



**Skolan för arkitektur och  
samhällsbyggnad**

---

# **Dimensionering av trästomme till ett småhus**

---

AF1005, Konstruktionsuppgift i Byggkonstruktionslära gk, VT 2020

2020-02-02

Grupp 17

André Wisén

## Innehållsförteckning

<b>Figurförteckning.....</b>	<b>iv</b>
<b>Tabellförteckning .....</b>	<b>v</b>
<b>Formelförteckning.....</b>	<b>vi</b>
<b>Resultatförteckning .....</b>	<b>vii</b>
<b>1 Inledning.....</b>	<b>9</b>
1.1 Inledning .....	9
1.2 Bakgrund.....	9
1.3 Problemformulering .....	10
1.4 Begränsningar .....	10
1.5 Termer.....	10
1.5.1 Allmänna termer .....	10
1.5.2 Termer som berör dimensionering i allmänhet .....	10
1.5.3 Termer som berör laster .....	11
1.6 Beteckningar .....	11
1.6.1 Versala latinska bokstäver .....	11
1.6.2 Gemena latinska bokstäver .....	12
1.6.3 Versala grekiska bokstäver .....	13
1.6.4 Gemena grekiska bokstäver .....	13
1.7 Teckendefinition .....	14
<b>2 Metodik.....</b>	<b>16</b>
2.1 Inledning .....	16
2.2 Förutsättningar .....	16
2.3 Lastnedräkning.....	17
2.3.1 Karakteristiska laster.....	17
2.3.2 Lastkombinering .....	17
2.4 Dimensionering.....	17
2.5 Programvara.....	17
2.6 Nerladdning av beräkningsfil.....	17
<b>3 Teori.....</b>	<b>18</b>
3.1 Inledning .....	18
3.2 Bärande konstruktioners säkerhet och funktion.....	18
3.2.1 Brottgränstillstånd.....	18
3.2.2 Dimensionerande hållfasthetsvärden .....	18
3.2.3 Lastkombinering och partialkoefficienter .....	19
3.3 Korrektionsfaktorer .....	20
3.4 Klassificering av laster.....	21
3.5 Snölast.....	22
3.6 Byggstatik .....	22
3.6.1 2-stödsbalk med jämnt fördelad belastning .....	22
3.6.2 2-stödsbalk med jämnt punktlast belastning .....	23
3.6.3 3-stödsbalk med jämnt fördelad belastning .....	24
3.7 Dimensionering.....	25
3.7.1 Tryck vinkelrätt fiberriktningen.....	25
3.7.2 Skjuvning parallellt med fiberriktning.....	26
3.7.3 Pelare utsatta för enbart tryck .....	26

3.8	Slutlig nedböjning .....	28
<b>4</b>	<b>Byggkomponenter.....</b>	<b>29</b>
4.1	Inledning .....	29
4.2	Tvådimensionella illustration.....	29
4.2.1	Takbalk MN .....	29
4.2.2	Nockbalk GHI.....	29
4.2.3	Pelare BH .....	30
4.2.4	Fackverk och golvbalk .....	30
4.3	Tredimensionella illustrationer .....	30
4.4	Material .....	31
4.5	Sammanfattning .....	32
<b>5</b>	<b>Indata.....</b>	<b>33</b>
5.1	Inledning .....	33
5.2	Variabla indata .....	33
5.3	Materialdata .....	33
5.4	Partialkoefficient.....	34
5.5	Omräkningsfaktor .....	35
5.6	Snölaster.....	35
5.7	Lastreduktionsfaktor för snölast .....	35
5.8	Hållfasthetsdata.....	36
5.9	Krypfaktor.....	37
<b>6</b>	<b>Dimensionerande hållfasthetsvärden.....</b>	<b>38</b>
6.1	Inledning .....	38
6.2	Beräkning .....	38
6.3	Fanerträ (LVL).....	38
6.4	Limträ.....	39
<b>7</b>	<b>Lastnedräkning.....</b>	<b>40</b>
7.1	Inledning .....	40
7.2	Statiskt verkningssätt .....	40
7.3	Karakteristiska laster .....	42
7.3.1	Snölast.....	42
7.3.2	Takbalk MN .....	42
7.3.3	Nockbalk GHI.....	44
7.3.4	Pelare BH .....	45
7.3.5	Sammanfattning .....	46
7.4	Dimensionerande laster .....	47
7.4.1.1	Takbalk MN .....	47
7.4.1.2	Nockbalk GHI .....	48
7.4.1.3	Pelare BH .....	48
7.4.2	Sammanfattning .....	49
7.5	Lasteffekter .....	50
7.5.1	Inledning .....	50
7.5.2	Takbalk MN .....	50
7.5.3	Nockbalk GHI.....	57
7.5.4	Sammanfattning .....	62
<b>8</b>	<b>Dimensioneringskontroller .....</b>	<b>63</b>
8.1	Inledning .....	63

8.2	Erforderliga tvärsnitt .....	63
8.2.1	Beräkning .....	63
8.2.2	Takbalk MN .....	63
8.2.3	Nockbalk GHI .....	64
8.2.4	Pelar BH .....	66
8.2.5	Sammanfattning .....	68
8.3	Brottkriterium med avseende på skjuvspänning .....	68
8.3.1	Takbalk MN .....	68
8.3.2	Nockbalk GHI .....	68
8.3.3	Sammanfattning .....	69
8.4	Upplagslängder .....	69
8.4.1	Upplagslängd motnockbalken .....	70
8.4.2	Upplagslängd mot pelartoppen .....	71
8.4.3	Sammanfattning .....	72
8.5	Nedböjning .....	72
8.5.1	Takbalk MN .....	72
8.5.2	Nockbalk GHI .....	75
8.5.3	Sammanfattning .....	76
<b>9</b>	<b>Resultat .....</b>	<b>77</b>
9.1	Inledning .....	77
9.2	Lastnedräkning .....	77
9.2.1	Takbalk MN .....	77
9.2.2	Nockbalk GHI .....	77
9.2.3	Pelare BH .....	78
9.3	Dimensioneringskontroll .....	78
9.3.1	Takbalk MN .....	78
9.3.2	Nockbalk GHI .....	78
9.3.3	Pelare BH .....	79
	<b>Litteraturförteckning .....</b>	<b>80</b>
<b>A.</b>	<b>Appendix A .....</b>	<b>82</b>

## Figurförteckning

Figur 1. Vertikal längdsektion (ÖVN1, 2020) .....	9
Figur 2. Vertikal tvärsektion, I-I (ÖVN1, 2020) .....	9
Figur 3. Vertikal längdsektion som visar träfackverket (ÖVN1, 2020).....	9
Figur 4. Teckendefinition för snittat balk.....	14
Figur 5. Teckendefinition för tvärsnitt. ....	14
Figur 6. Teckendefinition för nedböjning. ....	14
Figur 7. Lastnivåer för variabel last. Modifierad från Isaksson, et al. (2010).....	21
Figur 8. Tabellfall Nr. 3 för kontinuerlig balk med jämnt fördelad belastning (Isaksson, et al., 2010, s. 148). ....	22
Figur 9. Tabellfall Nr. för kontinuerlig balk med jämnt fördelad belastning (Isaksson, et al., 2010, s. 148). ....	24
Figur 10. Tabellfall Nr. 1 för kontinuerlig balk med jämnt fördelad belastning (Isaksson, et al., 2010, s. 160). ....	24
Figur 11. Vertikal tvärsektion, I-I, visande talkbalkarna (ÖVN1, 2020). ....	29
Figur 12. Vertikal längdsektion visandenockbalken (ÖVN1, 2020). ....	29
Figur 13. Vertikal längdsektion visande den centrala pelaren (ÖVN1, 2020). ....	30
Figur 14. Sektioner visande fackverket och golvbalken från i ÖVN2 (2017). ....	30
Figur 15. 3D-skiss över systemet. ....	31
Figur 16. 3D-skiss över systemet. ....	31
Figur 17. Framhävnings av de komponenter (nockbalk, takbalk och pelare) som ska dimensioneras. ....	32
Figur 18. Principskisser av den belastade bredden.....	42
Figur 19. Linjelast, $q$ , på takbalken räknad per horisontell löpmeter.....	43
Figur 20. Principskisser av den belastade bredden.....	44
Figur 21. Linjelast, $q$ , pånockbalken. ....	44
Figur 22. Illustration av projicering av last samt balkens längd. ....	50
Figur 23. Illustration av projicering av last samt balkens längd. ....	51
Figur 24. Illustration av den balk som används vid beräkning. ....	52
Figur 25. Normalkraftsdiagram för takbalken.....	54
Figur 26. Tvärkraftsdiagram för takbalken. ....	55
Figur 27. Böjmomentdiagram för takbalken. ....	56
Figur 28. Tvärkraft- och böjmomentdiagram för takbalken.....	57
Figur 29. Förklaring av superpositionering avnockbalk. ....	57
Figur 30. Förklaring av superpositionering avnockbalk. ....	57
Figur 31. Normalkraftsdiagram förnockbalken.....	59
Figur 32. Tvärkraftsdiagram förnockbalken. ....	60
Figur 33. Böjmomentdiagram förnockbalken. ....	61
Figur 34. Illustration av knäckningslängd $L_{p,cr}$ . ....	66
Figur 35. Sektioner visandenockbalken och pelaren (ÖVN1, 2020). ....	69
Figur 36. Beräkning av nedböjning för Nockbalk med Ansys 2019 R. ....	75

## Tabellförteckning

Tabell 1. Lista över gällande Eurokoder (Svenska institutet för standarder, 2020).....	16
Tabell 2. Olika typer av brottgränstillstånd enligt Eurokod (Isaksson, et al., 2010).....	18
Tabell 3. Byggnadsdelar av intresse.....	32
Tabell 4. Indata, variabla värden med Grupp 7 som argument. ....	33
Tabell 5. Indata, materialdata. ....	33
Tabell 6. Indata, klimatklasser. ....	34
Tabell 7. Indata, partialkoefficienter. ....	34
Tabell 8. Indata, partialkoefficienter. ....	34
Tabell 9. Indata, omräkningsfaktor. ....	35
Tabell 10. Indata, omräkningsfaktor. ....	35
Tabell 11. Indata, snölast.....	35
Tabell 12. Indata, lastreduktionsfaktor för snölast. ....	35
Tabell 13. Indata, hållfasthetsdata för LVL - KERTO-S. ....	36
Tabell 14. Indata, hållfasthetsdata för GL – GL36h.....	36
Tabell 15. Indata, krypfaktor. ....	37
Tabell 16. a) 2D illustration b) 3D illustration c) Beräkningsfall d) Kommentar.....	40
Tabell 17. Sammanställning av laster och dess lasteffekter.....	41
Tabell 18. Sammanfattning av karakteristiska laster.....	46
Tabell 19. Sammanfattning av dimensionerande laster.....	49
Tabell 20. Sammanfattning av lasteffekter.....	62
Tabell 21. Sammanfattning av erforderliga tvärsnitt.....	68
Tabell 22. Sammanfattning av tvärkrafter.....	69
Tabell 23. Sammanfattning av upplagslängder. ....	72

## Formelförteckning

Formel 1. Verifiering av brottgränstillstånd enligt STR, Eurokod.....	18
Formel 2. Dimensioneringsvärden, $R_d$ , för bärförmåga. ....	18
Formel 3. Lastkombination a). ....	19
Formel 4. Lastkombination b). ....	19
Formel 5. Val av ogynnsammaste lastkombination. ....	20
Formel 6. Korrektionsfaktor, $k_h$ , för fanérträ (LVL). ....	20
Formel 7. Korrektionsfaktor, $k_h$ , för limträ (GL). ....	20
Formel 8. Snölast på tak. ....	22
Formel 9. Stödreaktioner, kontinuerlig 2-stödsbalk med jämnt fördelad belastning. ....	23
Formel 10. Tvärkraft som funktion av $x$ , kontinuerlig 2-stödsbalk med jämnt fördelad belastning. ....	23
Formel 11. Böjmoment som funktion av $x$ , kontinuerlig 2-stödsbalk med jämnt fördelad belastning. ....	23
Formel 12. Maximal utböjning, kontinuerlig 2-stödsbalk med jämnt fördelad belastning. ....	23
Formel 13. Tvärkraft som funktion av $x$ , kontinuerlig 2-stödsbalk med punktlast. ....	24
Formel 14. Böjmoment som funktion av $x$ , kontinuerlig 2-stödsbalk med punktlast. ....	24
Formel 15. Maximal utböjning, kontinuerlig 2-stödsbalk med jämnt fördelad belastning. ....	24
Formel 16. Upplagsreaktion för A och C, kontinuerlig 3-stödsbalk med jämnt fördelad belastning. ....	25
Formel 17. Upplagsreaktion för mittstöd, kontinuerlig 3-stödsbalk med jämnt fördelad belastning. ....	25
Formel 18. Utböjning i fältmitt, kontinuerlig 3-stödsbalk med jämnt fördelad belastning. ....	25
Formel 19. Brottkriterium för tryck vinkelrätt mot fiberriktningen. ....	25
Formel 20. Brottkriterium skjuvning parallellt med fiberriktning. ....	26
Formel 21. Effektiv bredd vid verifiering av bärverksdels skjuvbärförmåga vid böjning. ....	26
Formel 22. Brottkriterium för tryckt pelare. ....	26
Formel 23. Reduktionsfaktor vid knäckning av tryckt pelare. ....	27
Formel 24. Reduktionsfaktor vid knäckning av tryckt pelare. ....	27
Formel 25. Relativt slankhetstal vid knäckning av tryckt pelare. ....	27
Formel 26. Slankhetstal vid knäckning av tryckt pelare. ....	27
Formel 27. Beräkning av slutlig nedböjning. ....	28
Formel 28. Beräkning av slutlig nedböjning för permanent last. ....	28
Formel 29. Beräkning av slutlig nedböjning för variabla laster. ....	28
Formel 30. Lastkombinering enligt Eurokod. ....	47
Formel 31. Projicering av linjelast som verkar på takbalken. ....	51
Formel 32. Beräkning av takbalkens tvärsnittshöjd. ....	63
Formel 33. Beräkning avnockbalkens tvärsnittsbredd. ....	64
Formel 34. Implicit beräkning avnockbalkens tvärsnittsbredd. ....	65
Formel 35. Implicit beräkning avnockbalkens tvärsnittsbredd. ....	65
Formel 36. Beräkning avnockbalkens tvärsnittshöjd. ....	65
Formel 37. Generellt uttryck för total nedböjning. ....	72
Formel 38. Olikhet för att hitta (ny) erforderlig tvärsnittshöjd. ....	73

## Resultatförteckning

$f_{m,0,edge,lvl,d}$ .....	38
$f_{c,90,edge,lvl,d}$ .....	38
$f_{v,0,edge,lvl,d}$ .....	38
$f_{m,0,gl,d}$ .....	39
$f_{t,0,gl,d}$ .....	39
$f_{c,0,gl,d}$ .....	39
$f_{c,90,gl,d}$ .....	39
$f_{v,gl,d}$ .....	39
$g_{tb,k}$ .....	43
$s_{tb,k}$ .....	43
$g_{nb,k}$ .....	44
$s_{nb,k}$ .....	44
$N_{g,k}$ .....	45
$N_{s,k}$ .....	45
$q_{tb,Ed}$ .....	48
$q_{nb,Ed}$ .....	48
$N_{p,Ed}$ .....	49
Utbredd last och normalkraft verkande vinkelrätt mot balken.....	52
$R_{tb,M}$ , $R_{tb,N}$ .....	53
$V_{tb,Ed}$ .....	55
$M_{tb,Ed}$ .....	56
$R_{nb,G}$ , $R_{nb,I}$ .....	58
$R_{nb,H}$ .....	58
$V_{nb,Ed}$ .....	60
$M_{nb,Ed}$ .....	61
$h_{tb,ber}$ .....	64
$h_{tb,vald}$ .....	64
$b_{nb,vald}$ .....	65
$h_{nb,ber}$ .....	66
$h_{nb,vald}$ .....	66
$L_{p,cr}$ .....	66
$\lambda_{rel,z}$ .....	67
$k_{p,z}$ .....	67
$k_{p,c,z}$ .....	67
$h_{p,ber}$ .....	67
$h_{p,vald}$ .....	68
$\tau_{v,tb,d}$ .....	68
$\tau_{v,nb,d}$ .....	69
$l_M$ .....	70
Minsta möjliga nockbalksbredd. ....	70
$l_{H,verklig}$ .....	71
Minsta möjliga nockbalksbredd. ....	71
$g_{tb,ser}$ .....	72
$s_{tb,ser}$ .....	72
$V_{tb,mitt,inst}$ .....	73



$h_{tb,inst}$ .....	74
$h_{tb,fin}$ .....	74
$h_{tb,vald}$ .....	74
$V_{nb,inst}$ .....	75
$V_{nb,fin}$ .....	76
Delsvar för takbalken, lastnedräkning .....	77
Delsvar förnockbalken, lastnedräkning .....	77
Delsvar för pelaren, lastnedräkning .....	78
Delsvar för takbalken, dimensioneringskontroll. ....	78
Delsvar förnockbalken, dimensioneringskontroll. ....	78
Delsvar för pelaren, dimensioneringskontroll. ....	79

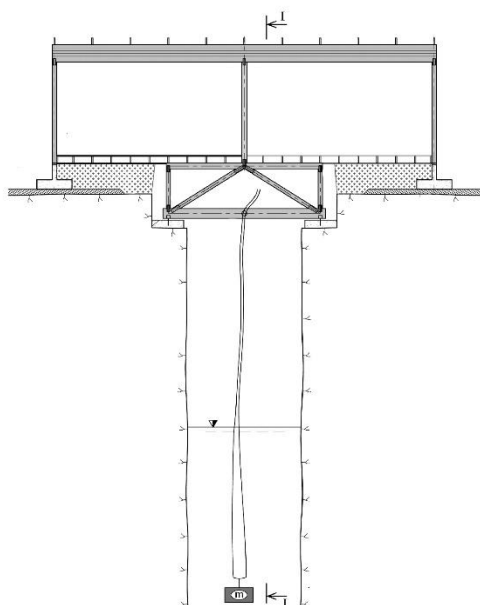
# 1 Inledning

## 1.1 Inledning

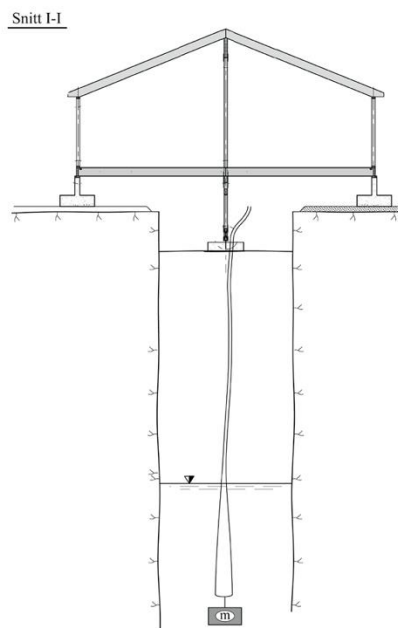
*Detta kapitel beskriver bakgrunden till problemformuleringen. Dessutom redogörs de allmänna begränsningar som har gjorts. Slutligen presenteras nomenklatur och teckendefinitioner.*

## 1.2 Bakgrund

Enligt ÖVN1 (2020) ska tre konstruktionsdelar i ett småhus dimensioneras. Förenklade tvärsnitt finns illustrerade i Figur 1 och Figur 2 nedan.

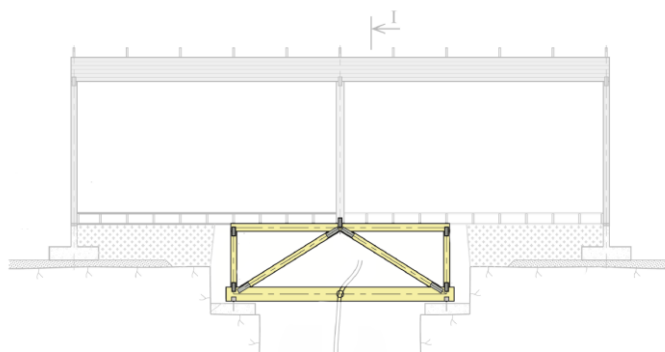


Figur 1. Vertikal längdsektion (ÖVN1, 2020)



Figur 2. Vertikal tvärsnitt, I-I (ÖVN1, 2020)

De delar som ska konstrueras är takbalkar,nockbalkar samt pelare. Dessa är gjorda av olika slags träslag. Trähuset ska placeras ovan ett gammalt gruvschakt enligt figurerna ovan. På grund av husets utformning krävs en avväxlingsbalk som spänner över schaktet. Avväxlingsbalk har formen av ett träfackverk enligt Figur 3. Detta fackverk ska bära lasterna från huset.



Figur 3. Vertikal längdsektion som visar träfackverket (ÖVN1, 2020)

### 1.3 Problemformulering

I uppgiftlydelsen står det att dimensioneringsberäkningar ska göras för stommens viktigaste bärverkskomponenter (ÖVN1, 2020). Detta gäller för både brott- och bruksgränstillståndet. Uppgiften är uppdelad i två delar:

1. Lastnedräkning
2. Dimensioneringskontroller

Lastberäkningen innebär att ta fram de dimensionerande lasteffekterna. Dessa värden skall användas för att göra dimensionskontroller för respektive byggdel. Kontroller innefattar dels val av tvärsnittdimension samt att materialet klarar hållfasthet- och deformationskrav.

### 1.4 Begränsningar

Resterande komponenter (golvbalk, fackverk, ytterväggar, etc.) studeras ej. Förband som fogar samman delarna kontrolleras ej. Dessutom saknas kontroll av stabilitet (ÖVN1, 2020).

### 1.5 Termer

De termer som används är definierande enligt SS-EN 1990 (2002).

#### 1.5.1 Allmänna termer

##### Bärverk

ordnad kombination av sammanfogade delar dimensionerade för att bära laster och ge tillräcklig styvhet (SS-EN 1990, 2002, s. 13)

#### 1.5.2 Termer som berör dimensionering i allmänhet

##### Dimensioneringskriterier

kvantitativa formuleringar som för varje gränstillstånd beskriver de villkor som ska uppfyllas (SS-EN 1990, 2002, s. 14).

##### Lastfall

Kombinerbara lastställningar, uppsättning av deformation och imperfektioner som beaktas samtidigt med bundna variabla och permanenta laster för en viss verifikation (SS-EN 1990, 2002, s. 14).

##### Gränstillstånd

Tillstånd som om det överskrids leder till att bärverket inte längre uppfyller det aktuella dimensioneringskriteriet (SS-EN 1990, 2002, s. 15).

##### Brottgränstillstånd

tillstånd förenande med kollaps eller med andra liknande former av brott i bärverket (SS-EN 1990, 2002, s. 15).

##### Bruksgränstillstånd

tillstånd som om det överskrids leder till att angivna bruksvillkor för ett bärverk eller bärverksdel inte längre uppfylls (SS-EN 1990, 2002, s. 15).

##### Bärförmåga

förmågan för en bärverksdel eller komponent, eller för ett tvärsnitt av en bärverksdel eller komponent till ett bärverk att motstå belastning utan att brott uppbokker t.ex. bärförmåga vid böjning, bärförmåga vid instabilitet, bärförmåga vid dragning (SS-EN 1990, 2002, s. 15).

## **Hållfasthet**

egenskap hos ett material som indikerar dess förmåga att motstå laster (SS-EN 1990, 2002, s. 15).

### **1.5.3 Termer som berör laster**

#### **Last (F)**

En serie av krafter (laster) som verkar på bärverket (direkt last) (SS-EN 1990, 2002, s. 16).

#### **Lasteffekt (E)**

lasteffekt på bärverksdelar, (t.ex. inre krafter, moment, spänning, töjning) eller på hela bärverket (t.ex. nedböjning, rotation) (SS-EN 1990, 2002, s. 15).

#### **Permanent last (G)**

last som sannolikt kommer att verka under en given referensperiod och vars variation i storlek med tiden är försumbar (SS-EN 1990, 2002, s. 15).

#### **Variabel last (Q)**

last vars variation i storlek med tiden varken är försumbar eller monoton (SS-EN 1990, 2002, s. 15).

#### **Karakteristiskt värde för en last ( $F_k$ )**

huvudsakligt representativt värde för en last (SS-EN 1990, 2002, s. 17).

#### **Dimensioneringsvärde för en last ( $F_d$ )**

värde som används för att verifiera ett gränstillstånd (SS-EN 1990, 2002, s. 18).

#### **Lastkombination**

uppsättning av dimensioneringsvärden som används för att verifiera ett bärverks tillförlitlighet för ett gränstillstånd under samtidig påverkan av olika laster (SS-EN 1990, 2002, s. 18).

## **1.6 Beteckningar**

Beteckningarna följer i mångt och mycket SS-EN 1990 (2002).

### **1.6.1 Versala latinska bokstäver**

$A_{ef}$	Effektiv kontaktarea
$C_e$	Exponeringsfaktor
$C_t$	Termisk koefficient
$E$	Lasteffekt
$E_d$	Dimensionerande värde för lasteffekt
$F$	Last
$F_d$	Dimensionerande värde för last
$F_k$	Karakteristiskt värde för last
$G$	Permanent last

$G_d$	Dimensionerande värde för permanent last
$L_f$	Fackverkets halva längd
$L_h$	Fackverkets höjd, mellan centrumlinjerna
$L_{p,c}$	Knäckningslängd för pelaren
$L_{nb}$	Nockbalkens spännvidd
$M_{tb,Ed}$	Dimensionerande värde för moment för takbalken
$M_{nb,Ed}$	Dimensionerande värde för moment förnockbalken
$N_{g,k}$	Karakteristisk last för takets egenvikt för pelaren
$N_{g,k}$	Karakteristisk last för snölast för pelaren
$N_{p,Ed}$	Dimensionerande värde för pelaren
$Q$	Variabel last
$Q_d$	Dimensionerande värde för variabel last
$Q_k$	Karakteristiskt värde för variabel last
$R$	Bärförmåga
$R_d$	Dimensionerande värde för bärförmågan
$R_k$	Karakteristiskt värde för bärförmågan
$R_{nb,Ed}$	Reaktion vid H förnockbalken
$V_{tb,Ed}$	Dimensionerande värde för tvärkraft för takbalken
$V_{nb,Ed}$	Dimensionerande värde för tvärkraft förnockbalken

### 1.6.2 Gemena latinska bokstäver

$a$	Husets halva bredd
$b_{tb}$	Takbalkens bredd
$b_{nb}$	Nockbalkens bredd
$b_{nb,ber}$	Beräknad bredd förnockbalken
$b_{nb,vald}$	Vald bredd förnockbalken
$h$	Stängernas tvärsnittshöjd
$h_{nb,ber}$	Beräknad tvärsnittshöjd förnockbalken

$h_{nb, vald}$	Vald tvärsnittshöjd förnockbalken
$h_{tb, ber}$	Beräknad tvärsnittshöjd för takbalken
$h_{p, ber}$	Beräknad tvärsnittshöjd för pelaren
$h_{p, vald}$	Vald tvärsnittshöjd för pelaren
$h_{tb, vald}$	Vald tvärsnittshöjd för takbalken
$g_{b, k}$	Karakteristiskt värde golvets egenvikt
$g_{nb, k}$	Karakteristisk linjelast för takets egenvikt förnockbalken
$g_{t, k}$	Karakteristiskt värde för takets egenvikt (horisontell takyta)
$g_{tb, k}$	Karakteristisk linjelast för takets egenvikt för takbalken
$g_{tb, ser}$	Karakteristisk linjelast för takets egenvikt för takbalken i bruksgränstillståndet
$k_{c, 90}$	Faktor som tar hänsyn till hur last angriper, mm
$k_{c, z}$	Reduktionsfaktor
$k_z$	Reduktionsfaktor
$k_h$	Korrektionsfaktor
$s$	Snölast på tak
$s_k$	Karakteristiskt värde för snölast på mark för platsen ifråga
$s_{tb, ser}$	Karakteristisk linjelast för snölast för takbalken i bruksgränstillståndet
$t$	Lamelltjocklek
$v$	Nedböjning
$v_{inst}$	omedelbar nedböjning
$v_{fin}$	Slutlig nedböjning
$q_{nb, Ed}$	Lastkombination förnockbalken
$q_{tb, Ed}$	Lastkombination för takbalken

### 1.6.3 Versala grekiska bokstäver

$\beta$  Taklutning

### 1.6.4 Gemena grekiska bokstäver

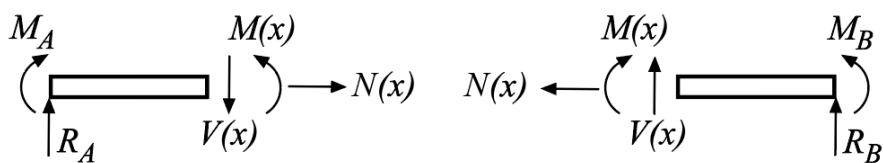
$\gamma$  Partialkoefficient (säkerhetsfaktor)

$\gamma_G$  Partialkoefficient för permanenta laster

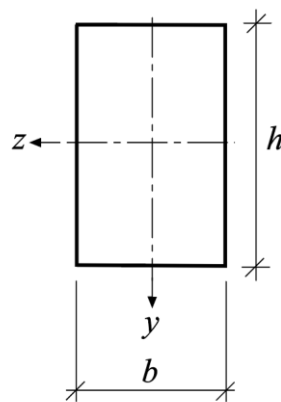
$\gamma_M$	Partialkoefficient för materialegenskap
$\gamma_Q$	Partialkoefficient för variabel last
$\lambda_z$	Slankhetstal
$\lambda_{z,rel}$	Relativt slankhetstal
$\mu$	Formfaktor för snölast
$\psi_0$	Faktor för kombinationsvärde för variabel last
$\psi_2$	Faktor för kvasipermanent värde för variabel last

## 1.7 Teckendefinition

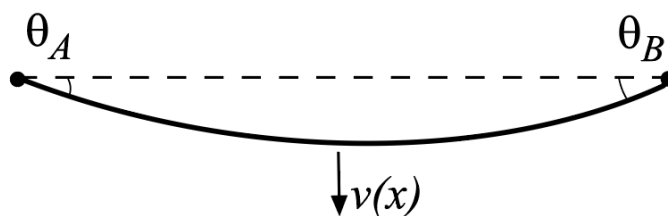
Teckenregler ges enligt figurerna nedan. Dessa antas gälla förutom när annat anges.



Figur 4. Teckendefinition för snittat balk.



Figur 5. Teckendefinition för tvärsnitt.



Figur 6. Teckendefinition för nedböjning.

## 2 Metodik

### 2.1 Inledning

*I denna del presenteras metoden för genomförandet av beräkningar i brott- och bruksgränstillståndet.*

### 2.2 Förutsättningar

Enligt ÖVN1 (2020) ska beräkningarna följa de s.k. Eurokoderna (En: *Eurocode*). Eurokoder är de europastandarder som används för bärverksdimensionering (Boverket, 2011).

*Tabell 1. Lista över gällande Eurokoder (Svenska institutet för standarder, 2020).*

EN-Standard	Tillämpning
SS-EN 1990	Grundläggande dimensioneringsregler
SS-EN 1991	Laster
SS-EN 1992	Betongkonstruktioner
SS-EN 1993	Stålkonstruktioner
SS-EN 1994	Samverkanskonstruktioner i stål & betong
SS-EN 1995	Träkonstruktioner
SS-EN 1996	Murverkskonstruktioner
SS-EN 1997	Geokonstruktioner
SS-EN 1998	Jordbävningsresistenta konstruktioner
SS-EN 1999	Aluminiumkonstruktioner

De Eurokoder som är av intresse är 1990, 1991 samt 1995 (ÖVN1, 2020). Boverket (2011) sammanställer råd och föreskrifter i publikationen *Boverkets föreskrifter om ändring i verkets föreskrifter och allmänna råd (2011:10) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)*.

Den aktuella föreskriften är *BFS 2019:1 - EKS 11*. Noterbart är att *BFS 2013:10 - EKS 9* (benämnt som EKS9) kommer användas vid beräkningarna (ÖVN1, 2020).



## 2.3 Lastnedräkning

### 2.3.1 Karakteristiska laster

Först beräknas de s.k. **karakteristiska laster** som verkar i systemet. En karakteristisk last, eller karakteristiskt värde, baseras sig på en statisk definition – d.v.s. en given sannolikhet (Svenskt Trä, 2016a). De karakteristiska lasterna bestäms från husets topp och sedan nedåt, se Figur 1.

### 2.3.2 Lastkombinering

För varje byggnadsdel skall den dimensionerande lasten bestämmas i det s.k. brottgränstillståndet. Detta tillstånd är bortom konstruktions normala förhållanden. Brottgränstillstånd används som en säkerhetsåtgärd och är kopplad med kollaps, ett brott, av en byggnadsdel (Svenskt Trä, 2016a).

Moment-, tvärkrafts- och normalkraftsdiagram ritas upp enligt ÖVN1 (2020). Detta görs dels för att bestämma upplagsreaktionerna, men även för att specificera de farliga snitten – d.v.s. de snitt som utsatt för störst moment, tvärkraft eller normalkraft. Dessa snitt är av intresse för kommande dimensioneringskontroller. Av enkelhet skiljs egenvikt och snölast (vilket förklaras senare).

## 2.4 Dimensionering

Enligt ÖVN1 (2020) skall de dimensionerande hållfasthetsvärde specificeras för respektive byggdel. Likt ovan så bestäms de erforderliga dimensionerna från husets topp och sedan nedåt. Dessa nödvändiga dimensioner inkluderar bl.a. tvärsnittshöjder och upplagslängder. Slutligen studeras givna deformationskrav. Om byggnadsdelen inte klarar dessa så kommer tvärsnittet att ökas tills att deformationskravet uppfylls.

## 2.5 Programvara

Alla beräkningar har gjorts i Mathcad. Mathcad är ett beräkningsprogram från *Pametric Technology Corporation* (PTC, 2009). Enklare skisser har gjorts med Photoshop, ett bildbehandlingsprogram från Adobe (Adobe, 2020a). Mer komplicerade illustrationer, så som laster på balkar, har gjorts med det vektorbaserade programmet Illustrator (Adobe, 2020b). Kompletterande 2D-skisser har gjorts i CAD-programmet AutoCAD (Autodesk, 2020a) medan 3D-skisser har gjorts i Revit (Autodesk, 2020b).

## 2.6 Nerladdning av beräkningsfil

Beräkningsfilen kommer att finnas tillgänglig under kursens gång på författarens hemsida (Wisén, 2020a). Den finns även på ett s.k. repo på GitHub (Wisén, 2020b). Observera att länkarna upphör att gälla den 12 mars 2020. Detta görs som ett skydd mot plagiat och fusk.

### 3 Teori

#### 3.1 Inledning

Detta avsnitt går igenom den bakomliggande teorin för att beräkna de laster som verkar på systemet samt för att dimensionera byggdelen.

#### 3.2 Bärande konstruktioners säkerhet och funktion

##### 3.2.1 Brottgränstillstånd

I SS-EN 1990 (2002) definieras tre olika typer av brottgränstillstånd vilket redovisas i Tabell 2. Fallet STR (En: *STR*ucture) är det fall som ska verifieras enligt ÖVN1 (2020). Detta görs genom olikligheten:

Formel 1. Verifiering av brottgränstillstånd enligt STR, Eurokod.

$E_d \leq R_d$	
där	
$E_d$	är den dimensionerande lasteffekten
$R_d$	är den dimensionerade bärförmågan

**För att förtydliga:** Begreppet  $E$  är den snittkraft (så som moment, tvärkraft eller normalkraft) som resultat av den yttre lasten på konstruktionen (Isaksson, et al., 2010). Vid verifiering enligt ovan beskrivs lasteffekt respektive bärförmåga med motsvarande storhet. Exempelvis:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

I olikheten ovan verifieras således momentbärförmågan i ett snitt av intresse (till exempel där momentet är som störst).

Tabell 2. Olika typer av brottgränstillstånd enligt Eurokod (Isaksson, et al., 2010).

Beteckning i Eurokod	Beskrivning
EQU	Förlorad statisk jämvikt för bärverket (eller del av det) betraktat som en stel kropp.
STR	Inre brott eller för stor deformation av bärverket (eller del av det).
GEO	Brott eller för stor deformation i undergrund, där hållfasthet i jord eller berg är avgörande.

##### 3.2.2 Dimensionerande hållfasthetsvärden

Dimensioneringsvärden,  $R_d$ , för bärförmåga beräknas enligt EK5 (2020, s. 25) som:

Formel 2. Dimensioneringsvärden,  $R_d$ , för bärförmåga.

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M}$$

där

$R_k$  är karakteristiskt värde på bärförmåga

$\gamma_m$  är partialkoefficient för materialegenskap

$k_{mod}$  är korrektionsfaktor som tar hänsyn till inverkan av lastvaraktighet och fuktkvot

Jämför med Formel 1 ovan.

### 3.2.3 Lastkombinering och partialkoefficienter

Enligt SS-EN 1990 (2002) ska varje kritiskt lastfall bestämmas genom att kombinera lastvärden. Mer specifikt skall det bestämmas av den ogynnsammaste av kombinationerna nedan.

Formel 3. Lastkombination a).

$$E_{d,1} = E(\gamma_d \gamma_{G,j} G_{k,j} ; \gamma_d \gamma_P P ; \gamma_d \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} ; \gamma_d \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}) \quad j \geq 1; i > 1$$

Eller:

$$E_{d,1} = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

där

”+” betyder att kombineras med

$\Sigma$  betyder den kombinerade effekten av

$\gamma_d$  är partialkoefficienter

$\psi_0$  är en faktor för lastreduktion

Formel 4. Lastkombination b).

$$E_{d,2} = E(\gamma_d \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} ; \gamma_d \gamma_P P ; \gamma_d \gamma_{Q,1} Q_{k,1} ; \gamma_d \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}) \quad j \geq 1; i > 1$$

Eller:

$$E_{d,2} = \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Där:

”+” betyder att kombineras med

$\Sigma$  betyder den kombinerade effekten av

$\gamma_d$  är partialkoefficienter

$\psi_0$  är en faktor för lastreduktion

$\xi$  är en reduktionsfaktor för ogynnsamma permanenta laster G

Den ogynnsammaste lastkombinationen blir således:

Formel 5. Val av ogynnsammaste lastkombination.

$$E_d = \max(E_{d,1}, E_{d,2})$$

### 3.3 Korrektionsfaktorer

EKS5 (2020, s. 29) ges korrektionsfaktorn,  $k_h$ , för fanerträ (LVL) med rektangulärt tvärsnitt av:

Formel 6. Korrektionsfaktor,  $k_h$ , för fanerträ (LVL).

$$k_{h,lvl} = \min \left\{ \left( \frac{300}{h} \right)^s, 1,2 \right\}$$

där

h är elementets höjd, i mm

s är exponent för storlekseffekt

Korrektionsfaktorn,  $k_h$ , för limträ (glued laminated timber) med rektangulärt tvärsnitt ges av (EK5, 2020, s. 28):

Formel 7. Korrektionsfaktor,  $k_h$ , för limträ (GL).

$$k_{h,gl} = \min \left\{ \left( \frac{300}{h} \right)^{0,1}, 1,1 \right\}$$

där

$h$  är elementets höjd, i mm

### 3.4 Klassificering av laster

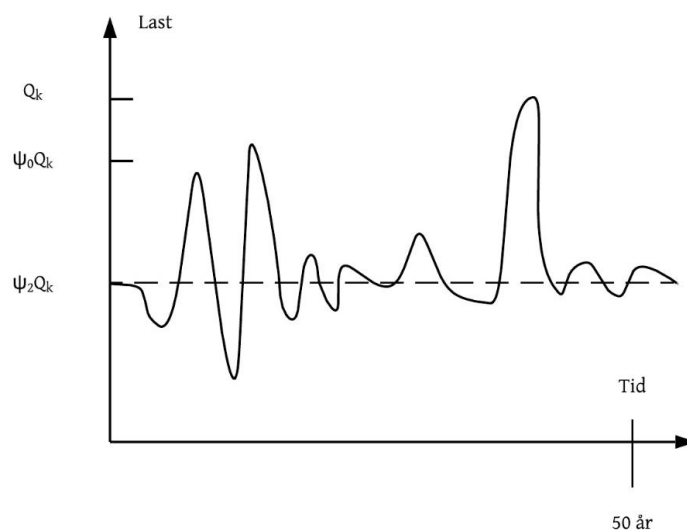
Laster kan klassificeras med hänsyn till *variation i rummet* och *variation i tiden* (Isaksson, et al., 2010):

- Variation i rummet
  - Bunden last, bestämd fördelning över konstruktionen
  - Fri last, godtycklig fördelning över konstruktionen
- Variation i tiden
  - Permanent last (G), liten variation – antas vara konstant med tiden
  - Variabel last (Q), normalt förekommande laster
  - Olyckskast (A), sällan förekommande

En variabel last kan delas in i tre olika lastnivåer (Isaksson, et al., 2010):

- $Q_k$  karakteriskt värde
- $\psi_0 Q_k$  kombinationsvärde
- $\psi_1 Q_k$  frekvent värde
- $\psi_2 Q_k$  kvasipermanent värde

Dessa illustreras nedan.



Figur 7. Lastnivåer för variabel last. Modifierad från Isaksson, et al. (2010)

### 3.5 Snölast

Snölast är en variabel last och uttrycks som kraft *per horisontell ytenhet* (Isaksson, et al., 2010). Detta gäller även för lutande tak. Snölast på tak bestäms enligt (5.1) (SS-EN 1991-1-3, s. 14):

Formel 8. Snölast på tak.

$$s = \mu_i C_e C_t s_k$$

där:

$\mu_i$  är snölastens formfaktor

$C_e$  är exponeringsfaktorn

$C_t$  är den termiska koefficienten

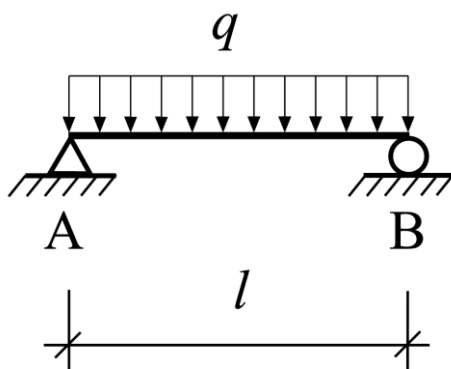
$s_k$  är det karakteristiska värdet för snölast på mark

Notera att snölasten,  $s_k$ , har angivits på marknivå. Takets formfaktor,  $\mu_i$ , ges enligt Figur 5.1 (SS-EN 1991-1-3, s. 16). Eftersom taklutningen är mindre än  $30^\circ$  blir  $\mu=0,8$ . Normal topografi antas eftersom det inte finns uppgifter som invänder mot detta. Enligt Tabell 5.1 (SS-EN 1991-1-3) är  $C_e = 1.0$  för normal topografi. Enligt (8) (SS-EN 1991-1-3, s. 16) är  $C_t = 1.0$ .

### 3.6 Byggstatik

#### 3.6.1 2-stödsbalk med jämnt fördelad belastning

Stödreaktioner, tvärkraft, böjmoment samt maximal utböjning för en kontinuerlig balk med utbredd last ( $q$ ), samma böjstyvhets ( $EI$ ) enligt figuren nedan hämtas från Isaksson, et al. (2010, s. 148).



Figur 8. Tabellfall Nr. 3 för kontinuerlig balk med jämnt fördelad belastning (Isaksson, et al., 2010, s. 148).

Stödreaktion fås av:

Formel 9. Stödreaktioner, kontinuerlig 2-stödsbalk med jämnt fördelad belastning.

$$R_A = \frac{ql}{2}, \quad R_B = \frac{ql}{2}$$

Tvärkraften fås av:

Formel 10. Tvärkraft som funktion av  $x$ , kontinuerlig 2-stödsbalk med jämnt fördelad belastning.

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

Moment ges av:

Formel 11. Böjmoment som funktion av  $x$ , kontinuerlig 2-stödsbalk med jämnt fördelad belastning.

$$M(x) = \frac{qlx}{2} - \frac{qx^2}{2}$$

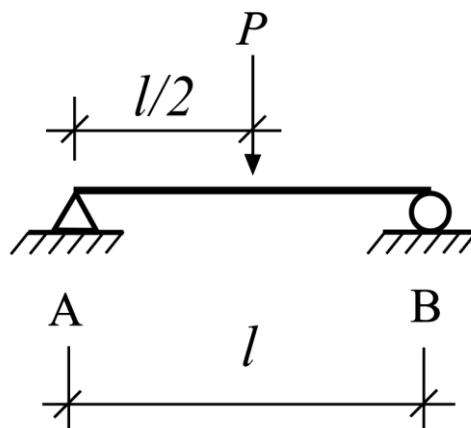
Slutligen fås maximal utböjning i fältmitt av:

Formel 12. Maximal utböjning, kontinuerlig 2-stödsbalk med jämnt fördelad belastning.

$$v_{\max} = \frac{5ql^4}{384EI} \text{ för } x = 0,5l$$

### 3.6.2 2-stödsbalk med jämnt punktlast belastning

Stödreaktioner, tvärkraft, böjmoment samt maximal utböjning för en kontinuerlig balk med utbredd last ( $q$ ), samma böjstyvhets ( $EI$ ) enligt figuren nedan hämtas från Isaksson, et al. (2010, s. 148).



Figur 9. Tabellfall Nr. för kontinuerlig balk med jämnt fördelad belastning (Isaksson, et al., 2010, s. 148).

Tvärkraften fås av:

Formel 13. Tvärkraft som funktion av  $x$ , kontinuerlig 2-stödsbalk med punktlast.

$$V_{0-1}(x) = \frac{P}{2}$$

$$V_{1-2}(x) = -\frac{P}{2}$$

Moment ges av:

Formel 14. Böjmoment som funktion av  $x$ , kontinuerlig 2-stödsbalk med punktlast.

$$M_{0-1}(x) = \frac{Px}{2}$$

$$M_{1-2}(x) = \frac{P(L-x)}{2}$$

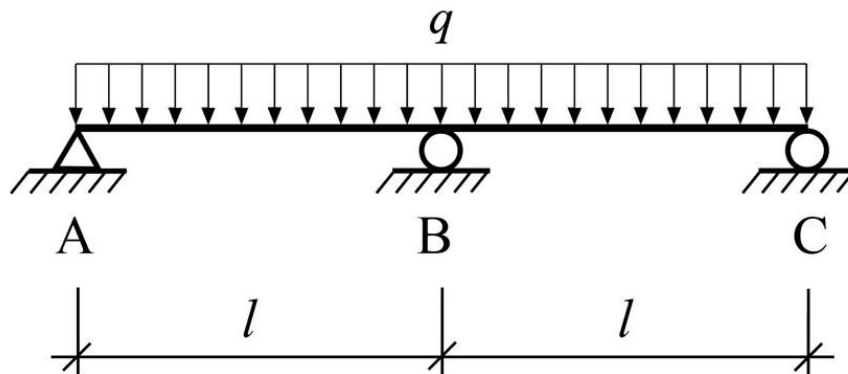
Slutligen fås maximal utböjning i fältmitt av:

Formel 15. Maximal utböjning, kontinuerlig 2-stödsbalk med jämnt fördelad belastning.

$$v_{max} = \frac{5ql^4}{384EI} \text{ för } x = 0,5l$$

### 3.6.3 3-stödsbalk med jämnt fördelad belastning

Stödreaktioner samt utböjning i fältmitt för en kontinuerlig balk med utbredd last ( $q$ ), samma böjstyvhets ( $EI$ ) och samma längd på alla fack enligt figuren nedan hämtas från Isaksson, et al. (2010, s. 160).



Figur 10. Tabellfall Nr. 1 för kontinuerlig balk med jämnt fördelad belastning (Isaksson, et al., 2010, s. 160).



Upplagsreaktionen för stödet A och B:

Formel 16. Upplagsreaktion för A och C, kontinuerlig 3-stödsbalk med jämnt fördelad belastning.

$$R_{S,A} = R_{S,C} = 0,375 \times ql$$

Upplagsreaktionen för mittenstödet, B, blir:

Formel 17. Upplagsreaktion för mittstöd, kontinuerlig 3-stödsbalk med jämnt fördelad belastning.

$$R_{S,B} = 1,250 \times ql$$

Notera att konstanterna i Formel 17 motsvarar Figur 10. Tabellfallet måste således översättas till det aktuella fallet.

Maximal utböjning i fältmitt blir:

Formel 18. Utböjning i fältmitt, kontinuerlig 3-stödsbalk med jämnt fördelad belastning.

$$v_{\text{mitt}} = 0,521 \frac{ql^4}{100EI}$$

### 3.7 Dimensionering

#### 3.7.1 Tryck vinkelrätt fiberriktningen

Enligt SS-EN 1995-1-1 (2004) skall följande olikhet vara uppfyllt:

Formel 19. Brott Kriterium för tryck vinkelrätt mot fiberriktningen.

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d}$$

med

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}}$$

där

$\sigma_{c,90,d}$  är den dimensionerande tryckspänningen i den effektiva kontaktytan vinkelrätt mot fiberriktningen

$F_{c,90,d}$  är den dimensionerande tryckkraft vinkelrätt mot fiberriktningen

$A_{ef}$  är den effektiva kontaktarean för vid tryck vinkelrätt mot fiberriktningen

$f_{c,90,d}$  är den dimensionerande tryckhållfastheten vinkelrätt mot fiberriktningen

$k_{c,90}$	är en faktor som tar hänsyn till hur lasten angriper, risken för spräckning och graden av sammantryckning.
------------	--

### 3.7.2 Skjuvning parallellt med fiberriktning

Enligt EK5 (2020) skall följande gälla:

*Formel 20. Brott Kriterium skjuvning parallellt med fiberriktning.*

$\tau_d \leq f_{v,d}$	
där	
$\tau_d$	är dimensionerande skjuvspänning
$f_{v,d}$	är dimensionerande skjuvhållfasthet för aktuella förutsättningar

Vid verifiering av bärverksdels skjuvbärförmåga vid böjning, bör inverkan av sprickor beaktas med:

*Formel 21. Effektiv bredd vid verifiering av bärverksdels skjuvbärförmåga vid böjning.*

$b_{ef} = k_{cr} b$	
där	
b	är bredden hos bärverksdelen i det betraktade snittet

Vädet på  $k_{cr}$  antas vara 11, och 0,67 för övriga träprodukter respektive limträ (EK5, 2020).

### 3.7.3 Pelare utsatta för enbart tryck

Enligt EK5 (2020, s. 45), för pelare som utsätts för tryck lyder brottkriteriet:

*Formel 22. Brott Kriterium för tryckt pelare.*

$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{c,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{c,z,d}} \leq 1$	
Vid centriskt tryck fås:	
$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1$	
där	
$\sigma_{c,0,d}$	är dimensionerande tryckspänning parallellt med fibrerna
$f_{c,0,d}$	är dimensionerande hållfasthet för tryck parallellt med fibrerna

$k_{c,z}$	instabilitetsfaktor
-----------	---------------------

Faktorn  $k_{c,z}$  är en reduktionsfaktor för knäckning kring aktuell axel (Isaksson, et al., 2010).

Formel 23. Reduktionsfaktor vid knäckning av tryckt pelare.

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

För Formel 23 gäller även:

Formel 24. Reduktionsfaktor vid knäckning av tryckt pelare

$$k_z = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

där

$\beta_c$  är en faktor för bärverksdelar som beaktar krav på rakhet (Johannesson & Vretblad, 2011)

Samt:

Formel 25. Relativt slankhetstal vid knäckning av tryckt pelare

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

där

$\lambda_z$  är slankhetstal vid utböjning kring z-axeln (utböjning i y-riktning)

$E_{0,05}$  är 5-procentsfraktilen av elasticitetsmodulen parallellt med fibrerna

Enligt ÖVN1 (2020):

Formel 26. Slankhetstal vid knäckning av tryckt pelare

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_z} = \frac{L_{cr}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}}$$

För rektangulärt tvärsnitt gäller:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{\sqrt{\frac{hb^3}{12} \frac{1}{bh}}} = \frac{L_{cr}}{\sqrt{\frac{b^2}{12}}} = \frac{L_{cr}\sqrt{12}}{b}$$

### 3.8 Slutlig nedböjning

Slutlig nedböjning ges av EK5 (2020, s. 20).

*Formel 27. Beräkning av slutlig nedböjning.*

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q}$$

Notera att nedböjning på grund av permanent last och variabla laster skiljs åt. Nedböjning enbart med avseende på permanent last, G, ges av:

*Formel 28. Beräkning av slutlig nedböjning för permanent last.*

$$u_{fin,Q} = u_{inst,Q}(1 + k_{def})$$

där

$u_{inst,Q}$  omedelbar nedböjning för huvudlasten av de variabla lasterna

$k_{def}$  krypfaktor

Nedböjning enbart med avseende på variabla laster ges av:

*Formel 29. Beräkning av slutlig nedböjning för variabla laster.*

$$u_{fin,Q} = u_{inst,Q}(1 + \psi_2 k_{def})$$

där

$u_{inst,Q}$  omedelbar nedböjning för huvudlasten av de variabla lasterna

$\psi_2$  faktor för kvasipermanentvärde av variabel last

$k_{def}$  krypfaktor

Värdet för  $k_{def}$  ges av Tabell 3.2 (EK5, 2020, s. 28).

## 4 Bygghälskomponenter

### 4.1 Inledning

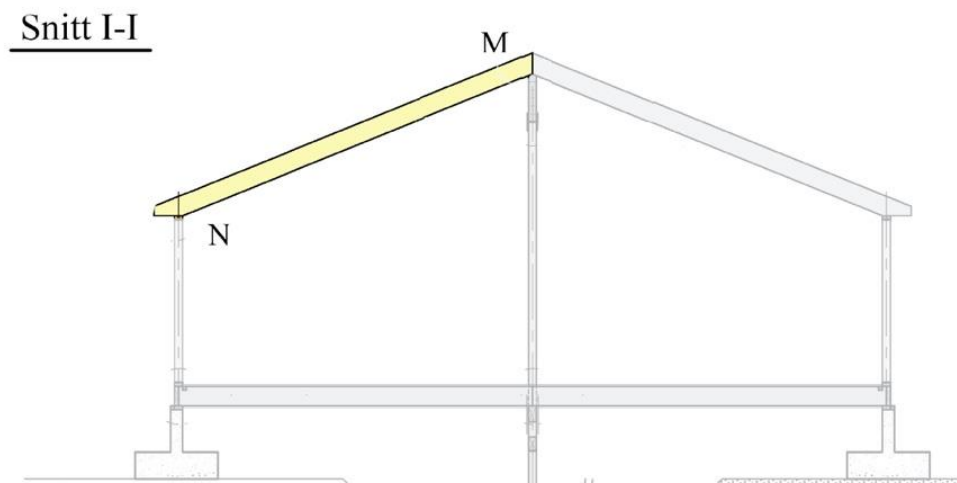
Detta kapitel går igenom de bygghälsdelar som ska dimensioneras. Syftet är att illustrera vart dessa delar finns i system samt introducera komponenternas beteckningar.

### 4.2 Tvådimensionella illustration

Följande illustrationer är hämtade från ÖVN1 (2020). Dessa är redigerade för att framhäva bygghälskomponenterna av intresse.

#### 4.2.1 Takbalk MN

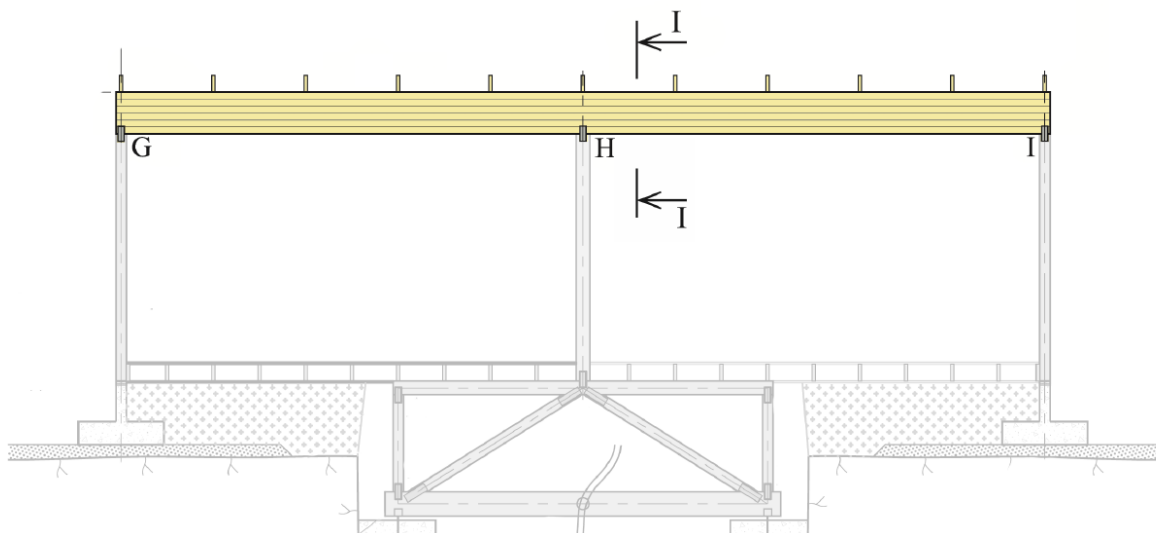
Takbalkarna är upplagda på långväggen, N, och pånockbalken, M (ÖVN1, 2020).



Figur 11. Vertikal tvärsektion, I-I, visande takbalkarna (ÖVN1, 2020).

#### 4.2.2 Nockbalk GHI

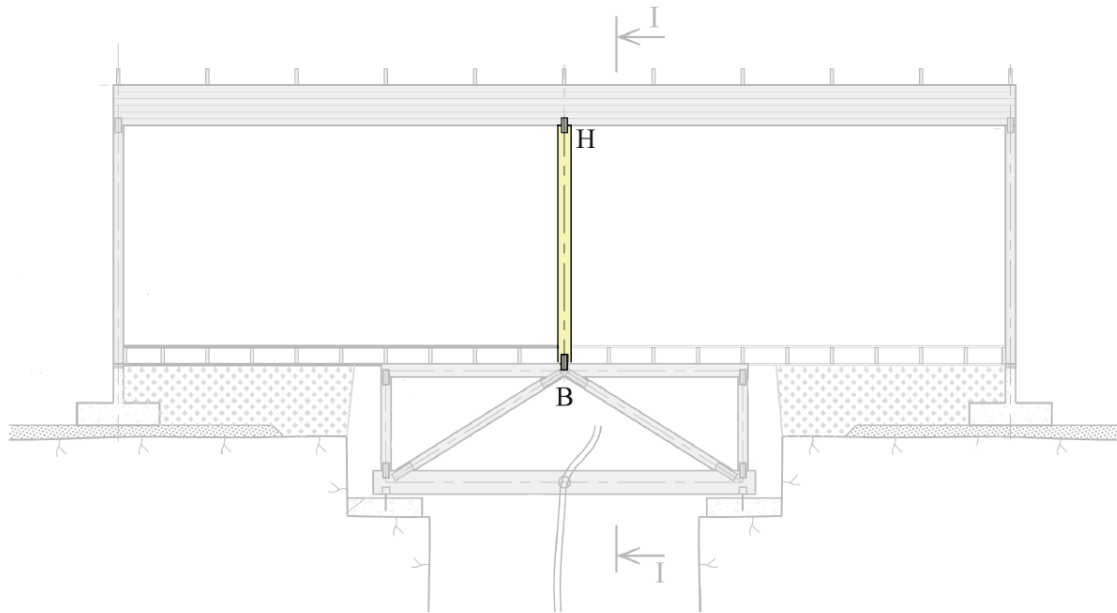
Enligt ÖVN1 (2020) antas nockbalken vara kontinuerlig över pelartoppen H, däremot i övrigt ledat upplagd vid G, H och I.



Figur 12. Vertikal längdsektion visande nockbalken (ÖVN1, 2020).

### 4.2.3 Pelare BH

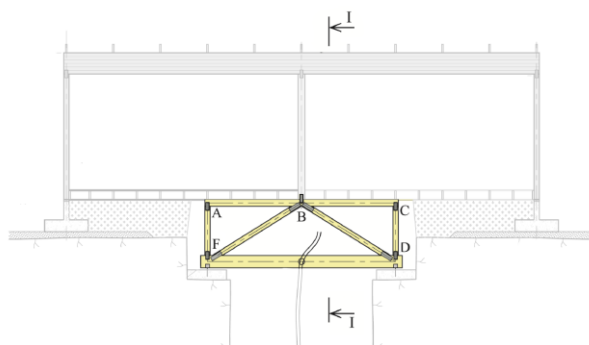
Pelaren BH antas vara ledat ansluten vid både punkt B och H (ÖVN1, 2020).



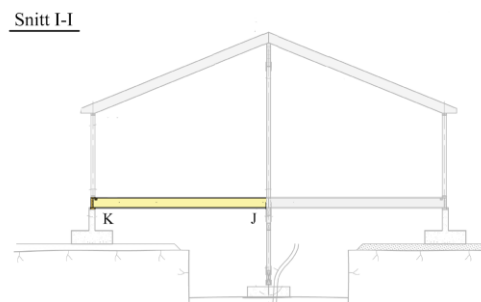
Figur 13. Vertikal längdsektion visande den centrala pelaren (ÖVN1, 2020).

### 4.2.4 Fackverk och golvbalk

**Notera** att fackverket eller golvbalken inte ingår i ÖVN1 (2020). Detta ingick dock i ÖVN2 (2017).



a) Vertikal tvärsektion visande fackverket.

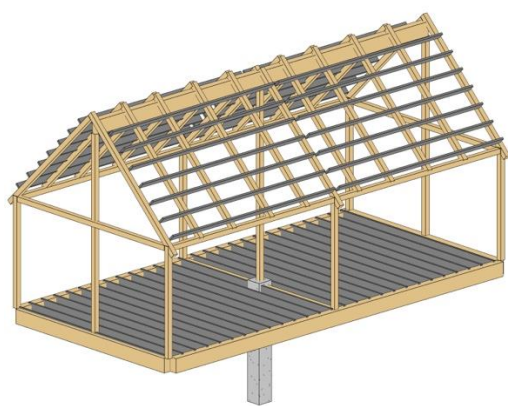


b) Vertikal längdsektion visande golvbalken.

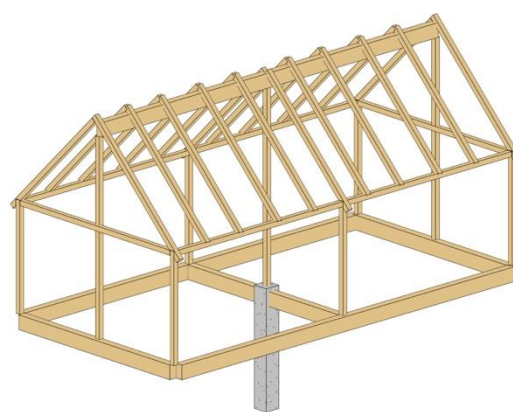
Figur 14. Sektioner visande fackverket och golvbalken från i ÖVN2 (2017).

## 4.3 Tredimensionella illustrationer

De byggnadsdelarna som ska dimensioneras har introducerats i Kapitel 4.2. I detta stycke presenteras förenklade 3D skisser. Detta är för att visa hur systemet (dvs. huset) är uppbyggt. Notera att illustrationerna inte är skalenliga och många väsentliga byggtekniska detaljer har utelämnats. Nämnvärt är att fackverket har förenklats till en pelare.



a) 3D-skiss över systemet.



b) Utan bärläktare och golvbjälklag.

Figur 15. 3D-skiss över systemet.

I Figur 15a följer ett exempel på hur konstruktionen kan se ut. Inkluderat i skissen är även bärläktare, hammarband, stomreglar och golvbjälklag.



a) Enbart bygghälsdelar av intresse.



b) Enbart en (1) takbalk.

Figur 16. 3D-skiss över systemet.

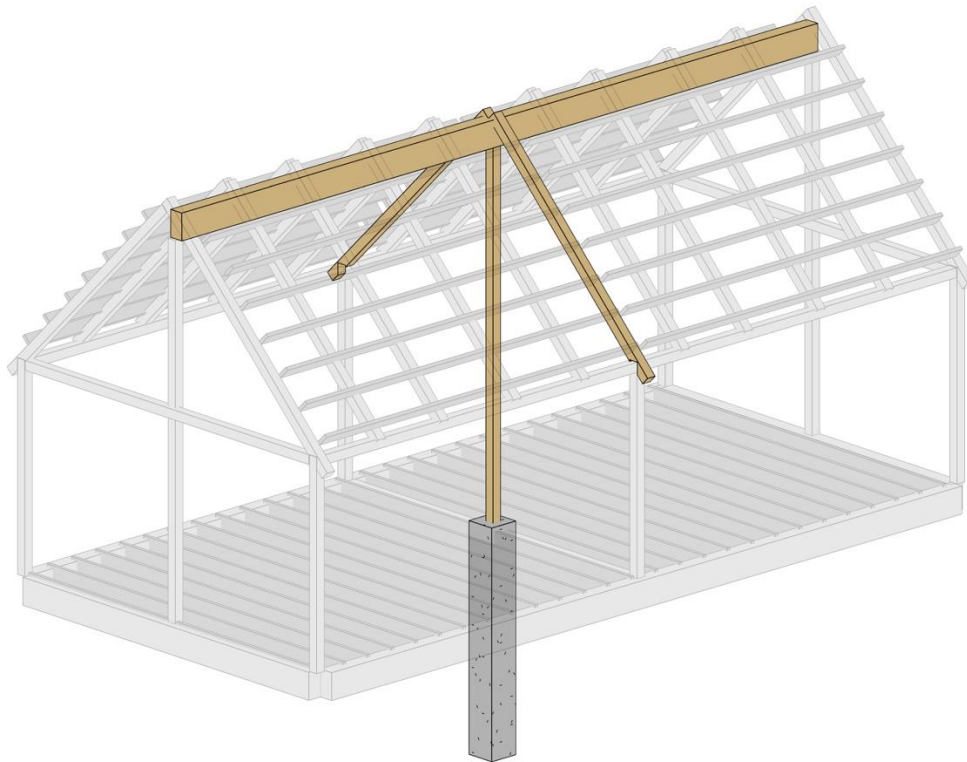
Nedan, i Figur 17, följer en framhävning av de konstruktionsdelar som är av intresse. Det bör nu vara uppenbart för läsaren hur dessa komponenter är orienterade i rummet<sup>1</sup>.

#### 4.4 Material

Takbalken är tillverkad av fanerlaminatträ (ÖVN1, 2020). Materialet heter Laminated Veneer Lumber, LVL, på engelska och är av typ KERTO-S. Nockbalken och pelaren limträ av typ (hållfasthetsklass) GL36h.

<sup>1</sup> Om inte så lämnas det som en övning åt läsaren att förstå sig på 3D-illustrationen.

## 4.5 Sammanfattning



Figur 17. Framhävning av de komponenter (nockbalk, takbalk och pelare) som ska dimensioneras.

Det är således tre styckena byggnadsdelar som är av intresse, dessa sammanställs i tabellen nedan.

Tabell 3. Byggnadsdelar av intresse.

Byggnadsdel	Spann	Notation	Material
Takbalk	MN	tb	LVL
Nockbalk	GHI	nb	GL
Pelar	HB	p	GL



## 5 Indata

### 5.1 Inledning

I detta kapitel redovisas införda beteckningar, materialdata och övriga indata som krävs för att utföra beräkningarna.

### 5.2 Variabla indata

Följande variabla indata fås från ÖVN1 (2020, s. 9).

Tabell 4. Indata, variabla värden med Grupp 7 som argument.

Beskrivning	Storhet	Mätetal	Enhet
Nockbalkens spännvidd	$L_{nb}$	7,2	m
Husets halva bredd	a	3,8	m
Taklutning	$\beta$	22	grader
Vägghöjd vid takfot	$H_{vägg}$	2,5	m
Fackverkets halva längd	$L_f$	3,6	m
Fackverkets höjd, mellan centrumlinjerna	$L_h$	1,8	m
Takets egenvikt (horisontell takyta)	$g_{t,k}$	0,65	kN/m <sup>2</sup>
Golvets egenvikt	$g_{b,k}$	0,5	kN/m <sup>2</sup>
Kommun	Enköping	[ - ]	För snölast

### 5.3 Materialdata

Laminated Veneer Lumber, LVL, av fabrikat KERTO-S där alla faner antas ha samma fiberriktning.

Tabell 5. Indata, materialdata.

Beskrivning	Storhet	Mätetal	Enhet
Takbalkarnas bredd	$b_{tb}$	45	mm
Takbalkarnas centrumavstånd	$c_{tb}$	1200	mm
Lamelltjocklek	t	45	mm
Stängernas tvärsnittshöjd	h	$h=n \times t$	mm

Tabell 6. Indata, klimatklasser.

Komponent	Klimatklass
Fackverk	Klimatklass 2
Pelare	Klimatklass 1
Övriga komponenter	Klimatklass 1

## 5.4 Partialkoefficient

Enligt EKS9 (2020, s. 12) ska av partialkoefficienten  $\gamma_d$  väljas enligt:

- Säkerhetsklass 1:  $\gamma_d = 0,83$ .
- Säkerhetsklass 2:  $\gamma_d = 0,91$ .
- Säkerhetsklass 3:  $\gamma_d = 1,0$ .

Detta gäller vid dimensionering med partialkoefficientmetoden i brottgränstillstånd. Enligt EKS9 (2020) gäller Säkerhetsklass 2 vid *någon risk för allvarliga personskador*. Mer bestämt, ÖVN1 (2020) fastslår att Säkerhetsklass 2 råder, således blir  $\gamma_d = 0,91$ .

Ytterligare säkerhetsfaktorer, med avseende på bärförmåga, fås i Tabell 2.3 i EK5 (2020, s. 24).

Tabell 7. Indata, partialkoefficienter.

Partialkoefficient	Värde
$\gamma_d$	0,91
$\gamma_{M,lv}$	1,2
$\gamma_{M,gl}$	1,25

Övriga dimensioneringsvärden redovisas i Tabell A2.4(B) (SS-EN 1990, 2002, s. 64). Förenklat kan följas antas:

Tabell 8. Indata, partialkoefficienter.

Typ av last	Ogynnsamma	Gynnsamma
Permanent laster, $\gamma_G$	1,35	1,00
Förspänningseffekter, $\gamma_P$	1,35	1,00

Variabla laster, $\gamma_Q$	1,5	0
-----------------------------	-----	---

## 5.5 Omräkningsfaktor

Omräkningsfaktorn,  $k_{mod}$ , fås i Tabell 3.1 i EK5 (2020, s. 27). Denna faktor beaktar inverkan av fuktkvot och lastvaraktighet.

Tabell 9. Indata, omräkningsfaktor.

Komponent	Lastvaraktighetsklass		
	Klimatklass	Permanent	Medellång
Fanerträ, LVL	1	0,6	0,8
Limträ, GL	1	0,6	0,8

Tabell 10. Indata, omräkningsfaktor.

Partialkoefficient	Värde
$k_{mod,lv1,P}$	0,6
$k_{mod,lv1,M}$	0,8
$k_{mod,gl,P}$	0,6
$k_{mod,gl,M}$	0,8

## 5.6 Snölaster

Snölaster från olika kommuner fås från Tabell C-9 (EKS9, s. 33). Notera att detta är för snölaster på marken och inte på taket. Snölaster på taket beräknas i Kapitel 7.3.1.

Tabell 11. Indata, snölaster.

Beskrivning	Storhet	Mätetal	Enhet
Snölaster på mark	$s_k$	2,0	$\text{kN/m}^2$

## 5.7 Lastreduktionsfaktor för snölaster

Enligt Tabell B-1 i EKS9 (2020, s. 13) kan följande lastreduktionsfaktor för snölaster väljas.

Tabell 12. Indata, lastreduktionsfaktor för snölaster.

Last	$\psi_0$	$\psi_2$
$s_k \geq 3 \text{ kN/m}^2$	0,8	0,2
$2,0 \leq s_k < 3,0 \text{ kN/m}^2$	0,7	0,2

$1,0 \leq s_k < 2,0 \text{ kN/m}^2$	0,6	0,1
-------------------------------------	-----	-----

Notera att termen snölast på mark,  $s_k$ , används i tabellen ovan.

## 5.8 Hållfasthetsdata

Enligt Tabell 3.6 från Svenskt Trä (2016b, s. 17) fås följande karaktäristiska grundvärden på hållfasthet för fanerträ (LVL) av sorten KERTO-S:

Tabell 13. Indata, hållfasthetsdata för LVL - KERTO-S.

Beskrivning	Storhet	Mätetal	Enhet
Böjning (på högkant)	$f_{m,0,edge,lvl,k}$	44	MPa
Parameter för storlekseffekt	s	0,12	[ - ]
Tryck (vinkelrät)	$f_{c,90,edge,lvl,k}$	6	Mpa
Skjuvning	$f_{v,0,edge,lvl,k}$	4,1	MPa
E-modul	$E_{0, mean,lvl,k}$	13 800	MPa

Enligt dokumentet *Hållfasthetsklasser för limträ, konstruktionsvirke och LVL-KERTO* (2020) fås följande karaktäristiska grundvärden på hållfasthet för limträ (GL) av sorten GL36h:

Tabell 14. Indata, hållfasthetsdata för GL – GL36h.

Beskrivning	Storhet	Mätetal	Enhet
Böjning	$f_{m,gl,k}$	36	MPa
Drag (paralell)	$f_{t,0,gl,k}$	26	Mpa
Tryck (Paralell)	$f_{c,0,gl,k}$	31	Mpa
Tryck (vinkelrät)	$f_{c,90,gl,k}$	3,6	Mpa
Skjuvning	$f_{v,gl,k}$	4,3	MPa
E-modul	$E_{0,mean,gl,k}$	14 700	MPa

## 5.9 Krypfaktor

Krypfaktorn,  $k_{\text{def}}$ , ges av Tabell 3.2 (EK5, 2020, s. 28). För klimatklass 1 fås:

Tabell 15. Indata, krypfaktor.

Last	$k_{\text{def}}$
Fanerträ, LVL	0,6
Limträ, GL	0,6

## 6 Dimensionerande hållfasthetsvärden

### 6.1 Inledning

I detta kapitel beräknas de dimensioneringsvärden för fanerträ och limträ.

### 6.2 Beräkning

Beräkningarna utgår ifrån Formel 2. Materialdata har redovisat i Kapitel 5.7. När en lastkombination innehåller flera olika lastvarighetsklasser kan:

*” $K_{mod}$  väljas som motsvar den last som har kortast varaktighet”*

(SS-EN 1995-1-1, 2004)<sup>2</sup>.

Således väljs värdet för medellång lastvaraktighetsklass, se Kapitel 5.5. Partialkoefficienter med avseende på materialets bärförmåga har redovisats i Kapitel 5.4.

### 6.3 Fanerträ (LVL)

De dimensionerande hållfasthetsvärden för fanerträ (LVL), typ KERTO-S, blir således:

Resultat 1.  $f_{m,0,edge,lvl,d}$ .

$$f_{m,0,edge,lvl,d} = \frac{k_{mod,lvl,M} f_{m,0,edge,lvl,k}}{\gamma_{M,lvl}} = 29,3 \text{ MPa}$$

Resultat 2.  $f_{c,90,edge,lvl,d}$ .

$$f_{c,90,edge,lvl,d} = \frac{k_{mod,lvl,M} f_{c,90,edge,lvl,k}}{\gamma_{M,lvl}} = 4,00 \text{ MPa}$$

Resultat 3.  $f_{v,0,edge,lvl,d}$ .

$$f_{v,0,edge,lvl,d} = \frac{k_{mod,lvl,M} f_{v,0,edge,lvl,k}}{\gamma_{M,lvl}} = 2,73 \text{ MPa}$$

<sup>2</sup> Detta är den svenska översättningen av EK5 (2020).

## 6.4 Limträ

De dimensionerande hållfasthetsvärden för fanerträ (LVL), typ GL36h, blir således:

Resultat 4.  $f_{m,0,gl,d}$ .

$$f_{m,0,gl,d} = \frac{k_{mod,gl,M} f_{m,0,gl,k}}{\gamma_{M,gl}} = 23,0 \text{ MPa}$$

Resultat 5.  $f_{t,0,gl,d}$ .

$$f_{t,0,gl,d} = \frac{k_{mod,gl,M} f_{t,0,gl,k}}{\gamma_{M,gl}} = 16,6 \text{ MPa}$$

Resultat 6.  $f_{c,0,gl,d}$ .

$$f_{c,0,gl,d} = \frac{k_{mod,gl,M} f_{c,0,gl,k}}{\gamma_{M,gl}} = 19,8 \text{ MPa}$$

Resultat 7.  $f_{c,90,gl,d}$ .

$$f_{c,90,gl,d} = \frac{k_{mod,gl,M} f_{c,90,gl,k}}{\gamma_{M,gl}} = 4,00 \text{ MPa}$$

Resultat 8.  $f_{v,gl,d}$ .

$$f_{v,gl,d} = \frac{k_{mod,gl,M} f_{v,gl,k}}{\gamma_{M,gl}} = 4,00 \text{ MPa}$$

## 7 Lastnedräkning

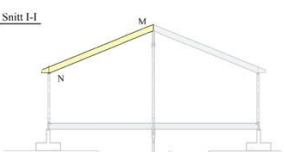
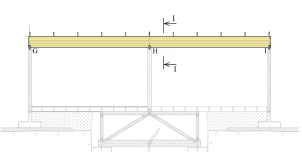
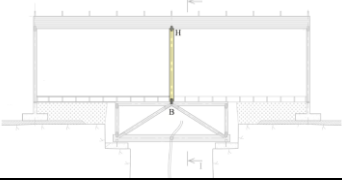



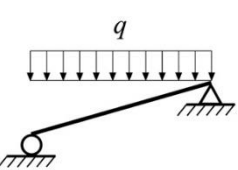
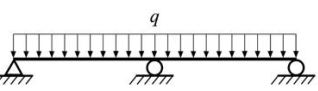
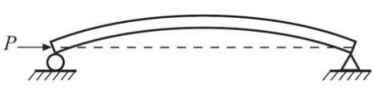
### 7.1 Inledning

Detta avsnitt beräknar de laster och krafter som verkar på respektive byggkomponent.

### 7.2 Statiskt verkningssätt

Dessa byggkomponenter som ska beräknas är illustrerade i figuren nedan. Notera att illustrationernas lokala huvudaxlar kan skilja sig ifrån tabellfallen. Därför har ingen teckendefinition introducerats. Detta görs senare.

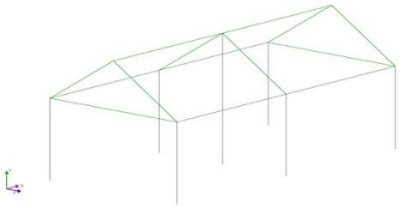
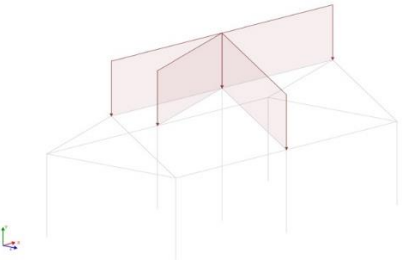
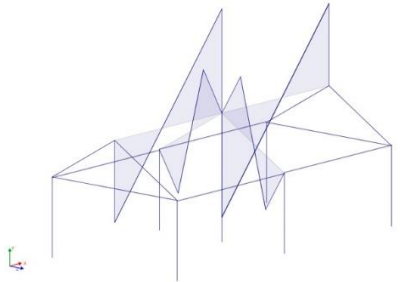
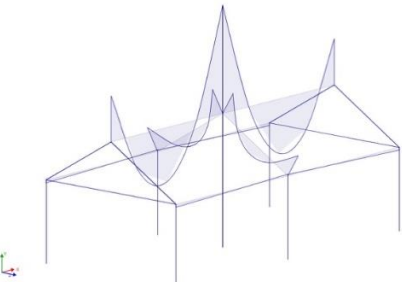
Tabell 16. a) 2D illustration b) 3D illustration c) Beräkningsfall d) Kommentar

	Takbalk, NM	Nockbalk, GHI	Pelare, HB
a)			
b)			
c)			
d)	<p>Takbalken belastas av takets egenvikt och snölast. Takbalken antas vara fritt upplagd i N och M. Nämnvärt är att takbalken lutar.</p> <p>Löses med genom att studera tabellfall och ta hänsyn till den vinkelräta lasten.</p>	<p>Nockbalken belastas också av takets egenvikt samt snölast. Det kan antas att nockbalken är en kontinuerlig 3-stödsbalk.</p> <p>Löses med genom att studera tabellfall.</p>	<p>Pelaren tar upp krafter från nockbalken. Mer specifikt är normalkrafterna som angriper vid pelartoppen</p> <p>upplagsreaktionen från ovan beskrivna laster.</p> <p>Löses med Eulers knäckningsfall.</p>

Nedan följer även en principiell skiss över de linjelaster som verkar i systemet. Vidare följer även två figurer med lasteffekter (tvärkraft och moment). Notera att dessa figurer enbart är en grundläggande skiss över hur lasterna *kan* se ut. På grund av detta följer ingen teckendefinition av de lokala huvudaxlarna.



Tabell 17. Sammanställning av laster och dess lasteffekter.

Illustration	Förklaring
	<p>Förenkling av systemet. I figuren ingår även bärläktare, hammarband och stomreglar.</p> <p><i>Notera införandet av globala koordinataxlar. Jämför även med Figur 15b.</i></p>
	<p>Verkande linjelaster på takbalk samtnockbalk. Dessa beräknas i Kapitel 0.</p> <p><i>Jämför med Figur 17. Notera att linjelasterna verkar i två olika huvudriktningar.</i></p>
	<p>Tvärkrafter på takbalk och nockbalk som resultat av linjelaster.</p> <p><i>Notera att tvärkrafterna är ritade utifrån lokala huvudaxlar som ej har redovisats i figuren.</i></p>
	<p>Moment på takbalk och nockbalk som resultat av linjelaster.</p> <p><i>Notera att momentet är ritade utifrån lokala huvudaxlar som ej har redovisat som ej har redovisats i figuren.</i></p>

## 7.3 Karakteristiska laster

### 7.3.1 Snölast

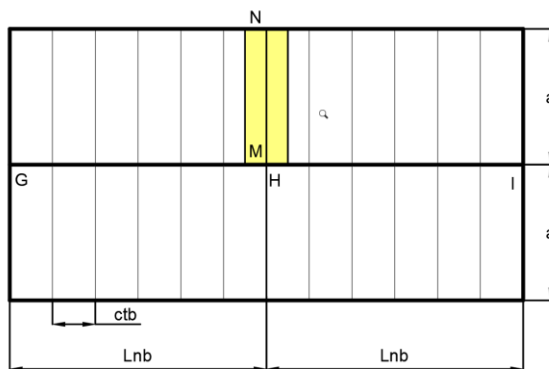
Snölast på tak bestäms enligt Formel 8:

$$s = 0,8 \times 1 \times 1 \times 2,0 = 1,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Notera att termen  $s_k$  avser karakteristiskt värde för snölast på mark för platsen ifråga (SS-EN 1991-1-3, 2003).

### 7.3.2 Takbalk MN

För att beräkna linjelasten behövs först den belastade bredden. Notera att lasterna ges i enheten  $\text{N/m}^2$ . Görs en dimensionsanalys så går det att *se* att det behövs en bredd för att avgöra linjelasten. Nedan följer två illustrationer på hurnockbalken belastas. I Figur 18a visas konstruktionen från ovan. Den gula arean är det område som takbalken MN tar upp. I Figur 18b syns en urskuren bit av det gula området i tre dimensioner.



a) Sett från ovan.



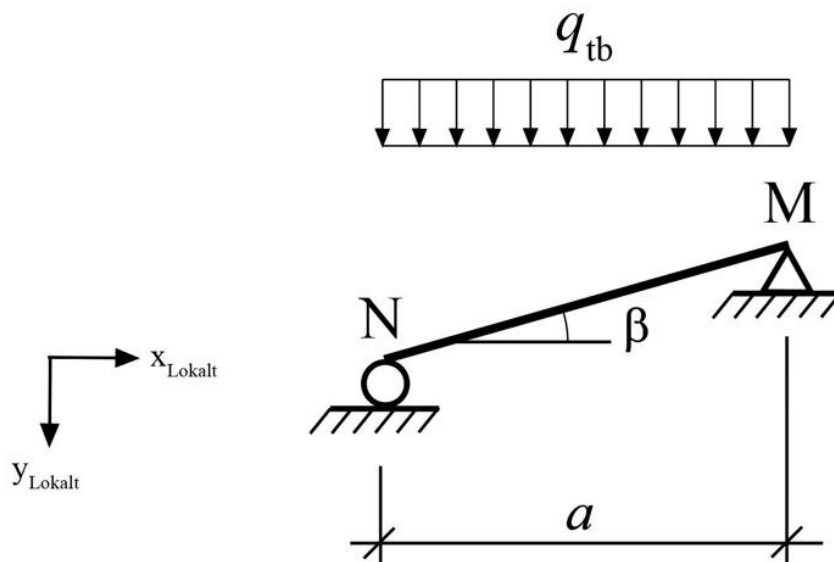
b) 3D-vy.

Figur 18. Principskisser av den belastade bredden.

Enligt ÖVN1 (2020) ska "den belastande ytan vara 10 % större än vad som svar mot c-avståndet mellan takbalkarna". Således:

$$c_{tb,mod} = c_{tb} \times 1,1$$

Den linjelast som verkar på takbalken är illustrerad nedan. Notera att denna last verkar per horisontell löpmeter och **inte** vinkelrätt. Notera även införandet av lokala x- och y-huvudaxlar.



Figur 19. Linjelast,  $q$ , på takbalken räknad per horisontell löpmeter.

De karaktäristiska linjelasterna för takbalken blir således:

Resultat 9.  $g_{tb,k}$

$$g_{tb,k} = g_{t,k} \times c_{tb,mod} = 0,65 \times (1,2 \times 1,1) = 0,858 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

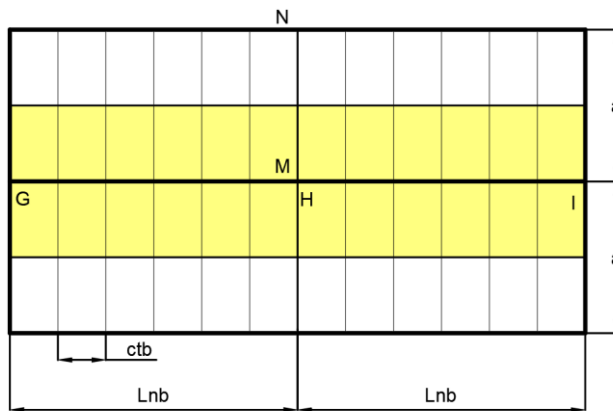
Resultat 10.  $s_{tb,k}$

$$s_{tb,k} = s \times c_{tb,mod} = 1,6 \times (1,2 \times 1,1) = 2,112 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

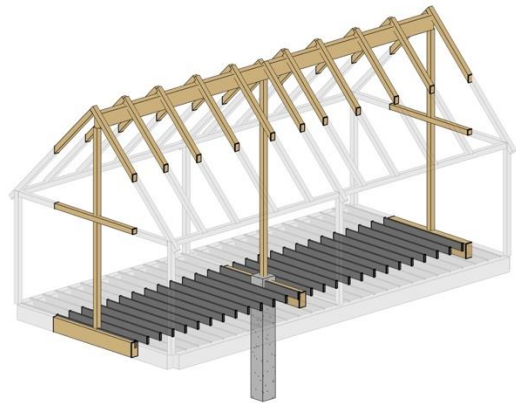
Dessa värden skiljs åt för att underlätta kommande beräkningar. Se Kapitel 0.

### 7.3.3 Nockbalk GHI

Återigen, för att beräkna linjelasten behövs först den belastade bredden. Nedan följer två illustrationer likt Figur 18 på hurnockbalken belastas.



a) Sett från ovan.



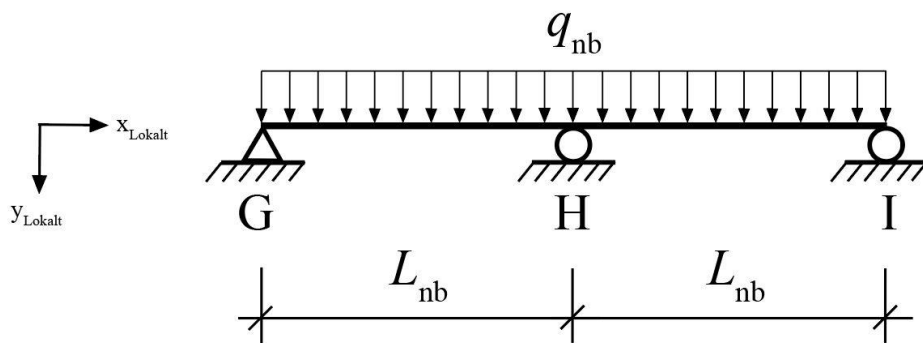
b) 3D-vy.

Figur 20. Principskisser av den belastade bredden.

Den belastade bredden blir:

$$2 \frac{a}{2} = a$$

Den linjelast som verkar pånockbalken är illustrerad nedan:



Figur 21. Linjelast,  $q$ , pånockbalken.

De karaktäristiska linjelasterna förnockbalken blir således:

Resultat 11.  $g_{nb,k}$ .

$$g_{nb,k} = g_{t,k} \times a = 0,65 \times 3,8 = 2,47 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Resultat 12.  $s_{nb,k}$ .

$$s_{nb,k} = s \times a = 1,6 \times 3,8 = 6,08 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### 7.3.4 Pelare BH

Enligt ÖVN1 (2020) är normalkrafterna som angriper vid pelartoppen upplagsreaktionen av  $g_{nb,k}$  respektive  $s_{nb,k}$ . Upplagsreaktionen för mittenstödet fås ur Formel 17. Notera att formeln gäller för tabellfallet. Översatt till aktuellt fall (förnockbalken) ger:

$$R_H = 1,250 \times (q_{nb,k} \times L_{nb})$$

där:

$q_{nb,k}$  är linelasten från taket ( $g_{nb,k}$ ) respektive snölasten ( $s_{nb,k}$ ).

De karaktäristiska normalkrafterna för pelaren blir således:

Resultat 13.  $N_{g,k}$

$$N_{g,k} = 1,250 \times (g_{nb,k} \times L_{nb}) = 1,250 \times (2,47 \times 7.2) = 22,23 \text{ kN}$$

Resultat 14.  $N_{s,k}$

$$N_{s,k} = 1,250 \times (s_{nb,k} \times L_{nb}) = 1,250 \times (6,08 \times 7.2) = 54,72 \text{ kN}$$

### 7.3.5 Sammanfattning

De karakteristiska laster som beräknas i detta kapitel sammanfattas i tabellen nedan.

Tabell 18. Sammanfattning av karakteristiska laster.

Karakteristiska laster	Sidreferens
$g_{tb,k} = 0,858 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Sid. 42
$s_{tb,k} = 2,112 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Sid. 42
$g_{nb,k} = 2,47 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Sid. 44
$s_{nb,k} = 6,08 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Sid. 44
$N_{g,k} = 22,23 \text{ kN}$	Sid. 45
$N_{s,k} = 54,72 \text{ kN}$	Sid. 45

## 7.4 Dimensionerande laster

De dimensionerande lasterna fås genom lastkombinering. Detta görs genom att använda Formel 3 och Formel 4. Enligt ÖVN1 (2020) så använd enbart Formel 4. Emellertid beräknas bägge kombinationer enligt följande notation:

*Formel 30. Lastkombinering enligt Eurokod.*

Enligt Formel 3, eller Ekv. 6.10a (SS-EN 1990, 2002):

$$q_{Ed,1} = (\gamma_d \gamma_G g_k) + (\gamma_d \gamma_P P) + (\gamma_d \gamma_G \psi_{0,snö} s_k)$$

Enligt Formel 4, eller Ekv. 6.10b (SS-EN 1990, 2002):

$$q_{Ed,2} = (\gamma_d \xi \gamma_G g_k) + (\gamma_d \gamma_P P) + (\gamma_d \gamma_G s_{k,k})$$

där

$$\gamma_d = 0,91 \quad (\text{Tabell 7})$$

$$\gamma_G = 1,35 \quad (\text{Tabell 8})$$

$$\gamma_P = 1,35 \quad (\text{Tabell 8})$$

$$\gamma_Q = 1,5 \quad (\text{Tabell 8})$$

$$\xi = 0,89 \quad (\text{Föreläsning 4 Lastkombinering, träfackverk och brottkriterier, 2020, s. 8})$$

### 7.4.1.1 Takbalk MN

Enligt Formel 3, eller Ekv. 6.10a (SS-EN 1990, 2002):

$$q_{tb,Ed,1} = \gamma_d \gamma_G g_{tb,k} + \gamma_d \gamma_P P + \gamma_d \gamma_G \psi_{0,snö} s_{tb,k} = 3,072 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Enligt Formel 4, eller Ekv. 6.10b (SS-EN 1990, 2002):

$$q_{tb,Ed,2} = \gamma_d \xi \gamma_G g_{tb,k} + \gamma_d \gamma_P P + \gamma_d \gamma_G s_{tb,k} = 3,821 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Den ogynnsammaste av kombinationerna ovan blir således:

Resultat 15.  $q_{tb,Ed}$ .

$$q_{tb,Ed} = \max (q_{tb,Ed,1}, q_{tb,Ed,2}) = q_{tb,Ed,2}$$

$$q_{tb,Ed} = (0,91 \times 0,89 \times 1,35 \times 0,858) + 0 + (0,91 \times 1,35 \times 2,11)$$

$$q_{tb,Ed} = 3,821 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

#### 7.4.1.2 Nockbalk GHI

Enligt Formel 3, eller Ekv. 6.10a (SS-EN 1990, 2002):

$$q_{nb,Ed,1} = \gamma_d \gamma_G g_{nb,k} + \gamma_d \gamma_P P + \gamma_d \gamma_G \psi_{0,snö} s_{nb,k} = 8,944 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Enligt Formel 4, eller Ekv. 6.10b (SS-EN 1990, 2002):

$$q_{nb,Ed,2} = \gamma_d \xi \gamma_G g_{nb,k} + \gamma_d \gamma_P P + \gamma_d \gamma_G s_{nb,k} = 11,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Den ogynnsammaste av kombinationerna ovan blir således:

Resultat 16.  $q_{nb,Ed}$ .

$$q_{nb,Ed} = \max (q_{nb,Ed,1}, q_{nb,Ed,2}) = q_{nb,Ed,2}$$

$$q_{nb,Ed} = (0,91 \times 0,89 \times 1,35 \times 2,47) + 0 + (0,91 \times 1,35 \times 6,08)$$

$$q_{nb,Ed} = 11,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

#### 7.4.1.3 Pelare BH

Pelaren lastkombineras på samma sätt som ovan. Notera att det är upplagsreaktionerna frånnockbalken som verkar vid pelartoppen. Enligt Formel 3, eller Ekv. 6.10a (SS-EN 1990, 2002):

$$N_{p,Ed,1} = \gamma_d \gamma_G N_{g,k} + \gamma_d \gamma_P P + \gamma_d \gamma_G \psi_{0,snö} N_{s,k} = 3,072 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Enligt Formel 4, eller Ekv. 6.10b (SS-EN 1990, 2002):



$$N_{p,Ed,2} = \gamma_d \xi \gamma_G N_{g,k} + \gamma_d \gamma_P P + \gamma_d \gamma_G N_{s,k} = 3,821 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Den ogynnsammaste av kombinationerna ovan blir således:

Resultat 17.  $N_{p,Ed}$ .

$$N_{p,Ed} = \max(N_{p,Ed,1}, N_{p,Ed,2}) = N_{p,Ed,2}$$

$$q_{p,Ed} = (0,91 \times 0,89 \times 1,35 \times 22,2) + 0 + (0,91 \times 1,35 \times 54,7)$$

$$q_{p,Ed} = 98,998 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_{p,Ed} \approx 99 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

#### 7.4.2 Sammanfattning

De dimensionerande laster som beräknas i detta kapitel sammanfattas i tabellen nedan.

Tabell 19. Sammanfattning av dimensionerande laster.

Karakteristiska laster	Sidreferens
$q_{tb,Ed} = 3,821 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Sid. 47
$q_{nb,Ed} = 11,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Sid. 48
$N_{p,Ed} = 98,998 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Sid. 48

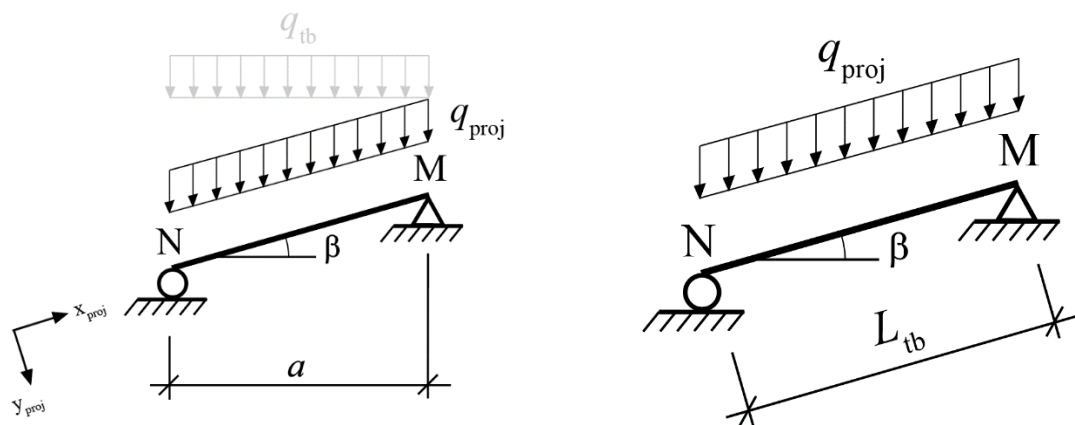
## 7.5 Lasteffekter

### 7.5.1 Inledning

I detta kapitel illustreras de moment-, tvärkrafts och normalkraftsdiagram för de olika byggnadskomponenterna. Dessutom bestäms de farliga snitten samt effekterna i dessa.

### 7.5.2 Takbalk MN

Som noterat i Kapitel 7.3.2 så lutar balken. Uppgiften löses genom att projicera ned lasten utmed balkens verkliga längd. Detta är anslutet med den alternativa lösningen som finns i dokumentet *Lösningsförslag till SVT 3, lutande limträbalk* (2020). Den projicerade lasten,  $q_{proj}$ , verkar längs  $x_{proj}$  samt  $y_{proj}$ .



a) Projicering av lasten.

b) Balken verkliga längd.

Figur 22. Illustration av projicering av last samt balkens längd.

Den faktiska balklängden,  $L_{tb}$ , fås av enkel trigonometri.

$$L_{tb} = \frac{a}{\cos(\beta)} = \frac{3,8}{\cos(22)} = 4,098 \text{ m}$$

Var god vänd blad.

Den projicerade lasten,  $q_{proj}$ , intensitet måste minskas (Lösningsförslag till SVT 3, lutande limträbalk, 2020). En kontroll kan göras med hjälp av *ingenjörens bästa vän*, d.v.s. dimensionsanalys.

Formel 31. Projicering av linjelast som verkar på takbalken.

$$\text{Linjelast} \times \text{Sträcka} = \text{Kraft}$$

$$\left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right] \times [\text{m}] = [\text{kN}]$$

$$\text{Kraft som verkar på takbalken} = q_{tb} \times a$$

$$\text{Kraft som verkar på takbalken} = q_{proj} \times L_{tb}$$

$$\Rightarrow$$

$$q_{tb} \times a = q_{proj} \times L_{tb}$$

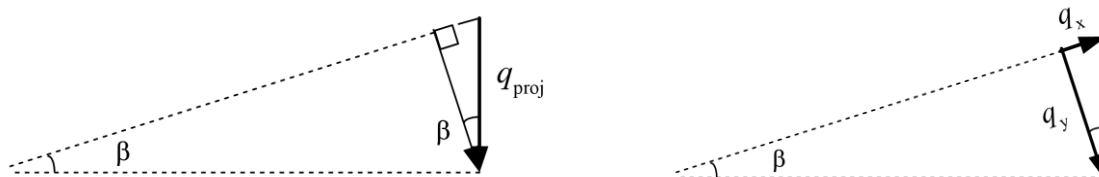
$$\Rightarrow$$

$$q_{tb} \times a = q_{proj} \times \frac{a}{\cos(\beta)}$$

$$\Rightarrow$$

$$q_{proj} = q_{tb} \cos(\beta)$$

Studera figuren nedan samt Figur 22a. Sambandet mellan den jämt fördelade lasten (som verkar vinkelrätt med balken) och normalkraften fås enligt figuren nedan.



Figur 23. Illustration av projicering av last samt balkens längd.

Ur figuren kan det konstateras att:

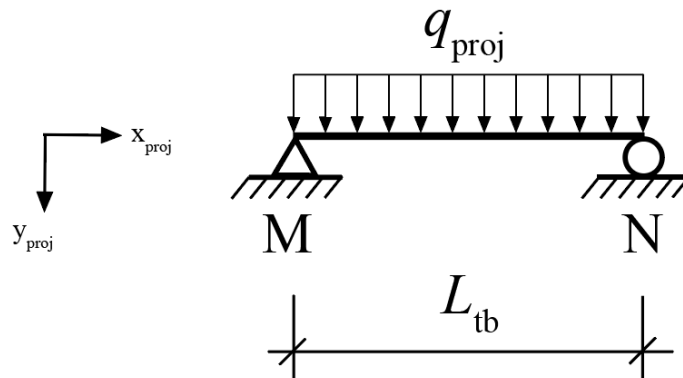
$$\cos(\beta) = \frac{q_{proj}}{q_y} = \frac{q_{tb} \cos(\beta)}{q_y}, \quad \sin(\beta) = \frac{q_{proj}}{q_x} = \frac{q_{tb} \cos(\beta)}{q_x}$$

Lasterna har uttryckts enligt de nya globala axlarna (som introducerades i Figur 22a.) Således fås lasten och normalkraften som:

Resultat 18. Utbredd last och normalkraft verkande vinkelrätt mot balken.

$$q_{proj} = \begin{cases} q_y = q_{tb} \cos(\beta)^2 \\ q_x = q_{tb} \cos(\beta) \sin(\beta) \end{cases}$$

Balken behandlas nu som en vanlig fritt upplagd balk, se figuren nedan. I och med detta så används tabellvärden för att rita upp normalkrafts-, tvärkrafts- och momentdiagram.



Figur 24. Illustration av den balk som används vid beräkning.

Beräkning, eller uppritande, av normalkraft fås av Formel 10:

$$N(x) = q_x \left( \frac{L_{tb}}{2} - x \right)$$

Notera att samma formel används för beräkning av tvärkraft.

$$V(x) = q_y \left( \frac{L_{tb}}{2} - x \right)$$

Formel 11 används för att rita böjmomentet.

$$M(x) = \frac{q_y L_{tb} x}{2} - \frac{q_y x^2}{2}$$

## Stödreaktioner

Stödreaktion fås av Formel 9.

Resultat 19.  $R_{tb,M}$ ,  $R_{tb,N}$ .

$$R_{tb,M} = R_{tb,N} = \frac{q_{tb,Ed} \times \cos(\beta) \times \frac{a}{\cos(\beta)}}{2} = 7,26 \text{ kN}$$

## Normalkraft

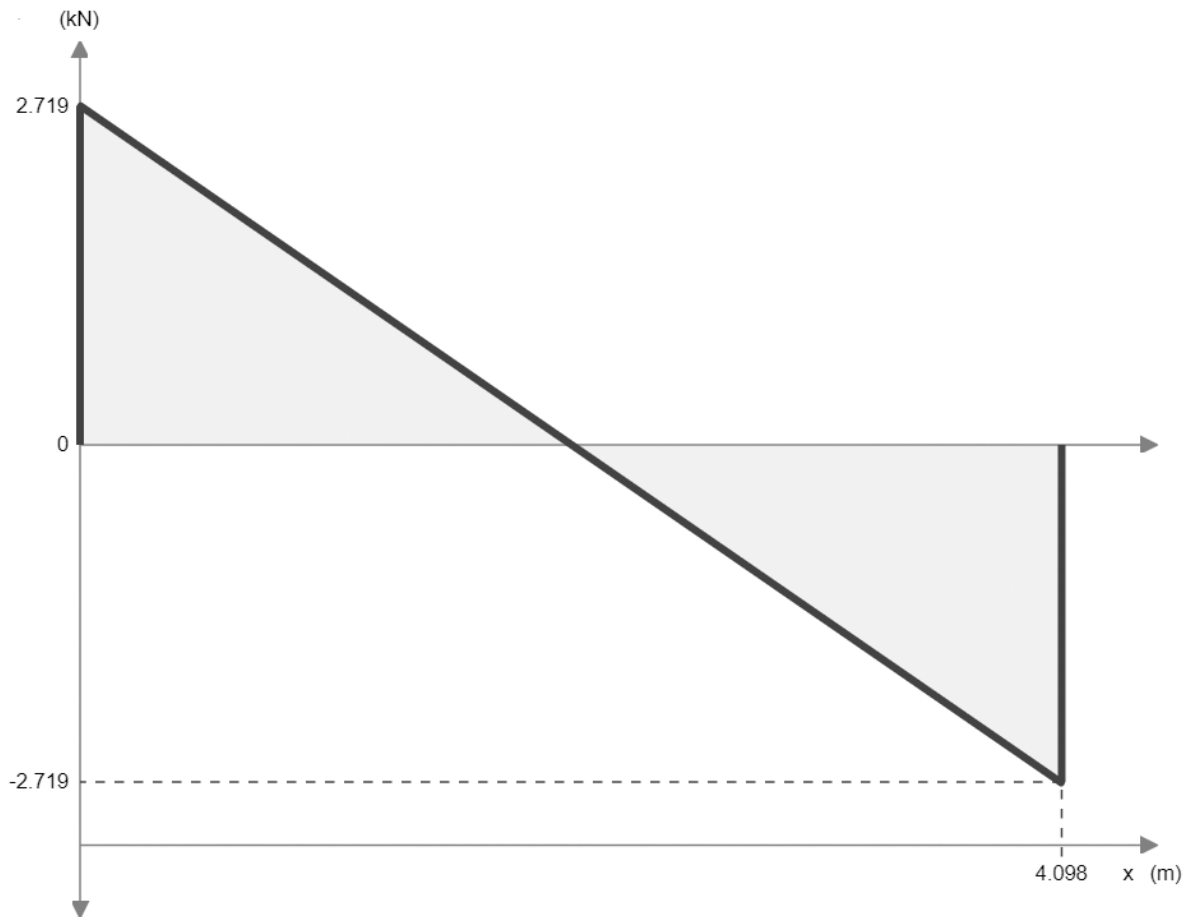
Användning av Formel 10 ger:

$$N(x) = q_{tb,Ed} \cos(\beta) \sin(\beta) \left( \frac{\frac{a}{\cos(\beta)}}{2} - x \right)$$

Med numeriska värden fås:

$$N(x) = 3,821 \times \cos(22) \times \sin(22) \times \left( \frac{\frac{3,8}{\cos(22)}}{2} - x \right)$$

Funktionen kan ritas upp med valfritt program.



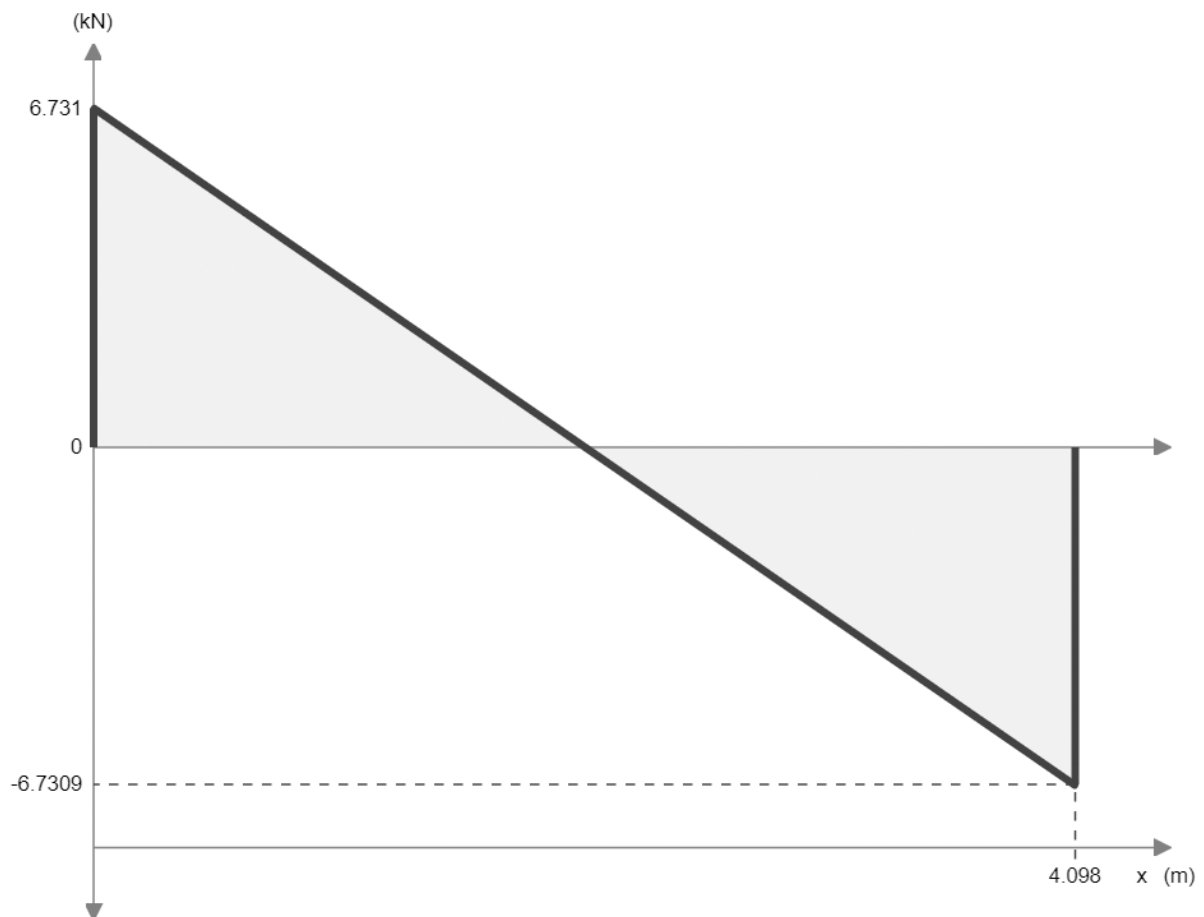
Figur 25. Normalkraftsdiagram för takbalken.

Ur diagrammet, Figur 25, går det att se och avläsa extremvärden.

### **Tvärkraft**

Användning av Formel 10 ger:

$$V(x) = 3,821 \times \cos(22)^2 \left( \frac{\frac{3,8}{\cos(22)}}{2} - x \right)$$



Figur 26. Tvärkraftsdiagram för takbalken.

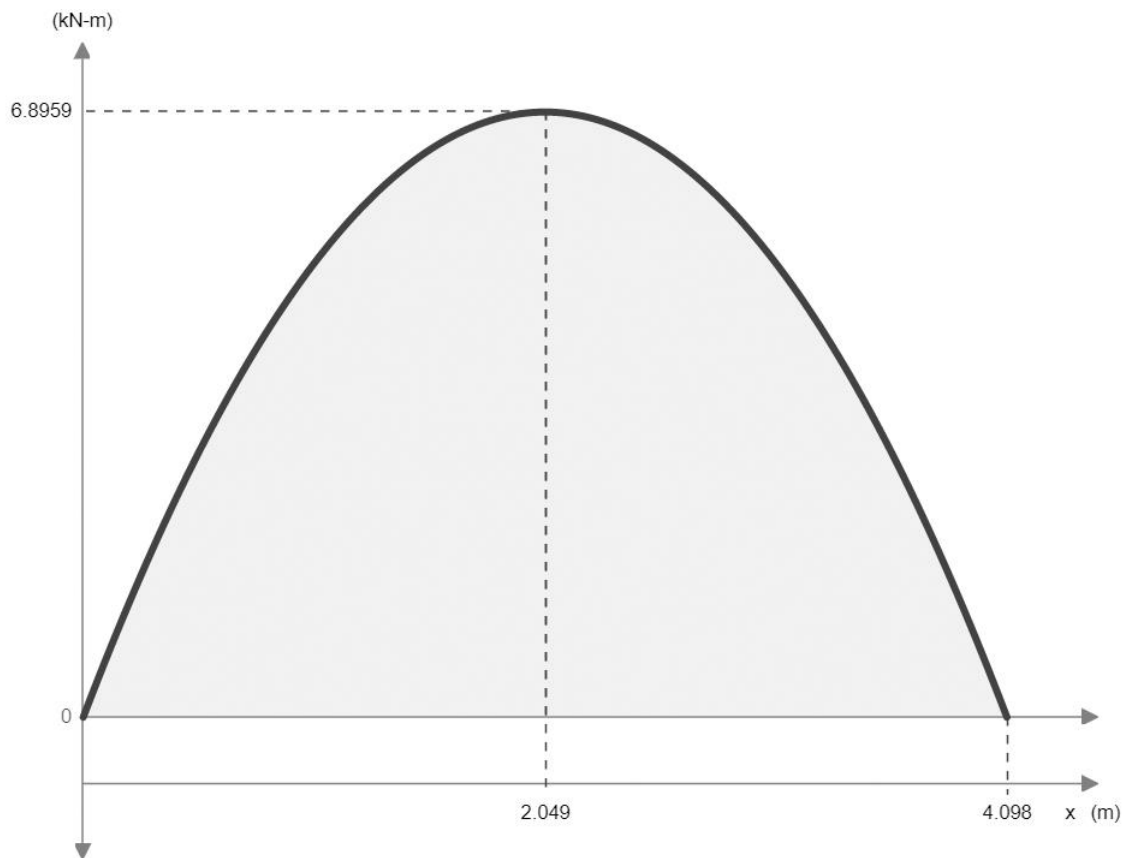
Resultat 20.  $V_{tb,Ed}$ .

$$V_{tb,Ed} = |V(0)| = |V(L_{tb})| = 6,73 \text{ kN}$$

## Böjmoment

Formel 11 ger:

$$M(x) = \frac{3,821 \times \cos(22)^2 \times \frac{3,8}{\cos(22)} x}{2} - \frac{3,821 \times \cos(22)^2 x^2}{2}$$



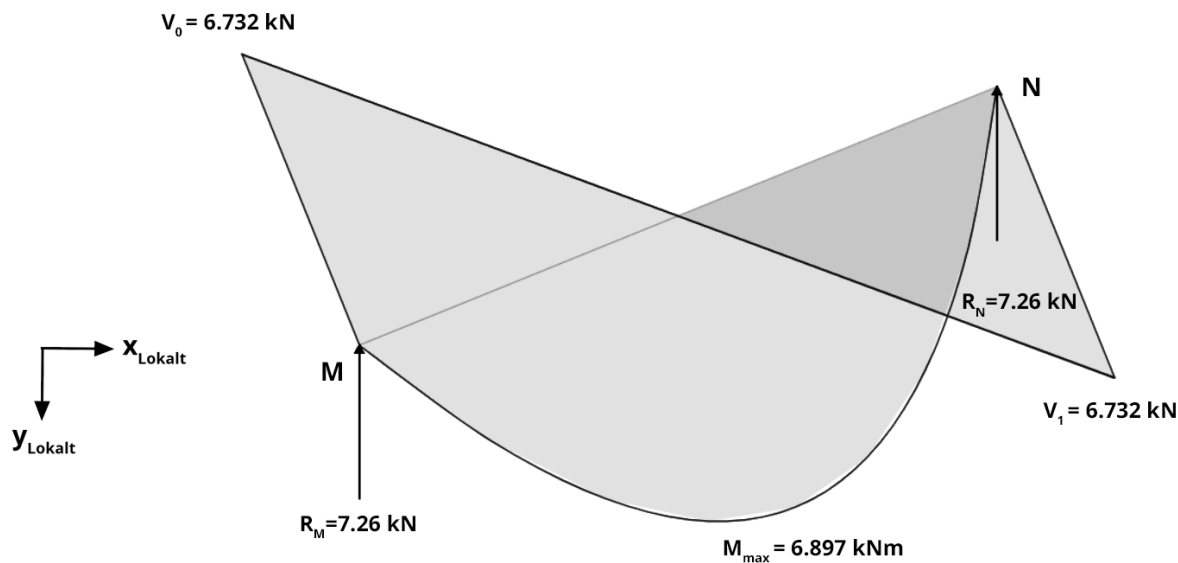
Figur 27. Böjmomentdiagram för takbalken.

Resultat 21.  $M_{tb,Ed}$ .

$$M_{tb,Ed} = \left| M\left(\frac{L_{tb}}{2}\right) \right| = 6,90 \text{ kN}$$

Tvärkraft- och momentdiagrammet går även att rita utmed de lokala y- och x-koordinaterna (istället för  $y_{proj}$  och  $y_{proj}$ ).

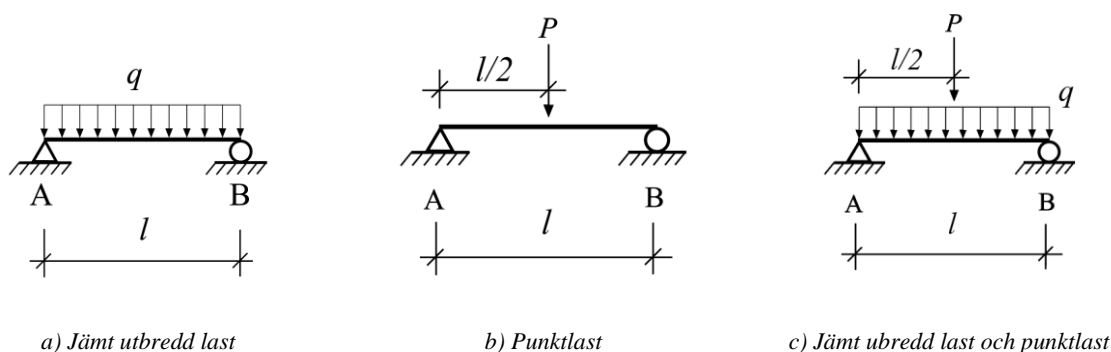




Figur 28. Tvärkraft- och böjmomentdiagram för takbalken.

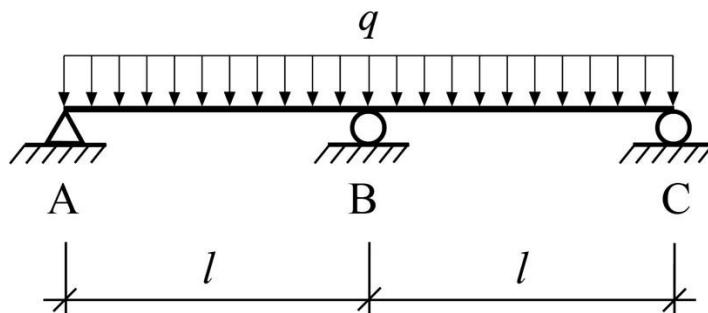
### 7.5.3 Nockbalk GHI

Nockbalken beräknas genom att superpositionera Figur 29a och Figur 29b. Då fås fallet i Figur 29c vilket går att jämföra med Figur 30.



Figur 29. Förklaring av superpositionering avnockbalk.

Lasten  $P$  (Figur 29c) ersätts med stödreaktionen vid  $B$  (Figur 30). Stödreaktionen fås ur Formel 17.



Figur 30. Förklaring av superpositionering avnockbalk.

Ingen horisontalkraft verkar. Normalkraften blir således noll.

$$N(x) = 0$$

Tvärkraften ges av:

$$V_{0-1}(x) = q \left( \frac{l}{2} - x \right) + \frac{P}{2}$$

$$V_{1-2}(x) = q \left( \frac{l}{2} - x \right) - \frac{P}{2}$$

Slutligen ges böjmomentet av:

$$M_{0-1}(x) = \frac{qlx}{2} - \frac{qx^2}{2} + \frac{Px}{2}$$

$$M_{1-2}(x) = \frac{qlx}{2} - \frac{qx^2}{2} + \frac{P(L-x)}{2}$$

Upplagsreaktionen för stödet G och I fås av Formel 16.

Resultat 22.  $R_{nb,G}$ ,  $R_{nb,I}$ .

$$R_{nb,G} = R_{nb,I} = 0,375 \times q_{nb,Ed} \times L_{nb} = 29,7 \text{ kN}$$

Upplagsreaktionen för stödet H fås av Formel 17.

Resultat 23.  $R_{nb,H}$ .

$$R_{nb,H} = 1,250 \times q_{nb,Ed} \times L_{nb} = 99,0 \text{ kN}$$

## Normalkraft

Ingen normalkraft verkar.

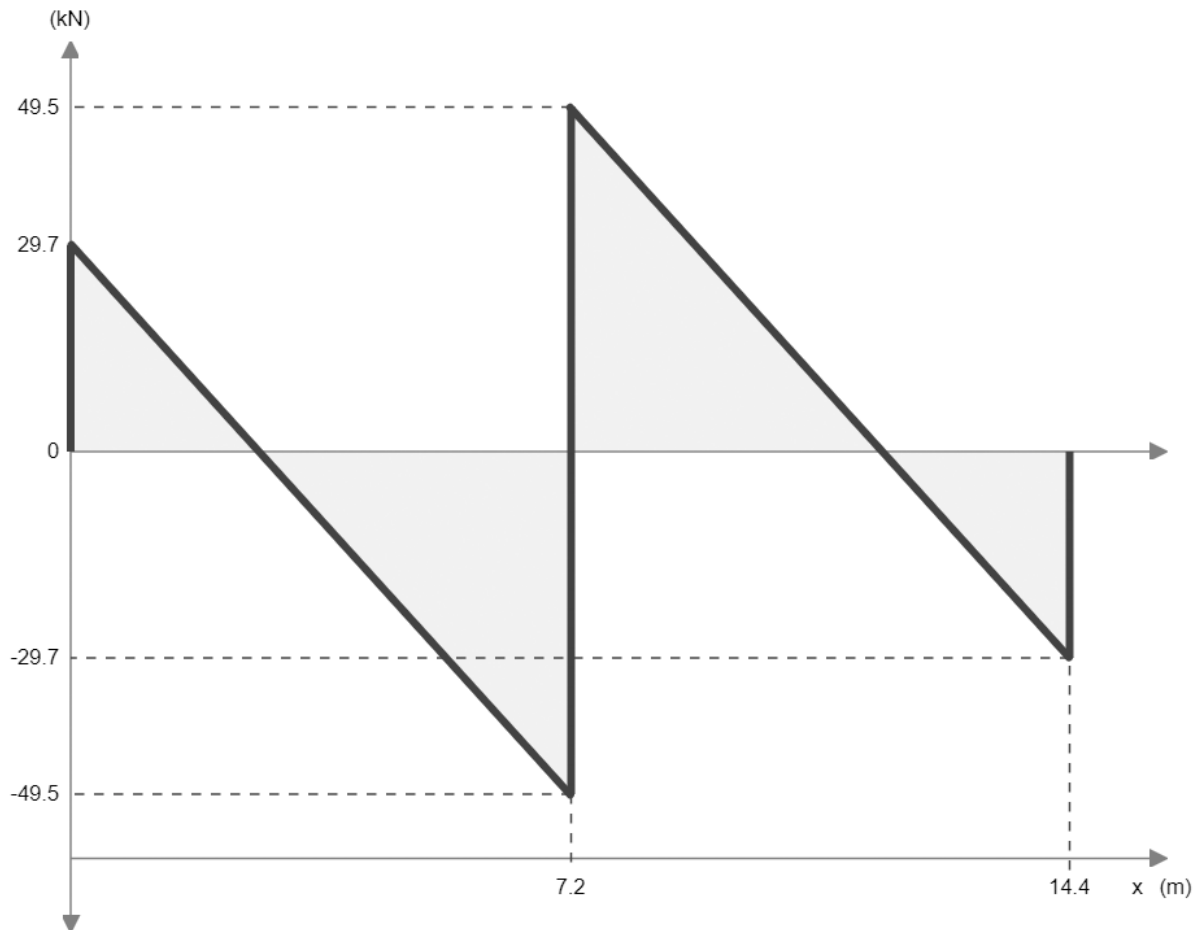


Figur 31. Normalkraftsdiagram förnockbalken.

## Tvärkraft

$$V(x) = \begin{cases} 11 \left( \frac{2 \times L_{nb}}{2} - x \right) + \frac{-1,250 \times 11 \times 2 \times L_{nb}}{2} & \text{om } 0 \leq x < L_{nb} \\ 11 \left( \frac{2 \times L_{nb}}{2} - x \right) - \frac{-1,250 \times 11 \times 2 \times L_{nb}}{2} & \text{om } L_{nb} < x \leq 2L_{nb} \end{cases}$$

Funktionen kan ritas upp med valfritt program.



Figur 32. Tvärkraftsdiagram förnockbalken.

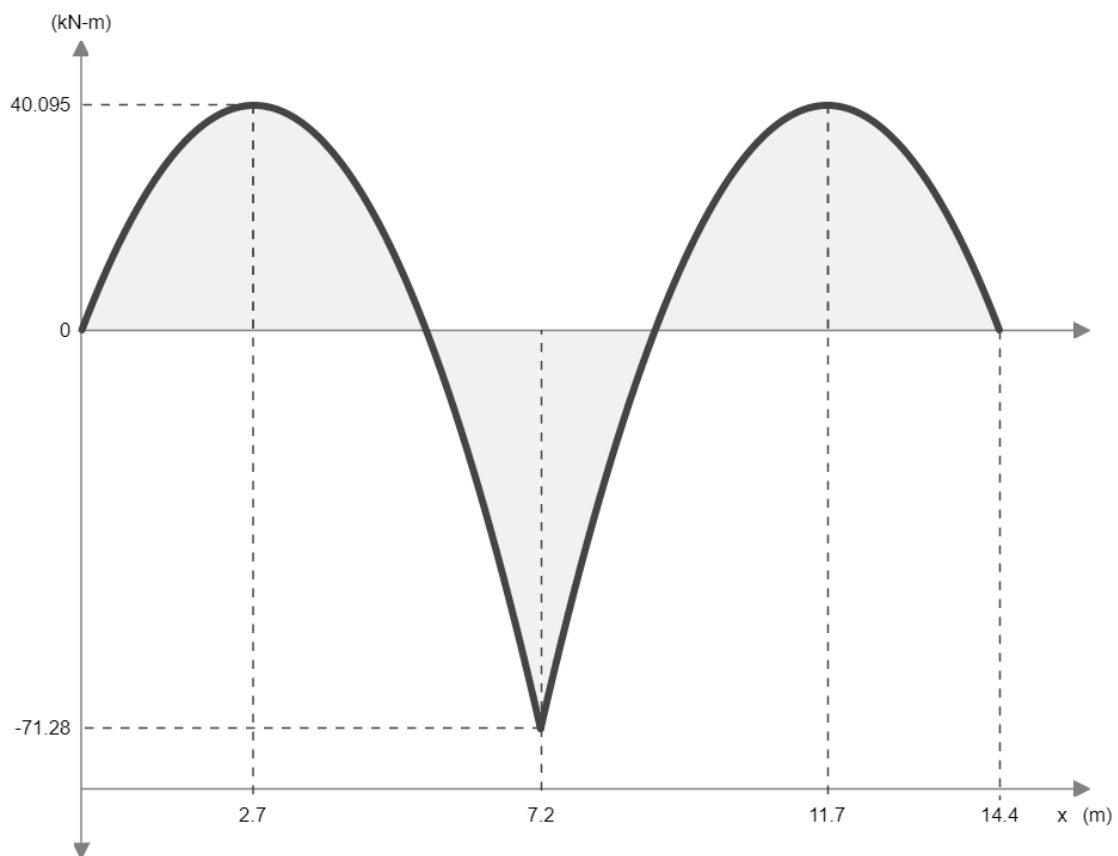
Resultat 24.  $V_{nb,Ed}$ .

$$V_{nb,Ed} = |V(7,2)| = 49,5 \text{ kN}$$

## Böjmoment

$$M(x) = \begin{cases} \frac{11 \times 2 \times L_{nb}x}{2} - \frac{11x^2}{2} + \frac{(-1,250 \times 11 \times 2 \times L_{nb})x}{2} & \text{om } 0 \leq x < L_{nb} \\ \frac{11 \times 2 \times L_{nb}x}{2} - \frac{11x^2}{2} + \frac{(-1,250 \times 11 \times 2 \times L_{nb})(2 \times L_{nb} - x)}{2} & \text{om } L_{nb} < x \leq 2L_{nb} \end{cases}$$

Funktionen kan ritas upp med valfritt program.



Figur 33. Böjmomentdiagram förnockbalken.

Resultat 25.  $M_{nb,Ed}$ .

$$M_{nb,Ed} = |M(7,2)| = 71,3 \text{ kN}$$

#### 7.5.4 Sammanfattning

Lasteffekterna för takbalken ochnockbalken sammanfattas nedan.

Tabell 20. Sammanfattning av lasteffekter

Beskrivning	Lasteffekt	Sidreferens
Stödreaktion vid M, takbalk	$R_{tb,M} = 7,26 \text{ kN}$	s. 53
Stödreaktion vid N, takbalk	$R_{tb,N} = 7,26 \text{ kN}$	s. 53
Stödreaktion vid G, takbalk	$R_{nb,G} = 29,7 \text{ kN}$	s. 58
Stödreaktion vid H, takbalk	$R_{nb,H} = 99,0 \text{ kN}$	s. 58
Stödreaktion vid I, takbalk	$R_{nb,I} = 29,7 \text{ kN}$	s. 58
Dimensionerande tvärkraft, takbalk	$V_{tb,Ed} = 6,73 \text{ kN}$	s. 55
Dimensionerande moment, takbalk	$V_{nb,Ed} = 49,5 \text{ kN}$	s. 60
Dimensionerande moment, takbalk	$M_{tb,Ed} = 6,90 \text{ kNm}$	s. 56
Dimensionerande moment, nockbalk	$M_{nb,Ed} = 71,3 \text{ kNm}$	s. 61

## 8 Dimensioneringskontroller

### 8.1 Inledning

I detta avsnitt beräknas de nödvändiga tvärsnittsdimensionerna för trädelarna. Dessutom studeras huruvida dessa trädelar klarar givna hållfasthets- och deformationskrav.

### 8.2 Erforderliga tvärsnitt

#### 8.2.1 Beräkning

Enligt ÖVN1 (2020) ska den nödvändiga tvärsnittshöjden bestämmas med hänsyn till momentbärförmågan. På symbolisk kortform lyder följande brottkriterium:

$$\sigma_{m,Ed} \leq f_{m,d} k_h$$

Detta kriterium skiljer sig en aning från EK5 (2020, s. 43). Emellertid inom ramen för denna kurs (AF1005) så används det förenklade uttrycket ovan (Ansell, et al., 2015). Brottkriterium ovan kan, med hjälp av Naviers formel, skrivas om som:

$$\sigma_{m,Ed}(h) = \frac{M_{Ed}}{I(h)} \left(\frac{h}{2}\right) \leq f_{m,d} k_h$$

Notera att formel ovan är skriven som en funktion den sökta tvärsnittshöjden. Notera även att Naviers formel kan skilja sig åt beroende hur koordinatsystemet är definierats. För ett rektangulärt tvärsnitt fås störst böjspänning vid kanten. Förklaringen är trivial och lämnas som en övning åt läsaren<sup>3</sup>. Detta kan följaktligen uttryckas som:

$$\sigma(z) = \frac{M_y}{I_y} z$$
$$\sigma_{max} = \frac{M_y}{I_y} z_{kant} = \sigma\left(\frac{z}{2}\right) = \frac{M_y}{I_y} \left(\frac{z}{2}\right)$$

#### 8.2.2 Takbalk MN

Således fås följande uttryck för beräkningen av takbalkens tvärsnittshöjd:

Formel 32. Beräkning av takbalkens tvärsnittshöjd.

$$\sigma_{m,Ed}(h_{tb}) = \frac{M_{tb,Ed}}{\left(\frac{b_{tb} h_{tb}^3}{12}\right)} \left(\frac{h_{tb}}{2}\right) \leq f_{m,d} \left(\frac{300}{h_{tb}}\right)^s$$

<sup>3</sup> Notera att tvärsnitten är rektangulära. Fundera på vart massans tyngdpunkt finns.

Uttrycket i Formel 32 löses med MathCADs inbyggda *Find*-funktion (PTC, 2020).

Resultat 26.  $h_{tb,ber}$ .

$$h_{tb,ber} := \text{Find}(h_{tb}) = 171 \text{ mm}$$

I dokumentet *Hållfasthetsklasser för limträ, konstruktionsvirke och LVL-KERTO* (2020) listas olika storlekar av fanerträ. Tvärsnittshöjden väljs till den ovan närliggande beräknade höjden,  $h_{tb,ber}$ . Följaktligen:

Resultat 27.  $h_{tb,vald}$ .

$$h_{tb,vald} = 200 \text{ mm}$$

### 8.2.3 Nockbalk GHI

Tillvägagångssättet skiljer sig aningen från ovan. Enligt ÖVN1 (2020) ska följande gälla:

$$\frac{h_{nb}}{b_{nb}} \approx 4$$

Detta gör att brottkriteriet består av två okända variabler.

$$\sigma_{m,Ed}(b_{nb}, h_{nb}) \leq f_{m,d} k_h(b_{nb}, h_{nb})$$

ÖVN1 (2020) ger ett förslag på tillvägagångssätt:

1. Ansätt att kvoten ska vara exakt 4.
2. Lös ut måtten (tvärsnittsbred och tvärsnittshöjd)
3. Välj en standardbredd
4. Beräkna ny tvärsnittshöjd
5. Välj en standardhöjd (minst 4 lameller).

Således ska följande lösas:

Formel 33. Beräkning avnockbalkens tvärsnittsbredd

$$\sigma_{m,Ed}(b_{nb}, h_{nb}) = \frac{M_{nb,Ed}}{\left(\frac{b_{nb} h_{nb}^3}{12}\right)} \left(\frac{h_{nb}}{2}\right) \leq f_{m,d} \left(\frac{600}{h_{nb}}\right)^{0.1}$$



Enligt 1) så ger det att uttrycka tvärsnittshöjden som en funktion av tvärsnittsbredden:

$$h_{nb}(b_{nb}) = 4 \times b_{nb}$$

Insättning i Formel 33 ger:

Formel 34. Implicit beräkning avnockbalkens tvärsnittsbredd.

$$\frac{M_{nb,Ed}}{\left(\frac{b_{tb} h_{nb}(b_{nb})^3}{12}\right)} \left(\frac{h_{nb}(b_{nb})}{2}\right) \leq f_{m,d} \left(\frac{600}{h_{nb}(b_{nb})}\right)^{0.1}$$

**För att förtydliga:** De gulmarkerade områden ovan är funktioner<sup>4</sup>. Jämför med uttrycket nedan.

Formel 35. Implicit beräkning avnockbalkens tvärsnittsbredd.

$$\frac{M_{nb,Ed}}{\left(\frac{b_{tb} 4 \times b_{nb}^3}{12}\right)} \left(\frac{4 \times b_{nb}}{2}\right) \leq f_{m,d} \left(\frac{600}{4 \times b_{nb}}\right)^{0.1}$$

MathCADs inbyggda *Find*-funktion kan således hitta värdet på bredden (PTC, 2020).

$$b_{nb,ber} := \text{Find}(b_{nb}) = 103,8 \text{ mm}$$

Tvärsnittsbredden väljs till den ovan närliggande beräknade bredden,  $b_{nb,ber}$ . Följaktligen:

Resultat 28.  $b_{nb,vald}$ .

$$b_{nb,vald} = 115 \text{ mm}$$

Tvärsnittshöjden beräknas nu likt Kapitel 8.2.2.

Formel 36. Beräkning avnockbalkens tvärsnittshöjd

$$\sigma_{m,Ed}(h_{nb}) = \frac{M_{nb,Ed}}{\left(\frac{b_{nb,vald} h_{nb}^3}{12}\right)} \left(\frac{h_{nb}}{2}\right) \leq f_{m,d} \left(\frac{600}{h_{nb}}\right)^{0.1}$$

<sup>4</sup> Så som:  $y = f(x)$

MathCADs inbyggda *Find*-funktion kan nu hitta det kvarstående värdet (PTC, 2020).

Resultat 29.  $h_{nb,ber}$ .

$$h_{nb,ber} := \text{Find}(h_{nb}) = 393,4 \text{ mm}$$

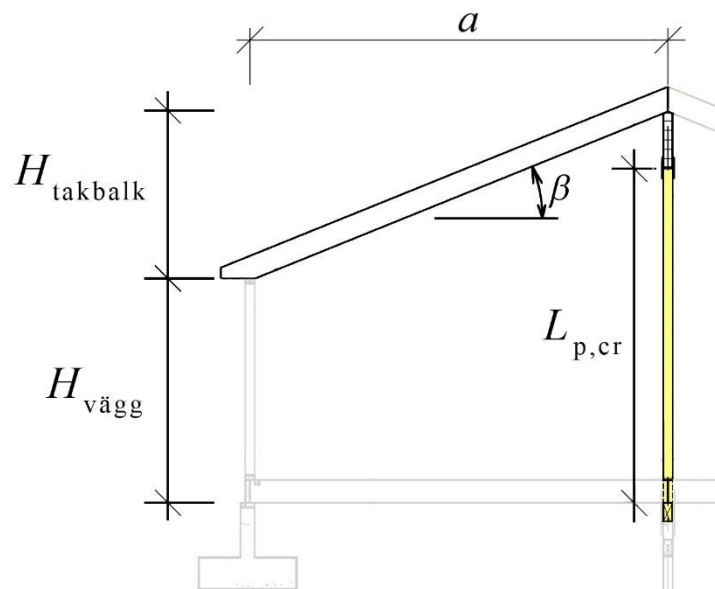
Tvärsnittshöjden väljs till den ovan närliggande beräknade bredden,  $h_{nb,ber}$ . Följaktligen:

Resultat 30.  $h_{nb,vald}$ .

$$h_{nb,vald} = 405 \text{ mm}$$

### 8.2.4 Pelar BH

Knäckningslängdens beräknas som avståndet mellan underkant nockbalk och överkant ramstång i fackverket (ÖVN1, 2020). Detta illustreras i figuren nedan (jämför med Figur 2).



Figur 34. Illustration av knäckningslängd  $L_{p,cr}$ .

$$\begin{aligned} L_{p,cr} &= H_{vägg} + H_{takbalk} - h_{nb,vald} \Rightarrow \\ L_{p,cr} &= H_{vägg} + [a \times \tan(\beta)] - h_{nb,vald} \end{aligned}$$

Med numeriska värden kan knäckningslängden,  $L_{p,cr}$ , beräknas till:

Resultat 31.  $L_{p,cr}$ .

$$L_{p,cr} = 2.5 + [3,8 \times \tan(22)] - 0,405 = 3.63\text{m} = 3630 \text{ mm}$$

Pelarens bredd,  $b_p$ , väljs till samma som för nockbalken (ÖVN1, 2020):

$$b_p = b_{nb, vald} = 115 \text{ mm}$$

Slankhetstalet som används vid beräkning av knäckning av tryckt pelare fås av Formel 26.

$$\lambda_z = \frac{L_{p, cr} \sqrt{12}}{b_p} = \frac{3,63 \sqrt{12}}{0,115} = 109,354$$

Det relativa slankhetstalet fås nu enligt Formel 25. De karakteristiska hållfasthetsvärden har introducerats i Kapitel 5.7

Resultat 32.  $\lambda_{rel, z}$ .

$$\lambda_{rel, z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c, 0, k}}{E_{0, 05}}} \Rightarrow$$

$$\lambda_{rel, z} = \frac{\frac{L_{p, cr} \sqrt{12}}{b_p}}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c, 0, k}}{E_{0, 05}}} = \frac{109,354}{\pi} \sqrt{\frac{31 \times 10^3}{11,9 \times 10^6}} = 1,777$$

Vidare fås reduktionsfaktorerna enligt Formel 23 och Formel 24.  $\beta_c$  väljs till 0,1 enligt 6.29 i EK5 (2020). Då kan hjälpparametern beräknas till:

Resultat 33.  $k_{p, z}$ .

$$k_{p, z} = 0,5(1 + 0,1(1,777 - 0,3) + 1,777^2) = 2.152$$

Vidare beräknas reduktionsfaktorn enligt:

Resultat 34.  $k_{p, c, z}$ .

$$k_{p, c, z} = \frac{1}{2.152 + \sqrt{2.152^2 - 1,777^2}} = 0.297$$

**Slutligen** kan tvärsnittshöjden beräknas enligt Formel 22:

Resultat 35.  $h_{p, ber}$ .

$$h_{p, ber} = \frac{N_{p, Ed}}{k_{c, z} f_{c, 0, gl, d}} \frac{1}{b_p}$$

$$h_{p,ber} = \frac{99}{0,97 (19,8 \times 10^3)} \frac{1}{0,115} = 146,045 \text{ mm}$$

Eftersom pelaren är tillverkad av limträ följer samma resonemang som förnockbalken. Ergo, närmaste multipler av 45mm givet att olikheten (Formel 22) uppfylls.

Resultat 36.  $h_{p,vald}$ .

$$h_{p,vald} = 180 \text{ mm}$$

## 8.2.5 Sammanfattning

De nödvändiga tvärsnitten för respektive komponent sammanfattas i tabellen nedan.

Tabell 21. Sammanfattning av erforderliga tvärsnitt.

Komponent	Bredd	Höjd	Sidreferens
Takbalk, MN	$b_{tb,vald} = 45 \text{ mm}$	$h_{tb,vald} = 200\text{mm}$	s. 33, 63
Nockbalk, GHI	$b_{nb,vald} = 115 \text{ mm}$	$h_{nb,vald} = 405\text{mm}$	64
Pelare, BH	$b_{p,vald} = 115\text{mm}$	$h_{p,vald} = 180\text{mm}$	66

## 8.3 Brottkriterium med avseende på skjuvspänning

Tvärsnitten har beräknats enligt olikheterna i Formel 32, Formel 33 och Formel 36. Med andra ord har tvärsnitten redan bestämts med hänsyn till momentbärförmågan. Det som kvarstår är att kontrollera skjuvspänningarna för valda tvärsnitt.

### 8.3.1 Takbalk MN

Villkoret fås av Formel 20 samt Formel 21. Nämnvärt är att för ett rektangulärt tvärsnitt kan villkoret förenklas till (Lösningförslag till SVT 3, lutande limträbalk, 2020, s. 3):

$$\tau_v = 1,5 \frac{V_{nb,Ed}}{k_{cr} b_{nb} h_{nb,vald}} \leq f_{v,lvl,d}$$

Således fås:

Resultat 37.  $\tau_{v,tb,d}$

$$1,5 \frac{6,73}{1 \times 0,045 \times 0,2} = 1.122 \text{ MPa} \leq f_{v,lvl,d} = 2,733 \text{ MPa}$$

### 8.3.2 Nockbalk GHI

Likt ovan:

$$\tau_v = 1,5 \frac{V_{tb,Ed}}{k_{cr} b_{tb,vald} h_{tb,vald}} \leq f_{v,gl,d}$$

Således fås:

Resultat 38.  $\tau_{v,nb,d}$

$$1,5 \frac{49,5}{0,67 \times 0,115 \times 0,405} = 2,379 \text{ MPa} \leq f_{v,gl,d} = 2,752 \text{ MPa}$$

### 8.3.3 Sammanfattning

Tabell 22. Sammanfattning av tvärkrafter.

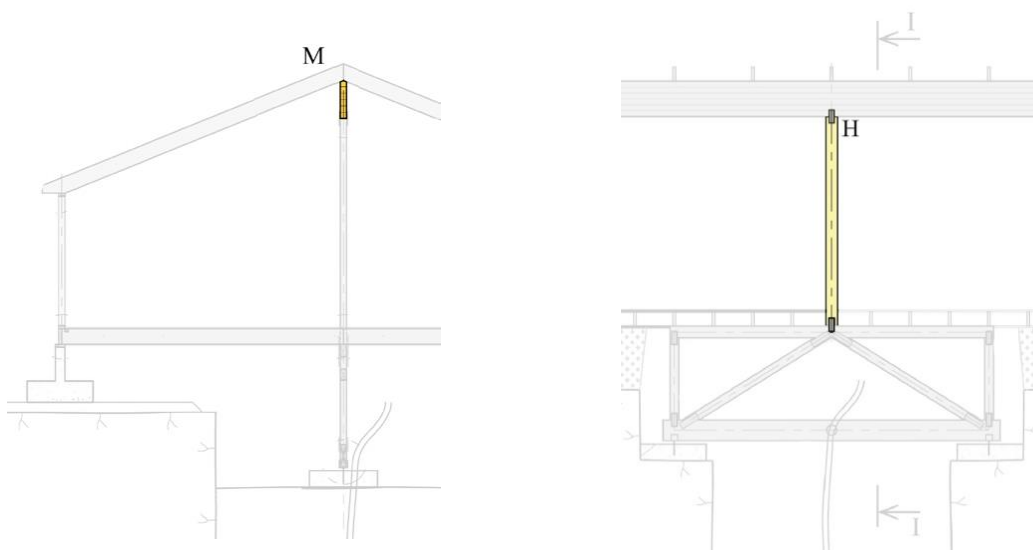
Beskrivning	Upplagslängd	Sidreferens
Dimensionerande tvärkraft för takbalken	$\tau_{v,tb,d} = 1,12 \text{ MPa}$	s. 68
Dimensionerande tvärkraft för takbalken	$\tau_{v,nb,d} = 2,38 \text{ MPa}$	s. 68

### 8.4 Upplagslängder

Enligt ÖVN1 (2020) ska upplagslängderna vid M och H beräknas. Följaktligen:

- Upplagslängden vid M mot *nockbalken*
- Upplagslängden vid H mot *pelaren*

Erforderliga upplagslängder beräknas enligt Formel 19.



Figur 35. Sektioner visandenockbalken och pelaren (ÖVN1, 2020).

### 8.4.1 Upplagslängd motnockbalken

Enligt Formel 19 fås:

$$\frac{R_{M,tb}}{b_{tb} l_M} \leq f_{c,90,edge,lvl,d}$$

Notera att faktorn  $k_{c,90}$  **inte** har använts ovan. Den erforderliga upplagslängden blir:

$$l_M \leq \frac{R_{M,tb}}{f_{c,90,edge,lvl,d} b_{tb, Vald}}$$

Med numeriska värden fås:

$$l_M \leq \frac{6,731}{(4 \times 10^3) \times 0,045} = 37,396 \text{ mm}$$

Enligt EK5 (2020) kan värdet på faktorn  $k_{c,90}$  sättas till 1,75 då kravet  $l_I > 2h$  är uppfyllt. Detta illustreras på sidan 8 i EK5 (2020)<sup>5</sup>. Figuren visas ej här på grund av upphovsrättsliga skäl.

Resultat 39.  $l_M$ .

$$\begin{aligned} \frac{R_{M,tb}}{b_{tb} l_M} &\leq k_{c,90} f_{c,90,edge,lvl,d} \Rightarrow \\ l_M &\leq \frac{R_{M,tb}}{k_{c,90} \times f_{c,90,edge,lvl,d} \times b_{tb}} \Rightarrow \\ l_M &\leq \frac{6,731}{1,75 \times (4 \times 10^3) \times 0,045} = 21.369 \text{ mm} \approx 21,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Upplagslängden ger även den minsta möjliga nockbalksbredden (ÖVN1, 2020). Kontroll av vald bredd ger:

Resultat 40. Minsta möjliga nockbalksbredd.

$$2 \times [l_M \times \cos(22)] = 39,6 \text{ mm} \leq b_{nb, Vald} = 115 \text{ mm}$$

Vald bredd kan således godkänd.

<sup>5</sup> OBS: Sidnumreringen är fel i dokumentet som ligger på Canvas. Figuren finns även på sidan 40 i den svenska utgåvan (SS-EN 1995-1-1, 2004).

### 8.4.2 Upplagslängd mot pelartoppen

Enligt EK5 (2020) kan värdet på faktorn  $k_{c,90}$  sättas till 1,75 då kravet  $l_l > 2h$  är uppfyllt likt tidigare. Enligt Formel 19 fås:

$$l_H \leq \frac{R_{H,nb}}{k_{c,90} f_{c,90,gl,d} b_{nb,vald}}$$

Med numeriska värden fås:

$$l_H \leq \frac{98,998}{1,75 \times (2,3 \times 10^3) \times 0,115} = 213,506 \text{ mm}$$

Enligt EK5 (2020) kan den effektiva kontaktytan justeras genom att öka den effektiva kontaktlängden.

$$\left\{ \begin{array}{l} 30\text{mm} \ll l_{M,tb} \\ 30\text{mm} \ll a \\ 30\text{mm} \ll \frac{l_1}{2} \end{array} \right.$$

Eftersom olikheterna ovan är uppfyllda så ökas den effektiva kontaktlängden med 30mm på vardera sida. Således fås den **verkliga kontaktlängden** till:

*Resultat 41.  $l_{H,verklig}$ .*

$$l_{H,verklig} = 213,506 - 30\text{mm} - 30\text{mm} = 153,506 \text{ mm} \approx 154 \text{ mm}$$

Upplagslängden ger även den minsta möjliga tvärsnittshöjd för pelaren (ÖVN1, 2020). Kontroll av vald höjd ger:

*Resultat 42. Minsta möjliga nockbalksbredd.*

$$l_{H,verklig} = 154\text{mm} \leq h_{p,vald} = 180 \text{ mm}$$

Vald bredd kan således godkänd.

### 8.4.3 Sammanfattning

Upplagslängderna sammanfattas i tabellen nedan.

Tabell 23. Sammanfattning av upplagslängder.

Beskrivning	Upplagslängd	Sidreferens
Vid M, motnockbalken	$l_M = 21,4\text{mm}$	s. 70
Vid H, mot pelaren	$L_H = 154\text{mm}$	s. 71

## 8.5 Nedböjning

### 8.5.1 Takbalk MN

Takets egenvikt samt snölast har angivits per horisontell löpmeter i Kapitel 7.3.2. I bruksgränstillståndet (En: Serviceability Limit State, SLS) söks kraften vinkelrät mot takbalken. Dessa laster betecknas som  $q_{\text{ser}}$  enligt den enkelska termen *Serviceability Limit State*. Således:

Resultat 43.  $g_{\text{tb,ser}}$ .

$$g_{\text{tb,ser}} = g_{\text{tb,k}} \times \cos(\beta)^2 = 0,858 \times \cos(22)^2 = 0,738 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Resultat 44.  $s_{\text{tb,ser}}$ .

$$s_{\text{tb,ser}} = s_{\text{tb,k}} \times \cos(\beta)^2 = 2,112 \times \cos(22)^2 = 1,816 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Den verkliga längden för takbalken blir:

$$L_{\text{tb}} = \frac{a}{\cos(\beta)} = \frac{3,8}{\cos(22)} = 4,098 \text{ m}$$

Den omedelbara, elastiska, nedböjningen ges av Formel 12. Notera att den **totala** nedböjningen generellt ges av:

Formel 37. Generellt uttryck för total nedböjning.

$$v_{\text{tb,mitt,inst}} = v_{\text{egenvikt}} + v_{\text{snölast}}$$

Således blir den totala omedelbara nedböjningen för takbalken<sup>6</sup>:

<sup>6</sup> Beräkningen saknar numeriska värden då olikheten inte uppfylls. Detta har gjorts för att spara plats.



$$v_{tb, mitt, inst} = \frac{5g_{tb, ser} L_{tb}^4}{384EI} + \frac{5s_{tb, ser} L_{tb}^4}{384EI} = 22,657 \text{ mm}$$

Det går att konstatera att olikheten nedan **inte** uppfylls.

Resultat 45.  $v_{tb, mitt, inst}$ .

$$v_{tb, mitt, inst} = 22.657 \text{ mm} > \frac{L_{tb}}{300} = 12,667 \text{ mm}$$

Därför behövs en ny tvärsnittshöjd beräknas. Mittutböjningen kan tecknas som en funktion av sökt tvärsnittshöjd. Således fås olikheten:

Formel 38. Olikhet för att hitta (ny) erforderlig tvärsnittshöjd.

$$v_{tb, mitt, inst}(h_{tb, inst}) = \frac{5g_{tb, ser} L_{tb}^4}{384EI(h_{tb, inst})} + \frac{5s_{tb, ser} L_{tb}^4}{384EI(h_{tb, inst})} \leq \frac{L_{tb}}{300}$$

Olikheten kan även uttryckas som:

$$\frac{5 \times g_{tb, ser} \times L_{tb}^4}{384 \times E_{Ivl, 0, mean} \times \left( \frac{b_{tb} \times h_{tb, inst}^3}{12} \right)} + \frac{5 \times s_{tb, ser} \times L_{tb}^4}{384 \times E_{Ivl, 0, mean} \times \left( \frac{b_{tb} \times h_{tb, inst}^3}{12} \right)} \leq \frac{L_{tb}}{300}$$

Med numeriska värden fås:

$$\begin{aligned} & \frac{5 \times 0,738 \times 4,098^4}{384 \times (13,8 \times 10^6) \times \left( \frac{0,045 \times h_{tb, inst}^3}{12} \right)} \\ & + \\ & \frac{5 \times 1,816 \times 4,098^4}{384 \times (13,8 \times 10^6) \times \left( \frac{0,045 \times h_{tb, inst}^3}{12} \right)} \\ & \leq \\ & \frac{12,667}{300} \end{aligned}$$

Den erforderliga tvärsnittshöjden beräknas med MathCADs inbyggda *Find-funktion* (PTC, 2020).

Resultat 46.  $h_{tb,inst}$ .

$$h_{tb,inst,ber} := \text{Find}(h_{tb,inst}) = 236,736 \text{ mm}$$

Den slutliga nedböjningen ges av Formel 27, Formel 28 och Formel 29:

$$v_{tb,mitt,fin}(h_{tb,fin}) = \frac{5g_{tb,ser}L_{tb}^4}{384EI(h_{tb,fin})}(1 + k_{def,tb}) + \frac{5s_{tb,ser}L_{tb}^4}{384EI(h_{tb,fin})}(1 + \psi_2 k_{def,tb})$$

Reduktionsfaktorn fås av Tabell 12 och krypfaktorn fås av Tabell 15. Den erforderliga tvärsnittshöjden med avseende på slutlig nedböjning beräknas likt ovan med MathCADs inbyggda *Find-funktion* (PTC, 2020).

Resultat 47.  $h_{tb,fin}$ .

$$h_{tb,fin,ber} := \text{Find}(h_{tb,fin}) = 223,3 \text{ mm}$$

Slutligen väljs den (nya) beräknande tvärsnittshöjden enligt nedan:

$$h_{tb,ber} = \max(h_{tb,inst,ber}, h_{tb,fin}) = h_{tb,inst,ber}$$

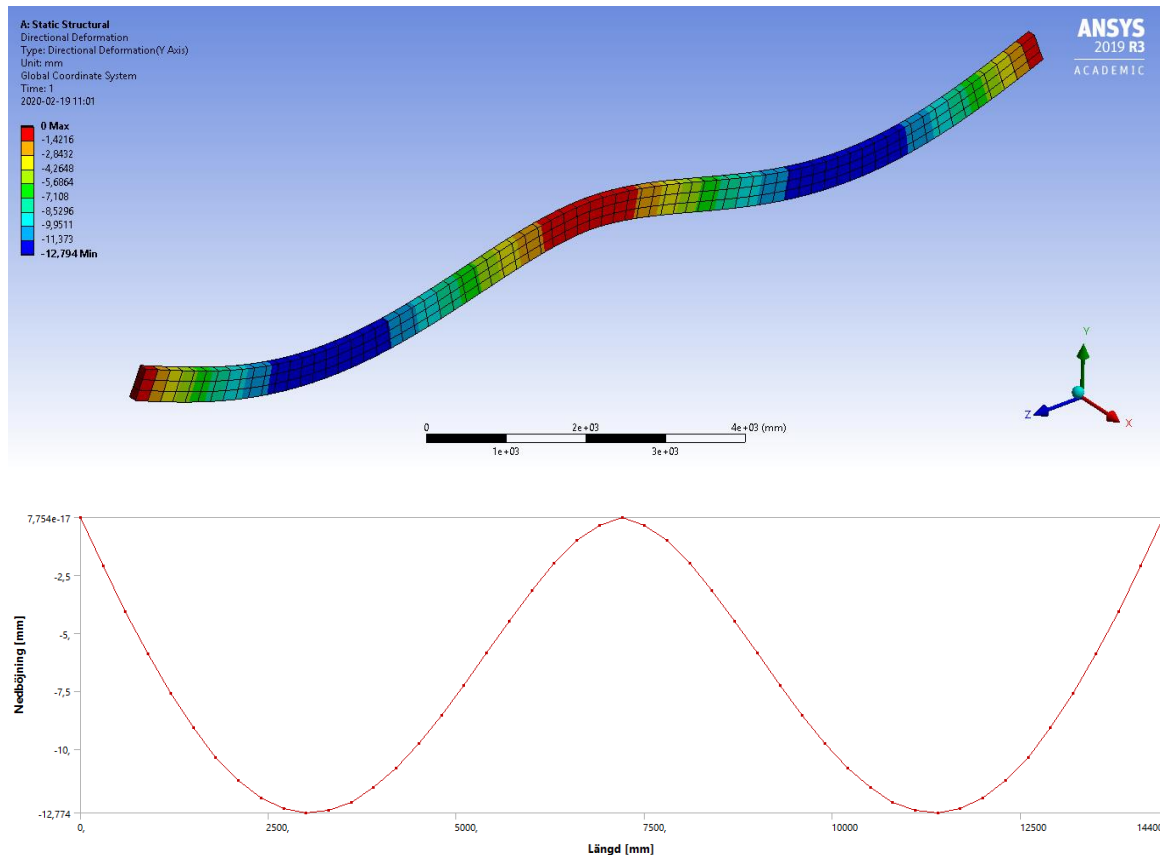
Följaktligen är det tvärsnittshöjden vid initial nedböjning som blir avgörande. Tvärsnittshöjden väljs till det ovan närliggande standardmåttet, se Kapitel 8.2.2. Följaktligen:

Resultat 48.  $h_{tb,vald}$ .

$$h_{tb,vald} = 260 \text{ mm}$$

## 8.5.2 Nockbalk GHI

Verklig maximal nedböjning finns vid 3300mm samt 11400mm.



Figur 36. Beräkning av nedböjning för Nockbalk med Ansys 2019 R.

Maximal nedböjning baseras dock på fältmitt (Deformationsberäkning av kontinuerlig 3-stödsbalk, 2020). Den omedelbara, elastiska, nedböjningen förnockbalken ges av Formel 18:

$$v_{nb,inst} = 0,521 \frac{g_{nb,k} L_{nb}^4}{100EI} + 0,521 \frac{s_{nb,k} L_{nb}^4}{100EI} = 12,792 \text{ mm}$$

Olikheten nedan uppfylls:

Resultat 49.  $v_{nb,inst}$ .

$$v_{nb,inst} = 12,792 \text{ mm} < \frac{l_{nb}}{300} = 24 \text{ mm}$$

Den slutliga nedböjningen ges återigen av Formel 27, Formel 28 och Formel 29 varpå reduktionsfaktorn och krypfaktorn fås av Tabell 12 respektive Tabell 15.

$$v_{tb, mitt, fin} = 0,521 \frac{g_{nb, k} L_{nb}^4}{100EI} (1 + k_{def, nb}) + 0,521 \frac{s_{nb, k} L_{nb}^4}{100EI} (1 + \psi_2 k_{def, nb})$$

$$v_{tb, mitt, fin} = 16,101 \text{ mm}$$

Olikheten nedan uppfylls:

Resultat 50.  $v_{nb, fin}$ .

$$v_{nb, fin} = 16,101 \text{ mm} < \frac{l_{nb}}{200} = 36 \text{ mm}$$

Således kan tvärsnittsmåtten behållas då båda nedböjningskraven uppfylls.

### 8.5.3 Sammanfattning

Sammanfattning av nedböjning och eventuellt nya tvärsnittshöjder redovisas nedan.

Komponent	Omedelbar nedböjning	Slutlig nedböjning	Sidreferens
Takbalk, MN	$v_{tb, inst} = 236,736 \text{ mm}$	$v_{tb, fin} = 223,3 \text{ mm}$	s. 72
Nockbalk, GHI	$v_{nb, inst} = 12,792 \text{ mm}$	$v_{nb, fin} = 16,101 \text{ mm}$	s. 75

## 9 Resultat

### 9.1 Inledning

I detta stycke presenteras delsvar enligt dokumentet Rättningsmall för konstruktionsuppgift, ÖVN1 (2020).

### 9.2 Lastnedräkning

#### 9.2.1 Takbalk MN

Resultat 51. Delsvar för takbalken, lastnedräkning.

Beskrivning	Storhet	Mätetal	Enhet	Referens
Takets egenvikt, per horisontell löpmeter.	$q_{tb}$	0,858	kN/m	Resultat 9 s. 43
Snölast, per horisontell löpmeter.	$S_{tb}$	2,11	kN/m	Resultat 10 s. 43
Dimensionerande last, per horisontell löpmeter.	$q_{tb,Ed}$	3,82	kN/m	Resultat 15 s. 48
Dimensionerande moment	$M_{tb,Ed}$	6,90	kNm	Resultat 21 s. 56
Dimensionerande tvärkraft	$V_{tb,Ed}$	6,73	kN	Resultat 20, s. 55
Takets egenvikt i bruksgränstillståndet, vinkelrät mot balken.	$q_{tb,ser}$	0,738	kN/m	Resultat 43 s. 72
Snölast i bruksgränstillståndet, vinkelrät mot balken.	$S_{tb,ser}$	1,82	kN/m	Resultat 44 s. 72

#### 9.2.2 Nockbalk GHI

Resultat 52. Delsvar förnockbalken, lastnedräkning.

Beskrivning	Storhet	Mätetal	Enhet	Referens
Takets egenvikt	$q_{nb}$	2,47	kN/m	Resultat 11 s. 44
Snölast	$S_{nb}$	6,08	kN/m	Resultat 12 s. 44
Dimensionerande last	$q_{nb,Ed}$	11,0	kN/m	Resultat 16 s. 48
Dimensionerande moment	$M_{nb,Ed}$	71,3	kNm	Resultat 25 s. 61
Dimensionerande tvärkraft	$V_{nb,Ed}$	49,5	kN	Resultat 24 s. 60
Stödreaktion vid H	$R_{nb,Ed}$	99	kN	Resultat 17 s. 49

### 9.2.3 Pelare BH

Resultat 53. Delsvar för pelaren, lastnedräkning.

Beskrivning	Storhet	Mätetal	Enhet	Referens
Takets egenvikt	$N_{g,k}$	2,47	kN/m	Resultat 13 s. 45
Snölast	$N_{g,k}$	6,08	kN/m	Resultat 14 s. 45
Dimensionerande last	$N_{p,k}$	99	kN	Resultat 17 s. 49

## 9.3 Dimensioneringskontroll

### 9.3.1 Takbalk MN

Resultat 54. Delsvar för takbalken, dimensioneringskontroll.

Beskrivning	Storhet	Mätetal	Enhet	Referens
Beräknad höjd	$h_{tb,ber}$	171	mm	Resultat 26 s. 64
Storlekseffekt	$k_h$	-	-	Löses implicit, se Appendix A
Vald höjd	$h_{tb,vald}$	200	Mm	Resultat 27 s. 64
Skjuvspänning	$\tau_{v,tb,d}$	1,12	MPa	Resultat 37 s. 68
Upplagslängd	$l_M$	21,4	mm	Resultat 39 s. 70
Beräknad höjd m.a.p. omedelbar nedböjning	$h_{tb,inst}$	237	mm	Resultat 46 s. 74
Beräknad höjd m.a.p. slutgiltig nedböjning	$h_{tb,fin}$	223	mm	Resultat 47 s. 74
Vald höjd	$h_{tb}$	260	mm	Resultat 48 s. 74

### 9.3.2 Nockbalk GHI

Resultat 55. Delsvar förnockbalken, dimensioneringskontroll.

Beskrivning	Storhet	Mätetal	Enhet	Referens
Vald bredd	$b_{nb}$	115	mm	Resultat 28 s. 65
Beräknad höjd	$h_{nb,ber}$	393	mm	Resultat 29 s. 66
Storlekseffekt	$k_h$	-	-	Löses implicit, se Appendix A
Vald höjd	$h_{nb,vald}$	405	mm	Resultat 30 s. 66
Skjuvspänning	$\tau_{v,nb,d}$	2,38	MPa	Resultat 38 s. 69

Upplagslängd	$l_H$	154	mm	Resultat 41 s. 71
Omedelbar nedböjning	$V_{inst}$	12,8	mm	Resultat 49 s. 75
Slutlig nedböjning	$V_{fin}$	16,1	mm	Resultat 50 s. 76

### 9.3.3 Pelare BH

Resultat 56. Delsvar för pelaren, dimensioneringskontroll.

Beskrivning	Storhet	Mätetal	Enhet	Referens
Knäckningslängd	$L_{p,cr}$	3630	mm	Resultat 31 s. 66
Relativ slankhet	$\lambda_{p,rel,z}$	1,78	[ - ]	Resultat 32 s. 67
Hjälpparameter	$k_{p,z}$	2,15	[ - ]	Resultat 33 s. 67
Reduktionsfaktor	$k_{p,c,z}$	0,297	[ - ]	Resultat 34 s. 67
Beräknad höjd	$h_{p,ber}$	146	mm	Resultat 35 s. 67
Vald höjd	$h_{p,vald}$	180	mm	Resultat 36 s. 68

## Litteraturförteckning

- Adobe, 2020a. *Adobe Creative Cloud*. [Online]  
Available at: <https://www.adobe.com/creativecloud.html>  
[Använd 2020-01-27].
- Adobe, 2020b. *Illustrator*. [Online]  
Available at: <https://www.adobe.com/products/illustrator.html>  
[Använd 2020-02-03].
- Ansell, A., Holmgren, J. & Norlin, B., 2015. *Grunder för konstruktion med betong, stål och trä*. 4 red. Stockholm: KTH.
- Autodesk, 2020a. *What is AutoCAD?*. [Online]  
Available at: <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>  
[Använd 2020-01-27].
- Autodesk, 2020b. *Revit*. [Online]  
Available at: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview>  
[Använd 2020-02-03].
- Boverket, 2011. *Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2011:10) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)*. [Online]  
Available at: <https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/eks---bfs-201110/>  
[Använd 2020-01-26].
- Deformationsberäkning av kontinuerlig 3-stödsbalk, 2020. *AF1005 Nockbalk - Nedböjning.pdf [Canvas]*. Stockholm: KTH.
- EK5, 2020. *Eurokod 5 (Elever) [Canvas]*. Stockholm: KTH.
- EKS9, 2020. *BFS-2013-10-EKS-9 ELEVER.pdf [CANVAS]*. Stockholm: KTH.
- Föreläsning 4 Lastkombinering, träfackverk och brottkriterier, 2020. *AF1005\_F\_Lastkomb Fackverk Brottkrit.pdf [Canvas]*. Stockholm: KTH.
- Heyden, S., Dahlblom, O., Olsson, A. & Sandberg, G., 2017. *Introduktion till strukturmekaniken*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Hållfasthetsklasser för limträ, konstruktionsvirke och LVL-KERTO, 2020. *Hållfasthetsklasser för limträ, konstruktionsvirke och LVL-KERTO [Canvas]*. Stockholm: KTH.
- Isaksson, T., Mårtensson, A. & Thelandersson, S., 2010. *Byggkonstruktion*. Andra upplagan red. Stockholm: Studentlitteratur.
- Johannesson, P. & Vretblad, B., 2011. *Byggformler och tabeller*. 11 red. Stockholm: Liber.
- Lösningförslag till SVT 3, lutande limträbalk, 2020. *AF1005 SVT 3 LÖSNING.pdf [Canvas]*. Stockholm: KTH.
- PTC, 2009. *PTC Mathcad - PTC [Arkiverad]*. [Online]  
Available at:  
<https://web.archive.org/web/20100102005144/http://ptc.com/products/mathcad/>  
[Använd 2020-01-26].
- PTC, 2020. *System of Equations Functions*. [Online]  
Available at:  
[http://support.ptc.com/help/mathcad/en/index.html#page/PTC\\_Mathcad\\_Help%2Fsyst](http://support.ptc.com/help/mathcad/en/index.html#page/PTC_Mathcad_Help%2Fsyst)



[em of equations functions.html%23wwID0ED6R4](#)

[Använd 2020-02-05].

Rättningsmall för konstruktionsuppgift, ÖVN1, 2020. *AF1005 Konstruktionsuppgift Trästomme 2020 - Rättningsmall.pdf* [Canvas]. Stockholm: KTH.

SS-EN 1990, 2002. *Eurokod - Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk*. Stockholm: SIS Swedish Institute for Standards.

SS-EN 1991-1-3, 2003. *Eurokod 1 - Laster på bärverk. Del 1-3: Allmänna laster - Snölaster*. Stockholm: SIS Swedish Institute for Standards.

SS-EN 1995-1-1, 2004. *Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner - Del 1-1: Allmänt - Gemensamma regler och regler för byggnader*. Stockholm: SIS Swedish Institute for Standards.

Svenska institutet för standarder, 2020. *Tolkningsforum för eurokoder*. [Online]  
Available at: <https://www.sis.se/konstruktionochtillverkning/eurokoder/frgorsvar/>  
[Använd 2020-01-26].

Svenskt Trä, 2016a. *Dimensionering av träkonstruktioner Del 1 utgåva 2:2016*. [Online]  
Available at:  
[https://www.svenskttra.se/publikationer\\_start/publikationer/dimensionering-av-trakonstruktioner/](https://www.svenskttra.se/publikationer_start/publikationer/dimensionering-av-trakonstruktioner/)  
[Använd 2020-01-26].

Svenskt Trä, 2016b. *Dimensionering av träkonstruktioner Del 2 utgåva 2:2016*. [Online]  
Available at:  
[https://www.svenskttra.se/publikationer\\_start/publikationer/dimensionering-av-trakonstruktioner/](https://www.svenskttra.se/publikationer_start/publikationer/dimensionering-av-trakonstruktioner/)  
[Använd 2020-02-04].

Wisén, A., 2020a. <https://kth.andrewisen.se/AF1005/>. [Online]  
Available at: <https://kth.andrewisen.se/AF1005/>  
[Använd 2020-02-20].

Wisén, A., 2020b. *AF1005-Konstruktionsuppgift*. [Online]  
Available at: <https://github.com/andrewisen/AF1005-Konstruktionsuppgift>  
[Använd 2020-02-20].

ÖVN1, 2020. *Dimensionering av trästomme till ett småhus* [ Canvas ]. Stockholm: KTH.

ÖVN2, 2017. *Dimensionering av trästomme till ett småhus* [ Canvas ]. Stockholm: KTH.

## A. Appendix A

### A.1 Inledning

*I detta styckes bifogas beräkningarna från Mathcad (PTC, 2009).*

### A.2 Nerladdning av beräkningsfil

Beräkningsfilen finns att ladda ner här:

<https://kth.andrewisen.se/AF1005/>

Den går även att visas i webbläsaren

<https://kth.andrewisen.se/AF1005/mathcad>

Beräkningsfilen finns även på GitHub.

<https://github.com/andrewisen/AF1005-Konstruktionsuppgift>

Notera att Mathcad 15.0 används (och inte Mathcad Prime).

### A.3 Beräkningsfilen

Nedan följer beräkningsfilen från Mathcad. Notera att den presenteras som en utskrivbar version. Således går det inte att interagera med filen.

*Var god vänd blad.*

## **GRUPP**

Gruppnummer enligt ÖVN1 (2020).

**Grupp := 7**

## **INDATA, GRUPP**

Funktionerna nedan hämtar data från Tabell 1 i ÖVN1 (2020).

### **Nockbalkensspännvidd:**

Get <sub>L.nb</sub> (Grupp) :=	6.2m if Grupp = 0
	7.2m if Grupp = 1
	8.4m if Grupp = 2
	6.0m if Grupp = 3
	7.2m if Grupp = 4
	8.4m if Grupp = 5
	6.0m if Grupp = 6
	7.2m if Grupp = 7
	8.4m if Grupp = 8
	6.0m if Grupp = 9
	"null" otherwise

### **Husets halva bredd:**

Get <sub>a</sub> (Grupp) :=	4.2m if Grupp = 0
	4.0m if Grupp = 1
	3.8m if Grupp = 2
	4.0m if Grupp = 3
	4.2m if Grupp = 4
	4.0m if Grupp = 5
	4.2m if Grupp = 6
	3.8m if Grupp = 7
	4.2m if Grupp = 8
	3.8m if Grupp = 9
	"null" otherwise

### **Taklutning:**

Get <sub>β</sub> (Grupp) :=	14deg if Grupp = 0
	22deg if Grupp = 1
	28deg if Grupp = 2
	14deg if Grupp = 3
	22deg if Grupp = 4
	27deg if Grupp = 5
	14deg if Grupp = 6
	22deg if Grupp = 7
	27deg if Grupp = 8
	22deg if Grupp = 9
	"null" otherwise

### **Vägghöjd vid takfot:**

Get <sub>H.vägg</sub> (Grupp) :=	2.9m if Grupp = 0
	2.7m if Grupp = 1
	2.5m if Grupp = 2
	2.7m if Grupp = 3
	2.5m if Grupp = 4
	2.9m if Grupp = 5
	2.7m if Grupp = 6
	2.5m if Grupp = 7
	2.7m if Grupp = 8
	2.9m if Grupp = 9
	"null" otherwise

**Fackverkets halva längd:**

Get <sub>L,f</sub> (Grupp) :=	2.4m if Grupp = 0
	3.0m if Grupp = 1
	3.6m if Grupp = 2
	3.0m if Grupp = 3
	3.6m if Grupp = 4
	3.0m if Grupp = 5
	3.0m if Grupp = 6
	3.6m if Grupp = 7
	2.4m if Grupp = 8
	3.0m if Grupp = 9
	"null" otherwise

**Fackverkets höjd, mellan centrumlinjerna:**

Get <sub>H,f</sub> (Grupp) :=	1.4m if Grupp = 0
	1.8m if Grupp = 1
	2.2m if Grupp = 2
	1.4m if Grupp = 3
	1.8m if Grupp = 4
	2.2m if Grupp = 5
	1.4m if Grupp = 6
	1.8m if Grupp = 7
	2.2m if Grupp = 8
	1.4m if Grupp = 9
	"null" otherwise

**Takets egenvikt (horisontell takyta):**

Get <sub>g,t,k</sub> (Grupp) :=	$0.85 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ if Grupp = 0
	$0.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ if Grupp = 1
	$0.65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ if Grupp = 2
	$0.65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ if Grupp = 3
	$0.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ if Grupp = 4
	$0.85 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ if Grupp = 5
	$0.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ if Grupp = 6
	$0.65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ if Grupp = 7
	$0.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ if Grupp = 8
	$0.85 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ if Grupp = 9
	"null" otherwise

**Golvets egenvikt:**

Get <sub>g,b,k</sub> (Grupp) :=	$0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ if Grupp = 0
	$0.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ if Grupp = 1
	$0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ if Grupp = 2
	$0.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ if Grupp = 3
	$0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ if Grupp = 4
	$0.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ if Grupp = 5
	$0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ if Grupp = 6
	$0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ if Grupp = 7
	$0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ if Grupp = 8
	$0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ if Grupp = 9
	"null" otherwise

**Kommun (för snölast):**

```
GetKommun(Grupp) := "Orsa" if Grupp = 0  
                    "Luleå" if Grupp = 1  
                    "Fagersta" if Grupp = 2  
                    "Härnösand" if Grupp = 3  
                    "Laxå" if Grupp = 4  
                    "Nykvarn" if Grupp = 5  
                    "Vindeln" if Grupp = 6  
                    "Enköping" if Grupp = 7  
                    "Eslöv" if Grupp = 8  
                    "Hällefors" if Grupp = 9  
                    "null" otherwise
```

*Var god vänd sida.*

## **INDATA**

### **Indata, fast**

Fast indata hämtad från ÖVN1 (2020, s.2).

$$b_{tb} := 45\text{mm}$$

$$c_{tb} := 1200\text{mm}$$

### **Indata, variabel**

Variabel indata hämtad Tabell 1 i ÖVN1 (2020).

Notera att datan hämtas från funktionsanrop.

Funktionerna är definierade ovan.

$$L_{nb} := \text{Get}_{L,nb}(\text{Grupp}) = 7.2 \text{ m}$$

$$a := \text{Get}_a(\text{Grupp}) = 3.8 \text{ m}$$

$$\beta := \text{Get}_\beta(\text{Grupp}) = 22 \cdot \text{deg}$$

$$H_{vagg} := \text{Get}_{H,vagg}(\text{Grupp}) = 2.5 \text{ m}$$

$$L_f := \text{Get}_{L,f}(\text{Grupp}) = 3.6 \text{ m}$$

$$H_f := \text{Get}_{H,f}(\text{Grupp}) = 1.8 \text{ m}$$

$$g_{t,k} := \text{Get}_{g,t,k}(\text{Grupp}) = 0.65 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g_{b,k} := \text{Get}_{g,b,k}(\text{Grupp}) = 0.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Kommun} := \text{Get}_{\text{Kommun}}(\text{Grupp}) = \text{"Enköping"}$$

*Var god vänd sida.*

### **Indata, partialkoefficient**

Enligt EKS9 (2020) ger  
Säkerhetsklass 2:

$$\gamma_d := 0.91$$

Enligt Tabell 2.3 i EK5 (2020):

$$\gamma_{M,lv1} := 1.2$$

$$\gamma_{M,gl} := 1.25$$

### **Indata,Omräkningsfaktor**

$$k_{mod,lv1,P} := 0.6$$

$$k_{mod,lv1,M} := 0.8$$

$$k_{mod,gl,P} := 0.6$$

$$k_{mod,gl,M} := 0.8$$

*Var god vänd sida.*

### Indata, lastreduktion

Psi-faktorn för snölaster fås enligt Tabell A1.1 i EKS9 (2020).

$$\psi_{0,\text{snö}} := 0.7$$

### Indata, Snölast

Snölaster för olika kommuner är hämtad från EKS9 Tabell C-9.

$$\text{Get}_{\text{Snölast}}(\text{Kommun}) := \begin{array}{ll} 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} & \text{if Kommun} = \text{"Orsa"} \\ 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} & \text{if Kommun} = \text{"Luleå"} \\ 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} & \text{if Kommun} = \text{"Fagersta"} \\ 3.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} & \text{if Kommun} = \text{"Härnösand"} \\ 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} & \text{if Kommun} = \text{"Laxå"} \\ 2.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} & \text{if Kommun} = \text{"Nykvarn"} \\ 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} & \text{if Kommun} = \text{"Vindeln"} \\ 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} & \text{if Kommun} = \text{"Enköping"} \\ 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} & \text{if (Kommun} = \text{"Eslöv")} \\ 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} & \text{if Kommun} = \text{"Hällefors"} \\ \text{"null"} & \text{otherwise} \end{array}$$

$$s_k := \text{Get}_{\text{Snölast}}(\text{Kommun}) = 2.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



## **INDATA, HÅLLFASTHETSDATA**

### **Fanerträ (LVL) - KERTO-S**

Hämtad från Tabell 3.6 (Svenskt Trä, 2016b).

$$f_{m,0,edge,lvl,k} := 44\text{MPa}$$

$$f_s := 0.12$$

$$f_{c,0,edge,lvl,k} := 35\text{MPa}$$

$$f_{c,90,edge,lvl,k} := 6\text{MPa}$$

$$f_{v,0,edge,lvl,k} := 4.1\text{MPa}$$

$$E_{0,mean,lvl,k} := 13800\text{MPa}$$

### **Limträ**

Hämtad från Tabell 3.6 (Svenskt Trä, 2016b).

$$f_{m,0,gl,k} := 36\text{MPa}$$

$$f_{t,0,gl,k} := 26\text{MPa}$$

$$f_{c,0,gl,k} := 31\text{MPa}$$

$$f_{c,90,gl,k} := 3.6\text{MPa}$$

$$f_{v,0,gl,k} := 4.3\text{MPa}$$

$$E_{0,mean,gl,k} := 14700\text{MPa}$$

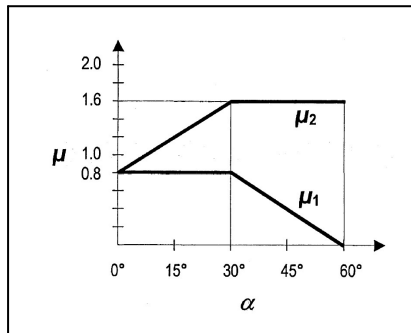
$$E_{0,gl,mean,k} := 14700\text{MPa}$$

$$E_{0,gl,05,k} := 11900\text{MPa}$$

## **KARAKTERISTISKA LASTER**

### **Karakteristiskt last, Snölast**

Snölast(er) kombineras enligt EN 1991-1-3 (13), (5.1).



Notera att takvinkeln aldrig överskrider 30 grader, där  $\alpha$  blir  $\mu=0.8$ .

$$\mu_1 := 0.8 \quad \text{Formfaktor}$$

$$C_e := 1 \quad \text{Exponeringskoefficient}$$

$$C_t := 1 \quad \text{Temperaturkoefficient}$$

$$s_w := \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1.6 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

### **Karakteristiskt last, Takbalk NM,**

Enligt ÖVN1 (2020) ska "den belastande ytan vara 10 % större än vad som svar mot  $c$ -avståndet mellan takbalkarna".

$$c_{tb,mod} := c_{tb} \cdot 1.1 = 1.32 \text{ m}$$

De karakteristiska linjelasterna blir således:

$$g_{tb,k} := g_{t,k} \cdot c_{tb,mod} = 0.858 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_{tb,k} := s \cdot c_{tb,mod} = 2.112 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Vi skiljer dessa åt för att underlätta kommande beräkningar.

### Karakteristiskt last, Nockbalk GHI

Den belastade bredden blir för nockbalken blir:

$$2 \cdot \frac{a}{2} = a$$

De karakteristiska linjelasterna blir således:

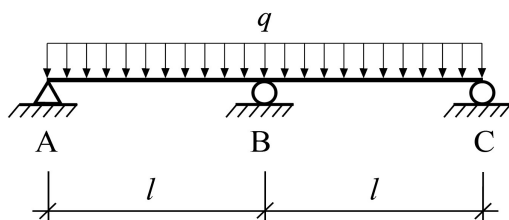
$$g_{nb,k} := g_{t,k} \cdot a = 2.47 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_{nb,k} := s \cdot a = 6.08 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### Karakteristiskt last, Pelare BH

Tabellfall Nr. 1 (Johannesson & Vretblad, 2011) ger:

$$R_{S,B} := 1.250 q l$$



Således:

$$R_H := 1.250 (q_{nb,k} \cdot L_{nb})$$

De karakteristiska normalkrafter blir således:

$$N_{g,k} := 1.250 (g_{nb,k} \cdot L_{nb}) = 22.23 \cdot \text{kN}$$

$$N_{s,k} := 1.250 (s_{nb,k} \cdot L_{nb}) = 54.72 \cdot \text{kN}$$

## **LASTKOMBINERING**

Data hämtad från Tabell A2.4(B) (SS-EN 1990, 2002, s. 64)

$$\gamma_G := 1.35$$

$$\gamma_P := 1.35$$

$$\gamma_Q := 1.5 \quad \gamma_d = 0.91$$

$$\xi := 0.89$$

Notera att:

$$P := 0$$

### **Lastkombinering, Takbalk MN**

$$q_{tb,Ed,1} := \gamma_d \cdot \gamma_G \cdot g_{tb,k} + \gamma_d \cdot \gamma_P \cdot P + \gamma_d \cdot \gamma_Q \cdot \psi_{0,snö} \cdot s_{tb,k} = 3.072 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{tb,Ed,2} := \gamma_d \cdot \xi \cdot \gamma_G \cdot g_{tb,k} + \gamma_d \cdot \gamma_P \cdot P + \gamma_d \cdot \gamma_Q \cdot s_{tb,k} = 3.821 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{tb,Ed} := \max(q_{tb,Ed,1}, q_{tb,Ed,2}) = 3.821 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### **Lastkombinering, Nockbalk BHI**

$$q_{nb,Ed,1} := \gamma_d \cdot \gamma_G \cdot g_{nb,k} + \gamma_d \cdot \gamma_P \cdot P + \gamma_d \cdot \gamma_Q \cdot \psi_{0,snö} \cdot s_{nb,k} = 8.844 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{nb,Ed,2} := \gamma_d \cdot \xi \cdot \gamma_G \cdot g_{nb,k} + \gamma_d \cdot \gamma_P \cdot P + \gamma_d \cdot \gamma_Q \cdot s_{nb,k} = 11 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{nb,Ed} := \max(q_{nb,Ed,1}, q_{nb,Ed,2}) = 11 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### **Pelare BH, Lastkombinering**

$$N_{p,Ed,1} := \gamma_d \cdot \gamma_G \cdot N_{g,k} + \gamma_d \cdot \gamma_P \cdot P + \gamma_d \cdot \gamma_Q \cdot \psi_{0,snö} \cdot N_{s,k} = 79.595 \cdot \text{kN}$$

$$N_{p,Ed,2} := \gamma_d \cdot \xi \cdot \gamma_G \cdot N_{g,k} + \gamma_d \cdot \gamma_P \cdot P + \gamma_d \cdot \gamma_Q \cdot N_{s,k} = 98.998 \cdot \text{kN}$$

$$N_{p,Ed} := \max(N_{p,Ed,1}, N_{p,Ed,2}) = 98.998 \cdot \text{kN}$$

Avrundning enligt Facit ger:

$$N_{p,Ed,round} := \text{round}\left(\frac{N_{p,Ed}}{\text{SIUnitsOf}(N_{p,Ed})}, -1\right) \cdot \text{SIUnitsOf}(N_{p,Ed}) = 99 \cdot \text{kN}$$

*Var god vänd sida.*

## LASTEFFEKTER

### Takbalk MN, Lasteffekt

Omvandling av den verkande lasten ger:

$$q_{tb,Ed,y} := q_{tb,Ed} \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\beta) = 3.285 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{tb,Ed,x} := q_{tb,Ed} \cdot \cos(\beta) \cdot \sin(\beta) = 1.327 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### Stödreaktioner

Stödreaktioner fås enligt tabellfall:

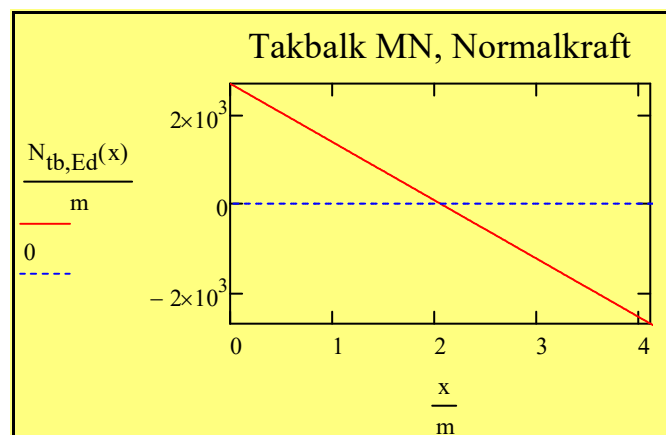
$$R_{tb,M} := \frac{(q_{tb,Ed} \cdot \cos(\beta)) \cdot \left(\frac{a}{\cos(\beta)}\right)}{2} = 7.26 \cdot \text{kN}$$

$$R_{tb,N} := \frac{(q_{tb,Ed} \cdot \cos(\beta)) \cdot \left(\frac{a}{\cos(\beta)}\right)}{2} = 7.26 \cdot \text{kN}$$

### Normalkraft

$$N_{tb,Ed(x)} := q_{tb,Ed,x} \cdot \left[ \frac{\left(\frac{a}{\cos(\beta)}\right)}{2} - x \right]$$

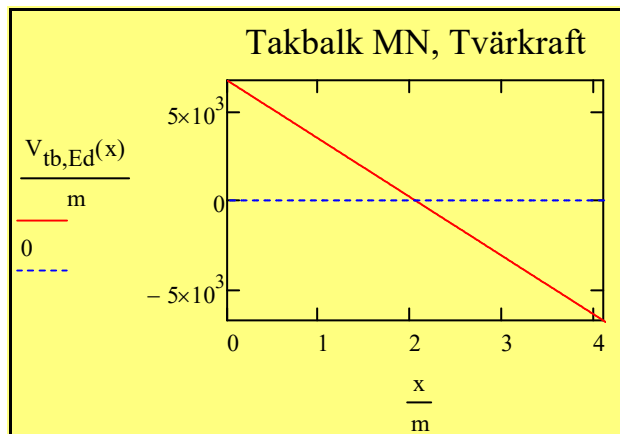
$$N_{tb,Ed,max} := q_{tb,Ed,x} \cdot \frac{\left(\frac{a}{\cos(\beta)}\right)}{2} = 2.72 \cdot \text{kN}$$



### Tvärkraft

$$V_{tb,Ed}(x) := q_{tb,Ed,y} \left[ \frac{\left( \frac{a}{\cos(\beta)} \right)}{2} - x \right]$$

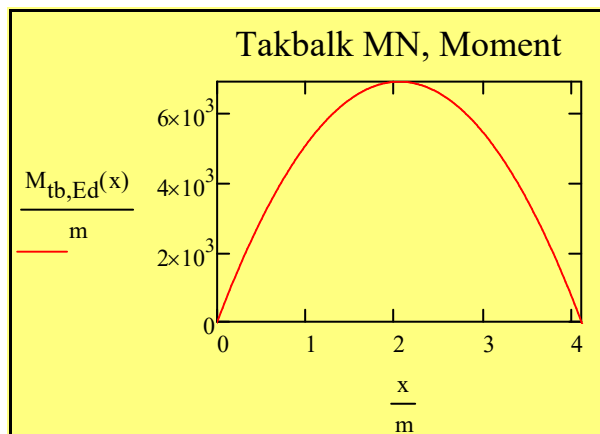
$$V_{tb,Ed,max} := q_{tb,Ed,y} \frac{\left( \frac{a}{\cos(\beta)} \right)}{2} = 6.731 \cdot \text{kN}$$



### Böjmoment

$$M_{tb,Ed}(x) := \frac{q_{tb,Ed,y} \left[ \left( \frac{a}{\cos(\beta)} \right) x - x^2 \right]}{2}$$

$$M_{tb,Ed,max} := \frac{q_{tb,Ed,y} \left[ \left( \frac{a}{\cos(\beta)} \right)^2 \right]}{8} = 6.897 \cdot \text{kN m}$$



## Nockbalk GHI, Lasteffekt

### Stödreaktioner

Stödreaktioner fås enligt tabellfall:

$$R_{nb,G} := 0.375 \cdot q_{nb,Ed} \cdot L_{nb} = 29.699 \cdot \text{kN}$$

$$R_{nb,I} := 0.375 \cdot q_{nb,Ed} \cdot L_{nb} = 29.699 \cdot \text{kN}$$

$$R_{nb,H} := 1.250 \cdot q_{nb,Ed} \cdot L_{nb} = 98.998 \cdot \text{kN}$$

### Tvärkraft

Tvärkraft fås av superposition.

$$V_{nb,Ed,0-1}(x) := q_{nb,Ed} \cdot \left( \frac{2 \cdot L_{nb}}{2} - x \right) + \frac{-N_{p,Ed}}{2}$$

$$V_{nb,Ed,1-2}(x) := q_{nb,Ed} \cdot \left( \frac{2 \cdot L_{nb}}{2} - x \right) + \frac{N_{p,Ed}}{2}$$

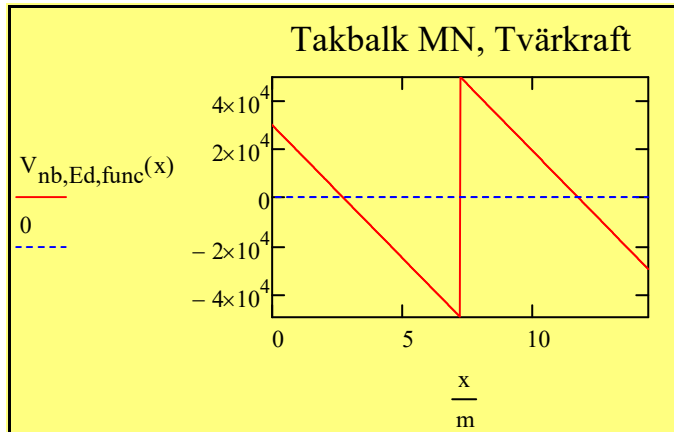
$V_{nb,Ed,func}(x) :=$	$V_{nb,Ed,0-1}(x) \quad \text{if } x < L_{nb}$ $V_{nb,Ed,1-2}(x) \quad \text{if } x > L_{nb}$
------------------------	--

$$V_{nb,Ed,max} := \max(V_{nb,Ed,0-1}(0), V_{nb,Ed,0-1}(L_{nb}), V_{nb,Ed,1-2}(L_{nb}), V_{nb,Ed,1-2}(2 \cdot L_{nb})) = 49.499 \cdot \text{k}$$

$$V_{nb,Ed,min} := \min(V_{nb,Ed,0-1}(0), V_{nb,Ed,0-1}(L_{nb}), V_{nb,Ed,1-2}(L_{nb}), V_{nb,Ed,1-2}(2 \cdot L_{nb})) = -49.499 \cdot \text{k}$$

*Var god vänd sida.*





### **Böjmoment**

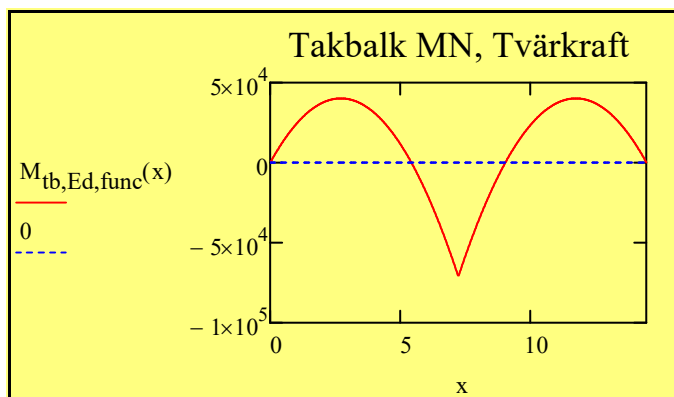
Böjmoment fås av superposition.

$$M_{tb,Ed,0-1}(x) := \frac{q_{nb,Ed} \cdot \left[ (2 \cdot L_{nb})x - x^2 \right]}{2} + \left( \frac{-N_{p,Ed} \cdot x}{2} \right)$$

$$M_{tb,Ed,1-2}(x) := \frac{q_{nb,Ed} \cdot \left[ (2 \cdot L_{nb})x - x^2 \right]}{2} + \left[ \frac{-N_{p,Ed}(2 \cdot L_{nb} - x)}{2} \right]$$

$$M_{nb,Ed,max} := 0.1250 q_{nb,Ed} \cdot (L_{nb})^2 = 71.279 \cdot \text{kN m}$$

$$M_{tb,Ed,func}(x) := \begin{cases} M_{tb,Ed,0-1}(x) & \text{if } x < L_{nb} \\ M_{tb,Ed,1-2}(x) & \text{if } x > L_{nb} \end{cases}$$



## DIMENSIONERANDE HÅLLFASTHETSVÄRDEN

### LVL

$$f_{m,lvl,d} := \frac{k_{mod,lvl,M} \cdot f_{m,0,edge,lvl,k}}{\gamma_{M,lvl}} = 29.333 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{c,90,lvl,d} := \frac{k_{mod,lvl,M} \cdot f_{c,90,edge,lvl,k}}{\gamma_{M,lvl}} = 4 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{v,lvl,d} := \frac{k_{mod,lvl,M} \cdot f_{v,0,edge,lvl,k}}{\gamma_{M,lvl}} = 2.733 \cdot \text{MPa}$$

### Limträ

$$f_{m,gl,d} := \frac{k_{mod,gl,M} \cdot f_{m,0,gl,k}}{\gamma_{M,gl}} = 23.04 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{t,0,gl,d} := \frac{k_{mod,gl,M} \cdot f_{t,0,gl,k}}{\gamma_{M,gl}} = 16.64 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{c,0,gl,d} := \frac{k_{mod,gl,M} \cdot f_{c,0,gl,k}}{\gamma_{M,gl}} = 19.84 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{c,90,gl,d} := \frac{k_{mod,gl,M} \cdot f_{c,90,gl,k}}{\gamma_{M,gl}} = 2.304 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{v,gl,d} := \frac{k_{mod,gl,M} \cdot f_{v,0,gl,k}}{\gamma_{M,gl}} = 2.752 \cdot \text{MPa}$$

## DIMENSIONERING AV STOMMENS DELKOMPONENTER

### Tvärsnittshöjder

#### Erforderlig tvärsnittshöjd på Takbalken MN

Notera att följande del har löst symboliskt i MathCAD.  
Områden i turkos tillhör denna symboliska lösning.  
Eftersom detta inte är en kurs i MathCAD så följer ingen ytterligare förklaring kring detta.

Given

$$h_{tb} := b_{tb}$$

$$b_{tb} = 0.045 \text{ m}$$

$$\sigma_m(h) := \frac{M_z}{I_z} \cdot \left(\frac{h}{2}\right) = \frac{M_z}{\frac{(b \cdot h^3)}{12}} \cdot \left(\frac{h}{2}\right)$$

$$\sigma_{m,lvl,d}(h_{tb}) := \frac{M_{tb,Ed,max}}{\frac{(b_{tb} \cdot h_{tb}^3)}{12}} \cdot \left(\frac{h_{tb}}{2}\right)$$

Enligt Formel 3.3 i EK5 (2020) väljs  $k_k$  till:

$$k_{h,lvl} := 1.2$$

$$\sigma_{m,lvl,d}(h_{tb}) \leq f_{m,lvl,d} \cdot \left(\frac{300\text{mm}}{h_{tb}}\right)^{0.12}$$

$$h_{tb,ber} := \text{Find}(h_{tb}) = 0.171 \text{ m}$$

Nedan följer ett sätt att *automatiskt* välja tvärsnittshöjd.  
 Detta är s.k. överkurs - därav ingen förklaring.

$$\text{LVL}_{\text{storlekar}} := \begin{pmatrix} 200 \\ 225 \\ 260 \\ 300 \\ 360 \\ 400 \\ 450 \\ 500 \\ 600 \end{pmatrix} \text{ mm}$$

$$\text{idx} := \text{match} \left[ \min \left[ \frac{(\text{LVL}_{\text{storlekar}} - h_{\text{tb,ber}})^2}{h_{\text{tb,ber}}^2} \right], \frac{(\text{LVL}_{\text{storlekar}} - h_{\text{tb,ber}})^2}{h_{\text{tb,ber}}^2} \right] = (0)$$

$$\text{LVL}_{\text{storlekar}_{\text{idx}_0}} = 200 \cdot \text{mm}$$

$$\text{LVL}_{\text{storlekar}_{(1+\text{idx})_0}} = 0.225 \text{ m}$$

$h_{\text{tb, vald}} :=$	$\begin{aligned} &\text{LVL}_{\text{storlekar}_{(1+\text{idx})_0}} \text{ if } \text{LVL}_{\text{storlekar}_{\text{idx}_0}} < h_{\text{tb,ber}} = 200 \cdot \text{mm} \\ &\text{LVL}_{\text{storlekar}_{\text{idx}_0}} \text{ otherwise} \end{aligned}$
--------------------------	---

### Erforderlig tvärsnittshöjd på Nockbalken GHI

Given

$$h_{\text{nb}}(b_{\text{nb}}) := 4 \cdot b_{\text{nb}}$$

$$b_{\text{nb}} := 42 \text{ mm}$$

$$\frac{M_{\text{nb,Ed,max}}}{\left( b_{\text{nb}} \cdot h_{\text{nb}}(b_{\text{nb}})^3 \right)^{1/2}} \cdot \left( \frac{h_{\text{nb}}(b_{\text{nb}})}{2} \right) \leq f_{\text{m,gl,d}} \cdot \left( \frac{600 \text{ mm}}{h_{\text{nb}}(b_{\text{nb}})} \right)^{0.1}$$

$$b_{\text{nb,ber}} := \text{Find}(b_{\text{nb}}) = 103.794 \cdot \text{mm}$$

$$GL_{\text{bredder}} := \begin{pmatrix} 42 \\ 56 \\ 66 \\ 78 \\ 90 \\ 115 \\ 140 \\ 165 \\ 190 \\ 215 \end{pmatrix} \text{ mm}$$

$$idx := \text{match} \left[ \min \left[ \frac{(GL_{\text{bredder}} - b_{\text{nb,ber}})^2}{b_{\text{nb,ber}}^2}, \frac{(GL_{\text{bredder}} - b_{\text{nb,ber}})^2}{b_{\text{nb,ber}}^2} \right] \right] = (5)$$

$$b_{\text{nb,valid}} := \begin{cases} GL_{\text{bredder}(1+idx)_0} & \text{if } GL_{\text{bredder}_{idx_0}} < b_{\text{nb,ber}} = 115 \cdot \text{mm} \\ GL_{\text{bredder}_{idx_0}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Given

$$h_{\text{nb}} := 42 \text{ mm}$$

$$\frac{M_{\text{nb,Ed,max}}}{\frac{(b_{\text{nb,valid}} \cdot h_{\text{nb}}^3)}{12}} \cdot \left( \frac{h_{\text{nb}}}{2} \right) \leq f_{\text{m,gl,d}} \cdot \left( \frac{600 \text{ mm}}{h_{\text{nb}}} \right)^{0.1}$$

$$h_{\text{nb,ber}} := \text{Find}(h_{\text{nb}}) = 393.367 \cdot \text{mm}$$

$$h_{\text{nb,valid}} := \begin{cases} \text{round} \left( \frac{h_{\text{nb,ber}}}{45 \text{ mm}} \right) \cdot 45 \text{ mm} + 45 \text{ mm} & \text{if } \text{round} \left( \frac{h_{\text{nb,ber}}}{45 \text{ mm}} \right) \cdot 45 \text{ mm} < h_{\text{nb,ber}} = 405 \cdot \text{mm} \\ \text{round} \left( \frac{h_{\text{nb,ber}}}{45 \text{ mm}} \right) \cdot 45 \text{ mm} & \text{otherwise} \end{cases}$$

### Erforderlig tvärsnittshöjd på Pelaren BH

$$L_{p,cr} := H_{vägg} + a \cdot \tan(\beta) - h_{nb,vald} = 3630.3 \cdot \text{mm}$$

$$b_p := b_{nb,vald} = 0.115 \text{ m}$$

$$\beta_c := 0.1$$

$$\lambda_z := L_{p,cr} \cdot \frac{\sqrt{12}}{b_p} = 109.354$$

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,gl,k}}{E_{0,gl,05,k}}} = 1.777$$

$$k := 0.5 \left[ 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2 \right] = 2.152$$

$$k_c := \frac{1}{\left( k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,z}^2} \right)} = 0.297$$

$$h_{p,ber} := \frac{N_{p,Ed}}{(k_c \cdot f_{c,0,gl,d}) \cdot b_p} = 146.068 \cdot \text{mm}$$

$$h_{p,vald} := \begin{cases} \text{round}\left(\frac{h_{p,ber}}{45\text{mm}}\right) \cdot 45\text{mm} + 45\text{mm} & \text{if } \text{round}\left(\frac{h_{p,ber}}{45\text{mm}}\right) \cdot 45\text{mm} < h_{p,ber} \\ \text{round}\left(\frac{h_{p,ber}}{45\text{mm}}\right) \cdot 45\text{mm} & \text{otherwise} \end{cases} = 180 \cdot \text{mm}$$

### **Brottkriterium med avseende på skjuvspänning**

Tvärsnitten har beräknats med avseende på momentbärförmågan.  
Det som kvarstår är att kontrollera skjuvspänningarna för valda tvärsnitt.

Enligt EK5:

$$k_{cr,lvl} := 1$$

$$k_{cr,gl} := 0.67$$

#### **Takbalken MN, Tvärkraft**

$$b_{tb,ef} := k_{cr,lvl} \cdot b_{tb} = 0.045 \text{ m}$$

$$1.5 \frac{V_{tb,Ed,max}}{b_{tb} \cdot h_{tb,vald}} \leq f_{v,lvl,d} = 1$$

#### **Nockbalken GHI, Tvärkraft**

$$b_{nb,ef} := k_{cr,gl} \cdot b_{nb,vald} = 0.077 \text{ m}$$

$$1.5 \frac{V_{nb,Ed,max}}{b_{nb,ef} \cdot h_{nb,vald}} \leq f_{v,gl,d} = 1$$

*Var god vänd sida.*

## Upplagslängd

### Erforderlig upplagslängd motnockbalken

$$R_{A,\beta} := \cos(\beta) \cdot q_{tb,Ed} \cdot \frac{a}{2} = 6.731 \cdot \text{kN}$$

$$l_M := \frac{R_{A,\beta}}{(f_{c,90,lvl,d}) \cdot b_{tb}} = 37.396 \cdot \text{mm}$$

$$k_{c,90,tb} := \begin{cases} 1.75 & \text{if } a \cdot \cos(\beta) \geq 2 \cdot h_{tb, vald} \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} = 1.75$$

$$l_{M, verk} := \frac{R_{A,\beta}}{(k_{c,90,tb} \cdot f_{c,90,lvl,d}) \cdot b_{tb}} = 21.369 \cdot \text{mm}$$

$$2 \cdot l_M \cdot \cos(\beta) \leq b_{nb, vald} = 1$$

### Erforderlig upplagslängd mot pelare

$$k_{c,90,nb} := 1.75$$

$$l_H := \frac{R_{nb,H}}{(k_{c,90,nb} \cdot f_{c,90,gl,d}) \cdot b_{nb, vald}} = 213.506 \cdot \text{mm}$$

$$l_{H, verk \text{ lig}} := l_H - 2 \cdot 30 \text{ mm} = 0.154 \text{ m}$$



## NEDBÖJNING

Takbalk MN, Omedelbar

nedböjning

$$g_{tb,ser} := g_{tb,k} \cdot \cos(\beta)^2 = 0.738 \frac{1}{m} \cdot kN$$

$$s_{tb,ser} := s_{tb,k} \cdot \cos(\beta)^2 = 1.816 \frac{1}{m} \cdot kN$$

$$I_{lv} := \frac{(b_{tb} \cdot h_{tb, vald}^3)}{12} = 3 \times 10^{-5} m^4$$

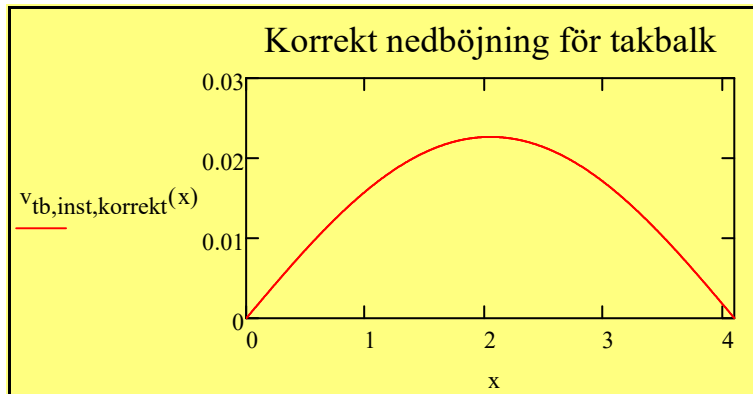
$$v_{tb,inst} := \frac{5 \cdot g_{tb,ser} \cdot \left(\frac{a}{\cos(\beta)}\right)^4}{384 \cdot E_{0,mean,lv,k} \cdot I_{lv}} + \frac{5 \cdot s_{tb,ser} \cdot \left(\frac{a}{\cos(\beta)}\right)^4}{384 \cdot E_{0,mean,lv,k} \cdot I_{lv}} = 22.657 \cdot mm$$

$$v_{tb,inst} \leq \frac{\frac{a}{\cos(\beta)}}{300} = 0$$

Nedböjningen är beräknad i fältmitt. En mer korrekt utböjning ges av:

$$v_{tb,inst,korrekt(x)} := g_{tb,ser} \cdot \frac{x \left(\frac{a}{\cos(\beta)}\right)^3}{24 \cdot (E_{0,mean,lv,k} \cdot I_{lv})} \cdot \left[ 1 - 2 \cdot \frac{x^2}{\left(\frac{a}{\cos(\beta)}\right)^2} + \frac{x^3}{\left(\frac{a}{\cos(\beta)}\right)^3} \right] \dots$$

$$+ s_{tb,ser} \cdot \frac{x \left(\frac{a}{\cos(\beta)}\right)^3}{24 \cdot (E_{0,mean,lv,k} \cdot I_{lv})} \cdot \left[ 1 - 2 \cdot \frac{x^2}{\left(\frac{a}{\cos(\beta)}\right)^2} + \frac{x^3}{\left(\frac{a}{\cos(\beta)}\right)^3} \right]$$



Maximal nedböjning fås vid:

$$v_{tb,inst,prime}(x) := \frac{d}{dx} v_{tb,inst,korrekt}(x)$$

$$\text{root}(v_{tb,inst,prime}(x), x) = \blacksquare$$

$$x := 2\text{m}$$

#### Takbalk MN, ny tvärsnittshöjd

Given

$$h_{tb,inst} := h_{tb,vald}$$

$$\frac{5 \cdot g_{tb,ser} \cdot \left( \frac{a}{\cos(\beta)} \right)^4}{384 \cdot E_{0,mean,lvl,k} \cdot \frac{(b_{tb} \cdot h_{tb,inst}^3)}{12}} \dots \leq \frac{a}{300 \cos(\beta)}$$

$$+ \frac{5 \cdot s_{tb,ser} \cdot \left( \frac{a}{\cos(\beta)} \right)^4}{384 \cdot E_{0,mean,lvl,k} \cdot \frac{(b_{tb} \cdot h_{tb,inst}^3)}{12}}$$

$$h_{tb,inst,ber} := \text{Find}(h_{tb,inst}) = 236.736 \cdot \text{mm}$$

**Takbalk MN, ny**  
**tvärsnittshöjd m.a.p**  
**slutlig nedböjning**

OBS: Notera att  $h_{tb,fin}$  antas vara  $h_{tb,vald}$  och **inte**  $h_{tb,inst,ber}$ .  
 Detta görs för att underlätta funktionen Find(),

Given

$$h_{tb,fin} := h_{tb,vald}$$

$$k_{def} := 0.6$$

$$\psi_2 := \begin{cases} 0.2 & \text{if } s_k \geq 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\ 0.2 & \text{if } 2.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \leq s_k < 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\ 0.1 & \text{if } 1.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \leq s_k < 2.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \end{cases} = 0.2$$

$$\frac{5 \cdot g_{tb,ser} \cdot \left( \frac{a}{\cos(\beta)} \right)^4}{384 \cdot E_{0,mean,lvl,k} \cdot \frac{(b_{tb} \cdot h_{tb,fin})^3}{12}} \cdot (1 + k_{def}) \dots \leq \frac{a}{\frac{\cos(\beta)}{200}}$$

$$+ \frac{5 \cdot s_{tb,ser} \cdot \left( \frac{a}{\cos(\beta)} \right)^4}{384 \cdot E_{0,mean,lvl,k} \cdot \frac{(b_{tb} \cdot h_{tb,fin})^3}{12}} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$$

$$h_{tb,fin,ber} := \text{Find}(h_{tb,fin}) = 223.29 \cdot \text{mm}$$

$$h_{tb,ser} := \max(h_{tb,inst,ber}, h_{tb,fin,ber}) = 0.237 \text{ m}$$

$$\text{idx} := \text{match} \left[ \min \left[ \frac{\left( \text{LVL}_{\text{storlekar}} - h_{\text{tb,ser}} \right)^2}{h_{\text{tb,ser}}^2}, \frac{\left( \text{LVL}_{\text{storlekar}} - h_{\text{tb,ser}} \right)^2}{h_{\text{tb,ser}}^2} \right] \right] = (1)$$

$$h_{\text{tb,fin,valid}} := \begin{cases} \text{LVL}_{\text{storlekar}(1+\text{idx})_0} & \text{if } \text{LVL}_{\text{storlekar}_{\text{idx}_0}} < h_{\text{tb,ser}} = 260 \cdot \text{mm} \\ \text{LVL}_{\text{storlekar}_{\text{idx}_0}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

### Nedböjning, Nockbalk GHI

$$v_{\text{mitt}} := 0.521 \cdot \frac{g_{\text{nb,k}} \cdot L_{\text{nb}}^4}{100E_{0,\text{gl,mean,k}} \cdot \left[ \frac{(b_{\text{nb,valid}} \cdot h_{\text{nb,valid}})^3}{12} \right]} \dots = 12.792 \cdot \text{mm}$$

$$+ 0.521 \cdot \frac{s_{\text{nb,k}} \cdot L_{\text{nb}}^4}{100E_{0,\text{gl,mean,k}} \cdot \left[ \frac{(b_{\text{nb,valid}} \cdot h_{\text{nb,valid}})^3}{12} \right]}$$

$$v_{\text{mitt}} \leq \frac{L_{\text{nb}}}{300} = 1$$

$$v_{\text{mitt,fin}} := 0.521 \cdot \frac{g_{\text{nb,k}} \cdot L_{\text{nb}}^4}{100E_{0,\text{gl,mean,k}} \cdot \left[ \frac{(b_{\text{nb,valid}} \cdot h_{\text{nb,valid}})^3}{12} \right]} \cdot (1 + k_{\text{def}}) \dots = 16.101 \cdot \text{mm}$$

$$+ 0.521 \cdot \frac{s_{\text{nb,k}} \cdot L_{\text{nb}}^4}{100E_{0,\text{gl,mean,k}} \cdot \left[ \frac{(b_{\text{nb,valid}} \cdot h_{\text{nb,valid}})^3}{12} \right]} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{\text{def}})$$

$$v_{\text{mitt,fin}} \leq \frac{L_{\text{nb}}}{200} = 1$$

