_4 = 0,95$

Detta ger följande:

$$s_1 = \mu_4 C_e C_t s_k = 0,95 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,95 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = \mu_1 C_e C_t s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

## Vindlast

För vind mot gaveln verkar vindkraften sugande på hela taket och kommer att medföra en totalt sett mindre last på taket. Detta innebär att denna vindriktning bortses från.

För vind mot långsidan gäller följande:

$$w = q_p c_{pe} + q_p c_{pi}$$

Malmö kommun, byggnadens höjd och terrängtyp 3 ger:  $q_p = 0,5175 \text{ kN/m}^2$

Arean som påverkas antas vara över  $10 \text{ m}^2$  därför används  $c_{p,10}$ .

Taklutning på  $10^\circ$  ger följande  $c_{pe}$ -värden för zonerna:

Zon F ger:  $c_{pe} = 0,1$

Zon G ger:  $c_{pe} = 0,1$

Zon H ger:  $c_{pe} = 0,1$

Zon I ger:  $c_{pe} = 0$

Zon J ger  $c_{pe} = 0,1$

där zonerna F, G och H verkar på lovartsidan, samt att zonerna I och J verkar på läsidan.

Uppdelat på två takhalvor fås alltså följande värden för  $c_{pe}$ :

$$c_1 = 0,1$$

$$c_2 = 0,1$$

$c_1$  verkar på samma takhalva som  $s_1$  och  $c_2$  på samma takhalva som  $s_2$ . Det vill säga att vinden har medfört att det ligger mer snö på ena takhalvan och att vindriktningen sedan vänt vilket medför ett tryck på samma takhalva som majoriteten av snön ligger.

Med en vindlast som verkar tryckande på takets ovansida blir det farligaste lastfallet där den inre vindlasten verkar sugande,  $c_{pi}$  sätts därför till:

$$c_{pi} = -0,3$$

Med 10° taklutning beräknas den vertikala komponenten av vindlasten enligt följande:

$$\begin{aligned} w_{1,lut} &= (q_p(z_e)c_1 + q_p(z_i)c_{pi}) \cos(\alpha) \\ &= (0,5175 \cdot 0,1 + 0,5 \cdot 0,3) \cdot \cos(10^\circ) = 0,199 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_{2,lut} &= (q_p(z_e)c_2 + q_p(z_i)c_{pi}) \cos(\alpha) \\ &= (0,5175 \cdot 0,1 + 0,5 \cdot 0,3) \cdot \cos(10^\circ) = 0,199 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Vindlasten verkar per lutande längd och därför räknas den om per horisontell längd:

$$w_1 = \frac{w_{1,lut}}{\cos(\alpha)} = \frac{0,199}{\cos(10^\circ)} = 0,20 \text{ kN/m}^2$$

$$w_2 = \frac{w_{2,lut}}{\cos(\alpha)} = \frac{0,199}{\cos(10^\circ)} = 0,20 \text{ kN/m}^2$$

**Dimensionerande last i brottgränstillståndet med vind som huvudlast:**

$$q_{1d} = \gamma_d 1,5 w_1 + \gamma_d 1,5 \psi_{0,i} s_1 + \gamma_d 1,2 G_k$$

$$q_{2d} = \gamma_d 1,5 w_2 + \gamma_d 1,5 \psi_{0,i} s_2 + \gamma_d 1,2 G_k$$

Säkerhetsklass 3 ger:  $\gamma_d = 1,0$

$s_k \leq 1$  ger:  $\psi_0 = 0,6$

**Enligt EKS 9:**

$$q_{1d} = 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,20 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,8 + 1,0 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = 1,62 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{2d} = 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,20 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,8 + 1,0 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = 1,62 \text{ kN/m}^2$$

**Enligt EKS 10:**

$$q_{1d} = 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,20 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,95 + 1,0 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = 1,76 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{2d} = 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,20 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,8 + 1,0 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = 1,62 \text{ kN/m}^2$$

**Med snö som huvudlast:**

$$q_{1d} = \gamma_d 1,5 s_1 + \gamma_d 1,5 \psi_{0,i} w_1 + \gamma_d 1,2 G_k$$

$$q_{2d} = \gamma_d 1,5 s_2 + \gamma_d 1,5 \psi_{0,i} w_2 + \gamma_d 1,2 G_k$$

Säkerhetsklass 3 ger:  $\gamma_d = 1,0$

Vindlast ger:  $\psi_0 = 0,3$

**Enligt EKS 9:**

$$q_{1d} = 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,8 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,3 \cdot 0,20 + 1,0 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = 1,89 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{2d} = 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,8 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,3 \cdot 0,20 + 1,0 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = 1,89 \text{ kN/m}^2$$

**Enligt EKS 10:**

$$q_{1d} = 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,95 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,3 \cdot 0,20 + 1,0 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = 2,12 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{2d} = 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,8 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,3 \cdot 0,20 + 1,0 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = 1,89 \text{ kN/m}^2$$

Snö som huvudlast antar störst värden och är därför dimensionerande.

**För EKS 9 och ett c/c-avstånd mellan balkarna på 6 meter gäller:**

$$q_1 = 1,89 \cdot 6 = 11,3 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = 1,89 \cdot 6 = 11,3 \text{ kN/m}$$

**För EKS 10 och ett c/c-avstånd mellan balkarna på 6 meter gäller:**

$$q_1 = 2,12 \cdot 6 = 12,7 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = 1,89 \cdot 6 = 11,3 \text{ kN/m}$$

**Dimensionerande last i bruksgränstillståndet med vind som huvudlast:**

$$q_{1d} = 1,0w_1 + \psi_{0,i}s_1 + 1,0G_k$$

$$q_{2d} = 1,0w_2 + \psi_{0,i}s_2 + 1,0G_k$$

$$s_k \leq 1 \text{ ger: } \psi_0 = 0,6$$

**Enligt EKS 9:**

$$q_{1d} = 1,0 \cdot 0,20 + 0,6 \cdot 0,8 + 1,0 \cdot 0,5 = 1,18 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{2d} = 1,0 \cdot 0,20 + 0,6 \cdot 0,8 + 1,0 \cdot 0,5 = 1,18 \text{ kN/m}^2$$

**Enligt EKS 10:**

$$q_{1d} = 1,0 \cdot 0,20 + 0,6 \cdot 0,95 + 1,0 \cdot 0,5 = 1,27 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{2d} = 1,0 \cdot 0,20 + 0,6 \cdot 0,8 + 1,0 \cdot 0,5 = 1,18 \text{ kN/m}^2$$

**Med snö som huvudlast:**

$$q_{1d} = 1,0s_1 + \psi_{0,i}w_1 + 1,0G_k$$

$$q_{2d} = 1,0s_2 + \psi_{0,i}w_2 + 1,0G_k$$

$$\text{Vindlast ger: } \psi_0 = 0,3$$

**Enligt EKS 9:**

$$q_{1d} = 1,0 \cdot 0,8 + 0,3 \cdot 0,20 + 1,0 \cdot 0,5 = 1,36 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{2d} = 1,0 \cdot 0,8 + 0,3 \cdot 0,20 + 1,0 \cdot 0,5 = 1,36 \text{ kN/m}^2$$

**Enligt EKS 10:**

$$q_{1d} = 1,0 \cdot 0,95 + 0,3 \cdot 0,20 + 1,0 \cdot 0,5 = 1,51 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{2d} = 1,0 \cdot 0,8 + 0,3 \cdot 0,20 + 1,0 \cdot 0,5 = 1,36 \text{ kN/m}^2$$

Snö som huvudlast antar störst värden och är därför dimensionerande.

**För EKS 9 och ett c/c avstånd mellan balkarna på 6 meter gäller:**

$$q_1 = 1,36 \cdot 6 = 8,2 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = 1,36 \cdot 6 = 8,2 \text{ kN/m}$$

**För EKS 10 och ett c/c avstånd mellan balkarna på 6 meter gäller:**

$$q_1 = 1,51 \cdot 6 = 9,1 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = 1,36 \cdot 6 = 8,2 \text{ kN/m}$$

**A.2 Raka balkar****Momentkapacitet**

Momentkapaciteten,  $M_{Rd}$ , för ett tvärsnitt ges av [12]:

$$M_{Rd} = f_{md} W k_{crit}$$

$f_{md}$  är den dimensionerande böjhållfastheten och fås som [12]

$$f_{md} = \frac{k_{mod} f_{mk}}{\gamma_M}$$

Limträ, klimatklass och kortvarigaste last medel ger  $k_{mod}$ . På säkra sidan sätts kortvarigaste last till snölast, för att undvika behovet av att kontrollera även fallet med bara snölast separat. För klimatklass 1 och 2 fås:

$$k_{mod} = 0,80$$

Limträ hållfasthetsklass GL30c ger:  $f_{mk} = 30 \text{ MPa}$

Limträ ger:  $\gamma_M = 1,25$

$$W = \frac{bh^2}{6}$$

$$b = 0,14 \text{ m}$$

Stagad i veka riktningen ger:  $k_{crit} = 1,0$

Eftersom lasterna blir störst på den takhalva där  $q_1$  verkar uppstår det maximala momentet i snitt 1 då  $q_1$  alltid är större än  $q_2$ . Detta moment är därmed dimensionerande och medför att:

$$M_{Rd} = \frac{9q_1^2 L^2 + 6q_1 q_2 L^2 + q_2^2 L^2}{128q_1}$$

Med detta kan balkhöjden beräknas genom följande:

$$h = \sqrt{\frac{(9q_1^2 L^2 + 6q_1 q_2 L^2 + q_2^2 L^2) \gamma_M \cdot 6}{128q_1 k_{mod} f_{mk} b k_{crit}}}$$

### EKS 9

$$h = \sqrt{\frac{(9 \cdot (11,3 \cdot 10^3)^2 \cdot 20^2 + 6 \cdot (11,3 \cdot 10^3) \cdot (11,3 \cdot 10^3) \cdot 20^2 + (11,3 \cdot 10^3)^2 \cdot 20^2) \cdot 1,25 \cdot 6}{128 \cdot (11,3 \cdot 10^3) \cdot 0,80 \cdot (30 \cdot 10^6) \cdot 0,14 \cdot 1}}$$

$$\rightarrow h = 1,123 \text{ m}$$

Detta ger balk GL30c 140 x 1125 mm

### EKS 10

$$h = \sqrt{\frac{(9 \cdot (12,7 \cdot 10^3)^2 \cdot 20^2 + 6 \cdot (12,7 \cdot 10^3) \cdot (11,3 \cdot 10^3) \cdot 20^2 + (11,3 \cdot 10^3)^2 \cdot 20^2) \cdot 1,25 \cdot 6}{128 \cdot (12,7 \cdot 10^3) \cdot 0,80 \cdot (30 \cdot 10^6) \cdot 0,14 \cdot 1}}$$

$$\rightarrow h = 1.158 \text{ m}$$

Detta ger balk GL30c 140 x 1170 mm

### Tvärkraftskapacitet

$$V_{Rd} = \frac{A f_{vd}}{1.5}$$

$$f_{vd} = \frac{k_{mod} f_{vk}}{\gamma_M}$$

Limträ hållfasthetsklass GL30c ger:  $f_{vk} = 3,5 \text{ MPa}$

$$A = b_{ef}h$$

$$b_{ef} = k_{cr}b$$

Limträ inomhus ger:  $k_{cr} = 0,857$

$$b = 0,14 \text{ m}$$

$$V_{Rd} = \frac{k_{cr}bh \frac{k_{mod}f_{vk}}{\gamma_M}}{1.5}$$

Maximal tvärkraft uppstår vid upplag A, vilket ger att  $V_{Rd} = L \left( \frac{3q_1 + q_2}{8} \right)$

Med detta insatt i formeln fås:

$$h = \frac{L \left( \frac{3q_1 + q_2}{8} \right) \cdot \gamma_M \cdot 1.5}{k_{cr}bk_{mod}f_{vk}}$$

### **EKS 9**

$$h = \frac{20 \cdot \left( \frac{3 \cdot (11,3 \cdot 10^3) + (11,3 \cdot 10^3)}{8} \right) \cdot 1,25 \cdot 1.5}{0,857 \cdot 0,14 \cdot 0,80 \cdot (3,5 \cdot 10^6)}$$

$$\rightarrow h = 0.631 \text{ m}$$

Detta ger balk GL30c 140 x 675 mm

### **EKS 10**

$$h = \frac{20 \cdot \left( \frac{3 \cdot (12,7 \cdot 10^3) + (11,3 \cdot 10^3)}{8} \right) \cdot 1,25 \cdot 1.5}{0,857 \cdot 0,14 \cdot 0,80 \cdot (3,5 \cdot 10^6)}$$

$$\rightarrow h = 0.689 \text{ m}$$

Detta ger balk GL30c 140 x 720 mm

### **Upplagstryck**

$$N_{Rc,90,d} = k_{c,90}f_{c,90,d}A$$

A är kontaktarean mellan väggpelaren och takbalken, vilket ger:



$$A = bl$$

Där  $b$  är pelarens bredd och  $l$  är upplagslängden. Pelarens bredd är densamma som takbalkens bredd, dvs.  $b = 0,14$  m.

Enligt EKS 10 gäller: ”Om verifiering för tryck vinkelrätt mot fiberriktningen avser dimensioneringssituationer där konsekvensen enbart är förhöjda deformationer som inte har någon väsentlig inverkan på systemets stabilitet och bärförmåga kan  $\gamma_m = 1,0$  och  $k_{mod} = 1,0$  användas när dimensionerande hållfasthet  $f_{c,90,d}$  beräknas”.

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} f_{c,90,k}}{\gamma_M}$$

$f_{c,90,d}$  kommer alltså att få olika värden beroende på ifall man räknar efter EKS 9 eller 10.

**Enligt EKS 9:**

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = \frac{0,80 \cdot 2,5}{1,25} = 1,6 \text{ MPa}$$

**Enligt EKS 10:**

$$k_{mod} = 1,0$$

$$\gamma_m = 1,0$$

$$f_{c,90,d} = \frac{1,0 \cdot 2,5}{1,0} = 2,5 \text{ MPa}$$

I detta arbete kontrolleras först upplagskraften enligt  $k_{90} = 1,75$ , det vill säga att upplagslängden,  $l < 400$  mm. Om det sedan visar sig att höjden skulle gå över 400 mm gäller  $k_{90} = 1,0$ .

Kontrollerar med  $k_{90} = 1,75$  och ser ifall  $l \leq 400$  mm

Upplagstrycket kan beräknas enligt:

$$N_{RC,90,d} = k_{c,90} f_{c,90,d} bl$$

Upplagslängden kan lösas ut enligt följande:

$$l = \frac{N_{Rc,90,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d} b}$$

Den maximala upplagskraften uppstår vid upplag A, vilket ger att  $N_{90,d}$  skrivs som:

$$N_{Rc,90,d} = L \left( \frac{3q_1 + q_2}{8} \right)$$

Med detta insatt löses alltså upplagslängden ut genom:

$$l = \frac{L \left( \frac{3q_1 + q_2}{8} \right)}{k_{c,90} f_{c,90,d} b}$$

### EKS 9

$$l = \frac{20 \cdot \left( \frac{3 \cdot (11,3 \cdot 10^3) + (11,3 \cdot 10^3)}{8} \right)}{1,75 \cdot (1,8 \cdot 10^6) \cdot 0,14}$$

$$\rightarrow h = 0.258 \text{ m}$$

Detta ger pelare GL30c 140 x 270 mm

### EKS 10

$$l = \frac{20 \cdot \left( \frac{3 \cdot (12,7 \cdot 10^3) + (11,3 \cdot 10^3)}{8} \right)}{1,75 \cdot (1,8 \cdot 10^6) \cdot 0,14}$$

$$\rightarrow h = 0.172 \text{ m}$$

Detta ger pelare GL30c 140 x 180 mm

### Nedböjning

Enligt figur 3.5 kan nedböjningen beräknas enligt formeln

$$v = \frac{L^4}{384EI} (2,5q_1 + 2,5q_2)$$

I detta arbete kontrollerar vi korttidsnedböjningen i bruksgränstillståndet, med karakteristisk lastkombination. Detta medför att den totala lasten på taket beräknas enligt nedan.

Hållfasthetsklass GL30c och karakteristisk lastkombination ger:

$$E = 13000 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Med en maximal nedböjning på  $L/300$  beräknas balkhöjden enligt avsnitt 3.3.5:

$$h = \sqrt[3]{\frac{L^3 \cdot (2,5q_1 + 2,5q_2) \cdot 300}{32Eb}}$$

**EKS 9**

$$h = \sqrt[3]{\frac{20^3 \cdot (2,5 \cdot (8,2 \cdot 10^3) + 2,5 \cdot (8,2 \cdot 10^3)) \cdot 300}{32 \cdot (13000 \cdot 10^6) \cdot 0,14}}$$

$$\rightarrow h = 1,191 \text{ m}$$

Detta ger balk GL30c 140 x 1215 mm

**EKS 10**

$$h = \sqrt[3]{\frac{20^3 \cdot (2,5 \cdot (9,1 \cdot 10^3) + 2,5 \cdot (8,1 \cdot 10^3)) \cdot 300}{32 \cdot (13000 \cdot 10^6) \cdot 0,14}}$$

$$\rightarrow h = 1,212 \text{ m}$$

Detta ger balk GL30c 140 x 1215 mm

### A.3 Sadelbalkar

#### Momentkapacitet

Nockhöjden beräknas enligt:

$$\frac{\sigma_{m,a,d}}{k_{m,a} \cdot f_{m,d}} < 1$$

$$k_{m,a} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5f_{vd}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \tan^2(\alpha)\right)^2}}$$

$$f_{md} = \frac{k_{mod} f_{mk}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 30}{1,25} = 19,2 \text{ MPa}$$

$$f_{vd} = \frac{k_{mod} f_{vk}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 3,5}{1,25} = 2,24 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} f_{c,90,d}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 2,5}{1,25} = 1,6 \text{ MPa}$$

$$k_{m,a} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{19,2}{1,5 \cdot 2,24} \cdot \tan(10)\right)^2 + \left(\frac{19,2}{1,6} \cdot \tan^2(10)\right)^2}} = 0,68$$

$$\sigma_{m,a,d} = \frac{M}{W}$$

Balkens nockhöjd beräknas sedan numerisk och resulterar i:

#### **EKS 9**

$$h_{nock} = 2,52 \text{ m}$$

#### **EKS 10**

$$h_{nock} = 2,54 \text{ m}$$

## Tvärkraftskapacitet

För sadelbalkar beräknas nockhöjden enligt:

$$h_{nock} = h + \frac{L}{2} \cdot \tan \alpha$$

Där  $h$  är den höjd som tagits fram vid räkning med tvärkraftskapacitet vid raka balkar.

### För EKS 9:

$$h_{nock} = 0.631 + \frac{20}{2} \cdot \tan 10^\circ$$

$$\rightarrow h_{nock} = 2,394 \text{ m}$$

För EKS 10:

$$h_{nock} = 0.689 + \frac{20}{2} \cdot \tan 10^\circ$$

$$\rightarrow h_{nock} = 2,452 \text{ m}$$

## Upplagstryck

Upplagstrycket hos sadelbalkar ger upphov till samma resultat som för raka balkar.

## Tvärdragsspänning

Från kapitel 3.3.4 fås följande formel:

$$h_{nock} \geq (100b)^{\frac{1}{8}} \left( \frac{\gamma_M \cdot (0,2 \tan \alpha) \cdot 3 \cdot (q_1 L^2 + q_2 L^2)}{8bk_{disk}k_{mod}f_{t,90,k}} \right)^{\frac{5}{8}}$$

Sadelbalk ger:  $k_{dis} = 1,4$

Limträ ger:  $\gamma_M = 1,25$

Kortvarigaste last kort, M (snölast), limträ och klimatklass 2 ger:

$$k_{mod} = 0,8$$

GL32c ger:  $f_{90,k} = 0,5 \text{ Mpa}$

### För EKS 9:

$$\begin{aligned} h_{nock} &= (100 \cdot 0,14)^{\frac{1}{8}} \left( \frac{1,25 \cdot (0,2 \cdot \tan 10^\circ) \cdot 3 \cdot ((11,3 \cdot 10^3) \cdot 20^2 + (11,3 \cdot 10^3) \cdot 20^2)}{8 \cdot 0,14 \cdot 1,4 \cdot 0,8 \cdot (0,5 \cdot 10^6)} \right)^{\frac{5}{8}} \\ &= 2,08 \text{ m} \end{aligned}$$

### För EKS 10:

$$\begin{aligned} h_{nock} &= (100 \cdot 0,14)^{\frac{1}{8}} \left( \frac{1,25 \cdot (0,2 \cdot \tan 10^\circ) \cdot 3 \cdot ((12,7 \cdot 10^3) \cdot 20^2 + (11,3 \cdot 10^3) \cdot 20^2)}{8 \cdot 0,14 \cdot 1,4 \cdot 0,8 \cdot (0,5 \cdot 10^6)} \right)^{\frac{5}{8}} \\ &= 2,16 \text{ m} \end{aligned}$$

### Nedböjning

Balkhöjden beräknas numeriskt mot dimensioneringskriteriet  $v < L/300$  och resulterar i följande:

#### EKS 9

$$h_{nock} = 1,99 \text{ m}$$

#### EKS 10

$$h_{nock} = 2,0 \text{ m}$$

## B Exempel av matlabkod

### B.1 Raka balkar, varierande spännvid

```
%RAKA BALKAR MED VARIERANDE SPÄNNVIDD
L=10:0.1:30;

%LASTER
%Egentyngd
Gtak=500;

%Snölast
Ce=1.0;
Ct=1.0;
sk=1000;
%Enligt EKS 9
unio=0.8;
snio=unio*Ce*Ct*sk;
%Enligt EKS 10
utioett=0.8;
utiotva=0.95;
stioett=utiotva*Ce*Ct*sk;
stiotva=utioett*Ce*Ct*sk;

%Vindlast
qp=517.5;
cpeett=0.1;
cpetva=0.1;
cpi=0.3;
alfa=10;
wett=(qp*cpeett+qp*cpi);
wtva=(qp*cpetva+qp*cpi);

%Total last på balken
gammad=1.0;
psivind=0.3;
cc=6;
%Brottgränstillståndet
%Enligt EKS 9
Qnio=(gammad*1.5*snio+gammad*1.5*psivind*wett+gammad*1.2*Gtak)*cc;
qnio=(gammad*1.5*snio+gammad*1.5*psivind*wtva+gammad*1.2*Gtak)*cc;
%Enligt EKS10
Qtio=(gammad*1.5*stioett+gammad*1.5*psivind*wett+gammad*1.2*Gtak)*cc;
qtio=(gammad*1.5*stiotva+gammad*1.5*psivind*wtva+gammad*1.2*Gtak)*cc;

%Brukgränstillståndet
%Enligt EKS 9
Qniobruk=(1.0*snio+0.3*wett+1.0*Gtak)*cc;
qniobruk=(1.0*snio+0.3*wtva+1.0*Gtak)*cc;
%Enligt EKS 10
Qtiobruk=(1.0*stioett+0.3*wett+1.0*Gtak)*cc;
qtiobruk=(1.0*stiotva+0.3*wtva+1.0*Gtak)*cc;

%DIMENSIONERING
gammam=1.25;
kmod=0.8;
b=0.14;

%Momentkapacitet
```

```

fmk=30*(10^6);
kcrit=1.0;
%EKS9
hniom=(((9*(Qnio^2)*(L.^2))+(6*Qnio*qnio*(L.^2))+((qnio^2)*(L.^2)))*gamma
am*6)/(128*Qnio*kmod*fmk*b*kcrit).^0.5;
%EKS10
htiom=(((9*(Qtio^2)*(L.^2))+(6*Qtio*qtio*(L.^2))+((qtio^2)*(L.^2)))*gamma
am*6)/(128*Qtio*kmod*fmk*b*kcrit).^0.5;

%Tvärkraftskapacitet
kcr=0.857;
fvk=3.5*(10^6);
%EKS9
hniot=(L*((3*Qnio+qnio)/8)*gamma*1.5)/(kcr*b*kmod*fvk);
%EKS10
htiot=(L*((3*Qtio+qtio)/8)*gamma*1.5)/(kcr*b*kmod*fvk);

%Upplagstryck
kc=1.75;
fck=2.5*(10^6);
%EKS 9
kmodunio=0.8;
gammamunio=1.25;
fcdnio=(kmodunio*fck)/gammamunio;
Lnioett=10:0.1:29.6;
lnioett=(Lnioett*((3*Qnio+qnio)/8))/(kc*fcdnio*b)-0.03;
kctva=1.0;
Lnioetva=29.6:0.1:30;
lnioetva=(Lnioetva*((3*Qtio+qtio)/8))/(kctva*fcdnio*b)-0.03;
%EKS 10
kmodutio=1.0;
gammamutio=1.0;
fcdtio=(kmodutio*fck)/gammamutio;
ltioett=(L*((3*Qtio+qtio)/8))/(kc*fcdtio*b)-0.03;

%Nedböjning
E=13000*(10^6);
%EKS 9
hnion=(((L.^3)*((2.5*Qniobruk)+(2.5*qniobruk))*300)/(32*E*b)).^(1/3);
%EKS 10
htion=(((L.^3)*((2.5*Qtiobruk)+(2.5*qtiobruk))*300)/(32*E*b)).^(1/3);

%Diagram
%Balkhöjd beroende av momentkapacitet
figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(L,htiom,'-', 'LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(L,hniom,'--
','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Spännvidd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');

%Balkhöjd beroende av tvärkraftskapacitet
figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(L,htiot,'-', 'LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(L,hniot,'--
','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;

```



```

legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Spännvidd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');

%Pelarsnittets höjd beroende av upplagstryck
figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(L,ltioett,'-','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(L,lnioett,lnioett,'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(L,lniotva,lniotva,'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot([min(Lniotva) min(Lniotva)],[max(lnioett) min(Lniotva)],'--
','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Spännvidd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Pelarsnittets höjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New
Roman');

%Balkhöjd beroende av nedböjning
figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(L,htion,'-','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(L,hnion,'--
','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Spännvidd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');

%Dimensionskriterier EKS 9
figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(L,hnion,'-','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(L,hniom,'--
','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(L,hniot,':','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('Nedböjning','Momentkapacitet','Tvärkraftskapacitet','location','s
outheast');
xlabel('Spännvidd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');

%Dimensionskriterier EKS 10
figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(L,htion,'-','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(L,htiom,'--
','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(L,htiot,':','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('Nedböjning','Momentkapacitet','Tvärkraftskapacitet','location','s
outheast');
xlabel('Spännvidd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');

B.2 Raka balkar, varierande taklutning
%RAKA BALKAR MED VARIERANDE TAKLUTNING
alfa=0:0.1:15;
alfaett=0:0.1:5;
alfatva=5:0.1:15;
L=20;

```

```

%LASTER
%Egentyngd
Gtak=500;

%Snölast
Ce=1.0;
Ct=1.0;
sk=1000;
%Enligt EKS 9
unio=0.8;
snio=unio*Ce*Ct*sk;
%Enligt EKS 10
utioett=0.8;
utiotvan=0.8+(0.2/15)*alfaett;
utiotvaf=0.8+(0.2/15)*alfatva;
stioettn=utiotvan*Ce*Ct*sk;
stioettf=utiotvaf*Ce*Ct*sk;
stiotva=utioett*Ce*Ct*sk;

%Vindlast
qp=517.5;
cpi=0.3;
%Taklutning 0°-5°
cpeettn=0;
cpetvan=0.2;
wettm=(qp*cpeettn+qp*cpi)*cosd(alfaett)./cosd(alfaett);
wtvan=(qp*cpetvan+qp*cpi)*cosd(alfaett)./cosd(alfaett);
% Taklutning 5°-15°
cpeettf=(0.2/10)*(alfatva-5);
cpetvaf=0.2-(0.2/10)*(alfatva-5);
wettf=(qp*cpeettf+qp*cpi).*cosd(alfatva)./cosd(alfatva);
wtvaf=(qp*cpetvaf+qp*cpi).*cosd(alfatva)./cosd(alfatva);

%Total last på balken
gammad=1.0;
psivind=0.3;
cc=6;
%Brottgränstillståndet
%Enligt EKS 9
%Taklutning 0°-5°
Qnioett=(gammad*1.5*snio+gammad*1.5*psivind*wettm+gammad*1.2*Gtak)*cc;
qnioett=(gammad*1.5*snio+gammad*1.5*psivind*wtvan+gammad*1.2*Gtak)*cc;
%Taklutning 5°-15°
Qniotva=(gammad*1.5*snio+gammad*1.5*psivind*wettf+gammad*1.2*Gtak)*cc;
qniotva=(gammad*1.5*snio+gammad*1.5*psivind*wtvaf+gammad*1.2*Gtak)*cc;
%Enligt EKS10
%Taklutning 0°-5°
Qtioett=(gammad*1.5*stioettn+gammad*1.5*psivind*wettm+gammad*1.2*Gtak)*cc;
;
qtioett=(gammad*1.5*stiotva+gammad*1.5*psivind*wtvan+gammad*1.2*Gtak)*cc;
%Taklutning 5°-15°
Qtiotva=(gammad*1.5*stioettf+gammad*1.5*psivind*wettf+gammad*1.2*Gtak)*cc;
;
qtiotva=(gammad*1.5*stiotva+gammad*1.5*psivind*wtvaf+gammad*1.2*Gtak)*cc;

%Brukgränstillståndet
%Enligt EKS 9
%Taklutning 0°-5°
Qniobrukett=(1.0*snio+0.3*wettm+1.0*Gtak)*cc;

```

```

qniobrukett=(1.0*snio+0.3*wtvan+1.0*Gtak)*cc;
%Taklutning 5°-15°
Qniobruktva=(1.0*snio+0.3*wettf+1.0*Gtak)*cc;
qniobruktva=(1.0*snio+0.3*wtvaf+1.0*Gtak)*cc;
%Enligt EKS 10
%Taklutning 0°-5°
Qtiobrukett=(1.0*stioettn+0.3*wettn+1.0*Gtak)*cc;
qtiobrukett=(1.0*stiotva+0.3*wtvan+1.0*Gtak)*cc;
%Taklutning 5°-15°
Qtiobruktva=(1.0*stioettf+0.3*wettf+1.0*Gtak)*cc;
qtiobruktva=(1.0*stiotva+0.3*wtvaf+1.0*Gtak)*cc;

%DIMENSIONERING
gammam=1.25;
kmod=0.8;
b=0.14;

%Momentkapacitet
fmk=30*(10^6);
kcrit=1.0;
%EKS9
%Taklutning 0°-5°
hniomn=(( (9*(Qnioett.^2)*(L^2))+(6*Qnioett.*qnioett*(L^2))+((qnioett.^2)
*(L^2)))*gammam^6)/(128*Qnioett*kmod*fmk*b*kcrit).^0.5;
%Taklutning 5°-15°
hniomf(((9*(Qniotva.^2)*(L^2))+(6*Qniotva.*qniotva*(L^2))+((qniotva.^2)
*(L^2)))*gammam^6)/(128*Qniotva*kmod*fmk*b*kcrit).^0.5;
%EKS10
%Taklutning 0°-5°
htiomn(((9*(Qtioett.^2)*(L^2))+(6*Qtioett.*qtioett*(L^2))+((qtioett.^2)
*(L^2)))*gammam^6)/(128*Qtioett*kmod*fmk*b*kcrit).^0.5;
%Taklutning 5°-15°
htiomf(((9*(Qtiotva.^2)*(L^2))+(6*Qtiotva.*qtiotva*(L^2))+((qtiotva.^2)
*(L^2)))*gammam^6)/(128*Qtiotva*kmod*fmk*b*kcrit).^0.5;

%Tvärkraftskapacitet
kcr=0.857;
fvk=3.5*(10^6);
%EKS9
%Taklutning 0°-5°
hniotn=(L*((3*Qnioett+qnioett)/8)*gammam^1.5)/(kcr*b*kmod*fvk);
%Taklutning 5°-15°
hniotf=(L*((3*Qniotva+qniotva)/8)*gammam^1.5)/(kcr*b*kmod*fvk);
%EKS10
%Taklutning 0°-5°
htiotn=(L*((3*Qtioett+qtioett)/8)*gammam^1.5)/(kcr*b*kmod*fvk);
%Taklutning 5°-15°
htiotf=(L*((3*Qtiotva+qtiotva)/8)*gammam^1.5)/(kcr*b*kmod*fvk);

%Upplagstryck
kc=1.75;
fck=2.5*(10^6);
%EKS 9
kmodunio=0.8;
gammamunio=1.25;
fcdnio=(kmodunio*fck)/gammamunio;
lnioett=10:0.1:22.6;
%Taklutning 0°-5°
lnion=(L*((3*Qnioett+qnioett)/8))/(kc*fcdnio*b)-0.03;

```

```

%Taklutning 5°-15°
lniof=(L*((3*Qniotva+qniotva)/8))/(kc*fcdnio*b)-0.03;
%EKS 10
kmodutio=1.0;
gammamutio=1.0;
fcdtio=(kmodutio*fck)/gammamutio;
Ltioett=10:01:28;
%Taklutning 0°-5°
ltion=(L*((3*Qtioett+qtioett)/8))/(kc*fcdtio*b)-0.03;
%Taklutning 5°-15°
ltiof=(L*((3*Qtiotva+qtiotva)/8))/(kc*fcdtio*b)-0.03;

%Nedböjning
E=13000*(10^6);
%EKS 9
%Taklutning 0°-5°
hnionn=((L^3)*((2.5*Qniobrukett)+(2.5*qniobrukett))*300)/(32*E*b).^(1/3);
%Taklutning 5°-15°
hnionf=((L^3)*((2.5*Qniobruktva)+(2.5*qniobruktva))*300)/(32*E*b).^(1/3);
%EKS 10
%Taklutning 0°-5°
htionn=((L^3)*((2.5*Qtiobrukett)+(2.5*qtiobrukett))*300)/(32*E*b).^(1/3);
%Taklutning 5°-15°
htionf=((L^3)*((2.5*Qtiobruktva)+(2.5*qtiobruktva))*300)/(32*E*b).^(1/3);

%DIAGRAM
%Balkhöjd beroende av momentkapacitet
figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New Roman');
hold on; plot(alfaett,htiomn,'-','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfaett,hniomn,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfatva,htiomf,'-','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfatva,hniomf,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Taklutning [°]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');

%Balkhöjd beroende av tvärkraftskapacitet
figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New Roman');
hold on; plot(alfaett,htiotn,'-','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfaett,hniotn,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfatva,htiotf,'-','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfatva,hniotf,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','best');
xlabel('Taklutning [°]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');

%Pelarsnittets höjd beroende av upplagstryck
figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New Roman');

```

```

hold on; plot(alfaett,ltion,'-', 'LineWidth',2, 'color',[0 0
0]);plot(alfaett,lnion,'--', 'LineWidth',2, 'color',[0 0
0]);plot(alfatva,lniof,'--', 'LineWidth',2, 'color',[0 0
0]);plot(alfatva,ltiof,'-', 'LineWidth',2, 'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Taklutning [°]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Pelarsnittets höjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New
Roman');

```

```

%Balkhöjd beroende av nedböjning

```

```

figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(alfaett,htionn,'-', 'LineWidth',2, 'color',[0 0
0]);plot(alfaett,hnionn,'--', 'LineWidth',2, 'color',[0 0
0]);plot(alfatva,htionf,'-', 'LineWidth',2, 'color',[0 0
0]);plot(alfatva,hnionf,'--', 'LineWidth',2, 'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','best');
xlabel('Taklutning [°]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');

```

```

%Dimensionskriterier EKS 9

```

```

figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(alfaett,hnionn,'-', 'LineWidth',2, 'color',[0 0
0]);plot(alfaett,hniomn,'--', 'LineWidth',2, 'color',[0 0
0]);plot(alfaett,hniotn,':', 'LineWidth',2, 'color',[0 0
0]);plot(alfatva,hnionf,'-', 'LineWidth',2, 'color',[0 0
0]);plot(alfatva,hniomf,'--', 'LineWidth',2, 'color',[0 0
0]);plot(alfatva,hniotf,':', 'LineWidth',2, 'color',[0 0 0]);hold off;
legend('Nedböjning','Momentkapacitet','Tvärkraftskapacitet','location','b
est');
xlabel('Taklutning [°]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');

```

```

%Dimensionskriterier EKS 10

```

```

figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(alfaett,htionn,'-', 'LineWidth',2, 'color',[0 0
0]);plot(alfaett,htiomn,'--', 'LineWidth',2, 'color',[0 0
0]);plot(alfaett,htiotn,':', 'LineWidth',2, 'color',[0 0
0]);plot(alfatva,htionf,'-', 'LineWidth',2, 'color',[0 0
0]);plot(alfatva,htiomf,'--', 'LineWidth',2, 'color',[0 0
0]);plot(alfatva,htiotf,':', 'LineWidth',2, 'color',[0 0 0]);hold off;
legend('Nedböjning','Momentkapacitet','Tvärkraftskapacitet','location','b
est');
xlabel('Taklutning [°]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');

```

### B.3 Raka balkar, varierande snölastvärde

```

%RAKA BALKAR MED VARIERANDE SNÖLASTVÄRDE

```

```

L=20;

```

```

%LASTER

```

```

%Egentyngd

```

```

Gtak=500;

```

```

%Snölast
Ce=1.0;
Ct=1.0;
sk=1000:22.5:5500;
%Enligt EKS 9
unio=0.8;
snio=unio*Ce*Ct*sk;
%Enligt EKS 10
utioett=0.8;
utiotva=0.95;
stioett=utiotva*Ce*Ct*sk;
stiotva=utioett*Ce*Ct*sk;

%Vindlast
qp=517.5;
cpeett=0.1;
cpetva=0.1;
cpi=0.3;
alfa=10;
wett=(qp*cpeett+qp*cpi);
wtva=(qp*cpetva+qp*cpi);

%Total last på balken
gammad=1.0;
psivind=0.3;
cc=6;
%Brottgränstillståndet
%Enligt EKS 9
Qnio=(gammad*1.5*snio+gammad*1.5*psivind*wett+gammad*1.2*Gtak)*cc;
qnio=(gammad*1.5*snio+gammad*1.5*psivind*wtva+gammad*1.2*Gtak)*cc;
%Enligt EKS10
Qtio=(gammad*1.5*stioett+gammad*1.5*psivind*wett+gammad*1.2*Gtak)*cc;
qtio=(gammad*1.5*stiotva+gammad*1.5*psivind*wtva+gammad*1.2*Gtak)*cc;

%Brukgränstillståndet
%Enligt EKS 9
Qniobruk=(1.0*snio+0.3*wett+1.0*Gtak)*cc;
qniobruk=(1.0*snio+0.3*wtva+1.0*Gtak)*cc;
%Enligt EKS 10
Qtiobruk=(1.0*stioett+0.3*wett+1.0*Gtak)*cc;
qtiobruk=(1.0*stiotva+0.3*wtva+1.0*Gtak)*cc;

%DIMENSIONERING
gammam=1.25;
kmod=0.8;
b=0.14;

%Momentkapacitet
fmk=30*(10^6);
kcrit=1.0;
%EKS9
hniom=(((9*(Qnio.^2)*(L^2))+(6*Qnio.*qnio*(L^2))+((qnio.^2)*(L^2)))*gammam*6)./(128*Qnio*kmod*fmk*b*kcrit).^0.5;
%EKS10
htiom=(((9*(Qtio.^2)*(L^2))+(6*Qtio.*qtio*(L^2))+((qtio.^2)*(L^2)))*gammam*6)./(128*Qtio*kmod*fmk*b*kcrit).^0.5;

%Tvärkraftskapacitet

```

```

kcr=0.857;
fvk=3.5*(10^6);
%EKS9
hniot=(L*((3*Qnio+qnio)/8)*gammam*1.5)/(kcr*b*kmod*fvk);
%EKS10
htiot=(L*((3*Qtio+qtio)/8)*gammam*1.5)/(kcr*b*kmod*fvk);

%Upplagstryck
kc=1.75;
fck=2.5*(10^6);
%EKS 9
kmodunio=0.8;
gammamunio=1.25;
fcdnio=(kmodunio*fck)/gammamunio;
sknioett=1000:22.5:1742.5;
snioett=unio*Ce*Ct*sknioett;
Qniouppett=(gammad*1.5*snioett+gammad*1.5*psivind*wett+gammad*1.2*Gtak)*c
c;
qniouppett=(gammad*1.5*snioett+gammad*1.5*psivind*wtva+gammad*1.2*Gtak)*c
c;
lnioett=(L*((3*Qniouppett+qniouppett)/8))/(kc*fcdnio*b)-0.03;
skniotva=1742.5:22.5:5500;
sniotva=unio*Ce*Ct*skniotva;
Qnioupptva=(gammad*1.5*sniotva+gammad*1.5*psivind*wett+gammad*1.2*Gtak)*c
c;
qnioupptva=(gammad*1.5*sniotva+gammad*1.5*psivind*wtva+gammad*1.2*Gtak)*c
c;
kcniotva=1.0;
lniotva=(L*((3*Qnioupptva+qnioupptva)/8))/(kcniotva*fcdnio*b)-0.03;

%EKS 10
kmodutio=1.0;
gammamutio=1.0;
fcdtio=(kmodutio*fck)/gammamutio;
sktioett=1000:22.5:2462.5;
estioett=utiotva*Ce*Ct*sktioett;
estiotva=utioett*Ce*Ct*sktioett;
Qtiouppett=(gammad*1.5*estioett+gammad*1.5*psivind*wett+gammad*1.2*Gtak)*
cc;
qtiouppett=(gammad*1.5*estiotva+gammad*1.5*psivind*wtva+gammad*1.2*Gtak)*
cc;
ltioett=(L*((3*Qtiouppett+qtiouppett)/8))/(kc*fcdtio*b);
sktiotva=2462.5:22.5:5500;
tstioett=utiotva*Ce*Ct*sktiotva;
tstiotva=utioett*Ce*Ct*sktiotva;
Qtioupptva=(gammad*1.5*tstioett+gammad*1.5*psivind*wett+gammad*1.2*Gtak)*
cc;
qtioupptva=(gammad*1.5*tstiotva+gammad*1.5*psivind*wtva+gammad*1.2*Gtak)*
cc;
kctiotva=1.0;
ltiotva=(L*((3*Qtioupptva+qtioupptva)/8))/(kctiotva*fcdtio*b);

%Nedböjning
E=13000*(10^6);
%EKS 9
hnion=((L^3)*((2.5*Qniobruk)+(2.5*qniobruk))*300)/(32*E*b).^ (1/3);
%EKS 10
htion=((L^3)*((2.5*Qtiobruk)+(2.5*qtiobruk))*300)/(32*E*b).^ (1/3);

```

```

%Diagram
%Balkhöjd beroende av momentkapacitet
figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(sk,htiom,'-','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(sk,hniom,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Snölastens grundvärde [N/m^2]','FontSize',20,'FontName','Times
New Roman');
ylabel('Balkhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');

%Balkhöjd beroende av tvärkraftskapacitet
figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(sk,htiot,'-','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(sk,hniot,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Snölastens grundvärde [N/m^2]','FontSize',20,'FontName','Times
New Roman');
ylabel('Balkhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');

%Pelarsnittets höjd beroende av upplagstryck
figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(sktioett,ltioett,'-','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(sknioett,lnioett,'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(skniotva,lniotva,'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(sktiotva,ltiotva,'-','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot([max(sktioett) min(sktioett)],[max(ltioett) min(ltiotva)],'-
','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot([max(sknioett)
max(sknioett)],[max(lnioett) min(lniotva)],'--','LineWidth',2,'color',[0
0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Snölastens grundvärde [N/m^2]','FontSize',20,'FontName','Times
New Roman');
ylabel('Pelarsnittets höjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New
Roman');

%Balkhöjd beroende av nedböjning
figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(sk,htion,'-','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(sk,hnion,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Snölastens grundvärde [N/m^2]','FontSize',20,'FontName','Times
New Roman');
ylabel('Balkhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');

%Dimensionskriterier EKS 9
figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(sk,hnion,'-','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(sk,hniom,'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(sk,hniot,':','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;

```



```

legend('Nedböjning', 'Momentkapacitet', 'Tvärkraftskapacitet', 'location', 'southeast');
xlabel('Snölastens grundvärde [N/m^2]', 'FontSize', 20, 'FontName', 'Times New Roman');
ylabel('Balkhöjd [m]', 'FontSize', 20, 'FontName', 'Times New Roman');

%Dimensionskriterier EKS 10
figure
axes('YGrid', 'on', 'XGrid', 'on', 'FontSize', 15, 'FontName', 'Times New Roman');
hold on; plot(sk, htion, '-', 'LineWidth', 2, 'color', [0 0 0]); plot(sk, htiom, '--', 'LineWidth', 2, 'color', [0 0 0]); plot(sk, htiot, ':', 'LineWidth', 2, 'color', [0 0 0]); hold off;
legend('Nedböjning', 'Momentkapacitet', 'Tvärkraftskapacitet', 'location', 'southeast');
xlabel('Snölastens grundvärde [N/m^2]', 'FontSize', 20, 'FontName', 'Times New Roman');
ylabel('Balkhöjd [m]', 'FontSize', 20, 'FontName', 'Times New Roman');

```

## B.4 Sadelbalkar, varierande spännvidd

```
%SADELBAJKAR MED VARIERANDE SPÄNNVIDD
```

```
L=10:0.1:30;
```

```
%LASTER
```

```
%Egentyngd
```

```
Gtak=500;
```

```
%Snölast
```

```
Ce=1.0;
```

```
Ct=1.0;
```

```
sk=1000;
```

```
%Enligt EKS 9
```

```
unio=0.8;
```

```
snio=unio*Ce*Ct*sk;
```

```
%Enligt EKS 10
```

```
utioett=0.8;
```

```
utiotva=0.95;
```

```
stioett=utiotva*Ce*Ct*sk;
```

```
stiotva=utioett*Ce*Ct*sk;
```

```
%Vindlast
```

```
qp=517.5;
```

```
cpeett=0.1;
```

```
cpetva=0.1;
```

```
cpi=0.3;
```

```
alfa=10;
```

```
wett=(qp*cpeett+qp*cpi);
```

```
wtva=(qp*cpetva+qp*cpi);
```

```
%Total last på balken
```

```
gammad=1.0;
```

```
psivind=0.3;
```

```
cc=6;
```

```
%Brottgränstillståndet
```

```
%Enligt EKS 9
```

```
Qnioett=(gammad*1.5*snio+gammad*1.5*psivind*wett+gammad*1.2*Gtak)*cc;
```

```
qnioett=(gammad*1.5*snio+gammad*1.5*psivind*wtva+gammad*1.2*Gtak)*cc;
```

```
qnio=(Qnioett+qnioett)/2;
```

```
%Enligt EKS10
```

```

Qtioett=(gammad*1.5*stioett+gammad*1.5*psivind*wett+gammad*1.2*Gtak)*cc;
qtioett=(gammad*1.5*stiotva+gammad*1.5*psivind*wtva+gammad*1.2*Gtak)*cc;
qtio=(Qtioett+qtioett)/2;

```

```

%Brukgränstillståndet

```

```

%Enligt EKS 9
Qniobrukg=(1.0*snio+psivind*wett+1.0*Gtak)*cc;
qniobrukg=(1.0*snio+psivind*wtva+1.0*Gtak)*cc;
qniobruk=(Qniobrukg+qniobrukg)/2;

```

```

%Enligt EKS 10
Qtiobrukg=(1.0*stioett+0.3*wett+1.0*Gtak)*cc;
qtiobrukg=(1.0*stiotva+0.3*wtva+1.0*Gtak)*cc;
qtiobruk=(Qtiobrukg+qtiobrukg)/2;

```

```

%DIMENSIONERING

```

```

gammam=1.25;
kmod=0.8;
b=0.14;

```

```

%Momentkapacitet

```

```

fmk=30*(10^6);
kcrit=1;
fvk=3.5*10^6;
fc90k=2.5*10^6;
fmd=kmod*fmk/gammam;
fc90d=kmod*fc90k/gammam;
fvd=kmod*fvk/gammam;
%Enligt EKS 9
hk=linspace(0.01,5,1500);
Le=linspace(10,30,1500);
vmax=zeros(1500,1);
for k=linspace(1,1500,1500)
    L=Le(k);
    for i=linspace(1,1500,1500)

```

```

        anioett=-Qnioett/2;
        bnioett=(3*Qnioett+qnioett)*L/8+Qnioett*hk(i)/tand(alfa);
        cnioett=-Qnioett*hk(i)^2/(2*tand(alfa)^2)-
(3*Qnioett+qnioett)*L*hk(i)/(8*tand(alfa));

```

```

        aniotva=-(qnioett/2);
        bniotva=qnioett*L+(hk(i)*qnioett)/tand(alfa)-((5*qnioett-
Qnioett)*L)/8;
        cniotva=((Qnioett-qnioett)*L^2)/8+((5*qnioett-
Qnioett)*L*hk(i))/(8*tand(alfa))+((5*qnioett-Qnioett)*L^2)/8-
hk(i)*L*qnioett/tand(alfa)-hk(i)^2*qnioett/(2*(tand(alfa))^2)-
0.5*qnioett*L^2;

```

```

        xett=hk(i)/tand(alfa);
        xtva=(hk(i)/tand(alfa))+(L/2);

```

```

        x=linspace(hk(i)/tand(alfa), L/2+hk(i)/tand(alfa), 100);
        Mett=anioett*x.^2+bnioett*x+cnioett;
        Mtva=aniotva*x.^2+bniotva*x+cniotva;
        W=b*(hk(i)*x*tand(alfa)).^2/6;

```

```

kma=1/((1+(fmd/(1.5*fvd)*tand(alfa))^2+(fmd/fc90d*(tand(alfa))^2)^2)^0.5)
;

    [Max1,plac1]=max(Mett./W);
    [Max2,plac2]=max(Mtva./W);
    if Max1>Max2
        dim(i)=Max1/(kma*fmd);
    else
        dim(i)=Max2/(kma*fmd);
    end

end

[n,o]=min(abs(1-dim));
hAnio(k)=hk(o);
hnoekniom(k)=hAnio(k)+tand(alfa)*L/2;
end
%Enligt EKS 10
hk=linspace(0.01,5,1500);
Le=linspace(10,30,1500);
vmax=zeros(1500,1);
for k=linspace(1,1500,1500)
    L=Le(k);
    for i=linspace(1,1500,1500)

        atioett=-Qtioett/2;
        btioett=(3*Qtioett+qtioett)*L/8+Qtioett*hk(i)/tand(alfa);
        ctioett=-Qtioett*hk(i)^2/(2*tand(alfa)^2)-
        (3*Qtioett+qtioett)*L*hk(i)/(8*tand(alfa));

        atiotva=-(qtioett/2);
        btiotva=qtioett*L+(hk(i)*qtioett)/tand(alfa)-((5*qtioett-
        Qtioett)*L)/8;
        ctiotva=((Qtioett-qtioett)*L^2)/8+((5*qtioett-
        Qtioett)*L*hk(i))/(8*tand(alfa))+((5*qtioett-Qtioett)*L^2)/8-
        hk(i)*L*qtioett/tand(alfa)-hk(i)^2*qtioett/(2*(tand(alfa))^2)-
        0.5*qtioett*L^2;

        xett=hk(i)/tand(alfa);
        xtva=(hk(i)/tand(alfa))+(L/2);

        x=linspace(hk(i)/tand(alfa), L/2+hk(i)/tand(alfa), 100);
        Mett=atioett*x.^2+btioett*x+ctioett;
        Mtva=atiotva*x.^2+btiotva*x+ctiotva;
        W=b*(hk(i)*x*tand(alfa)).^2/6;

kma=1/((1+(fmd/(1.5*fvd)*tand(alfa))^2+(fmd/fc90d*(tand(alfa))^2)^2)^0.5)
;

    [Max1,plac1]=max(Mett./W);
    [Max2,plac2]=max(Mtva./W);
    if Max1>Max2
        dim(i)=Max1/(kma*fmd);
    else
        dim(i)=Max2/(kma*fmd);
    end

end

```

```

end
[n,o]=min(abs(1-dim));
hAtio(k)=hk(o);
hnocktiom(k)=hAtio(k)+tand(alfa)*L/2;
end

%Tvärkraftskapacitet
L=linspace(10,30,1500);
kcr=1;
fvk=3.5*(10^6);
%Enligt EKS 9
hniot=(L*((3*Qnioett+qnioett)/8)*gammam*1.5)/(kcr*b*kmod*fvk);
hnockniot=hniot+(L/2)*(tand(alfa));
%Enligt EKS 10
htiot=(L*((3*Qtioett+qtioett)/8)*gammam*1.5)/(kcr*b*kmod*fvk);
hnocktiot=htiot+(L/2)*(tand(alfa));

%Upplagstryck
kcett=1.75;
kctva=1;
fck=2.5*(10^6);
%Enligt EKS 9
kmodnio=0.8;
gammamnio=1.25;
fcdnio=(kmodnio*fck)/gammamnio;
Lnioett=10:0.1:29.6;
lnioett=(Lnioett*((3*Qnioett+qnioett)/8))/(kcett*fcdnio*b)-0.03;
Lniotva=29.6:0.1:30;
lniotva=(Lniotva*((3*Qnioett+qnioett)/8))/(kctva*fcdnio*b)-0.03;
%Enligt EKS 10
kmodtio=1.0;
gammamtio=1.0;
fcdtio=(kmodtio*fck)/gammamtio;
ltioett=(L*((3*Qtioett+qtioett)/8))/(kcett*fcdtio*b)-0.03;

%Nedböjning
Emean=13000*(10^6);
%Enligt EKS 9
hA=zeros(1500,1);
hAnock=zeros(1500,1);
hk=linspace(0.01,5,1500);
Le=linspace(10,30,1500);
vmax=zeros(1500,1);
for k=linspace(1,1500,1500)
    L=Le(k);
    for i=linspace(1,1500,1500)

        anioett=-Qniobruk/2;
        bniotva=(3*Qniobruk+qniobruk)*L/8+Qniobruk*hk(i)/tand(alfa);
        cniotva=-Qniobruk*hk(i)^2/(2*tand(alfa)^2)-
        (3*Qniobruk+qniobruk)*L*hk(i)/(8*tand(alfa));

        aniotva=-(qniobruk/2);

```

```

        bniotva=qniobrukq*L+(hk(i)*qniobrukq)/tand(alfa)-((5*qniobrukq-
Qniobrukq)*L)/8;
        cniotva=((Qniobrukq-qniobrukq)*L^2)/8+((5*qniobrukq-
Qniobrukq)*L*hk(i))/(8*tand(alfa))+((5*qniobrukq-Qniobrukq)*L^2)/8-
hk(i)*L*qniobrukq/tand(alfa)-hk(i)^2*qniobrukq/(2*(tand(alfa))^2)-
0.5*qniobrukq*L^2;

        xett=hk(i)/tand(alfa);
        xtva=(hk(i)/tand(alfa))+(L/2);

        M=zeros(4);
        h=zeros(4,1);
        M(1,1)=xett;
        M(1,2)=1;
        M(1,3:4)=[0 0];
        h(1)=- (anioett*(xett*log(xett)-xett)-
bniotva*log(xett)+cniotva/(2*xett));

        M(2,3)=xett;
        M(2,4)=1;
        h(2)=- (aniotva*(xett*log(xett)-xett)-
bniotva*log(xett)+cniotva/(2*xett));

        M(3,:)=[xtva 1 -xtva -1];
        h(3)=-anioett*(xtva*log(xtva)-xtva)+bniotva*log(xtva)-...
        cniotva/(2*xtva)+aniotva*(xtva*log(xtva)-xtva)-
bniotva*log(xtva)+cniotva/(2*xtva);

        M(4,:)=[1 0 1 0];
        h(4)=-anioett*log(xtva)+bniotva/xtva+cniotva/(2*xtva^2)-...
        aniotva*log(xtva)+bniotva/xtva+cniotva/(2*xtva^2);

        vekt=inv(M)*h;

        A=vekt(1);
        B=vekt(2);
        C=vekt(3);
        D=vekt(4);

        x=linspace(hk(i)/tand(alfa), L/2+hk(i)/tand(alfa), 100);
        v1x=(12/(Emean*b*(tand(alfa))^3))*(anioett*(x.*log(x)-x)-
bniotva*log(x)+cniotva./(2*x)+A*x+B);
        vmax(i)=min(v1x);
    end
    [n,o]=min(abs(abs(vmax(2:1500))-L/300));
    hAnio(k)=hk(o);
    hnocknion(k)=hAnio(k)+tand(alfa)*L/2;
end

%Enligt EKS 10
hA=zeros(1500,1);
hAnock=zeros(1500,1);
hk=linspace(0.01,5,1500);
Le=linspace(10,30,1500);
vmax=zeros(1500,1);
for k=linspace(1,1500,1500)
    L=Le(k);
    for i=linspace(1,1500,1500)

```

```

    atioett=-Qtiobruk/2;
    btioett=(3*Qtiobruk+qtiobruk)*L/8+Qtiobruk*hk(i)/tand(alfa);
    ctioett=-Qtiobruk*hk(i)^2/(2*tand(alfa)^2)-
(3*Qtiobruk+qtiobruk)*L*hk(i)/(8*tand(alfa));

    atiotva=-(qtiobruk/2);
    btiotva=qtiobruk*L+(hk(i)*qtiobruk)/tand(alfa)-((5*qtiobruk-
Qtiobruk)*L)/8;
    ctiotva=((Qtiobruk-qtiobruk)*L^2)/8+((5*qtiobruk-
Qtiobruk)*L*hk(i))/(8*tand(alfa))+((5*qtiobruk-Qtiobruk)*L^2)/8-
hk(i)*L*qtiobruk/tand(alfa)-hk(i)^2*qtiobruk/(2*(tand(alfa))^2)-
0.5*qtiobruk*L^2;

    xett=hk(i)/tand(alfa);
    xtva=(hk(i)/tand(alfa))+(L/2);

    M=zeros(4);
    h=zeros(4,1);
    M(1,1)=xett;
    M(1,2)=1;
    M(1,3:4)=[0 0];
    h(1)=- (atioett*(xett*log(xett)-xett)-
btioett*log(xett)+ctioett/(2*xett));

    M(2,3)=xett;
    M(2,4)=1;
    h(2)=- (atitva*(xett*log(xett)-xett)-
btiotva*log(xett)+ctiotva/(2*xett));

    M(3,:)=[xtva 1 -xtva -1];
    h(3)=-atioett*(xtva*log(xtva)-xtva)+btioett*log(xtva)-...
ctioett/(2*xtva)+atitva*(xtva*log(xtva)-xtva)-
btiotva*log(xtva)+ctiotva/(2*xtva);

    M(4,:)=[1 0 1 0];
    h(4)=-atioett*log(xtva)+btioett/xtva+ctioett/(2*xtva^2)-...
atitva*log(xtva)+btiotva/xtva+ctiotva/(2*xtva^2);

    vekt=inv(M)*h;

    A=vekt(1);
    B=vekt(2);
    C=vekt(3);
    D=vekt(4);

    x=linspace(hk(i)/tand(alfa), L/2+hk(i)/tand(alfa), 100);
    v1x=(12/(Emean*b*(tand(alfa))^3))*(atioett*(x.*log(x)-x)-
btioett*log(x)+ctioett./(2*x)+A*x+B);
    vmax(i)=min(v1x);
end
[n,o]=min(abs(abs(vmax(2:1500))-L/300));
hAtio(k)=hk(o);
hnocktion(k)=hAtio(k)+tand(alfa)*L/2;
end

```

```
%Tvärdragsspänning
```

```

L=linspace(10,30,1500);
kdis=1.4;
ft90k=0.5*(10^6);
%Enligt EKS 9
hnocktiotv=((100*b)^(1/8))*(((gammam*0.2*(tand(alfa))*3*(Qnioett*(L.^2)+q
nioett*(L.^2)))/(8*b*kdis*kmod*ft90k)).^(5/8));
%Enligt EKS 10
hnoctiotv=((100*b)^(1/8))*(((gammam*0.2*(tand(alfa))*3*(Qtioett*(L.^2)+q
tioett*(L.^2)))/(8*b*kdis*kmod*ft90k)).^(5/8));

%Diagram
%Balkens nockhöjd beroende av momentkapacitet
figure(1)
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(L,hnocktiom,'-','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(L,hnockniom,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Spännvidd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkens nockhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New
Roman');

%Balkens nockhöjd beroende av tvärkraftskapacitet
figure(2)
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(L,hnoctiot,'-','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(L,hnockniot,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Spännvidd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkens nockhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New
Roman');

%Pelarsnittets höjd beroende av upplagstryck
figure(3)
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(L,ltioett,'-','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);
plot(Lnioett,lnioett,'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(Lnlotva,lnlotva,'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot([max(Lnioett) max(Lnioett)],[max(lnioett) min(lnlotva)],'--
','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Spännvidd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Pelarsnittets höjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New
Roman');

%Balkens nockhöjd beroende av nedböjning
figure(4)
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(Le,hnocttion,'-','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(Le,hnocknion,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Spännvidd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkens nockhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New
Roman');

%Balkens nockhöjd beroende av tvärdragsspänning

```

```

figure(5)
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(L,hnocktiotv,'-','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(L,hnockniotv,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Spännvidd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkens nockhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New
Roman');

%Dimensionskriterier EKS 9
figure(6)
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(Le,hnocknion,'-','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(L,hnockniom,'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(L,hnockniot,':','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(L,hnockniotv,'-.','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('Nedböjning','Momentkapacitet','Tvärkraftskapacitet','Tvärdragsspä
nning','location','southeast');
xlabel('Spännvidd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkens nockhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New
Roman');

%Dimensionskriterier EKS 10
figure(7)
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(Le,hnocktion,'-','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(L,hnocktiom,'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(L,hnocktiot,':','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(L,hnocktiotv,'-.','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('Nedböjning','Momentkapacitet','Tvärkraftskapacitet','Tvärdragsspä
nning','location','southeast');
xlabel('Spännvidd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkens nockhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New
Roman');

```

## B.5 Sadelbalkar, varierande taklutning

```
%SADELBAJKAR MED VARIERANDE TAKLUTNING
```

```

alfan=linspace(0,5,500);
alfaf=linspace(5,15,500);
alfat=linspace(15,22.5,500);
L=20;

```

```
%LASTER
```

```

%Egentyngd
Gtak=500;

```

```
%Snölast
```

```

Ce=1.0;
Ct=1.0;
sk=1000;
%Enligt EKS 9
unio=0.8;
snio=unio*Ce*Ct*sk;
%Enligt EKS 10
utioett=0.8;
stiotva=utioett*Ce*Ct*sk;

```



```

%Taklutning 0°-5°
utiotvan=0.8+((1.1-0.8)/22.5)*alfan;
stioettn=utiotvan*Ce*Ct*sk;
%Taklutning 5°-15°
utiotvaf=0.8+((1.1-0.8)/22.5)*alfaf;
stioettf=utiotvaf*Ce*Ct*sk;
%Taklutning 5°-22.5°
utiotvat=0.8+((1.1-0.8)/22.5)*alfat;
stioett=utiotvat*Ce*Ct*sk;

%Vindlast
qp=517.5;
cpi=0.3;
%Taklutning 0°-5°
cpeettn=0;
cpetvan=0.2;
wett= (qp*cpeettn+qp*cpi)*cosd(alfan)/cosd(alfan);
wtvan= (qp*cpetvan+qp*cpi)*cosd(alfan)/cosd(alfan);
%Taklutning 5°-15°
cpeettf= (alfaf-5)*0.02;
cpetvaf=0.2-0.02*(alfaf-5);
wettf= (qp*cpeettf+qp*cpi)*cosd(alfaf)/cosd(alfaf);
wtvaf= (qp*cpetvaf+qp*cpi)*cosd(alfaf)/cosd(alfaf);
%Taklutning 5°-22.5°
cpeett=0.2+((alfat-15)*(1/30));
cpetvat=0;
wett= (qp*cpeett+qp*cpi)*cosd(alfat)/cosd(alfat);
wtvat= (qp*cpetvat+qp*cpi)*cosd(alfat)/cosd(alfat);

%Total last på balken
gammad=1.0;
psivind=0.3;
cc=6;
%Brottgränstillståndet
%Enligt EKS 9
%Taklutning 0°-5°
Qnioettn= (gammad*1.5*snio+gammad*1.5*psivind*wett+gammad*1.2*Gtak)*cc;
qnioettn= (gammad*1.5*snio+gammad*1.5*psivind*wtvan+gammad*1.2*Gtak)*cc;
qnio= (Qnioettn+qnioettn)/2;
%Taklutning 5°-15°
Qniotvaf= (gammad*1.5*snio+gammad*1.5*psivind*wettf+gammad*1.2*Gtak)*cc;
qniotvaf= (gammad*1.5*snio+gammad*1.5*psivind*wtvaf+gammad*1.2*Gtak)*cc;
qniot= (Qniotvaf+qniotvaf)/2;
%Taklutning 15°-22.5°
Qniotret= (gammad*1.5*snio+gammad*1.5*psivind*wett+gammad*1.2*Gtak)*cc;
qniotret= (gammad*1.5*snio+gammad*1.5*psivind*wtvat+gammad*1.2*Gtak)*cc;
qniot= (Qniotret+qniotret)/2;
%Enligt EKS10
%Taklutning 0°-5°
Qtioettn= (gammad*1.5*stioettn+gammad*1.5*psivind*wett+gammad*1.2*Gtak)*cc;
qtioettn= (gammad*1.5*stiotva+gammad*1.5*psivind*wtvan+gammad*1.2*Gtak)*cc;
;
qtion= (Qtioettn+qtioettn)/2;
%Taklutning 5°-15°
Qtiotvaf= (gammad*1.5*stioettf+gammad*1.5*psivind*wettf+gammad*1.2*Gtak)*cc;
qtiotvaf= (gammad*1.5*stiotva+gammad*1.5*psivind*wtvaf+gammad*1.2*Gtak)*cc;
;

```

```

qtiof=(Qtiofvaf+qtiofvaf)/2;
%Taklutning 15°-22.5°
Qtiofret=(gammad*1.5*stioettt+gammad*1.5*psivind*wettt+gammad*1.2*Gtak)*c
c;
qtiofret=(gammad*1.5*stiotva+gammad*1.5*psivind*wtvat+gammad*1.2*Gtak)*cc
;
qtiof=(Qtiofret+qtiofret)/2;

%Brukgränstillståndet
%Enligt EKS 9
%Taklutning 0°-5°
Qniobrukgn=(1.0*snio+0.3*wettn+1.0*Gtak)*cc;
qniobrukgn=(1.0*snio+0.3*wtvan+1.0*Gtak)*cc;
qniobrukgn=(Qniobrukgn+qniobrukgn)/2;
%Taklutning 5°-15°
Qniobrukgn=(1.0*snio+0.3*wettn+1.0*Gtak)*cc;
qniobrukgn=(1.0*snio+0.3*wtvan+1.0*Gtak)*cc;
qniobrukgn=(Qniobrukgn+qniobrukgn)/2;
%Taklutning 15°-22.5°
Qniobrukgn=(1.0*snio+0.3*wettn+1.0*Gtak)*cc;
qniobrukgn=(1.0*snio+0.3*wtvan+1.0*Gtak)*cc;
qniobrukgn=(Qniobrukgn+qniobrukgn)/2;
%Enligt EKS 10
%Taklutning 0°-5°
Qtiobrukgn=(1.0*stioettn+0.3*wettn+1.0*Gtak)*cc;
qtiobrukgn=(1.0*stiotva+0.3*wtvan+1.0*Gtak)*cc;
qtiobrukgn=(Qtiobrukgn+qtiobrukgn)/2;
%Taklutning 5°-15°
Qtiobrukgn=(1.0*stioettn+0.3*wettn+1.0*Gtak)*cc;
qtiobrukgn=(1.0*stiotva+0.3*wtvan+1.0*Gtak)*cc;
qtiobrukgn=(Qtiobrukgn+qtiobrukgn)/2;
%Taklutning 15°-22.5°
Qtiobrukgn=(1.0*stioettn+0.3*wettn+1.0*Gtak)*cc;
qtiobrukgn=(1.0*stiotva+0.3*wtvan+1.0*Gtak)*cc;
qtiobrukgn=(Qtiobrukgn+qtiobrukgn)/2;

%DIMENSIONERING
gammam=1.25;
kmod=0.8;
b=0.14;

%Momentkapacitet
fmk=30*(10^6);
kcrit=1;
fvk=3.5*10^6;
fc90k=2.5*10^6;
fmd=kmod*fmk/gammam;
fc90d=kmod*fc90k/gammam;
fvd=kmod*fvk/gammam;
%Enligt EKS 9
%Taklutning 0°-5°
hk=linspace(0.01, 5, 500);
vmax=zeros(500,1);
for k=linspace(1, 500, 500)
    alfa=alfan(k);
    Qnioett=Qnioettn(k);
    qnioett=qnioettn(k);
    for i=linspace(1, 500, 500)

```

```

        anioett=-Qnioett/2;
        bnioett=(3*Qnioett+qnioett)*L/8+Qnioett*hk(i)/tand(alfa);
        cnioett=-Qnioett*hk(i)^2/(2*tand(alfa)^2)-
(3*Qnioett+qnioett)*L*hk(i)/(8*tand(alfa));

        aniotva=-(qnioett/2);
        bniotva=qnioett*L+(hk(i)*qnioett)/tand(alfa)-((5*qnioett-
Qnioett)*L)/8;
        cniotva=((Qnioett-qnioett)*L^2)/8+((5*qnioett-
Qnioett)*L*hk(i))/(8*tand(alfa))+((5*qnioett-Qnioett)*L^2)/8-
hk(i)*L*qnioett/tand(alfa)-hk(i)^2*qnioett/(2*(tand(alfa))^2)-
0.5*qnioett*L^2;

        xett=hk(i)/tand(alfa);
        xtva=(hk(i)/tand(alfa))+(L/2);

        x=linspace(hk(i)/tand(alfa), L/2+hk(i)/tand(alfa), 100);
        Mett=anioett*x.^2+bnioett*x+cnioett;
        Mtva=aniotva*x.^2+bniotva*x+cniotva;
        W=b*(hk(i)*x*tand(alfa)).^2/6;

kma=1/((1+(fmd/(1.5*fvd)*tand(alfa))^2+(fmd/fc90d*(tand(alfa))^2)^2)^0.5)
;

        [Max1,plac1]=max(Mett./W);
        [Max2,plac2]=max(Mtva./W);
        if Max1>Max2
            dim(i)=Max1/(kma*fmd);
        else
            dim(i)=Max2/(kma*fmd);
        end

    end

    [n,o]=min(abs(1-dim));
    hAnio(k)=hk(o);
    hnocknionm(k)=hAnio(k)+tand(alfa)*L/2;
end
%Taklutning 5°-15°
hk=linspace(0.01,5,500);
vmax=zeros(500,1);
for k=linspace(1,500,500)
    alfa=alfaf(k);
    Qnioett=Qnioetvaf(k);
    qnioett=qnioetvaf(k);
    for i=linspace(1,500,500)

        anioett=-Qnioett/2;
        bnioett=(3*Qnioett+qnioett)*L/8+Qnioett*hk(i)/tand(alfa);
        cnioett=-Qnioett*hk(i)^2/(2*tand(alfa)^2)-
(3*Qnioett+qnioett)*L*hk(i)/(8*tand(alfa));

        aniotva=-(qnioett/2);

```

```

        bniotva=qnioett*L+(hk(i)*qnioett)/tand(alfa)-(5*qnioett-
Qnioett)*L)/8;
        cniotva=((Qnioett-qnioett)*L^2)/8+((5*qnioett-
Qnioett)*L*hk(i))/(8*tand(alfa))+((5*qnioett-Qnioett)*L^2)/8-
hk(i)*L*qnioett/tand(alfa)-hk(i)^2*qnioett/(2*(tand(alfa))^2)-
0.5*qnioett*L^2;

        xett=hk(i)/tand(alfa);
        xtva=(hk(i)/tand(alfa))+(L/2);

        x=linspace(hk(i)/tand(alfa), L/2+hk(i)/tand(alfa), 100);
        Mett=anioett*x.^2+bniotva*x+cniotva;
        Mtva=aniotva*x.^2+bniotva*x+cniotva;
        W=b*(hk(i)*x*tand(alfa)).^2/6;

kma=1/((1+(fmd/(1.5*fvd)*tand(alfa))^2+(fmd/fc90d*(tand(alfa))^2)^2)^0.5)
;

        [Max1,plac1]=max(Mett./W);
        [Max2,plac2]=max(Mtva./W);
        if Max1>Max2
            dim(i)=Max1/(kma*fmd);
        else
            dim(i)=Max2/(kma*fmd);
        end

    end

    [n,o]=min(abs(1-dim));
    hAnio(k)=hk(o);
    hnockniofm(k)=hAnio(k)+tand(alfa)*L/2;
end
%Taklutning 15°-22.5°
hk=linspace(0.01,5,500);
vmax=zeros(500,1);
for k=linspace(1,500,500)
    alfa=alfat(k);
    Qnioett=Qniotret(k);
    qnioett=qniotret(k);
    for i=linspace(1,500,500)

        anioett=-Qnioett/2;
        bniotva=(3*Qnioett+qnioett)*L/8+Qnioett*hk(i)/tand(alfa);
        cniotva=-Qnioett*hk(i)^2/(2*tand(alfa)^2)-
(3*Qnioett+qnioett)*L*hk(i)/(8*tand(alfa));

        aniotva=-(qnioett/2);
        bniotva=qnioett*L+(hk(i)*qnioett)/tand(alfa)-(5*qnioett-
Qnioett)*L)/8;
        cniotva=((Qnioett-qnioett)*L^2)/8+((5*qnioett-
Qnioett)*L*hk(i))/(8*tand(alfa))+((5*qnioett-Qnioett)*L^2)/8-
hk(i)*L*qnioett/tand(alfa)-hk(i)^2*qnioett/(2*(tand(alfa))^2)-
0.5*qnioett*L^2;

        xett=hk(i)/tand(alfa);
        xtva=(hk(i)/tand(alfa))+(L/2);

```

```

x=linspace(hk(i)/tand(alfa), L/2+hk(i)/tand(alfa), 100);
Mett=anioett*x.^2+bnioett*x+cnioett;
Mtva=aniotva*x.^2+bniotva*x+cniotva;
W=b*(hk(i)*x*tand(alfa)).^2/6;

kma=1/((1+(fmd/(1.5*fvd)*tand(alfa))^2+(fmd/fc90d*(tand(alfa))^2)^2)^0.5)
;

[Max1,plac1]=max(Mett./W);
[Max2,plac2]=max(Mtva./W);
if Max1>Max2
    dim(i)=Max1/(kma*fmd);
else
    dim(i)=Max2/(kma*fmd);
end

end

[n,o]=min(abs(1-dim));
hAnio(k)=hk(o);
hnockniotm(k)=hAnio(k)+tand(alfa)*L/2;
end
%Enligt EKS 10
%Taklutning 0°-5°
hk=linspace(0.01,5,500);
vmax=zeros(500,1);
for k=linspace(1,500,500)
    alfa=alfan(k);
    Qtioett=Qtioett(k);
    qtioett=qtioett(k);
    for i=linspace(1,500,500)

        atioett=-Qtioett/2;
        btioett=(3*Qtioett+qtioett)*L/8+Qtioett*hk(i)/tand(alfa);
        ctioett=-Qtioett*hk(i)^2/(2*tand(alfa)^2)-
(3*Qtioett+qtioett)*L*hk(i)/(8*tand(alfa));

        atiotva=-(qtioett/2);
        btiotva=qtioett*L+(hk(i)*qtioett)/tand(alfa)-((5*qtioett-
Qtioett)*L)/8;
        ctiotva=((Qtioett-qtioett)*L^2)/8+((5*qtioett-
Qtioett)*L*hk(i))/(8*tand(alfa))+((5*qtioett-Qtioett)*L^2)/8-
hk(i)*L*qtioett/tand(alfa)-hk(i)^2*qtioett/(2*(tand(alfa))^2)-
0.5*qtioett*L^2;

        xett=hk(i)/tand(alfa);
        xtva=(hk(i)/tand(alfa))+(L/2);

        x=linspace(hk(i)/tand(alfa), L/2+hk(i)/tand(alfa), 100);
        Mett=atioett*x.^2+btioett*x+ctioett;
        Mtva=atiotva*x.^2+btiotva*x+ctiotva;
        W=b*(hk(i)*x*tand(alfa)).^2/6;

kma=1/((1+(fmd/(1.5*fvd)*tand(alfa))^2+(fmd/fc90d*(tand(alfa))^2)^2)^0.5)
;

[Max1,plac1]=max(Mett./W);

```

```

        [Max2,plac2]=max(Mtva./W);
    if Max1>Max2
        dim(i)=Max1/(kma*fmd);
    else
        dim(i)=Max2/(kma*fmd);
    end

end
[n,o]=min(abs(1-dim));
hAtio(k)=hk(o);
hnocktionm(k)=hAtio(k)+tand(alfa)*L/2;
end
%Taklutning 5°-15°
hk=linspace(0.01,5,500);
vmax=zeros(500,1);
for k=linspace(1,500,500)
    alfa=alfaf(k);
    Qtioett=Qtioetvaf(k);
    qtioett=qtioetvaf(k);
    for i=linspace(1,500,500)

        atioett=-Qtioett/2;
        btioett=(3*Qtioett+qtioett)*L/8+Qtioett*hk(i)/tand(alfa);
        ctioett=-Qtioett*hk(i)^2/(2*tand(alfa)^2)-
(3*Qtioett+qtioett)*L*hk(i)/(8*tand(alfa));

        atiotva=-(qtioett/2);
        btiotva=qtioett*L+(hk(i)*qtioett)/tand(alfa)-((5*qtioett-
Qtioett)*L)/8;
        ctiotva=((Qtioett-qtioett)*L^2)/8+((5*qtioett-
Qtioett)*L*hk(i))/(8*tand(alfa))+((5*qtioett-Qtioett)*L^2)/8-
hk(i)*L*qtioett/tand(alfa)-hk(i)^2*qtioett/(2*(tand(alfa))^2)-
0.5*qtioett*L^2;

        xett=hk(i)/tand(alfa);
        xtva=(hk(i)/tand(alfa))+(L/2);

        x=linspace(hk(i)/tand(alfa), L/2+hk(i)/tand(alfa), 100);
        Mett=atioett*x.^2+btioett*x+ctioett;
        Mtva=atiotva*x.^2+btiotva*x+ctiotva;
        W=b*(hk(i)*x*tand(alfa)).^2/6;

kma=1/((1+(fmd/(1.5*fvd)*tand(alfa))^2+(fmd/fc90d*(tand(alfa))^2)^2)^0.5)
;

        [Max1,plac1]=max(Mett./W);
        [Max2,plac2]=max(Mtva./W);
    if Max1>Max2
        dim(i)=Max1/(kma*fmd);
    else
        dim(i)=Max2/(kma*fmd);
    end

end
[n,o]=min(abs(1-dim));
hAtio(k)=hk(o);

```

```

        hnocktiofm(k)=hAtio(k)+tand(alfa)*L/2;
end
%Taklutning 15°-22.5°
hk=linspace(0.01,5,500);
vmax=zeros(500,1);
for k=linspace(1,500,500)
    alfa=alfat(k);
    Qtioett=Qtiotret(k);
    qtioett=qtiotret(k);
    for i=linspace(1,500,500)

        atioett=-Qtioett/2;
        btioett=(3*Qtioett+qtioett)*L/8+Qtioett*hk(i)/tand(alfa);
        ctioett=-Qtioett*hk(i)^2/(2*tand(alfa)^2)-
(3*Qtioett+qtioett)*L*hk(i)/(8*tand(alfa));

        atiotva=-(qtioett/2);
        btiotva=qtioett*L+(hk(i)*qtioett)/tand(alfa)-((5*qtioett-
Qtioett)*L)/8;
        ctiotva=((Qtioett-qtioett)*L^2)/8+((5*qtioett-
Qtioett)*L*hk(i))/(8*tand(alfa))+((5*qtioett-Qtioett)*L^2)/8-
hk(i)*L*qtioett/tand(alfa)-hk(i)^2*qtioett/(2*(tand(alfa))^2)-
0.5*qtioett*L^2;

        xett=hk(i)/tand(alfa);
        xtva=(hk(i)/tand(alfa))+L/2;

        x=linspace(hk(i)/tand(alfa),L/2+hk(i)/tand(alfa),100);
        Mett=atioett*x.^2+btioett*x+ctioett;
        Mtva=atiotva*x.^2+btiotva*x+ctiotva;
        W=b*(hk(i)*x*tand(alfa)).^2/6;

kma=1/((1+(fmd/(1.5*fvd)*tand(alfa))^2+(fmd/fc90d*(tand(alfa))^2)^2)^0.5)
;

        [Max1,plac1]=max(Mett./W);
        [Max2,plac2]=max(Mtva./W);
        if Max1>Max2
            dim(i)=Max1/(kma*fmd);
        else
            dim(i)=Max2/(kma*fmd);
        end

    end

    [n,o]=min(abs(1-dim));
    hAtio(k)=hk(o);
    hnocktiotm(k)=hAtio(k)+tand(alfa)*L/2;
end

%Tvärkraftskapacitet
kcr=1;
fvk=3.5*(10^6);
%Enligt EKS 9
%Taklutning 0°-5°
hniont=(L*((3*Qnioettn+qnioettn)/8)*gammam*1.5)/(kcr*b*kmod*fvk);
hnockniont=hniont+(L/2)*(tand(alfan));

```

```

%Taklutning 5°-15°
hnioft=(L*((3*Qniotvaf+qniotvaf)/8)*gammam*1.5)/(kcr*b*kmod*fvk);
hnocknioft=hnioft+(L/2)*(tand(alfaf));
%Taklutning 15°-22.5°
hniott=(L*((3*Qniotret+qniotret)/8)*gammam*1.5)/(kcr*b*kmod*fvk);
hnockniott=hniott+(L/2)*(tand(alfat));
%Enligt EKS 10
%Taklutning 0°-5°
htiont=(L*((3*Qtioettn+qtioettn)/8)*gammam*1.5)/(kcr*b*kmod*fvk);
hnocktiont=htiont+(L/2)*(tand(alfan));
%Taklutning 5°-15°
htioft=(L*((3*Qtiotvaf+qtiotvaf)/8)*gammam*1.5)/(kcr*b*kmod*fvk);
hnocktioft=htioft+(L/2)*(tand(alfaf));
%Taklutning 15°-22.5°
htiott=(L*((3*Qtiotret+qtiotret)/8)*gammam*1.5)/(kcr*b*kmod*fvk);
hnocktiott=htiott+(L/2)*(tand(alfat));

%Upplagstryck
kcett=1.75;
kctva=1;
fck=2.5*(10^6);
%Enligt EKS 9
kmodnio=0.8;
gammamnio=1.25;
fcdnio=(kmodnio*fck)/gammamnio;
%Taklutning 0°-5°
lnion=(L*((3*Qnioettn+qnioettn)/8))/(kcett*fcdnio*b)-0.03;
%Taklutning 5°-15°
lniof=(L*((3*Qniotvaf+qniotvaf)/8))/(kcett*fcdnio*b)-0.03;
%Taklutning 15°-22.5°
lniot=(L*((3*Qniotret+qniotret)/8))/(kcett*fcdnio*b)-0.03;
%Enligt EKS 10
kmodtio=1.0;
gammamtio=1.0;
fcdtio=(kmodtio*fck)/gammamtio;
%Taklutning 0°-5°
ltion=(L*((3*Qtioettn+qtioettn)/8))/(kcett*fcdtio*b)-0.03;
%Taklutning 5°-15°
ltiof=(L*((3*Qtiotvaf+qtiotvaf)/8))/(kcett*fcdtio*b)-0.03;
%Taklutning 15°-22.5°
ltiot=(L*((3*Qtiotret+qtiotret)/8))/(kcett*fcdtio*b)-0.03;

%Nedböjning
Emean=13000*(10^6);
%Enligt EKS 9
%Taklutning 0°-5°
hk=linspace(0.01,3,500);
vmax=zeros(500,1);
for k=linspace(1,500,500)
    alfa=alfan(k);
    Qniobruk=Qniobrukgn(k);
    qniobruk=qniobrukgn(k);
    for i=linspace(1,500,500)
        anioett=-Qniobruk/2;
        bnioett=(3*Qniobruk+qniobruk)*L/8+Qniobruk*hk(i)/tand(alfa);
    end
end

```



```

        cnioett=-Qniobruk*hk(i)^2/(2*tand(alfa)^2)-
(3*Qniobruk+qniobruk)*L*hk(i)/(8*tand(alfa));

        aniotva=-(qniobruk/2);
        bniotva=qniobruk*L+(hk(i)*qniobruk)/tand(alfa)-((5*qniobruk-
Qniobruk)*L)/8;
        cniotva=((Qniobruk-qniobruk)*L^2)/8+((5*qniobruk-
Qniobruk)*L*hk(i))/(8*tand(alfa))+((5*qniobruk-Qniobruk)*L^2)/8-
hk(i)*L*qniobruk/tand(alfa)-hk(i)^2*qniobruk/(2*(tand(alfa))^2)-
0.5*qniobruk*L^2;

        xett=hk(i)/tand(alfa);
        xtva=(hk(i)/tand(alfa))+(L/2);

        M=zeros(4);
        h=zeros(4,1);
        M(1,1)=xett;
        M(1,2)=1;
        M(1,3:4)=[0 0];
        h(1)=- (anioett*(xett*log(xett)-xett)-
bniotva*log(xett)+cnioett/(2*xett));

        M(2,3)=xett;
        M(2,4)=1;
        h(2)=- (aniotva*(xett*log(xett)-xett)-
bniotva*log(xett)+cniotva/(2*xett));

        M(3,:)=[xtva 1 -xtva -1];
        h(3)=-anioett*(xtva*log(xtva)-xtva)+bniotva*log(xtva)-...
        cnioett/(2*xtva)+aniotva*(xtva*log(xtva)-xtva)-
bniotva*log(xtva)+cniotva/(2*xtva);

        M(4,:)=[1 0 1 0];
        h(4)=-anioett*log(xtva)+bniotva/xtva+cnioett/(2*xtva^2)-...
        aniotva*log(xtva)+bniotva/xtva+cniotva/(2*xtva^2);

        vekt=inv(M)*h;

        A=vekt(1);
        B=vekt(2);
        C=vekt(3);
        D=vekt(4);

        x=linspace(hk(i)/tand(alfa), L/2+hk(i)/tand(alfa), 100);
        v1x=(12/(Emean*b*(tand(alfa))^3))*(anioett*(x.*log(x)-x)-
bniotva*log(x)+cnioett./(2*x)+A*x+B);
        vmax(i)=min(v1x);
    end
    [n,o]=min(abs(abs(vmax(2:500))-L/300));
    hAnion(k)=hk(o);
    hnocknionn(k)=hAnion(k)+tand(alfa)*L/2;
end

%Taklutning 5°-15°
hk=linspace(0.01,3,500);
vmax=zeros(500,1);
for k=linspace(1,500,500)
    alfa=alfaf(k);

```

```

Qniobruk=Qniobrukf(k);
qniobruk=qniobrukf(k);
for i=linspace(1,500,500)

    anioett=-Qniobruk/2;
    bnioett=(3*Qniobruk+qniobruk)*L/8+Qniobruk*hk(i)/tand(alfa);
    cnioett=-Qniobruk*hk(i)^2/(2*tand(alfa)^2)-
(3*Qniobruk+qniobruk)*L*hk(i)/(8*tand(alfa));

    aniotva=-(qniobruk/2);
    bniotva=qniobruk*L+(hk(i)*qniobruk)/tand(alfa)-((5*qniobruk-
Qniobruk)*L)/8;
    cniotva=((Qniobruk-qniobruk)*L^2)/8+((5*qniobruk-
Qniobruk)*L*hk(i))/(8*tand(alfa))+((5*qniobruk-Qniobruk)*L^2)/8-
hk(i)*L*qniobruk/tand(alfa)-hk(i)^2*qniobruk/(2*(tand(alfa))^2)-
0.5*qniobruk*L^2;

    xett=hk(i)/tand(alfa);
    xtva=(hk(i)/tand(alfa))+(L/2);

    M=zeros(4);
    h=zeros(4,1);
    M(1,1)=xett;
    M(1,2)=1;
    M(1,3:4)=[0 0];
    h(1)=- (anioett*(xett*log(xett)-xett)-
bnioett*log(xett)+cnioett/(2*xett));

    M(2,3)=xett;
    M(2,4)=1;
    h(2)=- (aniotva*(xett*log(xett)-xett)-
bniotva*log(xett)+cniotva/(2*xett));

    M(3,:)=[xtva 1 -xtva -1];
    h(3)=-anioett*(xtva*log(xtva)-xtva)+bnioett*log(xtva)-...
    cnioett/(2*xtva)+aniotva*(xtva*log(xtva)-xtva)-
bniotva*log(xtva)+cniotva/(2*xtva);

    M(4,:)=[1 0 1 0];
    h(4)=-anioett*log(xtva)+bnioett/xtva+cnioett/(2*xtva^2)-...
    aniotva*log(xtva)+bniotva/xtva+cniotva/(2*xtva^2);

    vekt=inv(M)*h;

    A=vekt(1);
    B=vekt(2);
    C=vekt(3);
    D=vekt(4);

    x=linspace(hk(i)/tand(alfa), L/2+hk(i)/tand(alfa), 100);
    v1x=(12/(Emean*b*(tand(alfa))^3))*(anioett*(x.*log(x)-x)-
bnioett*log(x)+cnioett./(2*x)+A*x+B);
    vmax(i)=min(v1x);
end
[n,o]=min(abs(abs(vmax(2:500))-L/300));

```

```

        hAniof(k)=hk(o);
        hnockniofn(k)=hAniof(k)+tand(alfa)*L/2;
end

%Taklutning 15°-22.5°
hk=linspace(0.01,3,500);
vmax=zeros(500,1);
for k=linspace(1,500,500)
    alfa=alfat(k);
    Qniobrukq=Qniobrukgt(k);
    qniobrukq=qniobrukgt(k);
    for i=linspace(1,500,500)

        anioett=-Qniobrukq/2;
        bnioett=(3*Qniobrukq+qniobrukq)*L/8+Qniobrukq*hk(i)/tand(alfa);
        cnioett=-Qniobrukq*hk(i)^2/(2*tand(alfa)^2)-
(3*Qniobrukq+qniobrukq)*L*hk(i)/(8*tand(alfa));

        aniotva=-(qniobrukq/2);
        bniotva=qniobrukq*L+(hk(i)*qniobrukq)/tand(alfa)-((5*qniobrukq-
Qniobrukq)*L)/8;
        cniotva=((Qniobrukq-qniobrukq)*L^2)/8+((5*qniobrukq-
Qniobrukq)*L*hk(i))/(8*tand(alfa))+((5*qniobrukq-Qniobrukq)*L^2)/8-
hk(i)*L*qniobrukq/tand(alfa)-hk(i)^2*qniobrukq/(2*(tand(alfa))^2)-
0.5*qniobrukq*L^2;

        xett=hk(i)/tand(alfa);
        xtva=(hk(i)/tand(alfa))+(L/2);

        M=zeros(4);
        h=zeros(4,1);
        M(1,1)=xett;
        M(1,2)=1;
        M(1,3:4)=[0 0];
        h(1)=- (anioett*(xett*log(xett)-xett)-
bnioett*log(xett)+cnioett/(2*xett));

        M(2,3)=xett;
        M(2,4)=1;
        h(2)=- (aniotva*(xett*log(xett)-xett)-
bniotva*log(xett)+cniotva/(2*xett));

        M(3,:)=[xtva 1 -xtva -1];
        h(3)=-anioett*(xtva*log(xtva)-xtva)+bnioett*log(xtva)-...
        cnioett/(2*xtva)+aniotva*(xtva*log(xtva)-xtva)-
bniotva*log(xtva)+cniotva/(2*xtva);

        M(4,:)=[1 0 1 0];
        h(4)=-anioett*log(xtva)+bnioett/xtva+cnioett/(2*xtva^2)-...
        aniotva*log(xtva)+bniotva/xtva+cniotva/(2*xtva^2);

        vekt=inv(M)*h;

        A=vekt(1);
        B=vekt(2);

```

```

C=vekt(3);
D=vekt(4);

x=linspace(hk(i)/tand(alfa), L/2+hk(i)/tand(alfa), 100);
v1x=(12/(Emean*b*(tand(alfa))^3))*(anioett*(x.*log(x)-x)-
bnioett*log(x)+cnioett./(2*x)+A*x+B);
vmax(i)=min(v1x);
end
[n,o]=min(abs(abs(vmax(2:500))-L/300));
hAniot(k)=hk(o);
hnockniotn(k)=hAniot(k)+tand(alfa)*L/2;
end

%Enligt EKS 10
%Taklutning 0°-5°
hk=linspace(0.01,3,500);
vmax=zeros(500,1);
for k=linspace(1,500,500)
    alfa=alfan(k);
    Qtiobrukgn=Qtiobrukgn(k);
    qtiobrukgn=qtiobrukgn(k);
    for i=linspace(1,500,500)

        atioett=-Qtiobrukgn/2;
        btioett=(3*Qtiobrukgn+qtiobrukgn)*L/8+Qtiobrukgn*hk(i)/tand(alfa);
        ctioett=-Qtiobrukgn*hk(i)^2/(2*tand(alfa)^2)-
(3*Qtiobrukgn+qtiobrukgn)*L*hk(i)/(8*tand(alfa));

        atiotva=-(qtiobrukgn/2);
        btiotva=qtiobrukgn*L+(hk(i)*qtiobrukgn)/tand(alfa)-((5*qtiobrukgn-
Qtiobrukgn)*L)/8;
        ctiotva=((Qtiobrukgn-qtiobrukgn)*L^2)/8+((5*qtiobrukgn-
Qtiobrukgn)*L*hk(i))/(8*tand(alfa))+((5*qtiobrukgn-Qtiobrukgn)*L^2)/8-
hk(i)*L*qtiobrukgn/tand(alfa)-hk(i)^2*qtiobrukgn/(2*(tand(alfa))^2)-
0.5*qtiobrukgn*L^2;

        xett=hk(i)/tand(alfa);
        xtva=(hk(i)/tand(alfa))+(L/2);

        M=zeros(4);
        h=zeros(4,1);
        M(1,1)=xett;
        M(1,2)=1;
        M(1,3:4)=[0 0];
        h(1)=- (atioett*(xett*log(xett)-xett)-
btioett*log(xett)+ctioett/(2*xett));

        M(2,3)=xett;
        M(2,4)=1;
        h(2)=- (atiotva*(xett*log(xett)-xett)-
btiotva*log(xett)+ctiotva/(2*xett));

        M(3,:)=[xtva 1 -xtva -1];
        h(3)=-atioett*(xtva*log(xtva)-xtva)+btioett*log(xtva)-...
ctioett/(2*xtva)+atiotva*(xtva*log(xtva)-xtva)-
btiotva*log(xtva)+ctiotva/(2*xtva);

```

```

M(4,:)=[1 0 1 0];
h(4)=-atioett*log(xtva)+btioett/xtva+ctioett/(2*xtva^2)-...
atiotva*log(xtva)+btiotva/xtva+ctiotva/(2*xtva^2);

vekt=inv(M)*h;

A=vekt(1);
B=vekt(2);
C=vekt(3);
D=vekt(4);

x=linspace(hk(i)/tand(alfa), L/2+hk(i)/tand(alfa), 100);
v1x=(12/(Emean*b*(tand(alfa))^3))*(atioett*(x.*log(x)-x)-
btioett*log(x)+ctioett./(2*x)+A*x+B);
vmax(i)=min(v1x);
end
[n,o]=min(abs(abs(vmax(2:500))-L/300));
hAtion(k)=hk(o);
hnocktionn(k)=hAtion(k)+tand(alfa)*L/2;
end

%Taklutning 5°-15°
hk=linspace(0.01,3,500);
vmax=zeros(500,1);
for k=linspace(1,500,500)
    alfa=alfaf(k);
    Qtiobruk=Qtiobrukf(k);
    qtiobruk=qtiobrukf(k);
    for i=linspace(1,500,500)

        atioett=-Qtiobruk/2;
        btioett=(3*Qtiobruk+qtiobruk)*L/8+Qtiobruk*hk(i)/tand(alfa);
        ctioett=-Qtiobruk*hk(i)^2/(2*tand(alfa)^2)-
(3*Qtiobruk+qtiobruk)*L*hk(i)/(8*tand(alfa));

        atiotva=-(qtiobruk/2);
        btiotva=qtiobruk*L+(hk(i)*qtiobruk)/tand(alfa)-((5*qtiobruk-
Qtiobruk)*L)/8;
        ctiotva=((Qtiobruk-qtiobruk)*L^2)/8+((5*qtiobruk-
Qtiobruk)*L*hk(i))/(8*tand(alfa))+((5*qtiobruk-Qtiobruk)*L^2)/8-
hk(i)*L*qtiobruk/tand(alfa)-hk(i)^2*qtiobruk/(2*(tand(alfa))^2)-
0.5*qtiobruk*L^2;

        xett=hk(i)/tand(alfa);
        xtva=(hk(i)/tand(alfa))+(L/2);

        M=zeros(4);
        h=zeros(4,1);
        M(1,1)=xett;
        M(1,2)=1;
        M(1,3:4)=[0 0];
        h(1)=- (atioett*(xett*log(xett)-xett)-
btioett*log(xett)+ctioett/(2*xett));

```

```

M(2,3)=xett;
M(2,4)=1;
h(2)=- (atiotva*(xett*log(xett)-xett)-
btiotva*log(xett)+ctiotva/(2*xett));

M(3,:)=[xtva 1 -xtva -1];
h(3)=-atioett*(xtva*log(xtva)-xtva)+btioett*log(xtva)-...
ctioett/(2*xtva)+atiotva*(xtva*log(xtva)-xtva)-
btiotva*log(xtva)+ctiotva/(2*xtva);

M(4,:)=[1 0 1 0];
h(4)=-atioett*log(xtva)+btioett/xtva+ctioett/(2*xtva^2)-...
atiotva*log(xtva)+btiotva/xtva+ctiotva/(2*xtva^2);

vekt=inv(M)*h;

A=vekt(1);
B=vekt(2);
C=vekt(3);
D=vekt(4);

x=linspace(hk(i)/tand(alfa), L/2+hk(i)/tand(alfa), 100);
v1x=(12/(Emean*b*(tand(alfa))^3))*(atioett*(x.*log(x)-x)-
btioett*log(x)+ctioett./(2*x)+A*x+B);
vmax(i)=min(v1x);
end
[n,o]=min(abs(abs(vmax(2:500))-L/300));
hAtiof(k)=hk(o);
hnoektiofn(k)=hAtiof(k)+tand(alfa)*L/2;
end
%Taklutning 15°-22.5°
hk=linspace(0.01,3,500);
vmax=zeros(500,1);
for k=linspace(1,500,500)
    alfa=alfat(k);
    Qtiobrukgt=Qtiobrukgt(k);
    qtiobrukgt=qtiobrukgt(k);
    for i=linspace(1,500,500)

        atioett=-Qtiobrukgt/2;
        btioett=(3*Qtiobrukgt+qtiobrukgt)*L/8+Qtiobrukgt*hk(i)/tand(alfa);
        ctioett=-Qtiobrukgt*hk(i)^2/(2*tand(alfa)^2)-
(3*Qtiobrukgt+qtiobrukgt)*L*hk(i)/(8*tand(alfa));

        atiotva=-(qtiobrukgt/2);
        btiotva=qtiobrukgt*L+(hk(i)*qtiobrukgt)/tand(alfa)-((5*qtiobrukgt-
Qtiobrukgt)*L)/8;
        ctiotva=((Qtiobrukgt-qtiobrukgt)*L^2)/8+((5*qtiobrukgt-
Qtiobrukgt)*L*hk(i))/(8*tand(alfa))+((5*qtiobrukgt-Qtiobrukgt)*L^2)/8-
hk(i)*L*qtiobrukgt/tand(alfa)-hk(i)^2*qtiobrukgt/(2*(tand(alfa))^2)-
0.5*qtiobrukgt*L^2;

        xett=hk(i)/tand(alfa);
        xtva=(hk(i)/tand(alfa))+(L/2);
    end
end

```

```

M=zeros(4);
h=zeros(4,1);
M(1,1)=xett;
M(1,2)=1;
M(1,3:4)=[0 0];
h(1)=- (atioett*(xett*log(xett)-xett) -
btioett*log(xett)+ctioett/(2*xett));

M(2,3)=xett;
M(2,4)=1;
h(2)=- (atiotva*(xett*log(xett)-xett) -
btiotva*log(xett)+ctiotva/(2*xett));

M(3,:)=[xtva 1 -xtva -1];
h(3)=-atioett*(xtva*log(xtva)-xtva)+btioett*log(xtva)-...
ctioett/(2*xtva)+atiotva*(xtva*log(xtva)-xtva)-
btiotva*log(xtva)+ctiotva/(2*xtva);

M(4,:)=[1 0 1 0];
h(4)=-atioett*log(xtva)+btioett/xtva+ctioett/(2*xtva^2)-...
atiotva*log(xtva)+btiotva/xtva+ctiotva/(2*xtva^2);

vekt=inv(M)*h;

A=vekt(1);
B=vekt(2);
C=vekt(3);
D=vekt(4);

x=linspace(hk(i)/tand(alfa), L/2+hk(i)/tand(alfa), 100);
v1x=(12/(Emean*b*(tand(alfa))^3))*(atioett*(x.*log(x)-x) -
btioett*log(x)+ctioett./(2*x)+A*x+B);
vmax(i)=min(v1x);
end
[n,o]=min(abs(abs(vmax(2:500))-L/300));
hAtiot(k)=hk(o);
hnoctiotn(k)=hAtiot(k)+tand(alfa)*L/2;
end

%Tvärdragsspänning
kdis=1.4;
ft90k=0.5*(10^6);
%Enligt EKS 9
%Taklutning 0°-5°
hnockniontv=((100*b)^(1/8))*(((gammam*0.2*(tand(alfan))*3.*(Qnioettn*(L^2)
+qnioettn*(L^2)))/(8*b*kdis*kmod*ft90k)).^(5/8));
%Taklutning 5°-15°
hnocknioftv=((100*b)^(1/8))*(((gammam*0.2*(tand(alfaf))*3.*(Qniotvaf*(L^2)
+qniotvaf*(L^2)))/(8*b*kdis*kmod*ft90k)).^(5/8));
%Taklutning 15°-22.5°
hnockniottv=((100*b)^(1/8))*(((gammam*0.2*(tand(alfaf))*3.*(Qniotret*(L^2)
+qniotret*(L^2)))/(8*b*kdis*kmod*ft90k)).^(5/8));
%Enligt EKS 10
%Taklutning 0°-5°
hnocktiontv=((100*b)^(1/8))*(((gammam*0.2*(tand(alfan))*3.*(Qtioettn*(L^2)
+qtioettn*(L^2)))/(8*b*kdis*kmod*ft90k)).^(5/8));
%Taklutning 5°-15°

```

```

hnocktioftv=((100*b)^(1/8))*(((gamman*0.2*(tand(alfaf))*3.*(Qtioqvaf*(L^2)+qtioqvaf*(L^2)))/(8*b*kdis*kmod*ft90k)).^(5/8));
%Taklutning 15°-22.5°
hnocktiottv=((100*b)^(1/8))*(((gamman*0.2*(tand(alfat))*3.*(Qtiotret*(L^2)+qtiotret*(L^2)))/(8*b*kdis*kmod*ft90k)).^(5/8));

```

```
%Diagram
```

```
%Balkens nockhöjd beroende av momentkapacitet
```

```

figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New Roman');
hold on; plot(alfan(3:500),hnocktionm(3:500),'-','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfan(3:500),hnocknionm(3:500),'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfaf,hnocktiofm,'-','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfaf,hnockniofm,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfat,hnocktiotm,'-','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfat,hnockniotm,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Taklutning [°]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkens nockhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');

```

```
%Balkens nockhöjd beroende av tvärkraftskapacitet
```

```

figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New Roman');
hold on; plot(alfan,hnocktiont,'-','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfan,hnockniont,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfaf,hnocktioft,'-','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfaf,hnocknioft,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfat,hnocktiott,'-','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfat,hnockniott,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Taklutning [°]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkens nockhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');

```

```
%Pelarsnittets höjd beroende av upplagstryck
```

```

figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New Roman');
hold on; plot(alfan,ltion,'-','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfan,lnion,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfaf,lniof,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfaf,ltiof,'-','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfat,lniot,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfat,ltiot,'-','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Taklutning [°]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Pelarsnittets höjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');

```

```
%Balkens nockhöjd beroende av nedböjning
```

```

figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New Roman');
hold on; plot(alfan(3:500),hnocktionn(3:500),'-','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfan(3:500),hnocknionn(3:500),'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot(alfaf,hnocktiofn,'-','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);

```



```

0]);plot(alfaf,hnockniofn,'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfat,hnocktiotn,'-', 'LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfat,hnockniotn,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Taklutning [°]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkens nockhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New
Roman');

```

`%Balkens nockhöjd beroende av tvärdragsspänning`

```

figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(alfan,hnocktiontv,'-', 'LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfan,hnockniontv,'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfaf,hnocktioftv,'-', 'LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfaf,hnocknioftv,'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfat,hnocktiottv,'-', 'LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfat,hnockniottv,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Taklutning [°]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkens nockhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New
Roman');

```

`%Dimensionskriterier EKS 9`

```

figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(alfan(3:500),hnocknionn(3:500),'-', 'LineWidth',2,'color',[0
0 0]);plot(alfan(3:500),hnocknionm(3:500),'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfan,hnockniont,':','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfan,hnockniontv,'-.','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfaf,hnocknioft,':','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfaf,hnocknioftv,'-.','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfaf,hnockniofm,'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfaf,hnockniofn,'-', 'LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfat,hnockniott,':','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfat,hnockniottv,'-.','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfat,hnockniotm,'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfat,hnockniotn,'-', 'LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('Nedböjning','Momentkapacitet','Tvärkraftskapacitet','Tvärdragsspä
nning','location','southeast');
xlabel('Taklutning [°]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkens nockhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New
Roman');

```

`%Dimensionskriterier EKS 10`

```

figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(alfan(3:500),hnocktionn(3:500),'-', 'LineWidth',2,'color',[0
0 0]);plot(alfan(3:500),hnocktionm(3:500),'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfan,hnocktiont,':','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfan,hnocktiontv,'-.','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfaf,hnocktioft,':','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfaf,hnocktioftv,'-.','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfaf,hnocktiofm,'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfaf,hnocktiofn,'-', 'LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfat,hnocktiott,':','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfat,hnocktiottv,'-.','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);

```

```

0]);plot(alfat,hnocktiotm,'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(alfat,hnocktiotn,'-', 'LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('Nedböjning','Momentkapacitet','Tvärkraftskapacitet','Tvärdragsspä
nning','location','southeast');
xlabel('Taktlutning [°]','FontSize',20,'FontName','Times New Roman');
ylabel('Balkens nockhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New
Roman');

```

## B.6 Sadelbalkar, varierande snölastvärde

```
%SADELBALKAR MED SNÖLASTZON
```

```
L=20;
```

```
%LASTER
```

```
%Egentyngd
```

```
Gtak=500;
```

```
%Snölast
```

```
Ce=1.0;
```

```
Ct=1.0;
```

```
sk=linspace(1000,5500,1500);
```

```
%Enligt EKS 9
```

```
unio=0.8;
```

```
snio=unio*Ce*Ct*sk;
```

```
%Enligt EKS 10
```

```
utioett=0.8;
```

```
utiotva=0.95;
```

```
stioett=utiotva*Ce*Ct*sk;
```

```
stiotva=utioett*Ce*Ct*sk;
```

```
%Vindlast
```

```
qp=517.5;
```

```
cpeett=0.1;
```

```
cpetva=0.1;
```

```
cpi=0.3;
```

```
alfa=10;
```

```
wett=(qp*cpeett+qp*cpi);
```

```
wtva=(qp*cpetva+qp*cpi);
```

```
%Total last på balken
```

```
gammad=1.0;
```

```
psivind=0.3;
```

```
cc=6;
```

```
%Brottgränstillståndet
```

```
%Enligt EKS 9
```

```
Qnioett=(gammad*1.5*snio+gammad*1.5*psivind*wett+gammad*1.2*Gtak)*cc;
```

```
qnioett=(gammad*1.5*snio+gammad*1.5*psivind*wtva+gammad*1.2*Gtak)*cc;
```

```
qnio=(Qnioett+qnioett)/2;
```

```
%Enligt EKS10
```

```
Qtioett=(gammad*1.5*stioett+gammad*1.5*psivind*wett+gammad*1.2*Gtak)*cc;
```

```
qtioett=(gammad*1.5*stiotva+gammad*1.5*psivind*wtva+gammad*1.2*Gtak)*cc;
```

```
qtio=(Qtioett+qtioett)/2;
```

```
%Brukgränstillståndet
```

```
%Enligt EKS 9
```

```
Qniobruk=(1.0*snio+psivind*wett+1.0*Gtak)*cc;
```

```
qniobruk=(1.0*snio+psivind*wtva+1.0*Gtak)*cc;
```

```
qniobruk=(Qniobruk+qniobruk)/2;
```

```
%Enligt EKS 10
```

```
Qtiobruk=(1.0*stioett+0.3*wett+1.0*Gtak)*cc;
```

```

qtiobruk=(1.0*stiotva+0.3*wtva+1.0*Gtak)*cc;
qtiobruk=(Qtiobruk+qtiobruk)/2;

%DIMENSIONERING
gammam=1.25;
kmod=0.8;
b=0.14;

%Momentkapacitet
fmk=30*(10^6);
kcrit=1;
fvk=3.5*10^6;
fc90k=2.5*10^6;
fmd=kmod*fmk/gammam;
fc90d=kmod*fc90k/gammam;
fvd=kmod*fvk/gammam;
%Enligt EKS 9
hk=linspace(0.01,3,1500);
vmax=zeros(1500,1);
for k=linspace(1,1500,1500)
    Qnioettm=Qnioett(k);
    qnioettm=qnioett(k);
    for i=linspace(1,1500,1500)

        anioett=-Qnioettm/2;
        bnioett=(3*Qnioettm+qnioettm)*L/8+Qnioettm*hk(i)/tand(alfa);
        cnioett=-Qnioettm*hk(i)^2/(2*tand(alfa)^2)-
        (3*Qnioettm+qnioettm)*L*hk(i)/(8*tand(alfa));

        aniotva=-(qnioettm/2);
        bniotva=qnioettm*L+(hk(i)*qnioettm)/tand(alfa)-((5*qnioettm-
        Qnioettm)*L)/8;
        cniotva=((Qnioettm-qnioettm)*L^2)/8+((5*qnioettm-
        Qnioettm)*L*hk(i))/(8*tand(alfa))+((5*qnioettm-Qnioettm)*L^2)/8-
        hk(i)*L*qnioettm/tand(alfa)-hk(i)^2*qnioettm/(2*(tand(alfa))^2)-
        0.5*qnioettm*L^2;

        xett=hk(i)/tand(alfa);
        xtva=(hk(i)/tand(alfa))+(L/2);

        x=linspace(hk(i)/tand(alfa), L/2+hk(i)/tand(alfa), 100);
        Mett=anioett*x.^2+bnioett*x+cnioett;
        Mtva=aniotva*x.^2+bniotva*x+cniotva;
        W=b*(hk(i)*x*tand(alfa)).^2/6;

kma=1/((1+(fmd/(1.5*fvd)*tand(alfa))^2+(fmd/fc90d*(tand(alfa))^2)^2)^0.5)
;

[Max1,plac1]=max(Mett./W);
[Max2,plac2]=max(Mtva./W);
if Max1>Max2
    dim(i)=Max1/(kma*fmd);
else
    dim(i)=Max2/(kma*fmd);
end

```

```

end
[n,o]=min(abs(1-dim));
hAnio(k)=hk(o);
hnockniom(k)=hAnio(k)+tand(alfa)*L/2;
end
%Enligt EKS 10
hk=linspace(0.01,3,1500);
vmax=zeros(1500,1);
for k=linspace(1,1500,1500)
    Qtioettm=Qtioett(k);
    qtioettm=qtioett(k);
    for i=linspace(1,1500,1500)

        atioett=-Qtioettm/2;
        btioett=(3*Qtioettm+qtioettm)*L/8+Qtioettm*hk(i)/tand(alfa);
        ctioett=-Qtioettm*hk(i)^2/(2*tand(alfa)^2)-
(3*Qtioettm+qtioettm)*L*hk(i)/(8*tand(alfa));

        atiotva=-(qtioettm/2);
        btiotva=qtioettm*L+(hk(i)*qtioettm)/tand(alfa)-((5*qtioettm-
Qtioettm)*L)/8;
        ctiotva=((Qtioettm-qtioettm)*L^2)/8+((5*qtioettm-
Qtioettm)*L*hk(i))/(8*tand(alfa))+((5*qtioettm-Qtioettm)*L^2)/8-
hk(i)*L*qtioettm/tand(alfa)-hk(i)^2*qtioettm/(2*(tand(alfa))^2)-
0.5*qtioettm*L^2;

        xett=hk(i)/tand(alfa);
        xtva=(hk(i)/tand(alfa))+(L/2);

        x=linspace(hk(i)/tand(alfa), L/2+hk(i)/tand(alfa), 100);
        Mett=atioett*x.^2+btioett*x+ctioett;
        Mtva=atiotva*x.^2+btiotva*x+ctiotva;
        W=b*(hk(i)*x*tand(alfa)).^2/6;

kma=1/((1+(fmd/(1.5*fvd)*tand(alfa))^2+(fmd/fc90d*(tand(alfa))^2)^2)^0.5)
;

        [Max1,plac1]=max(Mett./W);
        [Max2,plac2]=max(Mtva./W);
        if Max1>Max2
            dim(i)=Max1/(kma*fmd);
        else
            dim(i)=Max2/(kma*fmd);
        end
    end
end
[n,o]=min(abs(1-dim));
hAtio(k)=hk(o);
hnocktiom(k)=hAtio(k)+tand(alfa)*L/2;
end
%Tvärkraftskapacitet
kcr=1;
fvk=3.5*(10^6);
%Enligt EKS 9
hniot=(L*((3*Qnioett+qnioett)/8)*gammam*1.5)/(kcr*b*kmod*fvk);

```

```

hnockniot=hniot+(L/2)*(tand(alfa));
%Enligt EKS 10
htiot=(L*((3*Qtioett+qtioett)/8)*gammam*1.5)/(kcr*b*kmod*fvk);
hnocktioet=htiot+(L/2)*(tand(alfa));

%Upplagstryck
kcett=1.75;
kctva=1;
fck=2.5*(10^6);
%Enligt EKS 9
kmodnio=0.8;
gammamnio=1.25;
fcdnio=(kmodnio*fck)/gammamnio;
sknioett=1000:22.5:1742.5;
snioett=unio*Ce*Ct*sknioett;
Qniouppett=(gammad*1.5*snioett+gammad*1.5*psivind*wett+gammad*1.2*Gtak)*c
c;
qniouppett=(gammad*1.5*snioett+gammad*1.5*psivind*wtva+gammad*1.2*Gtak)*c
c;
lnioett=(L*((3*Qniouppett+qniouppett)/8))/(kcett*fcdnio*b)-0.03;
skniotva=1742.5:22.5:5500;
sniotva=unio*Ce*Ct*skniotva;
Qnioupptva=(gammad*1.5*sniotva+gammad*1.5*psivind*wett+gammad*1.2*Gtak)*c
c;
qnioupptva=(gammad*1.5*sniotva+gammad*1.5*psivind*wtva+gammad*1.2*Gtak)*c
c;
lniotva=(L*((3*Qnioupptva+qnioupptva)/8))/(kctva*fcdnio*b)-0.03;
%Enligt EKS 10
kmodtio=1.0;
gammamtio=1.0;
fcdtio=(kmodtio*fck)/gammamtio;
sktioett=1000:22.5:2687.5;
estioett=utiotva*Ce*Ct*sktioett;
estiotva=utioett*Ce*Ct*sktioett;
Qtiouppett=(gammad*1.5*estioett+gammad*1.5*psivind*wett+gammad*1.2*Gtak)*
cc;
qtiouppett=(gammad*1.5*estiotva+gammad*1.5*psivind*wtva+gammad*1.2*Gtak)*
cc;
ltioett=(L*((3*Qtiouppett+qtiouppett)/8))/(kcett*fcdtio*b)-0.03;
sktiotva=2687.5:22.5:5500;
tstioett=utiotva*Ce*Ct*sktiotva;
tstiotva=utioett*Ce*Ct*sktiotva;
Qtiouppptva=(gammad*1.5*tstioett+gammad*1.5*psivind*wett+gammad*1.2*Gtak)*
cc;
qtiouppptva=(gammad*1.5*tstiotva+gammad*1.5*psivind*wtva+gammad*1.2*Gtak)*
cc;
ltiotva=(L*((3*Qtiouppptva+qtiouppptva)/8))/(kctva*fcdtio*b)-0.03;

%Nedböjning
Emean=13000*(10^6);
%Enligt EKS 9
hk=linspace(0.01,3,1500);
vmax=zeros(1500,1);
for k=linspace(1,1500,1500)
    Qniobrukgn=Qniobruk(k);
    qniobrukgn=qniobruk(k);
    for i=linspace(1,1500,1500)

```

```

        anioett=-Qniobrukgn/2;

bnioett=(3*Qniobrukgn+qniobrukgn)*L/8+Qniobrukgn*hk(i)/tand(alfa);
        cnioett=-Qniobrukgn*hk(i)^2/(2*tand(alfa)^2)-
(3*Qniobrukgn+qniobrukgn)*L*hk(i)/(8*tand(alfa));

        aniotva=-(qniobrukgn/2);
        bniotva=qniobrukgn*L+(hk(i)*qniobrukgn)/tand(alfa)-
((5*qniobrukgn-Qniobrukgn)*L)/8;
        cniotva=((Qniobrukgn-qniobrukgn)*L^2)/8+((5*qniobrukgn-
Qniobrukgn)*L*hk(i))/(8*tand(alfa))+((5*qniobrukgn-Qniobrukgn)*L^2)/8-
hk(i)*L*qniobrukgn/tand(alfa)-hk(i)^2*qniobrukgn/(2*(tand(alfa))^2)-
0.5*qniobrukgn*L^2;

        xett=hk(i)/tand(alfa);
        xtva=(hk(i)/tand(alfa))+(L/2);

        M=zeros(4);
        h=zeros(4,1);
        M(1,1)=xett;
        M(1,2)=1;
        M(1,3:4)=[0 0];
        h(1)=- (anioett*(xett*log(xett)-xett)-
bnioett*log(xett)+cnioett/(2*xett));

        M(2,3)=xett;
        M(2,4)=1;
        h(2)=- (aniotva*(xett*log(xett)-xett)-
bniotva*log(xett)+cniotva/(2*xett));

        M(3,:)=[xtva 1 -xtva -1];
        h(3)=-anioett*(xtva*log(xtva)-xtva)+bnioett*log(xtva)-...
        cnioett/(2*xtva)+aniotva*(xtva*log(xtva)-xtva)-
bniotva*log(xtva)+cniotva/(2*xtva);

        M(4,:)=[1 0 1 0];
        h(4)=-anioett*log(xtva)+bnioett/xtva+cnioett/(2*xtva^2)-...
        aniotva*log(xtva)+bniotva/xtva+cniotva/(2*xtva^2);

        vekt=inv(M)*h;

        A=vekt(1);
        B=vekt(2);
        C=vekt(3);
        D=vekt(4);

        x=linspace(hk(i)/tand(alfa), L/2+hk(i)/tand(alfa), 100);
        v1x=(12/(Emean*b*(tand(alfa))^3))*(anioett*(x.*log(x)-x)-
bnioett*log(x)+cnioett./(2*x)+A*x+B);
        vmax(i)=min(v1x);
    end
    [n,o]=min(abs(abs(vmax(2:1500))-L/300));
    hAnio(k)=hk(o);
    hnocknion(k)=hAnio(k)+tand(alfa)*L/2;
end

```

```

%Enligt EKS 10
hk=linspace(0.01,3,1500);
vmax=zeros(1500,1);
for k=linspace(1,1500,1500)
    Qtiobrukgn=Qtiobrukgn(k);
    qtiobrukgn=qtiobrukgn(k);
    for i=linspace(1,1500,1500)

        atioett=-Qtiobrukgn/2;

btioett=(3*Qtiobrukgn+qtiobrukgn)*L/8+Qtiobrukgn*hk(i)/tand(alfa);
    ctioett=-Qtiobrukgn*hk(i)^2/(2*tand(alfa)^2)-
(3*Qtiobrukgn+qtiobrukgn)*L*hk(i)/(8*tand(alfa));

        atiotva=-(qtiobrukgn/2);
        btiotva=qtiobrukgn*L+(hk(i)*qtiobrukgn)/tand(alfa)-
((5*qtiobrukgn-Qtiobrukgn)*L)/8;
        ctiotva=((Qtiobrukgn-qtiobrukgn)*L^2)/8+((5*qtiobrukgn-
Qtiobrukgn)*L*hk(i))/(8*tand(alfa))+((5*qtiobrukgn-Qtiobrukgn)*L^2)/8-
hk(i)*L*qtiobrukgn/tand(alfa)-hk(i)^2*qtiobrukgn/(2*(tand(alfa))^2)-
0.5*qtiobrukgn*L^2;

        xett=hk(i)/tand(alfa);
        xtva=(hk(i)/tand(alfa))+(L/2);

        M=zeros(4);
        h=zeros(4,1);
        M(1,1)=xett;
        M(1,2)=1;
        M(1,3:4)=[0 0];
        h(1)=- (atioett*(xett*log(xett)-xett)-
btioett*log(xett)+ctioett/(2*xett));

        M(2,3)=xett;
        M(2,4)=1;
        h(2)=- (atitva*(xett*log(xett)-xett)-
btiotva*log(xett)+ctiotva/(2*xett));

        M(3,:)=[xtva 1 -xtva -1];
        h(3)=-atioett*(xtva*log(xtva)-xtva)+btioett*log(xtva)-...
ctioett/(2*xtva)+atitva*(xtva*log(xtva)-xtva)-
btiotva*log(xtva)+ctiotva/(2*xtva);

        M(4,:)=[1 0 1 0];
        h(4)=-atioett*log(xtva)+btioett/xtva+ctioett/(2*xtva^2)-...
atitva*log(xtva)+btiotva/xtva+ctiotva/(2*xtva^2);

        vekt=inv(M)*h;

        A=vekt(1);
        B=vekt(2);
        C=vekt(3);
        D=vekt(4);

        x=linspace(hk(i)/tand(alfa), L/2+hk(i)/tand(alfa), 100);
        v1x=(12/(Emean*b*(tand(alfa))^3))*(atioett*(x.*log(x)-x)-
btioett*log(x)+ctioett./(2*x)+A*x+B);
        vmax(i)=min(v1x);

```

```

end
[n,o]=min(abs(abs(vmax(2:1500))-L/300));
hAtio(k)=hk(o);
hnocktio(k)=hAtio(k)+tand(alfa)*L/2;
end

%Tvärdragsspänning
kdis=1.4;
ft90k=0.5*(10^6);
%Enligt EKS 9
hnockniotv=((100*b)^(1/8))*(((gamam*0.2*(tand(alfa))*3*(Qnioett*(L^2)+qno
ioett*(L^2)))/(8*b*kdis*kmod*ft90k)).^(5/8));
%Enligt EKS 10
hnocktiotv=((100*b)^(1/8))*(((gamam*0.2*(tand(alfa))*3*(Qtioett*(L^2)+qti
ioett*(L^2)))/(8*b*kdis*kmod*ft90k)).^(5/8));

%Diagram
%Balkens nockhöjd beroende av momentkapacitet
figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(sk,hnocktio,'-','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(sk,hnockniom,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Snölastens grundvärde [N/m^2]','FontSize',20,'FontName','Times
New Roman');
ylabel('Balkens nockhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New
Roman');

%Balkens nockhöjd beroende av tvärkraftskapacitet
figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(sk,hnocktiot,'-','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(sk,hnockniot,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Snölastens grundvärde [N/m^2]','FontSize',20,'FontName','Times
New Roman');
ylabel('Balkens nockhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New
Roman');

%Pelarsnittets höjd beroende av upplagstryck
figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(sktioett,ltioett,'-','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(sknioett,lnioett,'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(sknioetva,lnioetva,'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(sktioteva,ltiotva,'-','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot([max(sktioett) max(sktioett)],[max(ltioett) min(ltioteva)],'-
','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);plot([max(sknioett)
max(sknioett)],[max(lnioett) min(lnioetva)],'--','LineWidth',2,'color',[0
0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Snölastens grundvärde [N/m^2]','FontSize',20,'FontName','Times
New Roman');
ylabel('Pelarsnittets höjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New
Roman');

```



```

%Balkens nockhöjd beroende av nedböjning
figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(sk,hnocktion,'-','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(sk,hnocknion,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Snölastens grundvärde [N/m^2]','FontSize',20,'FontName','Times
New Roman');
ylabel('Balkens nockhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New
Roman');

%Balkens nockhöjd beroende av tvärdragsspänning
figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(sk,hnocktiotv,'-','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(sk,hnockniotv,'--','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('EKS 10','EKS 9','location','southeast');
xlabel('Snölastens grundvärde [N/m^2]','FontSize',20,'FontName','Times
New Roman');
ylabel('Balkens nockhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New
Roman');

%Dimensionskriterier EKS 9
figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(sk,hnocknion,'-','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(sk,hnockniom,'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(sk,hnockniot,':','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(sk,hnockniotv,'-.','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('Nedböjning','Momentkapacitet','Tvärkraftskapacitet','Tvärdragsspä
nning','location','best');
xlabel('Snölastens grundvärde [N/m^2]','FontSize',20,'FontName','Times
New Roman');
ylabel('Balkens nockhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New
Roman');

%Dimensionskriterier EKS 10
figure
axes('YGrid','on','XGrid','on','FontSize',15,'FontName','Times New
Roman');
hold on; plot(sk,hnocktion,'-','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(sk,hnocktiom,'--','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(sk,hnocktiot,':','LineWidth',2,'color',[0 0
0]);plot(sk,hnocktiotv,'-.','LineWidth',2,'color',[0 0 0]);hold off;
legend('Nedböjning','Momentkapacitet','Tvärkraftskapacitet','Tvärdragsspä
nning','location','best');
xlabel('Snölastens grundvärde [N/m^2]','FontSize',20,'FontName','Times
New Roman');
ylabel('Balkens nockhöjd [m]','FontSize',20,'FontName','Times New
Roman');

```