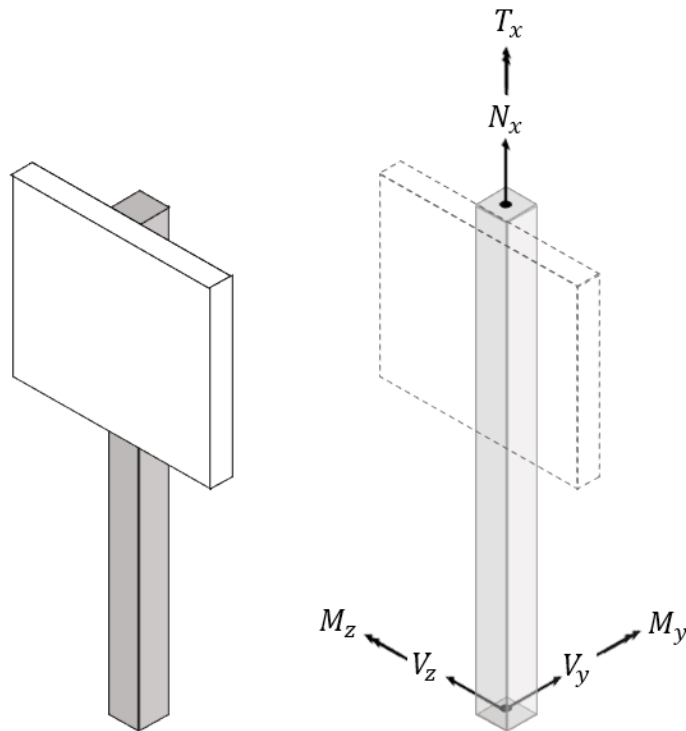




**LUND**  
UNIVERSITY



# BERÄKNINGSVERKTYG FÖR VÄGSTOLPAR

IDA LILJEQVIST

Structural  
Mechanics

*Bachelor's Dissertation*



DEPARTMENT OF CONSTRUCTION SCIENCES  
DIVISION OF STRUCTURAL MECHANICS

ISRN LUTVDG/TVSM--24/4011--SE (1-121) | ISSN 0281-6679  
BACHELOR'S DISSERTATION | EXAMENSARBETE I HÖGSKOLEINGENJÖRSUTBILDNINGEN

# BERÄKNINGSVERKTYG FÖR VÄGSTOLPAR

IDA LILJEQVIST

Supervisors: **SUSANNE HEYDEN**, Associate Professor, Div. of Structural Mechanics, LTH  
and Dr **JONAS LINDEMANN**, Div. of Structural Mechanics, LTH | LUNARC.  
Examiner: Professor **KENT PERSSON**, Division of Structural Mechanics, LTH.

Copyright © 2024 Division of Structural Mechanics,  
Faculty of Engineering LTH, Lund University, Sweden.

Printed by V-husets tryckeri LTH, Lund, Sweden, July 2024 (PI).

**For information, address:**  
Division of Structural Mechanics,  
Faculty of Engineering LTH, Lund University, Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden.  
Homepage: [www.byggmek.lth.se](http://www.byggmek.lth.se)



# Sammanfattning

Vägskyltar används i stor utsträckning på trafikerade vägar för att vägleda trafikanter i rätt riktning. För att optimera materialåtgången och minska kostnaderna krävs effektiva dimensioneringsverktyg som kan effektivisera arbetet med att dimensionera de bärande konstruktionerna.

Detta arbete syftar till att utveckla ett beräkningsverktyg för den bärande konstruktionen till vägskyltar. Den bärande konstruktionen är KKR-stolpar i fyra olika dimensioner. Verktyget ska för korrekt dimensionering följa aktuella regelverk från Eurokod, andra europeiska standarder för vägskyltar, Transportstyrelsen och Trafikverket.

För att uppnå arbetets mål att utveckla verktyget behandlades tre stora delar. Regel- och kravgranskning, bestämning av aktuella laster och utvecklande av datorkod och gränssnitt. Granskningen av regelverk innebar insamlande och sammanställande av aktuella krav från flertalet olika regelverk. Denna del var mycket omfattande och tidskrävande men fullt nödvändig för arbetets relevans.

Dimensionering av laster och lastkombinationer utfördes efter de regler och krav som sammanställts. För varje aktuell skylt som verktygets skulle kunna hantera togs lastfall för fem olika typer av laster fram. Verktyget skulle behandla egentygnd, vindlast, vertikal snölast, plogsnölast och islast. Dessa kombinerades efter färdigställande ihop till alla aktuella lastkombinationer för brott- och bruksgränstillståndet för att avgöra farligaste lastfall.

Slutligen sammanställdes beräkningar för lastfall och lastkombinationer i datorkod och jämfördes med bärförmågan för stålkonstruktioner. Datorkoden utvecklades i programspråket Python för att möjliggöra vidare utveckling för samarbetspartnern. Ett gränssnitt skapades för smidig interaktion med användaren och för ett tydligt inmatningsflöde.

Arbetet har resulterat ett fungerande beräkningsverktyg med stora möjligheter att vidare utvecklas hos samarbetspartnern. De regelverk och kravdokument som granskats har varit omfattande och i vissa fall har antaganden behövts göras.

Nyckelord: beräkningsverktyg, vägskyltar, CALFEM, finita elementmetoden, FEM, Python



## Abstract

Road signs are used on busy roads to guide drivers in the right direction. To optimize material usage and reduce costs, smart dimensioning tools that can make the work of calculating dimensions of the carrying structure more efficient are required.

This work aims to develop a calculation tool for the load-bearing structure of road signs. The load-bearing structure consists of KKR posts in four different dimensions. For accurate dimensioning, the tool must follow current regulations from Eurocode, other European standards for road signs, Transportstyrelsen and Trafikverket.

To achieve the goal of developing the tool, three key parts should be handled: reviewing regulations and requirements, determination of the relevant loads, and developing the computer code with interface. The review of regulations involved collecting and compiling current requirements from various standards. This part was very extensive and time-consuming but absolutely necessary for the relevance of the work.

Determination of loads and load combinations was performed according to the compiled rules and requirements. For each relevant sign that the tool would handle load cases for five different types of loads was determined. The tool would handle self-weight, wind load, vertical snow load, snow plow load, and ice load. These were combined into relevant load combinations for the ultimate and serviceability limit states to determine the most critical load case.

Finally, calculations for load cases and load combinations were compiled into computer code and compared with the capacity of the steel structure. The computer code was developed in the Python programming language to favour further development by the partner. An interface was created for smooth user interaction and a clear input flow.

The work has resulted in a functional calculation tool with great potential for further development by the partner. The regulations and requirement documents reviewed were extensive and in some cases, assumptions had to be made.

Keywords: calculation tool, road signs, CALFEM, finite element method, FEM, Python





# Förord

Detta examensarbete är den avslutande delen på min högskoleingenjörsutbildning i Byggteknik med arkitektur vid Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet omfattar 22,5 högskolepoäng av den totala utbildningens 180 högskolepoäng och tre års heltidsstudier. Arbetet har genomförts under perioden januari-juni 2024.

Examensarbetet har genomförts i samarbete med Blinkfyrar AB, som under arbetets gång hjälpt mig hitta vägen fram i vägskyltarnas värld. Tack till Renoar Salih och Johanna Eisenhut för all hjälp längs vägen. Tack för att jag fick ert förtroende och tack för att jag fick ett otroligt roligt examensarbete.

Jag vill också rikta ett stort tack till det i branschen iblandade personer som tagit sig tid att förklara, förtydliga och hjälpt mig förstå den röriga och förvirrade regelvärlden kopplade till vägskyltar. Tack Roxan Saleh på Trafikverket för förtydliganden kring regelverken och Björn Mattsson på Transportstyrelsen för dina otroligt pedagogiska svar.

Det här examensarbetet hade aldrig vart möjligt utan den fantastiska hjälp jag fått av mina handledare Susanne Heyden och Jonas Lindemann på Lunds Tekniska Högskola. Som trots sina fullspäckade scheman lagt ner tid och engagemang för att reda ut frågetecken, programmeringsproblem och skapa struktur för det fortsatta arbetet framåt.

Slutligen vill jag rikta ett stort tack till min familj. Tack pappa för att jag efter många om och men tillslut hamnade på den här utbildningen. Tack mamma för att du alltid funnit nära och hjälpt mig genom livet. Jag hade aldrig kommit dit jag är idag utan din hjälp. Tack Johan för att du i alla lägen rycker ut när det krisar och alltid finns där, i vått och torrt. Tack Moa för att du är världens bästa syster och för att du alltid ställer upp. Slutligen, tack Dennis för att du är min trygghet, mitt hem och mitt lugn. Tack för ditt tålamod under den här utmanande men otroligt givande våren. Jag älskar er!

Ida Liljeqvist  
Helsingborg, juni 2024



## Beteckningar

Kategori	Beteckning	Förklaring	Enhet	
Skylt-konstruktions-egenskaper	$b_{skylt}$	Skyltbredd	m	
	$h_{skylt}$	Skylthöjd	m	
	$t_{skylt}$	Skylttjocklek	m	
	$b_{stolpe}$	Stolpbredd	m	
	$z_g$	Avståndet från mark till skyltens nederkant	m	
	$z_e$	Avstånd från mark till skyltens tyngdpunkt	m	
	$A$	Skyltarea	m <sup>2</sup>	
	$V$	Skyltvolymer	m <sup>3</sup>	
	$\rho$	Densitet	kg/m <sup>3</sup>	
	Laster	$G$	Permanent last	kN
$G_{kj,sup}$		Övre karakteristiskt värde för den permanenta lasten j.	kN	
$G_{kj,inf}$		Undre karakteristiskt värde för den permanenta lasten j.	kN	
$Q$		Variabel last	kN	
$Q_{k,1}$		Karakteristiskt värde för variabel huvudlastlast.	kN	
$Q_{k,i}$		Karakteristiskt värde för variabel last i.	kN	
Plats-egenskaper		$g$	Tyngdaccelerationskonstanten	m/s <sup>2</sup>
		$z_0$	Råhetsfaktor	-
		$v_b$	Referensvindhastighet	m/s
		$TT$	Terrängtyp	-
	$c_f$	Kraftformfaktor	-	
	$q_k$	Vindens karakteristiska hastighetstryck	kN/m <sup>2</sup>	
	$e$	Excentricitet	m	
	$w_e$	Utvändig vindlast	kN/m <sup>2</sup>	
	$s_k$	Snölast	kN/m <sup>2</sup>	
	$\mu$	Formfaktor	-	
	$C_e$	Exponeringsfaktor	-	
	$C_t$	Termisk koefficient	-	
	$s$	Karakteristisk snölast	kN/m <sup>2</sup>	
	$h_{psk, maximum}$	Maximal träffhöjd för plogsnölasten	m	
	$h_{psk, minimum}$	Minimal träffhöjd för plogsnölasten	m	
$h_{psk, träff}$	Den totala träffhöjden av plogsnö	m		
$b_{psk, träff}$	Den totala träffbreden av plogsnö	m		

	$p_{sk}$	Plogsnölast	$\text{kN/m}^2$
	$g_{isl}$	Isens tyngd	$\text{kN/m}^3$
	$t_{isl}$	Isens tjocklek	m
	$i_{sk}$	Islast	$\text{kN/m}^3$
<b>Säkerhet</b>	$\psi$	Reduceringsfaktor vid variabla laster	-
	$\psi_0$	Faktor för kombinationsvärden för variabel last	-
	$\psi_1$	Faktor för frekvent värde för variabel last	-
	$\psi_2$	Faktor för kvasipermanent värde för variabel last	-
	$\gamma_d$	Partialkoefficient med hänsyn till säkerhetsklasserna	-
	$SK_n$	Säkerhetsklass n, där n är ett tal mellan 1–4	-
<b>Material</b>	$f_u$	Stålets brottgräns	MPa
	$f_y$	Stålets sträckgräns	MPa
	$\gamma_M$	Partialkoefficient material	-
	$\gamma_{M0}$	Partialkoefficient oavsett tvärsnittsklass	-
	$\gamma_{M1}$	Partialkoefficient med hänsyn till instabilitet	-
	$\gamma_{M2}$	Partialkoefficient med hänsyn till dragbrott	-
	$E$	Elasticitetsmodul	GPa
	$G$	Skjuvmodul	GPa
	$\varepsilon$	Faktorn för anpassning av stålqualitén	-
<b>Bärförmåga</b>	$X_{Ed}$	Dimensionerande lasteffekt	Variabel
	$X_{Rd}$	Dimensionerande bärförmåga	Variabel
	$A_v$	Skjuvarea	$\text{m}^2$
	$S$	Statiska momentet	$\text{m}^3$
	$W_v$	Elastiskt vridmotstånd	$\text{m}^3$
	$W_{pl}$	Plastiskt böjmotstånd	$\text{m}^3$
	$W_{el}$	Elastiskt böjmotstånd	$\text{m}^3$
	$N_{cr}$	Eulers knäcklast	N
	$\alpha$	Imperfektionsfaktor	-

# Innehållsförteckning

<b>1 Inledning</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Bakgrund</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Syfte och mål</b> .....	<b>1</b>
<b>1.3 Metod</b> .....	<b>1</b>
<b>1.4 Avgränsningar</b> .....	<b>2</b>
<b>2 Vägskyltar</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 Skyltar</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2 Variabler</b> .....	<b>4</b>
2.2.1 Skylt.....	4
2.2.2 Stolpe.....	5
<b>2.3 Referensskyltar</b> .....	<b>7</b>
<b>3 Regelverk</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1 Dimensionerande lastkombination</b> .....	<b>12</b>
3.1.1 Brottgränstillståndet .....	12
3.1.1.1 Säkerhetsklasser .....	13
3.1.1.2 Kombinationsvärdesfaktor och kombinationslaster .....	14
3.1.2 Bruksgränstillståndet.....	15
<b>3.2 Permanenta laster (egentyngd)</b> .....	<b>16</b>
<b>3.3 Variabla laster</b> .....	<b>17</b>
3.3.1 Vindlast .....	17
3.3.2 Formfaktorer .....	19
3.3.3 Snölast.....	20
3.3.3.1 Vertikal snölast .....	21
3.3.3.2 Last av plogsnö .....	22
3.3.4 Islast .....	25
<b>3.4 Standardvägmärken</b> .....	<b>25</b>
<b>3.5 Bärförmåga för stålkonstruktioner</b> .....	<b>26</b>
3.5.1 Materialets egenskaper.....	27
3.5.2 Tvärsnitt .....	28
3.5.2.1 Tvärsnittsklasser.....	28
3.5.3 Bärförmåga för tvärsnitt.....	30
3.5.3.1 Enskild lasteffekt.....	31
3.5.3.2 Lasteffekter i kombination .....	33
3.5.4 Bärförmåga vid instabilitet .....	36
3.5.5 Beräkningsgång .....	37
<b>3.6 Redovisning</b> .....	<b>38</b>
<b>4 Lastberäkning</b> .....	<b>41</b>
<b>4.1 Från 2D till 3D</b> .....	<b>41</b>
<b>4.2 Skyltkonstruktion</b> .....	<b>45</b>
4.2.1 Egentyngd.....	48

4.2.2 Vindlast .....	50
4.2.2.1 Lokaliseringsskylt.....	51
4.2.2.2 Standardvägsskylt .....	52
4.2.2.3 Vindlast och islast .....	53
4.2.3 Snölast .....	55
4.2.3.1 Vertikal snölast.....	55
4.2.3.2 Plogsnölast .....	60
4.2.4 Islast.....	68
<b>4.3 Finita elementberäkningar .....</b>	<b>72</b>
<b>5 Utveckling av beräkningsverktyg.....</b>	<b>73</b>
<b>5.1 Utveckling av datorkod.....</b>	<b>73</b>
5.1.1 CALFEM.....	73
5.1.2 Programstruktur och anpassningar.....	75
5.1.2.1 Karakteristiska laster.....	78
5.1.2.2 Kombinationer och stålhantering.....	82
<b>5.2 Användarvänlighet och val .....</b>	<b>86</b>
<b>5.3 Testning och felsökning.....</b>	<b>93</b>
<b>6 Resultat.....</b>	<b>95</b>
<b>7 Diskussion .....</b>	<b>99</b>
<b>8 Slutsatser .....</b>	<b>101</b>
<b>9 Framtida studier .....</b>	<b>103</b>
<b>10 Bilagor.....</b>	<b>105</b>
Bilaga 1 – Plogsnölastens träffbild.....	105
Bilaga 2 – Plogsnölastens träffbild.....	106
Bilaga 3 – Plogsnölastens framställningsväg .....	107
Bilaga 4 – Beräkningsrapport - Referensskylt.....	108
<b>11 Referenser .....</b>	<b>115</b>

# 1 Inledning

I detta kapitel behandlas bakgrunden till arbetet, dess syfte och mål, metod samt avgränsningar.

## 1.1 Bakgrund

Var du än reser och far i världen kommer du att välkomnas av diverse vägs skyltar. Syftet med dessa är att trafikanter på så väl väg som järnväg ska upplysas om diverse trafikinformation som är viktigt att uppfatta.

Då vägmärken är en så stor del av vägarnas funktion krävs också beständiga, hållbara och materialsnåla förankringar av dessa intill vägar, cykelbanor och gångvägar. Detta är viktigt dels för att säkerställa god funktion och dels för att minska underhåll. Förankring av vägmärken ser olika ut beroende på skyltstorlek, skyltdensitet och placering i Sverige samt skyltens omgivning. För att säkerställa säkra förankringar utan att överdimensionera vägmärkenas stolpar och fundament görs beräkningar för varje enskild skylt.

För att underlätta arbetet med stolpdimensionering krävs verktyg som utifrån den specifika skyltens förutsättningar kan göra en säker dimensionering mer effektivt. För att skapa en effektiv miljö att arbeta med krävs inte bara ett fungerade verktyg, utan även ett verktyg som kan förändras, förbättras och utvecklas för att upprätthålla god kvalitet när förutsättningar förändras.

## 1.2 Syfte och mål

Syftet med arbetet är att bidra till en bra trafikmiljö genom att underlätta säker, effektiv och materialsnål utformning av stolpar till vägs skyltar. Målet är att utveckla ett beräkningsverktyg för att ta fram lämplig bärande stolpe till olika stora centrumplacerade vägs skyltar. Utöver detta sammanställs de krav och regler som gäller för att skapa underlag till beräkningsverktyget. Samarbetspartnern ska kunna använda verktyget i sin verksamhet.

Verktyget ska:

- Följa regelverken för dimensionering
- Beräkna lämplig stolpe för att klara kraven på plasten

Verktyget ska ha ett användarvänligt gränssnitt som bl.a. presenterar bakomliggande beräkningar och vara anpassat för fortsatt utveckling.

## 1.3 Metod

Arbetet inleddes med litteraturstudier kring aktuella regelverk och krav från Trafikverket, Transportstyrelsen, svensk standard och Eurocode. Samverkan mellan regelverken och prioritering mellan dem analyserades. Analysen krävdes för att den slutgiltiga programvaran ska ha korrekta beräkningsförutsättningar baserat på givna indata.

Hur olika alternativ hanterades och vilka vägval som gjordes redovisades med förklaringar till genomförda beräkningar och utformningen av gränssnittet. Arbetet redogjordes i rapporten kontinuerligt.

Arbetet med att utforma en struktur för beräkningarna inleddes när litteraturstudie kring aktuella krav genomförts. Huvuddelar i beräkningarna var bestämning av laster, lastkombinationer, lasteffekter och jämförelser av lasteffekt med bärförmåga. Vilka modeller och metoder som använts bestämdes baserat på en kontinuerlig utvärdering av vilka fenomen som var betydelsefulla för konstruktionstypen. Lastfallen kontrollerades mot bärförmågan för respektive stolpe för att hitta en lämplig bärare till angiven skylt.

Parallellt med beräkningarna utvecklades datorkod i den digitala utvecklingsmiljön. Allt eftersom beräkningarna slutförts implementerades dessa i den digitala koden. Tillsammans med beräkningarna infördes nödvändiga databaser, exempelvis vindlasttabeller och konstanter kopplade till aktuella stolpar. Beräkningarna genomfördes med logiska variabelnamn och med tillhörande förklaringar för att göra dessa begripliga för utomstående part.

Det digitala beräkningsverktyget togs fram i programspråket Python.

Under utvecklingen av programvaran kördes tester och jämförelser med genomförda beräkningar. Testerna skulle verifiera att resultaten från det digitala verktyget stämde överens med tidigare genomförda beräkningar. Vid färdigställt beräkningsverktyg överlämnades det till samarbetspartnern för fortsatt utveckling och testning.

## 1.4 Avgränsningar

För att hålla den givna tidsram och omfattning som fanns för examensarbetet gjordes vissa avgränsningar. Arbetet omfattade beräkningar för konstruktionen som bär upp vägskyltar. De konstruktioner som berördes i det här arbetet var enbart den enskilde bärande konstruktionen för skyltar, KKR-stolpar. Arbetet begränsades till att utföra beräkningar för fyra olika typer av stolpar, som hölls inom tvärsnittsklass 1–3.

Skyltarna som beaktades i arbetet är enbensskyltar som centrumplacerades i förhållande till bärande stolpe. Skyltar som hade en area understigande  $0,7 \text{ m}^2$  beaktades inte. Skyltmaterialet begränsades till aluminium- och VMS-skylltar. Arbetet tog hänsyn till de skyltar som beaktas som ”skärmar” i regelverken. Skärmar vars höjd, bredd och avstånd till mark avviker från definitionen för skärmar, definieras som ”fria väggar” och beaktades alltså inte.

Konstruktionens infästning och tillhörande fundament behandlas inte.

Avgränsningar gjordes för de laster som beaktades. Temperaturlast, vandallast, fasta inspektionsanläggningar, klätterskydd samt montering och underhåll beakta inte i detta arbete.



## 2 Vägskyltar

I det här avsnittet klargörs skillnaderna mellan stora och små skyltar, samt vilka som är ansvariga för att skyltarna används som de ska. Här redogörs för grundläggande terminologi och beteckningar för skyltkonstruktionens alla delar som används i kommande beräkningar. Slutligen redovisas även de referensskyltar som används som underlag i beräkningarna.

### 2.1 Skyltar



*Figur 2-1 En centrumplacerad vägskylt tillverkad av aluminium på en bärande KKR-stolpe.  
Foto: Ida Liljeqvist*

Sveriges vägmärken och anordningar av andra slag fastställs av regeringen. Den i dagsläget aktuella vägmärkesförordningen har gällt sedan sommaren 2007 med märken som bland annat varningsmärken, påbudsmärken och lokaliseringmärken [1]. Vägmärken tillsammans med övriga anordningar som behövs för vägens brukande och drift är lagstadgad under väglagen och tillhör vägbanan [2]. Vägens storlek och lokalisering påverkar vems ansvaret är för att skyltarna finns och hur dessa är utformade. Byggnation och drift av vägar ligger under begreppet väghållning. Till väghållning hör också att se till att enskilt och allmänt intresse tas i beaktning. Väghållningsansvaret i Sverige fördelas efter allmänna vägar, kommunala vägar och gator samt enskilda vägar där de ansvariga för de olika delarna är Trafikverket, kommuner samt enskilda fastighetsägare eller vägföreningar [3].

Majoriteten av de vägmärken som finns längs med vägarna idag är tillverkade i aluminium vilket gör dessa förhållandevis lätta [4]. Som komplement till dessa finns numera också omställningsbara vägmärken som kan användas för att variera hastighetsgränser och därmed minska risken för olyckor [5].

Skyltarna varierar mycket i storlek, från de allra minsta med en bredd på cirka 30 cm till de allra största lokaliseringsskyltarna där enbart textstorleken kan vara av samma storlek [6].

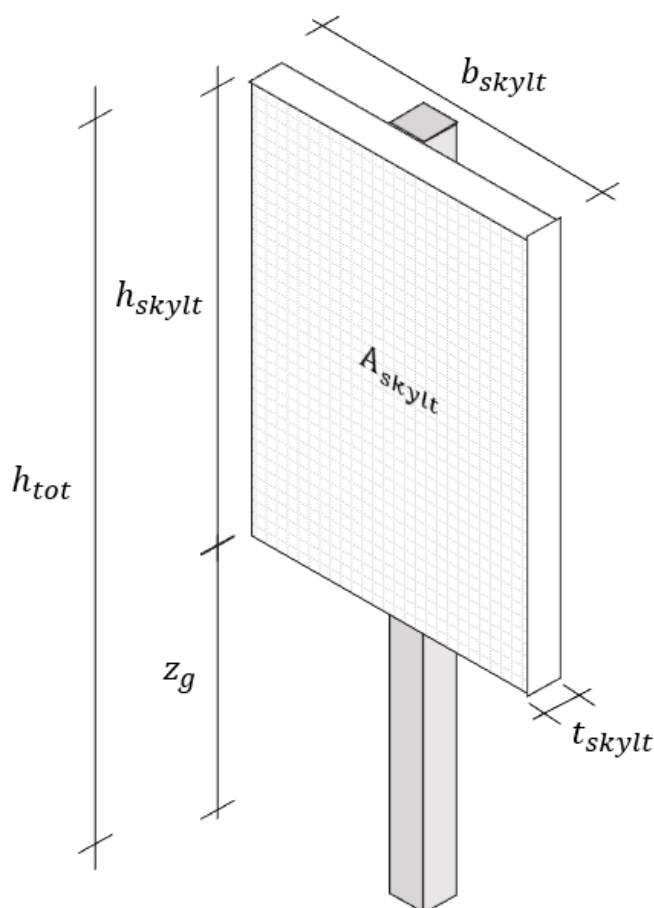
Beroende av skyltarnas storlek hanteras dessa med olika regelverk. De vägmärken som har en maximal bredd på 1,8 meter klassificeras som standardvägmärken [7]. De allra minsta standardvägmärkena med en area understigande  $0,7 \text{ m}^2$  kräver ingen särskild dimensionering, [8, K195203]. Övriga vägmärken med ett breddmått större än 1,8 m klassas som lokaliseringsmärken och omfattas av ett mer omfattande regelverk vid dimensionering [8, K195174].

## 2.2 Variabler

I kommande beräkningar kommer följande variabler som beskriver mått på konstruktionens olika delar att användas.

### 2.2.1 Skylt

Skyltkonstruktionens delar är namngivna enligt figur 2-2.



Figur 2-2 De beteckningar som används för mått på skyltens delar.

Skyltarna som beaktas i beräkningsverktyget är aluminiumskyltar samt elektriska VMS-skylltar. Skyltarnas densitet inkluderar även baksidans tyngd med fästen. Tjocklek och densitet kan variera och beaktas som valbara parametrar.

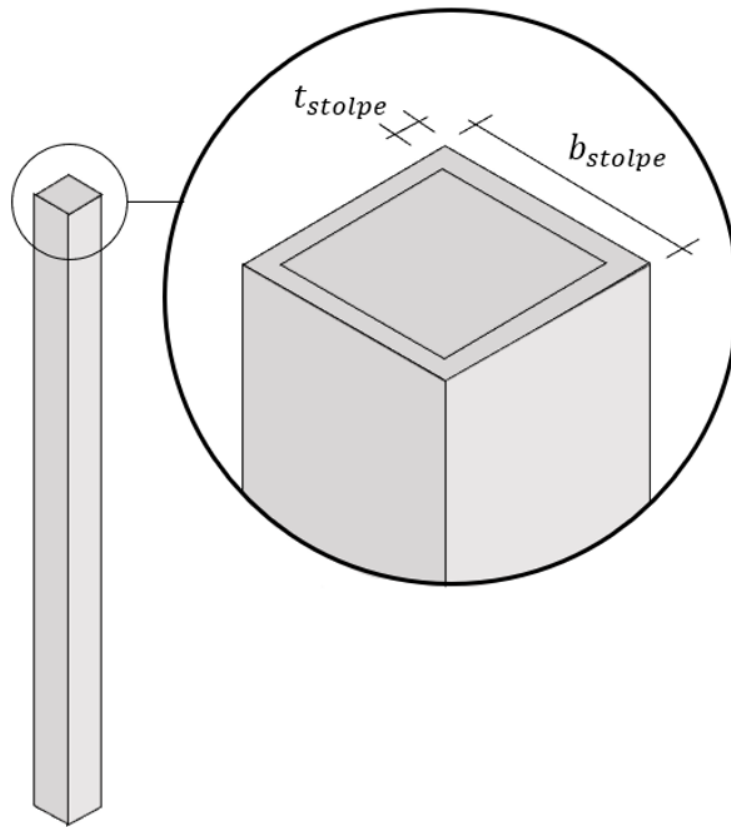
Typiska värden för skyltarnas tjocklek,  $t$ , och densitet,  $\rho$ , kan se ut enligt följande [4]:

$$\text{Typiska värden: } \begin{cases} t_{AL\text{-skylt}} = 0,036 \text{ m} \\ \rho_{AL\text{-skylt}} = 13 \text{ kg/m}^2 \\ \rho_{VMS\text{-skylt}} = 50 \text{ kg/m}^2 \end{cases}$$

Densiteten anges per kvadratmeter skylt.

## 2.2.2 Stolpe

Stolpens delar är namngivna enligt figur 2-3.



*Figur 2-3 De beteckningar som används för mått på stolpens delar.*

De stolpar som kan beräknas i beräkningsverktyget, med tillhörande längder och dimensioner redovisas i tabell 2-1. Beräkningsverktyget kan senare utökas med fler dimensioner.

Tabell 2-1 De stolpar som studerats i arbetet.

<b>KKR - S355J2H</b>				
<b>Bärare</b>	<b>Fyrkantör</b>			
<b>Dimension</b>	<i>bxbxt</i> [mm]			
	<b>60x60x3</b>	<b>80x80x3</b>	<b>100x100x3</b>	<b>120x120x4</b>
<b>Längd [mm]</b>	2000	3000	3000	3500
	2500	4000	4000	4000
	3000	5000	4500	4500
	3500	6000	5000	5000
	4000		6000	5500
	4500			6000
	5000			
	5500			

## 2.3 Referensskyltar

För att beskriva och illustrera hur beräkningar av laster, lastkombinationer och bärförmåga genomförs beskrivs varje beräkningsdel med exempel. Exempelen är baserade på två skyltar, en standard- och en lokaliseringsskylt. Referensskyltarna är tillverkade av aluminium där tjocklek och tyngd baseras på typiska värden enligt avsnitt 2.2.

Båda skyltarna är placerade i Växjö med snözon 2,0 kN/m<sup>2</sup> och vindzon 24 m/s. All information och beräkning med permanenta samt variabla laster redogörs för i kapitel 3 och 4. Separata lasters specifika beräkningsunderlag med tecken förklaras i kapitel 3.

Tabell 2-2 Referensskyltarna med tillhörande indata.

		Standardskylt	Lokaliseringsskylt
Skyltegenskaper	$b_{skylt}$ [mm]	1600	3100
	$h_{skylt}$ [mm]	500	1200
	$t_{skylt}$ [mm]	36	
	$z_g$ [mm]	1700	
	Material	Aluminium	
	$\rho_{skylt}$ [kg/m <sup>2</sup> ]	13	
	Stolptyp	60	120
Placering och väder	$v_b$ [m/s]	24	
	Terrängtyp, $TT$	2	
	$s_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	2,0	
	Exponeringsfaktor, $C_e$	1,0	
	Plogningshastighet [km/h]	60	
	Avstånd till vägbana [m]	< 3,5	
	Räkna med is	Ja	
Säkerhet	Säkerhetsklass, $SK$	2	
	Deformationsklass	4	



### 3 Regelverk

Vid dimensionering av byggnader, anläggningar och andra bärverk används de europeiska standarderna Eurokod. Eurokod är ett EU-gemensamt regelverk uppdelat i en serie om tio grunddelar, EN 1990–1999 [9], se tabell 3-1. Grunddelarna (utom EN 1990) är uppdelade i totalt 58 ämnesspecifika delar. I de materialspecifika Eurokoderna är delarna namngivna enligt tabell 3-2 [10]. De flesta materialspecifika Eurokoderna har enbart ämnesspecifika delar upp till och med 3. Eurokoden 1993 har däremot ämnesspecifika delar 4, 5, 6 med tillhörande kapitel.

Inom EU är Eurokoderna obligatoriska att använda i samband med offentlig upphandling. Genom en gemensam teknisk standard möjliggörs ett samarbete över nationsgränserna [11].

Tabell 3-1: De tio delarna i Eurokod.

<b>Eurokod</b>	<b>Innehåll</b>
<b>EN 1990</b>	Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk
<b>EN 1991</b>	Laster på bärverk
<b>EN 1992</b>	Dimensionering av betongkonstruktioner
<b>EN 1993</b>	Dimensionering av stålkonstruktioner
<b>EN 1994</b>	Dimensionering av samverkanskonstruktioner i stål och betong
<b>EN 1995</b>	Dimensionering av träkonstruktioner
<b>EN 1996</b>	Dimensionering av murverkskonstruktioner
<b>EN 1997</b>	Dimensionering av geokonstruktioner
<b>EN 1998</b>	Dimensionering av bärverk med avseende på jordbävning
<b>EN 1999</b>	Dimensionering av aluminiumkonstruktioner

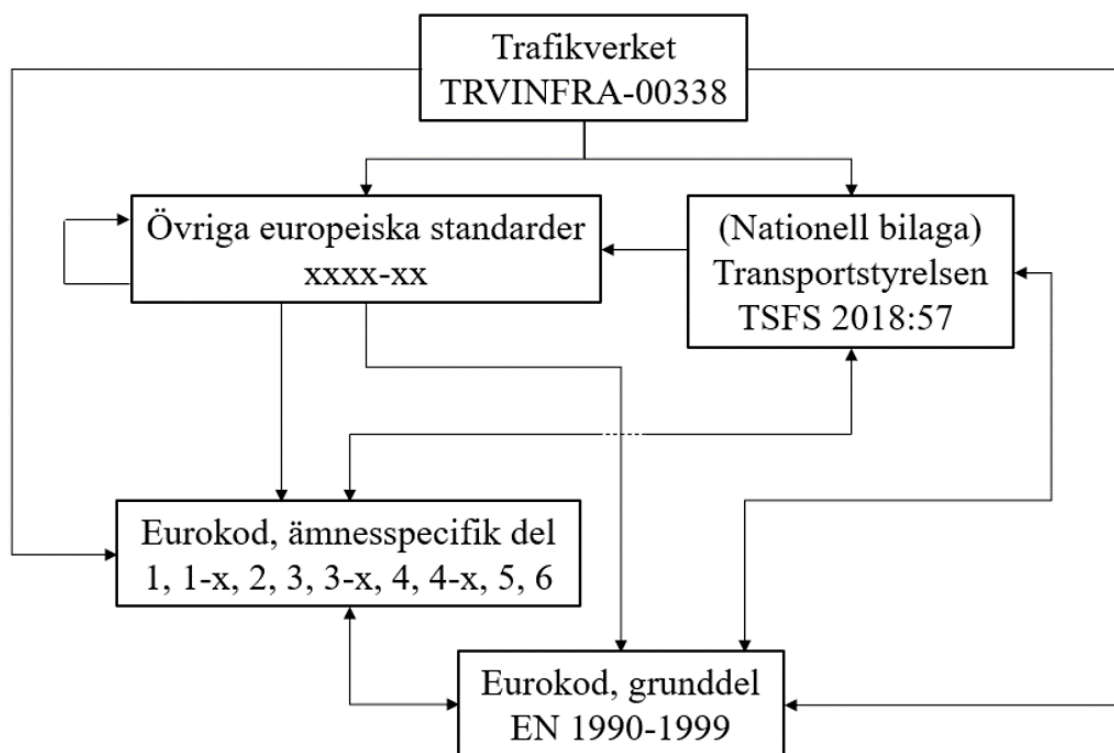
Tabell 3-2 De materialspecifika eurokodernas indelning i ämnesspecifika kapitel/delar.

<b>Ämnesspecifik del</b>	<b>Delinnehåll</b>	<b>Eurokod</b>
<b>1-1</b>	Generella regler	EN 1992–1996, EN 1999
<b>1-2</b>	Brandteknisk dimensionering	EN 1992–1996, EN 1999
<b>1-x</b>	Övriga dimensioneringsregler	EN 1993, EN 1999
<b>2</b>	Broar	EN 1992–1995
<b>3-x</b>	Specifika frågor	EN 1992–1993, EN 1996
<b>4...</b>	...	EN 1993

Eurokod innehåller delar med möjlighet till nationella val. De nationella valen ger varje medlemsstats tillsynsmyndighet rätt att korrigera allmänt rekommenderade delar, för att anpassas bättre till den individuella staten och dess författning [12]. Landspecifika klimat/geografiska värden, klassbenämningar samt beslut om en alternativ metod är några av de delar som omfattas av de nationella valen. Boverket och Transportstyrelsen är de två tillsynsmyndigheter i Sverige som beslutar om och publicerar de nationella valen [13]. Otydliga eller helt saknade delar i Eurocode kompletteras genom särskilda kravdokument eller tekniska specifikationer [11].

Vid dimensionering av bärande konstruktion för vägutrustning skall Eurokoderna användas. Grundkod och ämnesspecifika delar samt den nationella bilagan med nationella val skall tillämpas. De nationella valen framgår av *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av eurokoder*, TSFS 2018:57 [14]. I Sverige är det staten genom Trafikverket som står som beställare för allmänna vägar [8]. För kommunala samt enskilda vägar ansvarar och förvaltar väghållaren [3]. Trafikverket har utöver Eurokoderna samt de nationella valen egna tekniska dimensionerings- samt verifieringskrav på den vägutrustning de själva är beställare av. Trafikverkets egna krav framgår av *Krav Vägutrustning*, TRVINFRA-00338 [8]. Utöver Eurokod med tillhörande dokument, den nationella standarden samt Trafikverkets egna krav används också andra standarder för att styra utformningen av vägutrustning. Hur de olika dokumenten hänvisar till varandra redovisas i figur 3-1. Aktuella dokument redovisas i tabell 3-3.

Vid hänvisning till styrande regler hänvisas så långt som möjligt till de specifika reglerna för vägutrustning, TRVINFRA-00338 [8]. Vid avsaknad av kravställning hänvisas dokumenten i fallande grad, se figur 3-1.



Figur 3-1 Illustration av hur relevanta regelverk och standarder hänvisar till varandra.



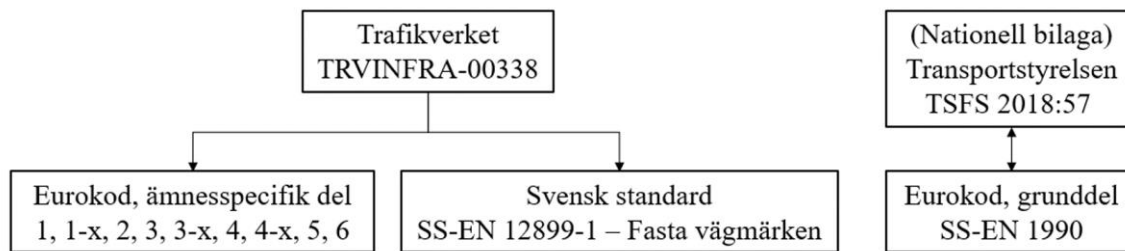
Tabell 3-3 Underlag som använts i studierna om regelverk för vägskyltar.

<b>Kod</b>	<b>Dokumentnamn</b>	<b>Version/ Tryckt</b>	<b>Kravställare</b>	<b>Syfte</b>
TRVINFRA-00338	<i>Krav Vägutrustning</i>	2.0	Trafikverket	Myndighetskrav
TSFS 2018:57	<i>Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av eurokoder</i>	2018.09.21	Transportstyrelsen	Nationell bilaga
SS-EN 1990	<i>Eurokod - Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk</i>	1	Svenska institutet för standarder	Svensk utgåva av eurokoden
SS-EN 1991-1-1	<i>Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 1-1: Allmänna laster - Tunghet, egentygnd, nyttig last för byggnader</i>	1	Svenska institutet för standarder	Svensk utgåva av eurokoden
SS-EN 1991-1-3	<i>Eurokod 1 - Laster på bärverk - Del 1-3: Allmänna laster - Snölast</i>	1	Svenska institutet för standarder	Svensk utgåva av eurokoden
SS-EN 1991-1-4:2005	<i>Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 1-4: Allmänna laster – Vindlast</i>	1	Svenska institutet för standarder	Svensk utgåva av eurokoden
SS-EN 1993-1-1:2005	<i>Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner - Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader</i>	1	Svenska institutet för standarder	Svensk utgåva av eurokoden
SS-EN 1993-1-5:2006	<i>Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner - Del 1-5: Plåtbalkar</i>	1	Svenska institutet för standarder	Svensk utgåva av eurokoden
SS-EN 10219-1:2006	<i>Kallformade svetsade konstruktionsrör av olegerat stål och finkornstål - Del 1: Tekniska leveransbestämmelser</i>	2	Svenska institutet för standarder	Standard för tekniska leveransbestämmelser
SS-EN 12899-1:2007	<i>Vägutrustning - Permanenta vägmärken - Del 1: Fasta vägmärken</i>	2	Svenska institutet för standarder	Standard för vägmärken

### 3.1 Dimensionerande lastkombination

#### 3.1.1 Brottgränstillståndet

De regelverk som beaktar brottgränstillståndet för vägskyltar illustreras i figur 3-2. Trafikverket hänvisar till diverse ämnesspecifika eurokoder för de särskilda laster som ska tas hänsyn till i brottgränstillståndet. Dessa behandlas i varje lasts specifika avsnitt. De hänvisar till SS-EN 12899-1 för de partialkoefficienter som ska användas. Transportstyrelsen redogör för vilka lastkombinationer som är aktuella och hänvisar till SS-EN 1990 som grundkälla. SS-EN 1990 hänvisar till den nationella bilagan för eventuella ändringar.



Figur 3-2 Illustration av hur de olika regelverken hänvisar till varandra angående brottgränstillståndet.

I standarden SS-EN 1990 avsnitt 3.3 redogörs för inom vilka ramar brottgränstillståndet ska användas. I brottgränstillståndet dimensioneras en konstruktion för att undvika brott eller att kollaps uppkommer, vanligtvis en dimensionering av maximal bärförmåga. Genom dimensionering för att undvika brott undviks brister i bärverkets säkerhet och/eller negativ påverkan på människors hälsa. [15].

I examensarbetet ”En analys av Eurokod 1990 – användarråd, jämförelser samt en intervjuundersökning” skriven av Lina Wennström redogörs för hur Eurokoderna ska tolkas och jämföras [16]. I brottgränstillståndet finns lastkombinationerna EQU och STR/GEO. Wennström redogör att EQU omfattar jämviktskrav för den statiska jämvikten i bärverket. Här är inte konstruktionsmaterial och undergrund i huvudsak avgörande. Den rumsliga fördelningen och en mindre variation av dess laster kan dock vara av betydelse. I examensarbetet *Dimensionering av bärverk i stål enligt Eurokod - En jämförelse med BKR på grundnivå* av Alexander Öbrink och Karl Schlyter ges ett exempel på när EQU är tillämpligt, nämligen om en konstruktion av det lättare slaget böjar glida eller stjälpas på grund av horisontella krafter [17]. Wennström redogör för att STR/GEO omfattar styrkan och den geotekniska aspekten. STR omfattar hållfastheten hos konstruktionsmaterialen och de stora deformationer samt inre brott som uppstår hos bärverket. GEO tar upp undergrundens deformationer som är av betydelse för den bärande konstruktionen [16].

Tabell 3-4 Lastkombinationer i brottgränstillståndet, uppsättningar av dessa samt ekvationernas namn.

EQU	STR/GEO	
Uppsättning A	Uppsättning B	Uppsättning C
6.10	6.10a	6.10b
		6.10

För vägskyltar ska den bärande konstruktionen klara de krav som ställs i brottngränstillståndet för lasterna nedan [8, K195181].

- Egentyngd
- Vindlast
- Snölast
- Last av plogsnö
- Islast
- Temperatur (beaktas ej i detta arbete)
- Laster vid montering och underhåll (beaktas ej i detta arbete)

Egentyngden betraktas som en permanent last, se avsnitt 3.2. Övriga laster betraktas som variabla laster, se avsnitt 3.3.

De aktuella lastkombinationerna för dimensionering av vägskyltar i brottngränstillståndet redovisas i TSFS 2018:57, tabell 3-4 [14]. Trafikverkets TRVINFRA-00338 hänvisar till de partialsäkerhetsfaktorer som ska användas för markplacerade vägmärken och indirekt till aktuella lastkombinationer [8, K195172]. För markplacerade vägmärken ska uppsättning 6.10a eller 6.10b användas. 6.10a beaktas inte på grund av den förhållandevis knappa egentyngden i förhållande till övriga verkande laster. Den lastkombination som ska användas för att bestämma laster som påverkar vägskyltar beskrivs i tabell 3-5.

*Tabell 3-5 Lastkombinationen som är aktuell för bärverken till vägskyltar i brottngränstillståndet. Lastkombinationen med variabler enligt SS-EN 1990 och TSFS 2018:57.*

Varaktiga och tillfälliga dimensioneringssituationer			STR/GEO
			6.10b
Permanent laster	Egentyngd	Ogynnsam	$\gamma_d \cdot 0,89 \cdot 1,35 \cdot G_{kj,sup}$
		Gynnsam	$1,00 \cdot G_{kj,inf}$
Variabel (ogynnsam) last	Huvudlast		$\gamma_d \cdot 1,5 \cdot Q_{k,1}$
	Samverkande	Övriga laster	$\gamma_d \cdot 1,5 \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$
Gynnsam variabel last sätt till 0.			
$\gamma_d$	Partialkoefficient med hänsyn till säkerhetsklasserna.		
$G_{kj,sup}$	Övre karakteristiskt värde för den permanenta lasten j.		
$G_{kj,inf}$	Undre karakteristiskt värde för den permanenta lasten j.		
$Q_{k,1}$	Karakteristiskt värde för variabel huvudlastlast.		
$Q_{k,i}$	Karakteristiskt värde för variabel last i.		
$\psi_0$	Kombinationsvärdesfaktor för variabel last.		

### 3.1.1.1 Säkerhetsklasser

Bärande konstruktioner delas in i säkerhets- och konsekvensklasser baserat på risk för personskador eller skada på samhällsviktiga funktioner. Säkerhetsklasserna varierar från ett

värde på 1 som innebär en liten risk för allvarliga personskador till 4 där risken är stor att människor skadas allvarligt samt att brott innebär stora konsekvenser för samhället, rent ekonomiskt eller miljömässigt enligt kap 2 i TSFS 2018:57 [14]. Konsvekvensklasserna är ett annat sätt att beskriva de konsekvenser som kan bli av brott eller felaktig funktion [15]. Stolpar klassas till konsvekvensklass CC2 [8, K195173]. Enligt kap 2 i TSFS 2018:57 ska markplacerade vägmärken som inte sträcker sig över vägbanan använda SK1 [14]. Om byggherren önskar kan en annan säkerhetsklass än SK1 användas [8, K195179].

Säkerhetsklasser,  $SK = 1, 2, 3, 4$

**SK1:**  $\gamma_d = 0,83$

SK2:  $\gamma_d = 0,91$

SK3:  $\gamma_d = 1,0$

SK4:  $\gamma_d = 1,1$

Grundläggning och fastsättning skall också omfattas av säkerhetsklasser där fundament ska ha minst samma säkerhetsklass som den anordning som grundläggs [8, K195654].

### 3.1.1.2 Kombinationsvärdesfaktor och kombinationslaster

Kombinationsvärdesfaktorerna anges i SS-EN 1990 och används när flera variabla laster verkar på konstruktionen samtidigt. Värdet som väljs baseras på statistiska grunder och den effekt som kombinationen av två eller fler variabla laster orsakar i förhållande till det karakteristiska värdet för en individuell last under en bestämd tidsperiod [15].

Kombinationsvärdet är därigenom en reduceringsfaktor för att förminska övriga laster i förhållande till huvudlasten.

Det finns tre olika kombinationsvärdesfaktorer förklaras i SS-EN 1990 [15] och baseras på sannolikheten att ett visst lastvärde inträffar under en given tidsperiod.

- Kombinationsvärde för en variabel last ( $\psi_0$ ) används i de fall där kombinationer av laster överskrider i ungefär samma omfattning som det karakteristiska värdet för en individuell last.
- Frekvent värde för en variabel last ( $\psi_1$ ) används när det överskridna värdet endast sker under en liten del av den angivna referensperioden, eller överskrider med en viss bestämd frekvens.
- Kvasipermanent värde för en variabel last ( $\psi_2$ ) används när det överskridna värdet kommer överskridas under en stor del av den angivna referensperioden.

De kombinationsvärdesfaktorer som är relevanta för det här arbetet visas i tabell 3-6 och är hämtade från TSFS 2018:57 [14]. Kombinationsvärdesfaktorerna för plogsnölast och islast har ej kunnat hittas, och därför görs antagandet att dessa använder samma kombinationsvärdesfaktorer som snölast, då både plogsnö och is är köldb beroende.

Tabell 3-6 Kombinationsvärdesfaktorer för snölast och vindlast.

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

Tabell 3-7 Antagna kombinationsvärdesfaktorer för plogsnölast och islast.

Antagna kombinationsvärdesfaktorer				
Last		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Plogsnölast/ is	$1,0 \leq s_k < 2,0 \text{ kN/m}^2$	0,6	0,3	0,1
	$2,0 \leq s_k < 3,0 \text{ kN/m}^2$	0,7	0,4	0,2
	$s_k \geq 3,0 \text{ kN/m}^2$	0,8	0,6	0,2

Vid dimensionering måste olika typer av lastfall beaktas för att avgöra vilken dimensionerande last som är mest kritisk. Alla olika kombinationer av laster utvärderas och jämförs med varandra. Den mest kritiska dimensionerande lasten är den som ger störst utnyttjandegrad. Vid dimensionering i brottgränstillståndet används ekvation 6.10b i avsnitt 3.1.1.

För vägskyltar finns några lastkombinationer som inte behöver beaktas. För kombinationen vind och is, påverkar islasten angreppsytan för vinden.

- Vindlast och plogsnö behöver ej kombineras [8, K194905].
- Vertikal snölast och islast behöver ej kombineras i brottgränstillståndet [8, K195181].
- Vid dimensionering med islast ska vindlastens dimensionerande vindexponerade area växa med islastens storlek [8, K194961].

### 3.1.2 Bruksgränstillståndet

I standarden SS-EN 1990 redogörs för inom vilka ramar bruksgränstillståndet ska användas. I bruksgränstillståndet dimensioneras en konstruktion med hänsyn till konstruktionens bruksvillkor. Bruksvillkoren är funktion vid normal användning, konstruktionens utseende samt människors välbefinnande. Det kan även innebära olika deformationer som orsakar skada på konstruktionens icke-bärande delar eller påverkar konstruktionens beständighet [15].

Dimensioneringen för bruksgränstillståndet och de deformationer som uppstår ska utföras i frekvent lastkombination [8, K194979]. Lastkombinationen enligt SS-EN 1990, se tabell 3-8 [15].

Tabell 3-8 Lastkombination som är aktuell för bärverken till vägs skyltar i bruksgränstillståndet. Beteckningar enligt SS-EN 1990.

Dimensioneringssituation för reversibla gränstillstånd			Frekvent
			6.15b
Permanent laster	Egentyngd	Ogynnsam	$1,00 \cdot G_{kj,sup}$
		Gynnsam	$1,00 \cdot G_{kj,inf}$
Variabel last	Huvudlast		$\psi_{1,1} \cdot Q_{k,1}$
	Övriga laster		$\psi_{2,i} \cdot Q_{k,1}$
$\psi_1$	Faktor för frekvent värde för variabel last.		
$\psi_2$	Faktor för kvasipermanent värde för variabel last.		

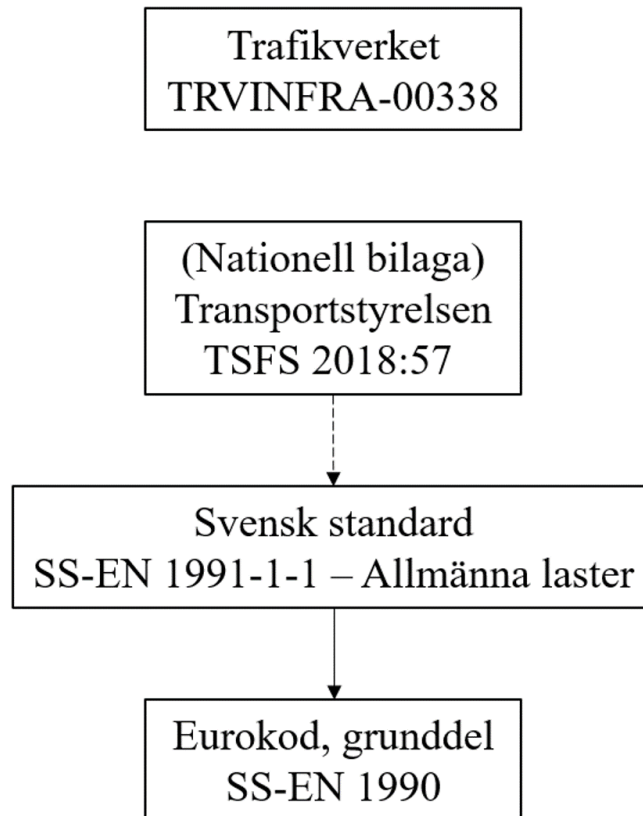
För markplacerade vägmärken ska bärare av vägs skylten uppfylla krav på temporära utböjningar samt förvridningar enligt avsnitt 5.4 i standarden SS-EN 12899-1. Återkomsttiden 1 år ska användas [8, K195198]. Kraven som ska uppfyllas ligger inom ett intervall där det lägsta kravet (klass 4) godkänns för denna typ av beräkning [7]. Se godkända värden för bruksgränstillståndet i tabell 3-9.

Tabell 3-9 De gränsvärden för temporära utböjningar som ska uppfyllas. Deformationsklass 4 godkänns för denna typ av konstruktion.

Deformationsklass	Böjning [mm/m]	Vridning [°/m]
1	2	0,02
2	5	0,06
3	10	0,11
4	25	0,29

### 3.2 Permanenta laster (egentyngd)

Aktuella regelverk för permanenta laster och hur de hänvisar till varandra illustreras i figur 3-3. För de permanenta lasterna finns angivelser i TRVINFRA-00338 [8], men ingen vidare hänvisning. TSFS 2018:57 [14] hänvisar indirekt till SS-EN 1991-1-1 [18] för vidare utveckling av de permanenta lasterna, men hänvisar till laster på byggnader. SS-EN 1990 [15] redogör tydligare för det allmänna begreppet och hur det ska hanteras.



Figur 3-3 Hur regelverken för de permanenta lasterna hänvisar till varandra.

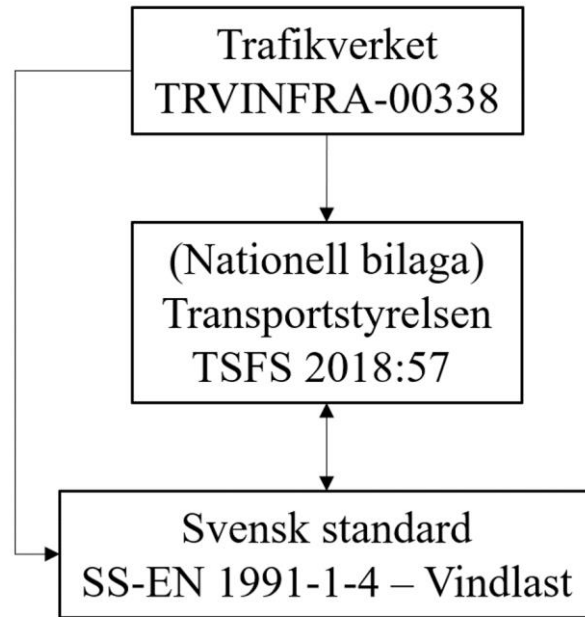
Den permanenta lasten,  $G$ , är den last som under avsedd tidsperiod har en försumbar variation. Egentyngden av vägskylten är den permanenta bundna lasten, se SS-EN 1990 1.5.3 samt 4.1.1. Vid bestämning av egentyngd skall hänsyn tas till konstruktioner med mycket svetsgods [8, K194912]. I arbetet görs ett påslag med 7% för att ta höjd för svetsgodsets inverkan på egentyngden [4].

### 3.3 Variabla laster

De variabla lasterna,  $Q$ , är de laster som varierar i storlek och intensitet över tid, SS-EN 1990 avsnitt 1.5.3 [15]. För vägskyltar utgörs de av vindlast, snölast och islast.

#### 3.3.1 Vindlast

Aktuella regelverk för vindlaster och hur de hänvisar till varandra illustreras i figur 3-4. Hur vindlasten ska hanteras specificerar Trafikverket i TRVINFRA-00338 [8] och hänvisar både till Transportstyrelsens dokument TSFS 2018:57 [14] och eurokoden SS-EN 1991-1-4 Vindlast [19]. Transportstyrelsen gör nationella val från eurokoden SS-EN 1991-1-4 Vindlast och eurokoden hänvisar till den nationella bilagan TSFS 2018:57.



Figur 3-4 Hur regelverken för vindlasten hänvisar till varandra.

Vindens karakteristiska hastighetstryck bestäms utifrån en tabell baserat på en referensvindhastighet, terrängtyp samt byggnationens höjd. Referensvindhastigheten beror av det geografiska läget i landet och motsvarar en medelvindhastighet med en upprepningstid på 50 år, råhetsfaktor  $z_0 = 0,05$  på höjden 10 meter över markytan i 10 minuter. I den nationella anpassningen är Sverige indelat i sex olika vindzoner där referensvindhastigheten varierar mellan 21 och 26 m/s. Figur 7.1 i TSFS 2018:57 ska användas för att välja ut rätt vindzon till aktuell plats [14].

Referensvindhastigheten, $v_b$ [m/s]:	21	22	23
	24	25	26

Vid dimensionering av vägutrustning är hänsyn till terrängtyp och topografi ett specifikt byggherreal, men om inget annat anges skall terrängtyp II användas [8, K194923]. Särskild hänsyn till topografien kommer ej vidare studeras. Definition av terrängtyper anges i SS-EN 1991-1-4 Bilaga A.1 [19].

Terrängtyper, $TT$ :	0	I	II	III	IV
----------------------	---	---	----	-----	----

Vindens karakteristiska hastighetstryck,  $q_p(z_e)$ , bestäms därefter genom interpolering mellan angivna höjder,  $z_e$ , i TSFS 2018:57 tabell 7.1 och 7.2 [14]. Referenshöjden,  $z_e$ , är avståndet från mark till skyltens tyngdpunkt. Vid situationer då konstruktionens totala höjd är mindre än minsta angivna höjd i TSFS 2018:57 tabeller, används det minsta värdet.

$$z_e = z_g + \frac{h_{skylt}}{2}$$

För standardskyltar gäller vissa speciella krav. Dessa tas upp i avsnitt 3.4.



### 3.3.2 Formfaktorer

Vägskyltar faller inom de formfaktorer som anges för skärmar i SS-EN 1991-1-4 avsnitt 7.4.3 [19]. Uppfylls inte formkraven klassas konstruktionen som en fri vägg, och beaktas inte vidare. Formfaktorn för kraft ges baserat på skyltens höjd,  $h_{skylt}$ , och avstånd från marknivå till skyltens underkant,  $z_g$ , se figur 3-5.

$$\text{Formkrav: } \begin{cases} z_g > \frac{h_{skylt}}{4} \\ z_g \leq \frac{h_{skylt}}{4} \quad \& \quad \frac{b_{skylt}}{h_{skylt}} \leq 1 \end{cases}$$

Vid konstruktioner som uppfyller formkraven ovan gäller kraftformfaktorn  $c_f$  som 1,8. Då det i regelverken saknas information om hur skärmar hanteras vid  $z_g = h_{skylt}/4$ , kontrolleras då även  $b_{skylt}/h_{skylt} \leq 1$ . Kraftformfaktorn ger den resulterande vindlasten.

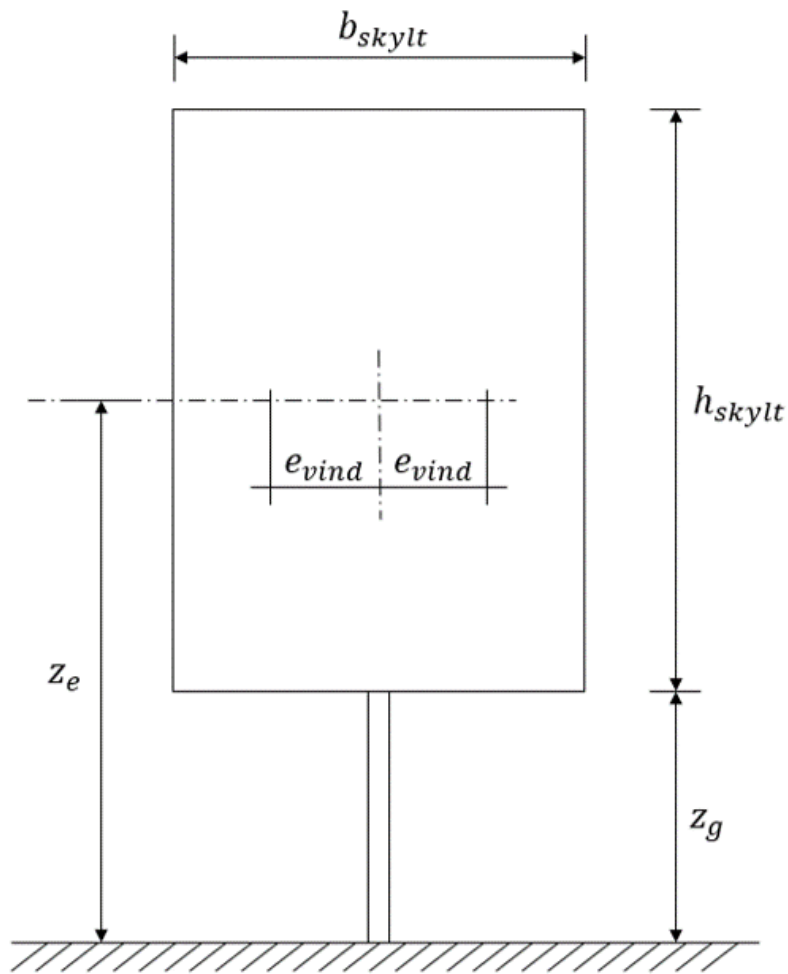
$$\text{Kraftformfaktorn, } c_f = 1,80$$

När ovan kriterier inte längre uppfylls betraktas skärmarna som fria väggar, och dessa tas inte vidare upp i detta arbete.

Den vinkelräta resulterande vindlast som verkar på en skylt antas angripa i samma höjd som skyltens tyngdpunkt enligt avsnitt 7.4.3 i SS-EN 1991-1-4 [19]. Skyltens tyngdpunkt i vertikalled ges av referenshöjden  $z_e$ . Den horisontella excentriciteten anges med en faktor  $e_{vind}$ . För enbenta, markplacerade vägmärken görs en nationell rekommendation att sätta excentriciteten till  $0,17 \cdot b_{skylt}$ , [8, K194924].

$$\text{Excentriciteten för vind, } e_{vind} [\text{m}] = 0,17 \cdot b_{skylt}$$

Centrisk vindlast kan användas för vägskyltar med en maximal bredd på 1,8 m, se TRVINFRA-00338 råd tillhörande K195190 [8].



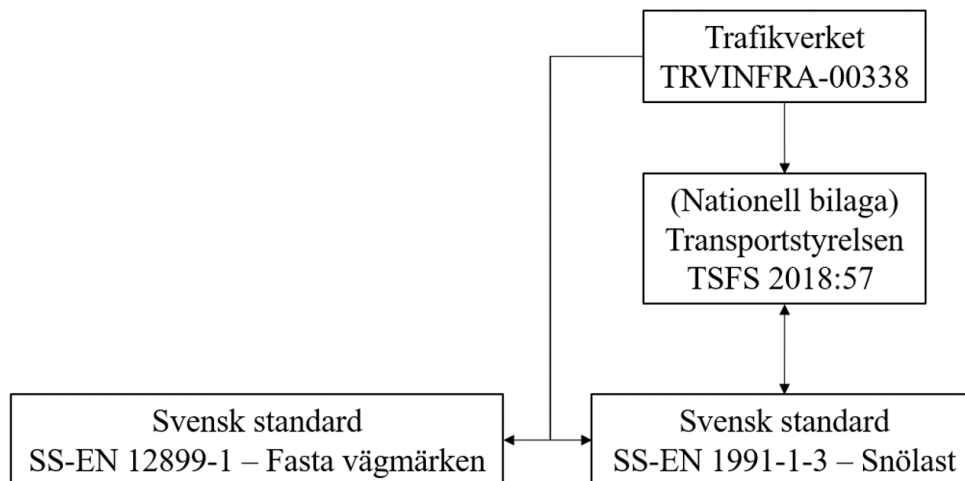
Figur 3-5 Formfaktorn för vindlast på en markplacerad vägs skylt.  
 Bilden är ritad med inspiration från SS-EN 1991-1-4:2005 avsnitt: 7.4.3 Skärmar, med Svenska institutet för standarder (SiS) som ansvarig utgivare.

Karakteristisk vindlast beräknas enligt SS-EN 1991-1-4 avsnitt 5.2 [19].

$$\text{Utvändig vindlast, } w_e [\text{kN/m}^2] = q_p(z_e) \cdot c_f$$

### 3.3.3 Snölast

Aktuella regelverk för snölast och hur de hänvisar till varandra illustreras i figur 3-6. Trafikverket genom TRVINFRA-00338 [8] hänvisar till både Transportstyrelsens TSFS 2018:57 [14], SS-EN 1991-1-3 för snölast [20] samt ytterligare en standard för fasta vägmärken [21]. Transportstyrelsen hänvisar genom nationella val till eurokoden, som hänvisar tillbaka till den nationella bilagan.



Figur 3-6 Hur regelverken för snölasten hänvisar till varandra.

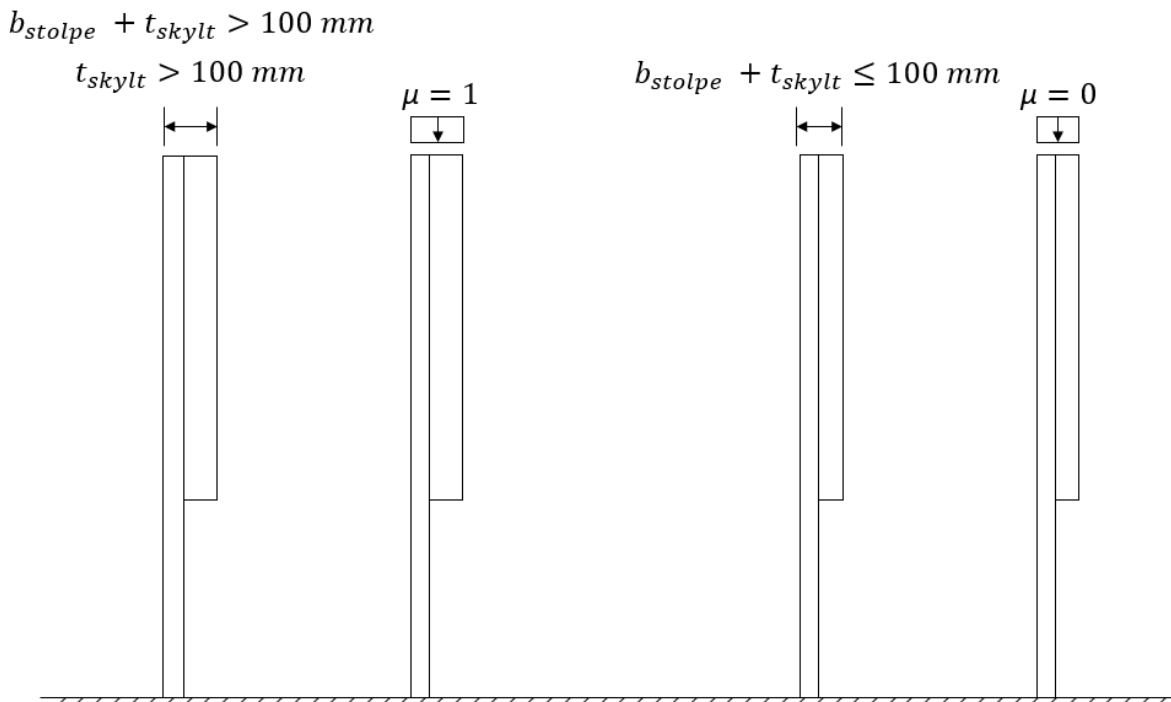
### 3.3.3.1 Vertikal snölast

Snölastens grundvärde på mark avser den snölast som blir på marken med en upprepningsperiod på 50 år. Precis som för vindlast delas Sverige in i snözoner för att beskriva intensiteten av den last som snön orsakar. Det finns åtta snözoner där lasten varierar mellan 1,0–5,5 kN/m<sup>2</sup>. Figur 6.1 i TSFS 2018:57 ska användas för att välja ut rätt snözon till aktuell plats [14]. Den vertikala snölasten skall enbart appliceras på enskilda profiler som har en bredd som är större än 100 mm [8, K194949]. Bärare i rörform måste täckas upp till för att förhindra nedträngning av material i fundamentet [8, K195656]. Ensam skylt och stolpe tillsammans med skylt kan bilda en yta med en bredd större än 100 mm. Ytterligare förtydliganden för den täckta ytan för vertikal snölast finns i avsnitt 4.2.3.1.

Snölast, $s_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]:	1,0	1,5	2,0	2,5
	3,0	3,5	4,5	5,5

Vägskyltar ska dimensioneras för en maximal lutning på en grad relativt lodlinjen [8, K195233]. I tabell 5.2 i standarden SS-EN 1991-1-3 redogörs för formfaktorer för olika lutningar på tak. Vid större lutning än 60° mot horisontalplanet skall formfaktorn 0 användas [20]. Vägskyltar lutar mer än 60° får därför formfaktorn 0. För profiler tjockare än 100 mm och en lutning på mindre än 60° skall formfaktorn 1 användas [8, K194947]. Se figur 3-7.

Formfaktor, $\mu$	$\alpha > 60^\circ$	$\alpha < 60^\circ$
	0	1



Figur 3-7 Formfaktorerna för vertikal snölast på vägskyltar. För profiler tjockare än 100 mm läggs formfaktorn 1 ovanpå den  $\geq 100$  mm tjocka profilen. För profiler som är tunnare än 100 mm adderas ingen vertikal snölast.

Beroende av skyltens placering och hur topografin i området ser ut, påverkar en faktor  $C_e$  hur mycket slutlig vertikal snölast skyltkonstruktionen belastas med. Exponeringsfaktorn,  $C_e$ , varierar mellan vindutsatta lägen till mer skyddade. Detta redogörs för i SS-EN 1991-1-3 avsnitt 5.2 [19].

	Vindutsatt	Normal	Skyddad
Exponeringsfaktor, $C_e$	0,8	1,0	1,2

I avsnitt 5.2 i SS-EN 1991-1-3 finns också en faktor  $C_t$  för att beakta termiska förluster, främst i husbyggande. Då skyltar saknar termisk uppvärmning som förorsakar smältning sätts denna faktor till 1,0 [19].

$$\text{Termisk koefficient, } C_t = 1,0$$

Den vertikala karakteristiska snölasten beräknas enligt SS-EN 1991-1-3 avsnitt 5.2 baserat på snözon, formfaktor, exponeringsfaktor och den termiska koefficienten [19].

$$\text{Vertikal snölast, } s \text{ [kN/m}^2\text{]} = s_k \cdot \mu \cdot C_e \cdot C_t$$

### 3.3.3.2 Last av plogsnö

Med plogsnö menas den snö som träffar vägskyltarna då vägbanan plogas. Vägskyltarna med tillhörande konstruktion ska dimensioneras för olika plogningshastigheter. Plogningshastigheten förutsätts vara 60 km/h på mötesfri väg samt motorväg. På landsbygd skall plogningshastigheten förutsättas vara 50 km/h i övriga fall [8, K194953].

### Plogsnölast, $p_{sk}$

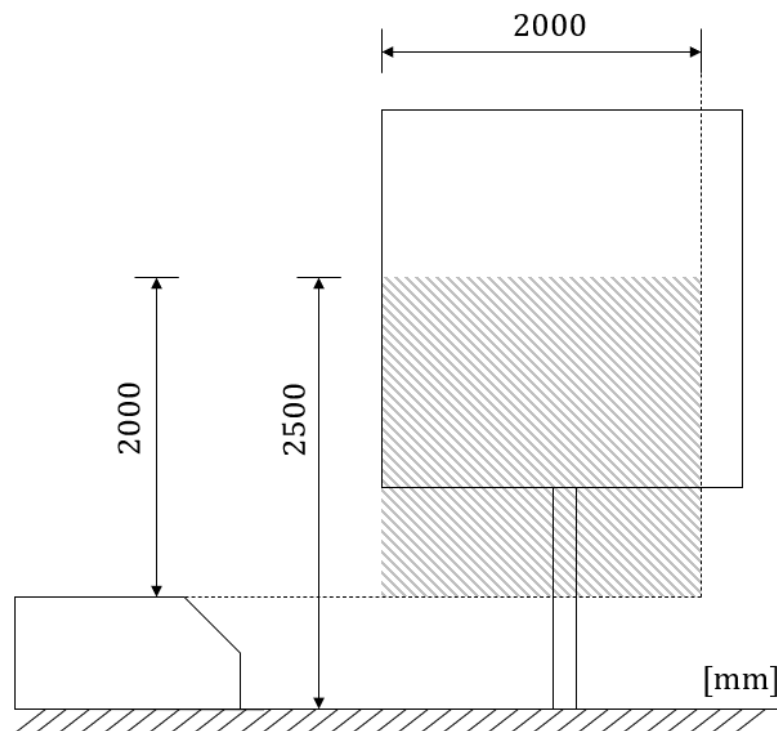
Den yta som belastas av plogsnö anges i SS-EN 12899-1 A.2.2 [21], se figur 3-8 och figur 3-9 för dimensioneringsmodell. Den belastade ytan ska anses vara vinkelrätt mot lasten från plogsnön oberoende av dess riktning i förhållande till vägbanan [8, K195187]. Två lastfall beaktas, ett som ger max böjmoment och ett som ger max vridmoment. För den skyltarea som träffas av plogsnön och som orsakar max böjmoment betraktas den area som bildas från 500 mm över marken (eller från vägbanans höjd) till höjden 2000 mm och bredden 2000 mm från skyltkanten närmast vägbanan. Här beaktas lasten på både skylt och stolpe.

$$h_{psk,maximum} = 2,5 \text{ m}$$

$$h_{psk,minimum} = 0,5 \text{ m}$$

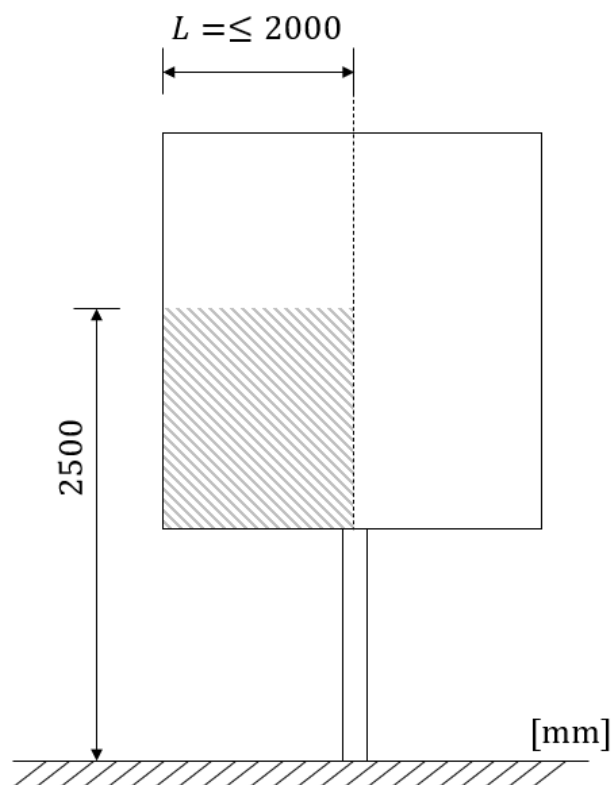
$$h_{psk,träff} = h_{psk,maximum} - h_{psk,minimum} = 2,0 \text{ m}$$

$$b_{psk,träff} = 2,0 \text{ m}$$



Figur 3-8 Formfaktorn för plogsnö och maximalt böjmoment för en markplacerad vägs skylt. Bilden är ritad med inspiration från SS-EN 12899-1:2007 avsnitt: A.2.2 Large sign mounted on a single support, med Svenska institutet för standarder (SiS) som ansvarig utgivare.

För den skyltarea som träffas av plogsnön och som orsakar max vridmoment betraktas den area som bildas från höjden 2500 mm från marken och bredden som är mindre eller lika med 2000 mm från skyltkanten närmast vägbanan till stolpens mitt. Här beaktas dock bara lasten på skylten.



Figur 3-9 Formfaktorn för plogsnö och max vridmoment för en markplacerad vägs skylt. Bilden är ritad med inspiration från SS-EN 12899-1:2007 avsnitt: A.2.2 Large sign mounted on a single support, med Svenska institutet för standarder (SiS) som ansvarig utgivare.

Skyltens avstånd från vägbanekant och den hastighet snön plogas med påverkar lastintensiteten på vägs skylten. Den ska väljas enligt tabell 3-10 [8, K195190]. Vid väldigt låg plogningshastighet på platser som exempelvis gång- och cykelvägar, i tätorter med närliggande bebyggelse och korsningar som regleras med signaler, kan  $s_k = 0$  antas [8, råd tillhörande K195190].

Tabell 3-10 Snölast för plogsnö.

Avstånd kant till kant, vägmärke och vägbana [m]	Plogningshastighet [km/h]		
	Låg	50	60
Snölast, $s_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]			
< 3,5	0	2,5	4
3,5 - < 5,0	0	1,5	3
5,0 - < 6,0	0	0	2,5
6,0 - 7,0	0	0	1,5

För standardskyltar gäller vissa speciella krav. Dessa tas upp i avsnitt 3.4.

### 3.3.4 Islast

Dimensionering med avseende på islast är ett objektspecifikt byggherreväl. Anger byggherren att islast ska beaktas så ska det göras. Annars beaktas det ej [8, K194957 & K194958].

Den karakteristiska islasten bestäms genom en definierad tyngd på  $9 \text{ kN/m}^3$  för is och en istjocklek på 10 mm på alla ytor.

$$\begin{aligned} \text{Tyngd av islast, } g_{isl\text{ast}} &= 9 \text{ kN/m}^3 \\ \text{Tjocklek islast, } t_{isl\text{ast}} &= 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Islast, } i s_k$$

### 3.4 Standardvägmärken

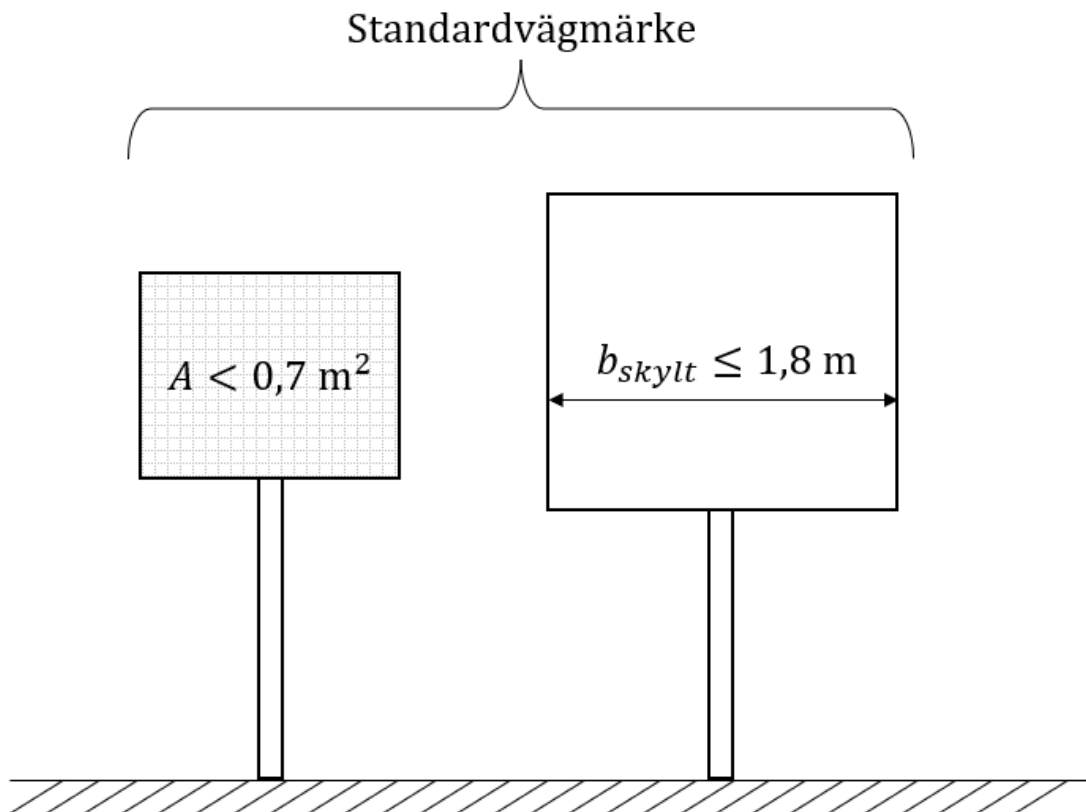
Som standardvägmärken klassas de vägmärken som har ett breddmått på maximalt 1,8 meter [7]. Standardvägmärkena dimensioneras annorlunda jämfört med lokaliseringsskyltar som har ett breddmått större än 1,8 meter. Hur dessa dimensioneras annorlunda redogörs för i avsnitt 8.3.5 i TRVINFRA-00338 [8] med hänvisning till SS-EN 12899-1 [21]. Skillnaden från dimensionering i övriga fall redovisas nedan.

- Vid dimensionering skall partialsäkerhetsfaktorerna 1,2 och 1,35 användas för den permanenta respektive variabla lasten för beräkning i brottgränstillståndet. I brist på förtydliganden i regelverken används vid beräkning av brottgränstillståndet inga huvudlaster eller reduceringsfaktorer.
- De variabla lasterna vindlast och plogsnölast har ett bestämt värde för respektive last.
- Vindlasten får placeras centriskt för standardvägmärken.
- Formfaktorn för vindlast är 1,2.

$$\begin{aligned} \text{Karakteristiskt vindtryck [kN/m}^2\text{]}, q_k &= 1,20 \\ \text{Karakteristisk plogsnölast [kN/m}^2\text{]}, p s_k &= 2,50 \end{aligned}$$

$$\text{Kraftformfaktorn, } c_f = 1,2$$

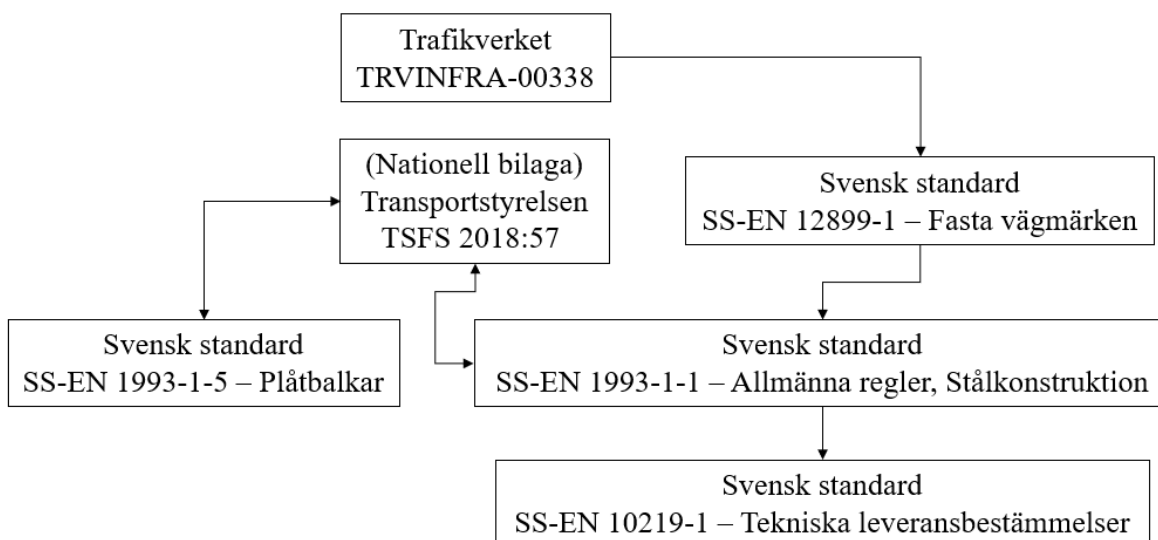
För vägmärken med en skyltarea som understiger  $0,7 \text{ m}^2$  genomförs inga speciella dimensioneringar [8, K195203]. Dessa tas därför inte vidare upp.



Figur 3-10 En skylt med en area understigande  $0,7 \text{ m}^2$  och en skylt med ett maximalt breddmått på  $1,8 \text{ m}$  klassas som standardvägmärke och dimensioneras annorlunda.

### 3.5 Bärförmåga för stålkonstruktioner

Aktuella regelverk för dimensionering av stolpar i stål och hur dessa hänvisar till varandra illustreras i figur 3-11.



Figur 3-11 Hur regelverken för dimensionering av stolpar i stål hänvisar till varandra.



I alla nedanstående avsnitt är det SS-EN 1993-1-1 som är huvudkälla [22]. Används annan källa redovisas denna.

### 3.5.1 Materialets egenskaper

Materialvalet har stor betydelse för en konstruktions kapacitet. TRVINFRA-0038 redogör för att bärare till vägmärken ska utföras av stål eller aluminium [8, K195175].

Isaksson med flera förklarar i boken *Byggnadskonstruktion* att stål som belastas normalt har en elastisk del och en plastisk del [23]. För varmformade konstruktioner finns det en sträckgräns och brottgräns. Den övre sträckgränsen fungerar som mått för maximal spänning i materialet innan plasticering sker. I den plastiska delen ökar spänningen ytterligare, men efter nådd brottgräns dalar spänningen fram till att brott uppkommer. För det kallbearbetade stålet är dessa gränser inte lika tydliga [23].

Den nationella bilagan anger hur karakteristiska värden för brottgränsen  $f_u$  och sträckgränsen  $f_y$  ska väljas [14]. Den lägsta sträckgränsen kallas  $R_{eH}$  och används som värde för  $f_y$ . Brottgränsens kallas för  $R_m$  och används som värde för  $f_u$ . Det aktuella stålets värden återfinns i standarden SS-EN 10219-1 [24] och i tabell 3-11.

Tabell 3-11 Sträckgräns och brottgräns för stålet S355J2H.

Stålnamn	Tjocklek [mm]	$R_{eH}$ $f_y$ [MPa]	$R_m$ $f_u$ [MPa]		
			Intervallvärden		
		Lägsta	Mitten	Högsta	
S355J2H	$\leq 16$	355			
	$> 16 \leq 40$	345			
	$< 3$		510	595	680
	$\geq 3 \leq 40$		470	550	630

Stålets duktilitet, hur väl stålet klarar plastisk deformation utan att sprickor bildas, begränsas av:

$$\frac{f_u}{f_y} \geq 1,10 \quad \text{och} \quad \varepsilon_u \geq 15 \cdot \frac{f_y}{E}$$

enligt TSFS 2018:57 [14].

Transportstyrelsen redogör för partialkoefficienterna som i ordning tar hänsyn till bärförmågan, 0: tvärsnitt oavsett tvärsnittsklass, 1: instabilitetshänsyn och 2: tvärsnittets bärförmåga med hänsyn till dragbrott.

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

$$\gamma_{M2} = \frac{f_u}{f_y} \cdot 0,9 \quad (\text{maximalt } 1,1)$$

Övriga materialegenskaper som krävs är elasticitetsmodulen,  $E$ , och skjuvmodulen,  $G$ .

$$\begin{aligned} \text{Elasticitetsmodul, } E &= 210 \text{ GPa} \\ \text{Skjuvmodul, } G &= \frac{E}{2(1 + \nu)} \approx 81 \text{ GPa} \end{aligned}$$

Elastiska områdets tvärkontraktionstal,  $\nu = 0,3$

## 3.5.2 Tvärsnitt

### 3.5.2.1 Tvärsnittsklasser

Tvärsnittsklasser definieras i SS-EN 1993-1-1 avsnitt 5.2 och används för att avgöra hur mycket buckling påverkar bärförmågan för tvärsnittet [22].

Slanka konstruktionsdelar och tvärsnittsdelar utsatta för tryck kan drabbas av buckling. Detta kan studeras utifrån två fall, global och lokal buckling [25]. Den globala bucklingen handlar om att hela konstruktionsdelen bucklar ut från sin längsgående linje, vilket i detta fall innebär knäckning. Den lokala bucklingen innefattar när istället en mindre del av konstruktionsdelen bucklar från sin ursprungliga form. Tvärsnittsdelar som har stöd i två ändar, har en större motståndskraft mot lokal buckling. Stålkvalitén (flytspänningen) påverkar också benägenheten till buckling. SS-EN 1993-1-1 beaktar detta genom faktorn  $\varepsilon$  [22].

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

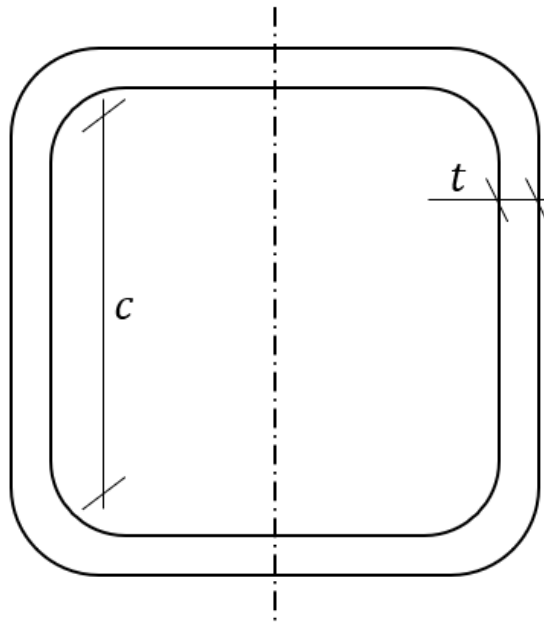
Klassificeringen beror av tvärsnittets slankhet bredd i förhållande till dess tjocklek, för tryckbelastade tvärsnittsdelar. SS-EN 1993-1-1 klassar en tryckt tvärsnittsdela som en del som helt eller delvis är under tryck för det lastfall som studeras [22]. Klassificeringen sker i klasser från 1–4, där den högsta klassen (minst fördelaktiga) väljs baserat på dess tryckta delar.

- Klass 1:** Plastisk momentkapacitets-analys genomförs, utan reduktion av tvärsnittets bärförmåga. Tvärsnittets rotationskapacitet är tillräcklig för att flytleder ska kunna bildas, och gränslastteori kan användas.
- Klass 2:** Plastisk bärförmåga för moment kan uppnås, men rotationskapaciteten begränsas på grund av buckling. Gränslastteori kan ej användas.
- Klass 3:** Buckling förhindrar att tvärsnittet når plastisk bärförmåga för moment. Delar av tvärsnittet kan uppnå flytgränsen med elastisk spänningsfördelning. Elastisk momentbärförmåga är det minsta som tvärsnittet klarar.
- Klass 4:** Lokal buckling inträffar på någon del av tvärsnittet före minst en del uppnår flytgränsen. Elastisk momentbärförmåga uppnås inte.

De tvärsnittsdelar som inte klarar kraven för tvärsnittsklass 3 ska väljas som klass 4. För detta arbete är de kvadratiska tvärsnitt som redovisas i 2.2 relevanta. Ingen av dessa stolpar faller inom tvärsnittsklass fyra och därför behandlas inte den klassen vidare. Baserat på lastfallet beräknas klassen utifrån om tvärsnittet belastas av böjning, tryck eller samtidig böj och tryck. Beräkningen görs genom kontroll av kvoten  $c$  genom  $t$  där:

$$c = b - 2 \cdot t$$

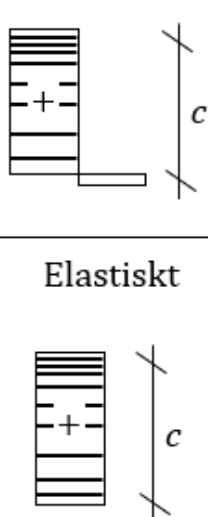
$c$  är tvärsnittets bredd,  $b$ , minus två tjocklekar,  $t$ . Dessa definieras i figur 3-12. Tvärsnittets radier försummas här. KKR-rörets utformning bidrar till att tvärsnittet oavsett belastning i tryck- eller böjning, alltid har en fläns under helt tryck. För det här arbetet aktuellt är det därför aktuellt att beakta tryckbelastning enligt tabell 3-12, där  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ .



Figur 3-12 Avståndet  $c$  och  $t$  för KKR-tvärsnittet. Strecket i mitten illustrerar en av böjningsaxlarna.

Tryck definieras som positivt och i tabell 3-12 illustreras hur hela tvärsnittet är tryckbelastat.

Tabell 3-12 Vid tryckbelastning beräknas tvärsnittsklasserna enligt nedan.

Spänningsfördelning på tvärsnittet	Utsatt för tryck		Klass
		1	
2			$\frac{c}{t} \leq 38\varepsilon$
3			$\frac{c}{t} \leq 42\varepsilon$

### 3.5.3 Bärförmåga för tvärsnitt

Vid kontroll av bärförmåga för tvärsnitt beaktas inte instabilitet som knäckning. Detta behandlas i avsnitt 3.5.4. SS-EN 1993-1-1 redogör för att ett tvärsnitts bärförmåga inte får vara mindre än den lasteffekt som konstruktionen utsätts för [22]. Lasteffekt motsvarar de snittstorheter som uppkommer vid last, exempelvis moment och tvärkraft [26]. Effekten av flera verkande laster kombinerat får inte heller de överstiga tvärsnittets dimensionerande bärförmåga. Klassificeringen av tvärsnittet ligger till grund för bärförmågans dimensioneringsvärde [22].

Standarden beskriver hur en approximation kan göras för tvärsnittsklasserna 1-3 där kapacitetsfaktorn i varje spänningsresultant ( $N_{Ed}$ ,  $M_{y,Ed}$  och  $M_{z,Ed}$ ) används [22]. Approximationen ligger på säkra sidan, och tillämpas enligt:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1,0$$

där tvärsnittsklass och eventuella skjuveffekter har beaktats. För det här arbetet är inte böjning i två riktningar aktuellt och uttrycket kan därför förenklas till:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1,0$$

SS-EN 1993-1-1 redogör i avsnitt 6.2.1 (7) att bärförmågans dimensioneringsvärde för tvärsnittets ska användas [22]. Här kan bärförmågan för elastiskt dimensioneringsvärde

användas för beräkning på säkra sidan. Dimensionering fortsättningsvis sker dock med tvärsnittsbaserade bärförmågevärden. De värden som beaktas på tvärsnittet och som är tagna med ursprungliga mått kallas för bruttotvärsnitt. Bruttotvärsnittet är det som fortsättningsvis används [22].

### 3.5.3.1 Enskild lasteffekt

Vid dimensionering betraktas tvärsnittets dimensionerande bärförmåga utifrån olika lasteffekter. De lasteffekter som är aktuella i detta arbetet normalkraft, tvärkraft, moment och vridmoment. I SS-EN 1993-1-1 redogörs för hur tvärsnittets bärförmåga ska tas fram, beroende på vilken lasteffekt som påverkar konstruktionen [22]. Lasteffektens dimensioneringsvärde ska inte överstiga tvärsnittens respektive dimensionerande bärförmåga.

Då flera laster verkar samtidigt ska istället bärförmågan för kombinationen av lasteffekter sätta gränsen för kombinationens bärförmåga. Klarar en konstruktion inte kraven för enskilda lasteffekt kommer de heller inte klara kravet för bärförmåga i kombination med andra. Dimensionering med kombinationen av lasteffekter redogörs för i 3.5.3.2.

#### Tryckkraft

Den dimensionerande tryckande normalkraft,  $N_{Ed}$ , som uppstår i konstruktionen ska jämföras med den dimensionerande bärförmågan för tryckkraft,  $N_{c,Rd}$ , som valt stålelement klarar.

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

Stålelementets tryckkraftskapacitet med jämnt belastat tvärsnitt bestäms enligt nedanstående formel. För tvärsnittsklass 1–3 gäller:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{f_y \cdot A}{\gamma_{M0}}$$

där  $A$  är tvärsnittsarean.

#### Tvärkraft

Dimensioneringskriteriet för tvärkraft är:

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$$

där den dimensionerande bärförmågan för tvärkraft,  $V_{c,Rd}$ , beror på om bärförmågan är plastisk eller elastisk. För plastisk bärförmåga (klass 1 och 2) i konstruktioner där vridning ej förekommer, beräknas tvärkraftskapaciteten  $V_{c,Rd}$  enligt:

$$V_{pl,Rd} = \frac{f_y \cdot A_v}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}}$$

där skjuvarean,  $A_v$ , för kvadratiska konstruktionsrör med konstant tjocklek oavsett lastriktning beräknas enligt:

$$A_v = \frac{Ab}{2b}$$

där  $b$  är rörets sidolängd.

För den elastiska bärförmågan (klass 3) beräknas bärförmågan för tvärsnittet för tvärkraft enligt:

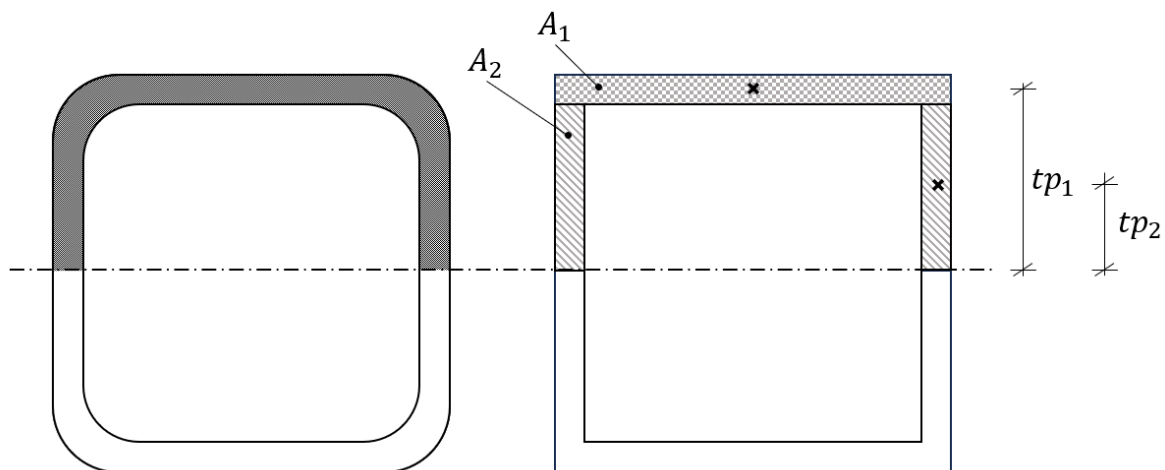
$$\frac{\tau_{Ed}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}}} \leq 1,0 \quad \text{och} \quad \tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S}{t \cdot I}$$

Som kan skrivas som:

$$V_{el,Rd} = \frac{f_y \cdot t \cdot I}{S \cdot \gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}}$$

där  $t$  är tjockleken i den punkt som beaktas för maximal tvärkraft.  $t$  blir i detta fall tvärsnittets dubbla tjocklek. I det här arbetet försummas tvärsnittets radier och  $S$  är det statiska momentet enligt:

$$S = A_1 \cdot tp_1 + 2 \cdot A_2 \cdot tp_2$$



*Figur 3-13 Det vänstra tvärsnittet illustrerar den avskjuvade area som beaktas för tvärsnittsberäkningen. Det högra tvärsnittet illustrerar beräkningsmodellen för att ta fram det statiska momentet.*

### Vridning

I konstruktionsdelar där tvärsnittsdeformationer kan försummas, skall det dimensionerande vridmomentet,  $T_{Ed}$ , som belastar konstruktionen för ett snitt i det aktuella lastfallet vara mindre eller lika med dimensionerande bärförmåga för vridmomentet,  $T_{Rd}$ .

$$T_{Ed} \leq T_{Rd}$$

Bärförmågan för vridning beräknas enligt:

$$T_{Rd} = \frac{f_y \cdot W_v}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}}$$

Där  $W_v$  är det elastiska vridmotståndet.

### Böjmoment

Dimensionerande böjmoment,  $M_{Ed}$ , som påverkar konstruktionen i aktuellt lastfall jämförs med stålelementets kapacitet för böjmoment. Dimensionerande bärförmågekapacitet,  $M_{c,Rd}$ , måste i alla snitt vara större eller lika med det aktuella böjmomentet.

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

Momentkapaciteten beror på tvärsnittets tvärsnittsklass. Vid plastisk momentkapacitet (klass 1 och 2) används:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{f_y \cdot W_{pl}}{\gamma_{M0}}$$

Vid elastisk momentkapacitet (klass 3) ska kapaciteten beräknas enligt:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{f_y \cdot W_{el}}{\gamma_{M0}}$$

Där  $W_{pl}$  och  $W_{el}$  står för de plastiska respektive elastiska böjmotståndet.

#### **3.5.3.2 Lasteffekter i kombination**

Vid beräkning av lasteffekter i kombination, redogör SS-EN 1993-1-1 för att hänsyn bör tas till hur lasteffekterna kan komma att påverka varandras bärförmåga [22]. I kombination görs därför reducering av lasteffekterna för att beakta att flera lasteffekter verkar samtidigt.

### Normalkraft och böjmoment

Vid samtidigt böjmoment och tryck bör hänsyn tas till den plastiska bärförmågan för moment. Därför bör normalkraftens inverkan beaktas och den plastiska bärförmågan för moment reduceras.

För tvärsnittsklass 1 och 2 skall  $M_{Ed}$  vara mindre än den reducerade plastiska bärförmågan för moment  $M_{N,Rd}$ . Detta gäller när den samtidiga dimensionerande tvärkraften är mindre än hälften av kapaciteten för bärförmåga vid tvärkraft.

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

För kvadratiska konstruktionsrör med jämn tjocklek och böjning kring en axel beräknas  $M_{N,Rd}$  enligt:

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \frac{1-n}{1-0,5a_w} \quad \text{dock: } M_{N,Rd} \leq M_{pl,Rd}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

$$a_w = \frac{A - 2bt}{A} \quad \text{där } a_w \leq 0,5$$

Där  $b$  är konstruktionsrörets bredd parallellt med böjningsaxeln.

Uttrycket kan skrivas om enligt:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \cdot (1 - 0,5a_w) \leq 1$$

förutsatt att  $M_{Ed}$  är mindre än  $M_{pl,Rd}$ .

### Normalkraft, moment, tvärkraft och vridning

Vi kombination av fler än två lasteffekter kontrolleras hur den dimensionerande tvärkraften,  $V_{Ed}$ , förhåller sig till den plastiska dimensionerande bärförmågan för tvärkraft,  $V_{pl,Rd}$ , med vridning. Den dimensionerande bärförmågan för tvärkraft, med samtidig vridning är enligt följande:

$$V_{pl,T,Rd} = V_{pl,Rd} \cdot \left( 1 - \frac{\tau_{t,Ed} \cdot \gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}}{f_y} \right)$$

där

$$\tau_{t,Ed} = \frac{T_{Ed}}{W_v}$$

Eurokod beaktar enbart den plastiska tvärkraftens bärförmåga vid beaktande av vridning. Kommande beräkningar baseras därför enbart på  $V_{pl,T,Rd}$ .

Bärförmågan med vridning är en reducering av bärförmågan utan vridning.



Tabell 3-13 Kontroll av dimensionerande tvärkraft, påverkar beräkningsföljden fortsatt.

Normalkraft, moment, tvärkraft och vridning	
Kontroll	
$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,T,Rd}$	$V_{Ed} > 0,5 \cdot V_{pl,T,Rd}$
Åtgärd	
Ingen reducering behöver genomföras (beror av eventuell skjuvbuckling)	Reducering krävs (beträktas på hela tvärsnittsarean)
	$f_{y,T,red} = f_y \cdot (1 - \rho)$ $\rho = \left( \frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} - 1 \right)^2$ $N_{c,T,Rd} = \frac{f_{y,T,red} \cdot A}{\gamma_{M0}}$ $N_{b,T,Rd} = \frac{f_{y,T,red} \cdot A \cdot \chi}{\gamma_{M1}}$ $M_{pl,T,Rd} = \frac{f_{y,T,red} \cdot W_{pl}}{\gamma_{M0}}$ $M_{el,T,Rd} = \frac{f_{y,T,red} \cdot W_{el}}{\gamma_{M0}}$

$N_{b,T,Rd}$  beaktar knäckning och redogörs för i avsnitt 3.5.4.

För att få lov att beräkna enligt tabell 3-13, krävs att eventuell skjuvbuckling inte reducerar bärförmågan. Skjuvbuckling behöver beaktas ifall:

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

där

$$h_w = b_{stolpe} \quad \text{och} \quad t_w = t_{stolpe}$$

$$\eta = 1,20$$

enligt SS-EN 1993-1-5. För stålsort upp till och med S460 rekommenderar SS-EN 1993-1-5 [27] att  $\eta$  är lika med 1,20. För de fyra olika typer av KKR-stolpar som är aktuella för arbetet, faller ingen av dessa inom kravet för att kontrollera skjuvbuckling.

### 3.5.4 Bärförmåga vid instabilitet

Kontroll måste genomföras för att beakta eventuell instabilitet. Enligt SS-EN 1993-1-1 [22] kan knäckning kan försummas om:

$$\bar{\lambda} \leq 0,2 \quad \text{eller} \quad \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq 0,04$$

Där  $\bar{\lambda}$  är slankheten och  $N_{cr}$  är Eulers knäcklast. Slankheten beräknas enligt:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}}$$

Eulers knäcklast beräknas enligt:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(\beta \cdot L)^2}$$

där  $(\beta \cdot L)$  är praktiskt tillämpbar effektiv knäcklängd för en fast inspänd pelare.

$$\beta = 2,1$$

Eftersom de horisontella lasterna är dominerande för många stolpar kan instabilitet ofta försummas. För de fall där villkoret ovan inte är uppfyllt hanteras instabilitet enligt följande.

Vid risk för knäckning förstoras det dimensionerande momentet enligt Isaksson och Mårtenssons *Byggkonstruktion, Regel och formelsamling* [28]. Den förenklade metod beaktar andra ordningens effekter.

$$M_{Ed} = M_{0,Ed} \cdot \frac{v}{v-1}$$

$$v = \frac{N_{cr}}{N_{Ed}}$$

Samtidigt används dimensionerande bärförmåga för tryckkraft med hänsyn till knäckning enligt SS-EN 1993-1-1 [22]. Visar det sig att risk för knäckning föreligger beräknas en dimensionerande bärförmåga för tryckkraft,  $N_{b,Rd}$ , med hänsyn till knäckning.

$$N_{b,Rd} = \frac{f_y \cdot A \cdot \chi}{\gamma_{M1}}$$

Där  $\chi$  är reduktionsfaktorn för instabilitet.

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \bar{\lambda}^2 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2))$$

Där  $\alpha$  är en imperfektionsfaktor som beaktar aktuell tvärsnittsgrupp. För KKR-profiler gäller:

$$\alpha = 0,49$$

I övrigt används samma kontroll som i avsnitt 3.5.3. Tvärsnittskontrollen görs baserat på elasticitetsteorin och får bara användas för tvärsnitt i klass 1–3. Kontrollen görs enligt nedan:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{el,Rd}} \leq 1,0$$

### 3.5.5 Beräkningsgång

För att beakta alla kombinationer av laster och hur dessa påverkar i kombination med varandra undersöks först risken för knäckning och förhållandet mellan den dimensionerande tvärkraften och bärförmågan för tvärkraft vid vridning, se tabell 3-13.

Vid tvärsnittsklass 1–2 jämförs den dimensionerande tvärkraften med den plastiska bärförmågan för tvärkraft. Beroende på förhållandet mellan dessa samt om det finns risk för knäckning görs beräkningarna för hållfastheten på olika sätt, se tabell 3-14.

Tabell 3-14 Dimensioneringsvillkor för tvärsnittsklass 1–2 vid beräkning av lasteffekterna vid flera kombinerade laster.

<b>Tvärsnittsklass 1 &amp; 2</b>		
	$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,T,Rd}$	$V_{Ed} > 0,5 \cdot V_{pl,T,Rd}$
Risk för knäckning	$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{0,Ed} \cdot \frac{v}{v-1}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,0$	$\frac{N_{Ed}}{N_{b,T,Rd}} + \frac{M_{0,Ed} \cdot \frac{v}{v-1}}{M_{pl,T,Rd}} \leq 1,0$
Ingen risk för knäckning	$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{el,Rd}} \cdot (1 - 0,5a_w) \leq 1,0$  dock $\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,0$	$\frac{N_{Ed}}{N_{c,T,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,T,Rd}} \leq 1,0$

Vid tvärsnittsklass 3 jämförs den dimensionerande tvärkraften med den elastiska bärförmågan för tvärkraft vid vridning, se tabell 3-15.

Tabell 3-15 Dimensioneringsvillkor för tvärsnittsklass 3 vid beräkning av lasteffekterna vid flera kombinerade laster.

<b>Tvärsnittsklass 3</b>		
	$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,T,Rd}$	$V_{Ed} > 0,5 \cdot V_{pl,T,Rd}$
Risk för knäckning	$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{0,Ed} \cdot \frac{v}{v-1}}{M_{el,Rd}} \leq 1,0$	$\frac{N_{Ed}}{N_{b,T,Rd}} + \frac{M_{0,Ed} \cdot \frac{v}{v-1}}{M_{el,T,Rd}} \leq 1,0$
Ingen risk för knäckning	$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{el,Rd}} \leq 1,0$	$\frac{N_{Ed}}{N_{c,T,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{el,T,Rd}} \leq 1,0$

### 3.6 Redovisning

För redovisning av utförd dimensionering upprättas ofta en konstruktionsredovisning. Trafikverket kräver redovisning för bärare till större vägmärken [8, K195081]. Dessa klassificeras som skyltar vars area överstiger 20 m<sup>2</sup>.

De vägmärken som dimensioneras ska uppfylla krav för beständighet, stadga och bärförmåga på tilltänkt placering med de platsspecifika förutsättningar som råder [8, K195167]. Beräkning ska ligga till underlag för bestämning av deformation och bärförmåga [8, K195169]

Dimensioneringen för de större vägskytlarna ska utföras enligt standarden SS-EN 1090-1 [8, K195083]. Upprättad resultatfil i verktyget betraktas inte som fullständig konstruktionsredovisning.

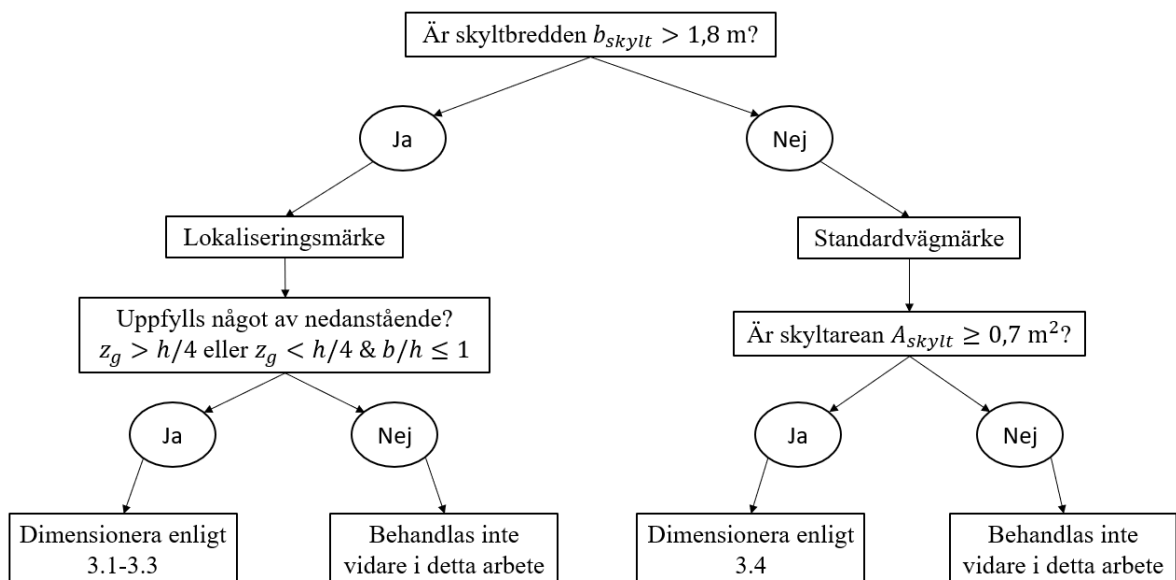


## 4 Lastberäkning

I detta kapitel visas hur regler och krav från kapitel 3 används för lastberäkning på skyltkonstruktioner. Framtagna uttryck utgör underlag för implementeringen i beräkningsverktyget.

Beroende av skyltens storlek kommer dimensioneringen ske på olika vis. Standardvägmärken som har en maximal bredd på 1,8 m samt en area större eller lika med  $0,7 \text{ m}^2$  kommer att dimensioneras enligt regelverket i avsnitt 3.4. De skyltar som betraktas som fria väggar tas inte vidare upp. Lokaliseringsmärken dimensioneras enligt avsnitt 3.1–3.3.

De standardskyltar som har en area mindre än  $0,7 \text{ m}^2$  och de skyltar som har ett speciellt förhållande mellan höjd, bredd och avståndet från skyltens nedkant till marken behandlas annorlunda och tas inte upp mer i detta arbete.



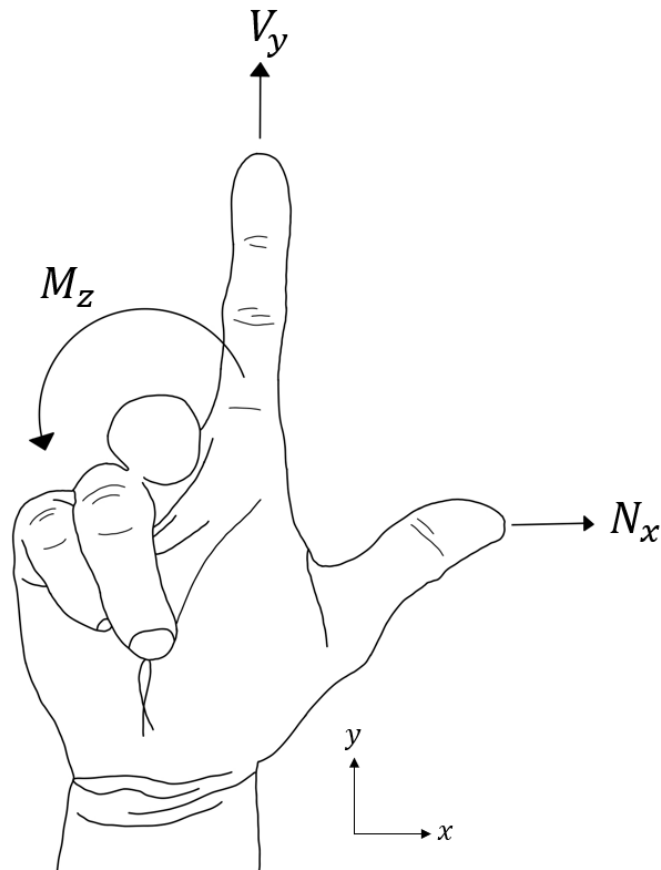
Figur 4-1 Vid dimensioneringens start måste skyltens egenskaper kontrolleras för att därefter välja korrekt regelverk för skylttypen.

Vid all typ av dimensionering skall enheten Newton användas. För att omvandla massa till tyngder används tyngdaccelerationskonstanten  $g$ .

$$g = 10,0 \text{ m/s}^2$$

### 4.1 Från 2D till 3D

I många sammanhang, t.ex. grundläggande utbildning, används 2D-beräkningsmodeller. Ett exempel på en sådan beräkningsmodell kan vara balkar i planet. För att beskriva verkliga konstruktioner krävs ofta 3D-modeller. Detta avsnitt avser att förklara skillnaden mellan 2D-balkar och 3D-balkar när det gäller vilka snittkrafter som finns.



Figur 4-2 Krafternas positiva riktningar för beräkningar i 2D, illustrerade med högerhandsregeln.

Illustration gjord av Moa Liljeqvist.

De snittkrafter som påverkar en balk i planet ser ut enligt:

$$f_{2D} = \begin{matrix} N_x \\ V_y \\ M_z \end{matrix}$$

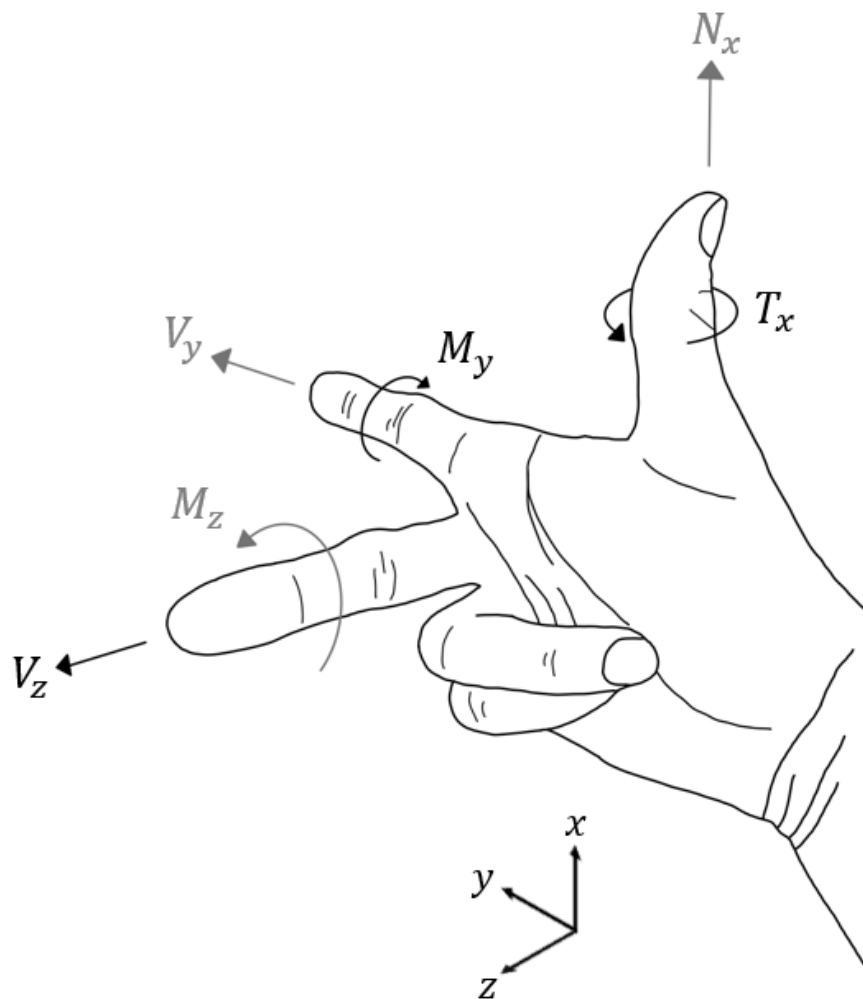
För en balk i 3D adderas ytterligare tre snittkrafter. Krafterna som påverkar en 3D-balk redovisas nedan.

$$f_{3D} = \begin{matrix} N_x \\ V_y \\ V_z \\ T_x \\ M_y \\ M_z \end{matrix}$$

Vid beräkning krävs att alla snittkrafterns positiva riktning också är definierad. Alla riktningar som pekar ut från respektive finger, är den positiva riktningen. De positiva rotationerna ges genom att lägga höger tumme i respektive riktning. Det håll som övriga



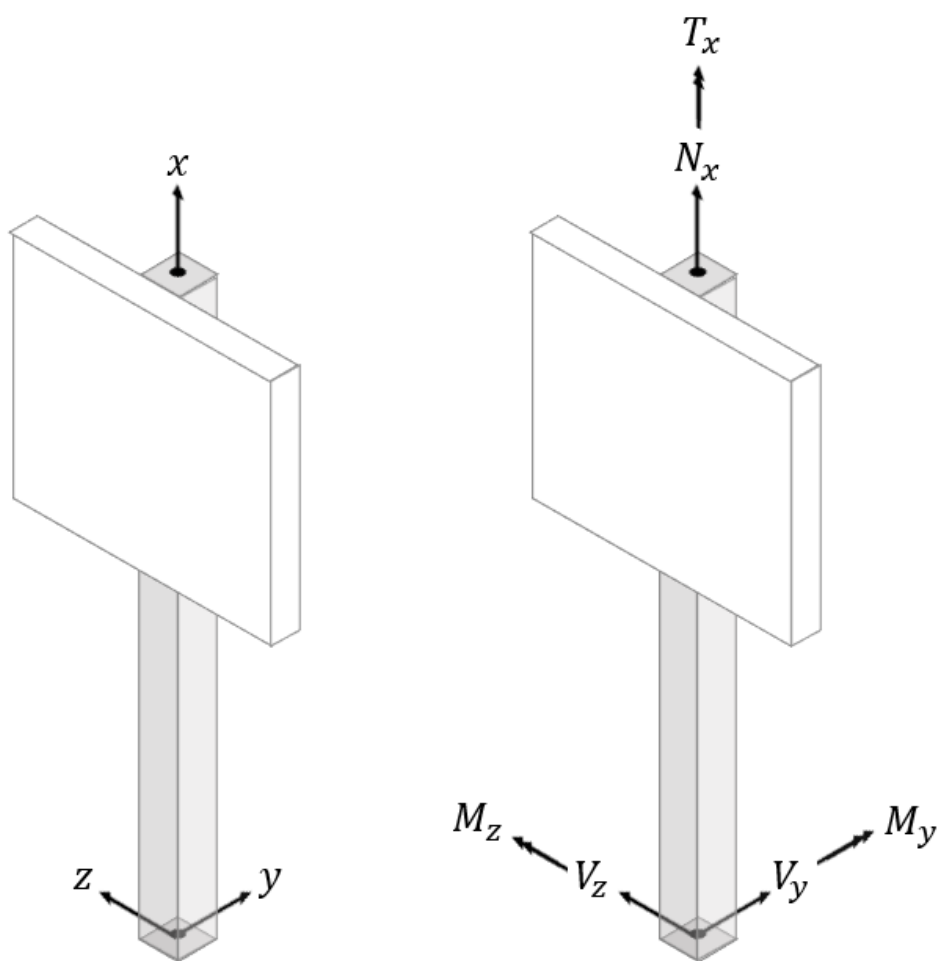
fingrar pekar åt, är den positiva riktningen för rotationen. Moment kan för att underlätta vid tvådimensionella ritningar, betecknas som en dubbelpil. Se figur 4-3 för de positiva riktningarna i 3D.



*Figur 4-3 Krafternas positiva riktningar för beräkningar i 3D, illustrerade med högerhandsregeln. De gråa riktningarna är redan kända från 2D perspektivet och nya riktningar i 3D perspektivet illustreras som svarta.*

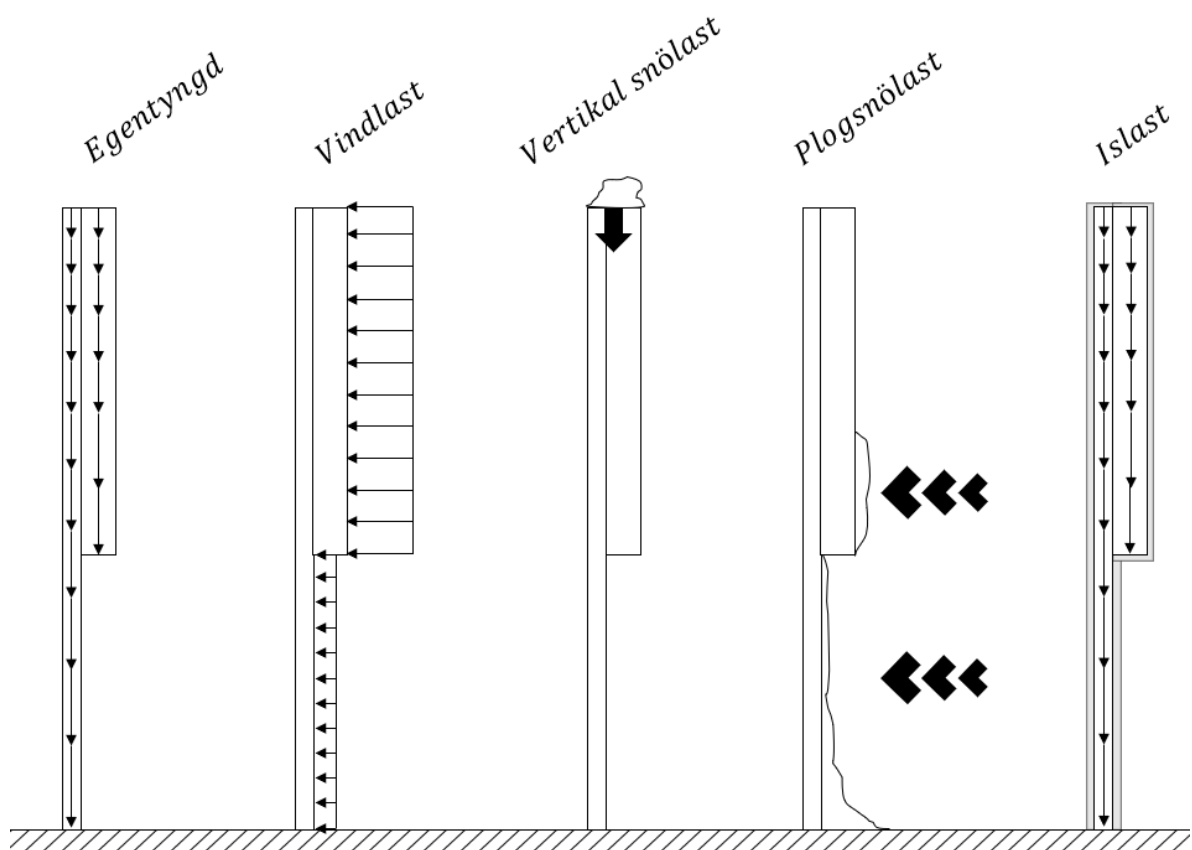
*Illustration gjord av Moa Liljeqvist.*

Följande avsnitt med skyltkonstruktionens dimensionering samt utveckling av programkod, görs enligt de tredimensionella riktningar som visas i figur 4-4. Stolpen ligger i  $x$ -axelns riktning och horisontell last i  $y$ -axelns riktning.



Figur 4-4 De tre koordinataxlarna, med respektive positiva riktningar för snittkrafter i skyltkonstruktionen.

## 4.2 Skyltkonstruktion



Figur 4-5 Laster som påverkar skyltkonstruktionen.

Skyltkonstruktionen antas vara en fast inspänd pelare där andra ordningens teori betraktas approximativt enligt avsnitt 3.5.4. Konstruktionen påverkas av olika krafter som verkar i vertikal och horisontell riktning. De laster som verkar på konstruktionen är egentyngd, vindlast, vertikal snölast och plogsnölast samt islast. För konsolbalken är det inspänningsnittet som är det kritiska snittet i brottgränstillståndet och därför är det mest intressant att studera. I bruksgränstillståndet beaktas istället skylttoppens utböjning i förhållande till dess vertikala linje. Effekten av lasterna i de olika dimensioneringsfallen (brott- och bruksgränstillståndet) ges genom att addera ihop de separat beräknade lasteffekterna med superpositionsprincipen i inspänningsnittet för alla olika lastkombinationer. Aktuella kombinationer utifrån redovisade regler i kapitel 3 redovisas i tabell 4-1 och tabell 4-3. Lastkombinationer enbart bestående av egentyngd har utelämnats, eftersom alla variabla laster anses ogynnsamma är det alltid farligare med en eller flera variabla laster.

Kombinationerna är framtagna med betraktande av alla möjliga kombinationer, där hänsyn tagit till lasternas riktning. För beräkning i brottgränstillståndet för standardskyltar används inga huvudlaster. Här beräknas istället alla variabla laster med samma partialsäkerhetsfaktor och inga reduceringsfaktorer.

Tabell 4-1 I brottgränstillståndet för lokaliseringsskyltar beaktas fjorton olika lastkombinationer och jämförs. Stort "X" indikerar huvudlast.

Brottgränstillståndet						
Laster Nummer kombination	Egentyngd	Vindlast	Vertikal snölast	Plogsnölast		Islast
				1	2	
1	x	X	x			
2	x	x	X			
3	x	X				x
4	x	x				X
5	x		x	X		
6	x		X	x		
7	x			X		x
8	x			x		X
9	x		x		X	
10	x		X		x	
11	x				X	x
12	x				x	X
13	x			X		
14	x				X	

Tabell 4-2 I brottgränstillståndet för standardskyltar beaktas åtta olika lastkombinationer och jämförs.

Brottgränstillståndet						
Laster Nummer kombination	Egentyngd	Vindlast	Vertikal snölast	Plogsnölast		Islast
				1	2	
1	x	x	x			
2	x	x				x
3	x		x	x		
4	x			x		x
5	x		x		x	
6	x				x	x
7	x			x		
8	x				x	

Tabell 4-3 I bruksgränstillståndet för båda skyltvarianterna beaktas nio olika lastkombinationer och jämförs. Stort "X" indikerar huvudlast.

Bruksgränstillståndet						
Laster Nummer kombination	Egentyngd	Vindlast	Vertikal snölast	Plogsnölast		Islast
				1	2	
1	x	X	x			x
2	x	x	X			x
3	x	x	x			X
4	x		x	X		x
5	x		X	x		x
6	x		x	x		X
7	x		x		X	x
8	x		X		x	x
9	x		x		x	X

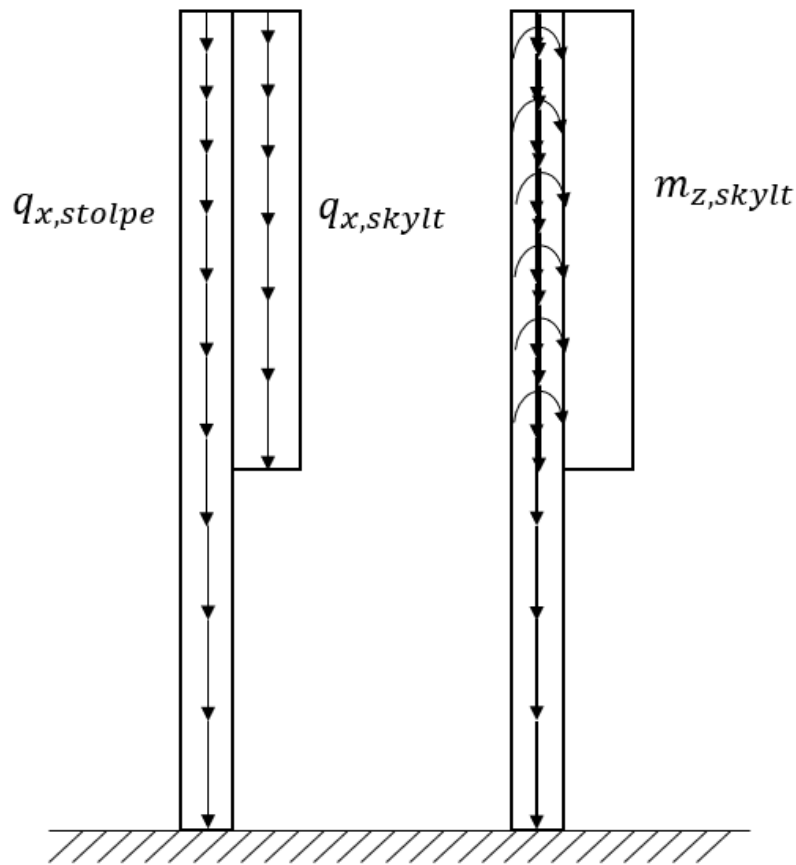
I beräkningar i följande avsnitt redovisas de laster som är indata för beräkningsverktyget. Lasterna redovisas antingen som **utbredda laster**,  $q$ , i vertikala  $x$ - eller horisontella  $y$ -axelns riktning eller som positiv vridning kring  $x$ -axeln. **Punktlaster**,  $P$ , verkar horisontellt, vertikalt eller som punktmoment. De variabler som används för de olika lasterna vid lastredovisning redogörs för i tabell 4-4.

Moment kring  $z$ -axeln finns inte i som utbredd last i den digitala utvecklingsmiljön, och kommer i beräkningsprogrammet hanteras som många utspridda punktmoment, avsnitt 5.1.2.1.

Tabell 4-4 Variabelnamn för olika lasttyper i olika lastriktningar.

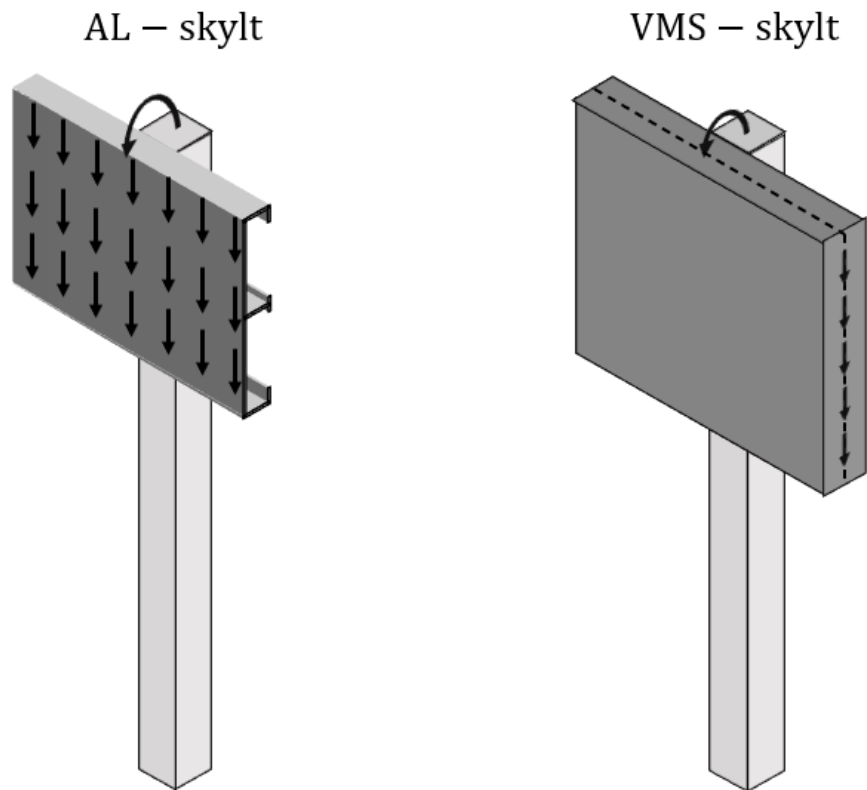
Lasttyp Lastriktning	Utbredd last	Punktlast
Vertikalt	$q_x$	$P_x$
Horisontellt	$q_y$	$P_y$
Vridning ( $x$ -axel)	$q_\omega$	$M_\omega$
Momentlast ( $z$ -axel)	$m_z$	$M_z$

#### 4.2.1 Egentyngd



Figur 4-6 Egentyngden av skylten orsakar en normalkraft i stolpens mitt samt ett moment på grund av excentriciteten.

Lastfallet egentyngd beaktar de effekter som konstruktionens egentyngd har på inspänningsnittet och utböjningen i toppen. Konstruktionen är i beräkningen illustrerad som en stolpe med en skyltkonstruktion fastsatt på stolpens utsida. Stolpens egentyngd verkar i dess tyngdpunktsaxel och påverkar därför enbart inspänningsnittet med en normalkraft. Skylten påverkar inspänningsnittet och skylttoppens rörelse med ett moment samt en normalkraft orsakad av skyltens egentyngd. Skyltens egentyngd angriper med en hävarm  $e_{skylt}$  från stolpens tyngdpunkt. Baserat på skylttyp varierar hävarmen.



Figur 4-7 För aluminium- och VMS-skyltar varierar den hävarm som orsakar moment.

Aluminiumskyltars tvärsnitt är i stor omfattning ihåliga. På grund av tvärsnittets form antas skyltens tyngdpunkt ligga i skyltens ytterkant. Hävarmen för AL-skylten blir således halva stolpens bredd plus hela skylttjockleken.

$$e_{AL-skylt} = \frac{b_{stolpe}}{2} + t_{AL-skylt}$$

VMS-skylten är oftast tjockare, men med en jämnt fördelad vikt över skylten. Tyngdpunkten hamnar därför i mitten av skylten. Hävarmen för VMS-skylten blir således halva stolpens bredd + halva skyltens bredd.

$$e_{VMS-skylt} = \frac{b_{stolpe} + t_{VMS-skylt}}{2}$$

Stolpens totala egentyngd baseras på dess dimension och längd. Skyltens totala egentyngd baseras på skyltstorlek och skylttyngd.

$$q_{x,stolpe}[\text{kN/m}] = \frac{g_{stolpe} [\text{kg/m}] \cdot g}{1000}$$

$$q_{x,skylt}[\text{kN/m}] = \frac{g_{skylt} [\text{kg/m}^2] \cdot b_{skylt} [\text{m}] \cdot g}{1000}$$

$$m_{z,skylt} [\text{kNm/m}] = e_{skylt} \cdot q_{x,skylt}$$

Inverkan av det svetsgods som kan finnas på konstruktionen beaktas via påslag på den av användaren givna skylttingden.

### Exempel 1 - egentyngd

#### Indata:

AL – skylt

$$h_{skylt} = 0,5 \text{ m}$$

$b_{skylt} = 1,6 \text{ m} \rightarrow$  Standardskylt

$$t_{skylt} = 0,036 \text{ m}$$

$$z_g = 1,7 \text{ m}$$

Stolpdim, KKR = 60

#### Beräkningsunderlag:

$$g_{skylt} = 13 \text{ kg/m}^2$$

$$g_{stolpe} = 5,19 \text{ kg/m}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

#### Beräkning:

$$e_{AL-skylt} = \frac{b_{stolpe}}{2} + t_{skylt} = 0,066 \text{ m}$$

$$q_{x,stolpe} = g_{stolpe} \cdot \frac{g}{1000} = 0,0519 \text{ kN/m}$$

$$q_{x,skylt} = g_{skylt} \cdot b_{skylt} \cdot \frac{g}{1000} = 0,208 \text{ kN/m}$$

$$m_{z,skylt} = e_{AL-skylt} \cdot q_{x,skylt} = 0,0137 \text{ kNm/m}$$

Den karakteristiska utbredda lasten av egentyngd ges av 51,9 N/höjdmeter stolpe och 208 N/höjdmeter skylt. Det karakteristiska momentet runt z-axeln har storleken 13,7 Nm/höjdmeter skylt

## 4.2.2 Vindlast

Här beaktas de effekter som vinden påverkar konstruktionen med. Vindlastens riktning kan variera och i kombination med andra laster, t.ex. moment på grund av egentyngdens excentricitet orsakar vindlast bakifrån de farligaste lasterna och beaktas hädanefter.

Lastfallen vindlast beräknas olika beroende på skyltens storlek och för vindlast beräknas fyra olika varianter. Vindlast på en lokaliseringsskylt, med och utan islast samt vindlast på en standardskylt med och utan islast. Vindlastens värde och hur den tas fram redovisas i avsnitt 3.3.1 och 3.3.2

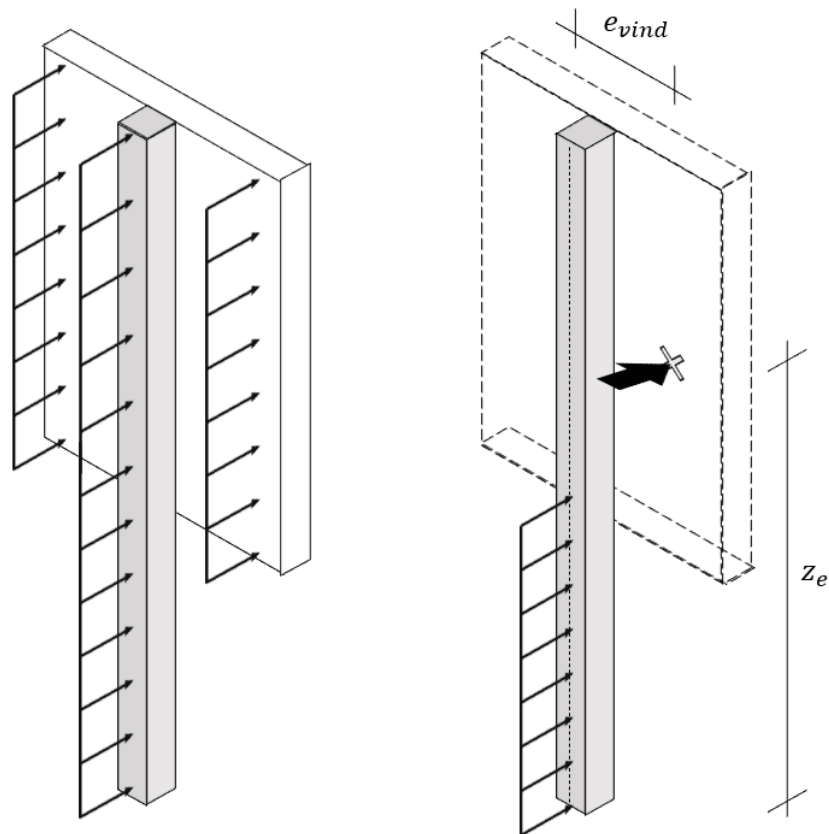
För skyltkonstruktionen antas vindlasten över skylten vara en jämnt utbredd last vars resultant angriper i en enskild punkt, se nedan. Lasten på stolpen anses vara en jämnt utbredd last längs med stolpens höjd.



För fallet islast ökas storleken av skylt och stolpe med islastens tjocklek. Det skapar en större angreppsytta för vindlasten och beräknas därför separat. Hanteringen av islast och vind görs på samma sätt för lokaliseringsskyltar som för standardskyltar.

#### 4.2.2.1 Lokaliseringsskylt

Enligt avsnitt 3.3.1 anses vinden angripa lokaliseringsskylten i skyltens vertikala mitt med en horisontell förflyttning med hävarmen  $e_{vind}$ . Det medför ett vridmoment,  $M_o$ , kring stolpens  $x$ -axel och en punktlast  $P_y$  på avståndet  $z_e$  mitt på stolpen.



Figur 4-8 Vridmomentet beror av den totala vindlasten på skylten samt hävarmen  $e_{vind}$ . Den högra skylten illustrerar var vinden som träffar skylten antas träffa.

För stolpen multipliceras det karakteristiska värdet för vindlasten med stolpbredden. Då ges vindlasten som en jämnt utbredd last per höjdmeter stolpe. För skylten multipliceras det karakteristiska värdet på vindlasten med skyltarean för att skapa den punktlast som verkar på skylten. Vridmomentets storlek ges av den totala vindlasten multiplicerat med hävarmen  $e_{vind}$ .

$$w_e \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$b_{stolpe} \text{ [m]}$$

$$q_{k,stolpe} \text{ [kN/m]} = w_e \cdot b_{stolpe}$$

$$q_{y,vind,stolpe} \text{ [kN/m]} = q_{k,stolpe}$$

$$q_{k,skylt}[\text{kN}] = w_e \cdot A_{skylt}$$

$$P_{y,vind,skylt}[\text{kN}] = q_{k,skylt}$$

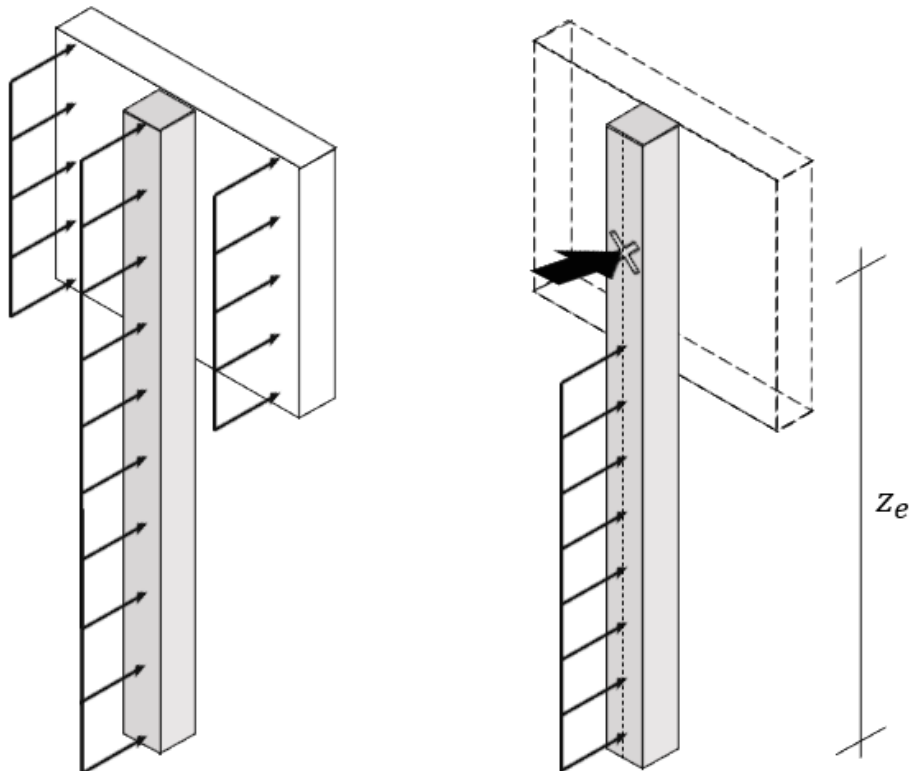
$$e_{vind}[\text{m}]$$

$$M_{\omega,vind,skylt}[\text{kNm}] = e_{vind} \cdot q_{k,skylt}$$

Vinden betraktas förenklat som en punktlast på skylten. Detta påverkar inte snittkrafterna i inspänningsnittet, men innebär en approximation i utböjningsberäkningen.

#### 4.2.2.2 Standardvägskylt

Vindlasten som påverkar konstruktionen för standardvägskyltar antas angripa mitt i centrum av skylten. Det medför inget vridmoment i beräkningen, men ett moment i inspänningspunkten. För standardskyltar används ett bestämt värde för vindlasten samt en lägre kraftformfaktor än för lokaliseringsskyltar. I övrigt beräknas vindlasten på samma sätt.



Figur 4-9 Vindlasten antas angripa som en punktlast i centrum av skylten.

$$w_e \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

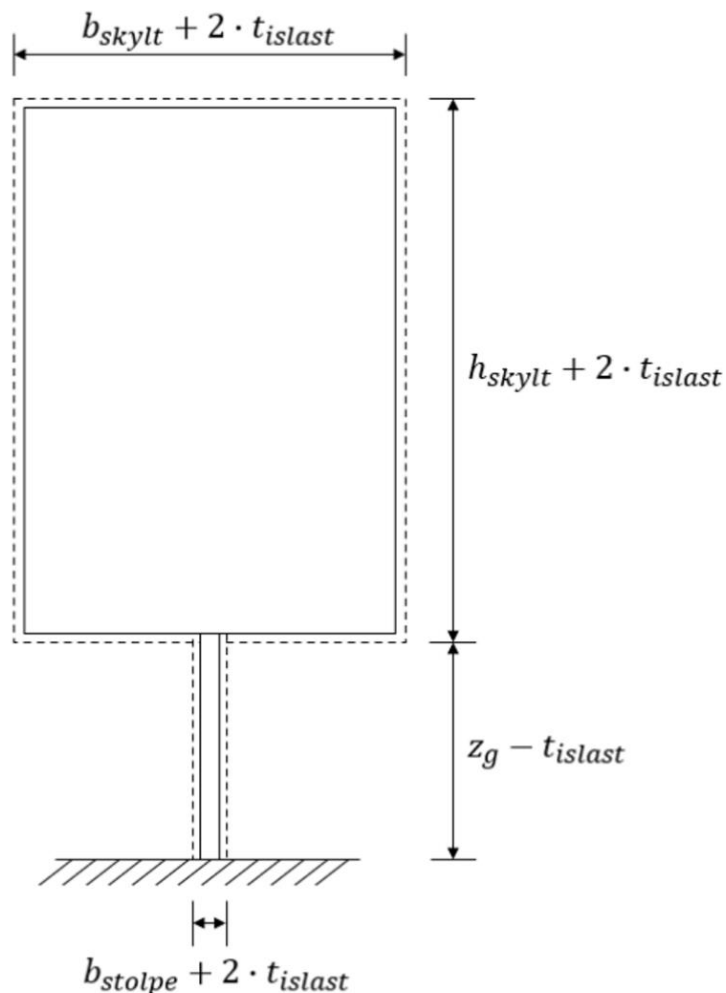
$$q_{k, stolpe} \text{ [kN/m]} = w_e \cdot b_{stolpe}$$

$$q_{y, vind, stolpe} \text{ [kN/m]} = q_{k, stolpe}$$

$$q_{k, skylt} \text{ [kN]} = w_e \cdot A_{skylt}$$

$$P_{y, vind, skylt} \text{ [kN]} = q_{k, skylt}$$

#### 4.2.2.3 Vindlast och islast



Figur 4-10 De ytor som angrips av vindlasten när skylt och stolpe är täckta av is.

Med islast ökar angreppsytan för vindlasten då alla konstruktionens ytor växer med islastens tjocklek.

$$w_e \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$t_{isl\text{ast}} \text{ [m]}$$

$$b_{stolpe} \text{ [m]}$$

$$q_{k, stolpe+isl\text{ast}} \text{ [kN/m]} = w_e \cdot (b_{stolpe} + 2 \cdot t_{isl\text{ast}})$$

$$\mathbf{q}_{y, vind, stolpe+isl\text{ast}} \text{ [kN/m]} = \mathbf{q}_{k, stolpe+isl\text{ast}}$$

$$A_{skylt+isl\text{ast}} \text{ [m]}$$

$$q_{k, skylt+isl\text{ast}} \text{ [kN]} = w_e \cdot A_{skylt+isl\text{ast}}$$

$$\mathbf{P}_{y, vind, skylt+isl\text{ast}} \text{ [kN]} = \mathbf{q}_{k, skylt+isl\text{ast}}$$

$$e_{vind} \text{ [m]}$$

$$\mathbf{M}_{\omega, vind, skylt+isl\text{ast}} \text{ [kNm]} = e_{vind} \cdot \mathbf{q}_{k, skylt+isl\text{ast}}$$

## Exempel 2 - vindlast

### Indata:

AL – skylt

$$h_{skylt} = 1,2 \text{ m}$$

$$b_{skylt} = 3,1 \text{ m} \rightarrow \text{Lokaliseringsskylt}$$

$$t_{skylt} = 0,036 \text{ m}$$

$$z_g = 1,7 \text{ m}$$

$$\text{Stolpdim, } KKR = 120$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Terrängtyp, } TT = 2 \\ \text{Vindzon, } v_b = 24 \end{array} \right\} \rightarrow q_p(z_e) = 0,4795 \text{ kN/m}^2$$

### Beräkning:

$$z_e = z_g + \frac{h_{skylt}}{2} = 2,3 \text{ m}$$

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_f = 0,8631 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{vind} = 0,17 \cdot b_{skylt} = 0,527 \text{ m}$$

$$q_{k, stolpe} = w_e \cdot b_{stolpe} = 0,1036 \text{ kN/m}$$

$$\mathbf{q_{y, vind, stolpe} = 0, 104 \text{ kN/m}}$$

$$A_{skylt} = h_{skylt} \cdot b_{skylt} = 3,72 \text{ m}^2$$

$$q_{k, skylt} = w_e \cdot A_{skylt} = 3,2107 \text{ kN}$$

$$\mathbf{P_{y, vind, skylt} = 3, 21 \text{ kN}}$$

$$\mathbf{M_{\omega, vind, skylt} = e_{vind} \cdot q_{k, skylt} = 1, 69 \text{ kNm}}$$

Den karakteristiska utbredda vindlasten på stolpen ges av ca 104 N/höjdmeter. Den karakteristiska punktlasten av vindlast har ca storleken 3,2 kN och den karakteristiska punktlasten för vridmoment har ca storleken 1,7 kNm.

## 4.2.3 Snölast

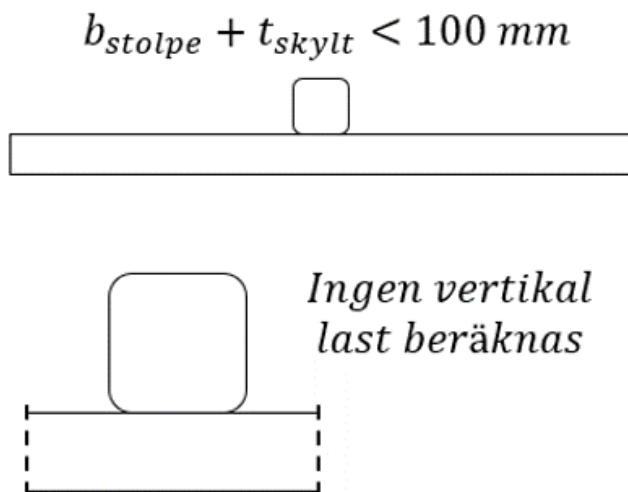
### 4.2.3.1 Vertikal snölast

Den vertikala snölasten beror av snözon och formfaktor. För den vertikala snölasten finns det tre fall som skulle kunna vara verklighet. Om respektive fall får utslag eller inte beror av dimensionerna på stolpe, skylt och dessa två tillsammans. Den vertikala snölasten beräknas enbart på ytor som är större än eller lika med 100 mm.

Den vertikala snölasten blir liten men ska enligt TRVINFRA-0038 [8] beräknas.

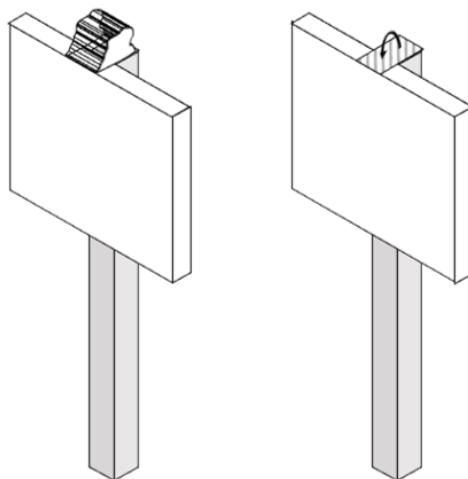
### Fall 1

En tunn stolpe och en tunn skylt kommer varken tillsammans eller var för sig att nå upp till beräkningskravet 100 mm, se figur 4-11. I detta första fall finns därför ingen vertikal snölast då formfaktorn för snön blir 0.



*Figur 4-11 För profiler av stolpe plus skylt som inte når upp till 100 mm tillsammans beräknas ingen vertikal snölast.*

### Fall 2



*Figur 4-12 Snölasten som beräknas för en profil där stolpe plus skylt gemensamt får en bredd lika med eller överskridande 100 mm.*

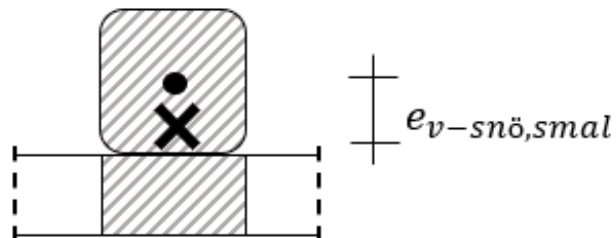
Det andra fallet är då stolpe plus skylt tillsammans får en bredd som är lika med eller större än 100 mm. Formfaktorn blir på den ytan 1. Detta fall är mycket detaljerat och hade nog kunnat försummas, men tas med för att uppfylla ställda krav. Lasten orsakar ett moment på grund av excentricitet. Hävarmen från stolpens mittpunkt blir i storleksordningen halva bredden skylt, se figur 4-13. Mittpunkten av den sammanlagda längden är stolpbredd plus skyltbredd delat på två, och från stolpens mittpunkt räknat, blir hävarmen enbart halva skylttjockleken.

$$e_{v-snö,smal} [m] = \frac{b_{stolpe} + t_{skylt}}{2} - \frac{b_{stolpe}}{2} = \frac{t_{skylt}}{2}$$

$$b_{stolpe} + t_{skylt} \geq 100 \text{ mm}$$

&

$$t_{skylt} < 100 \text{ mm}$$



Figur 4-13 För profiler av stolpe plus skylt som enbart tillsammans når upp till en bredd av 100 mm, bildas hävarmen  $e_{v-snö, stolpe+skylt}$ . Krysset i bilden illustrerar tyngdpunkten för ytan.

Den nedåtriktade normalkraften kan beräknas med det karakteristiska värdet för snölasten samt den yta som snölasten verkar på.

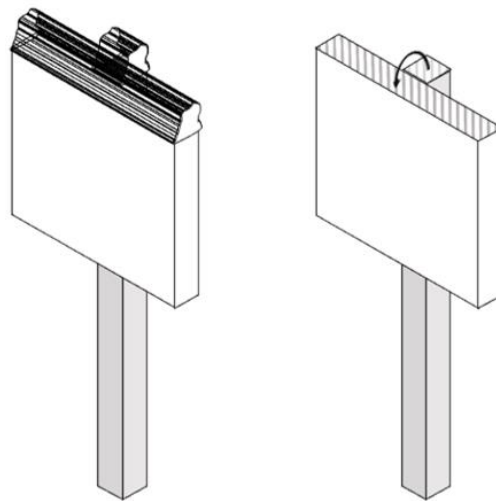
$$s \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$A_{v-snö,smal} [m^2] = (b_{stolpe} + t_{skylt}) \cdot b_{stolpe}$$

$$P_{x,v-snö,smal} [\text{kN}] = A_{v-snö,smal} \cdot s$$

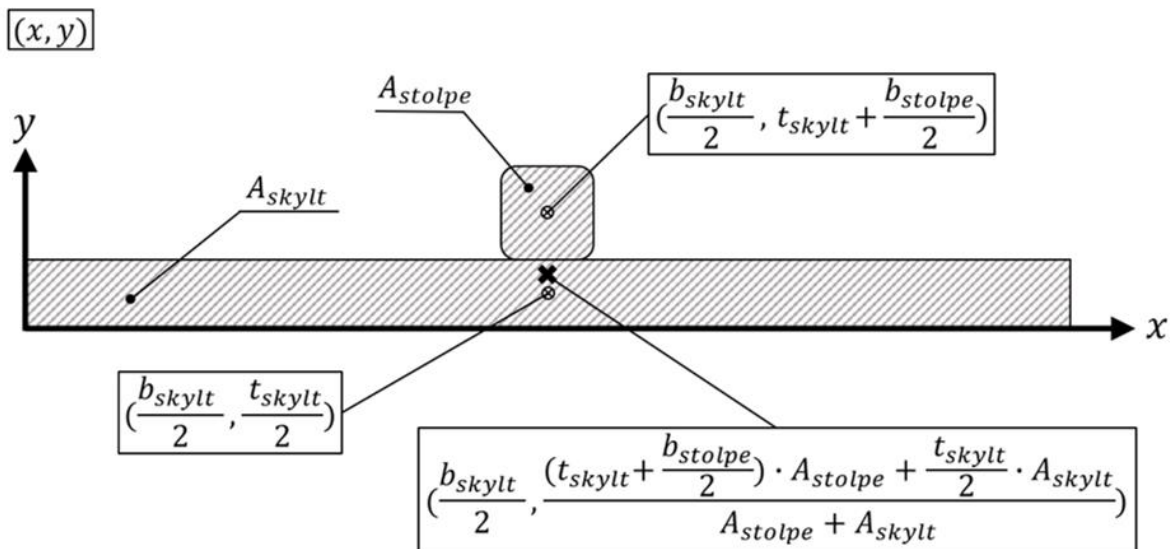
$$M_{z,v-snö,smal} [\text{kNm}] = P_{x,v-snö,smal} \cdot e_{v-snö,smal}$$

### Fall 3



Figur 4-14 Snölasten som beräknas för en profil där stolpe plus skylt gemensamt, samt skylten självt får en bredd lika med eller överskridande 100 mm.

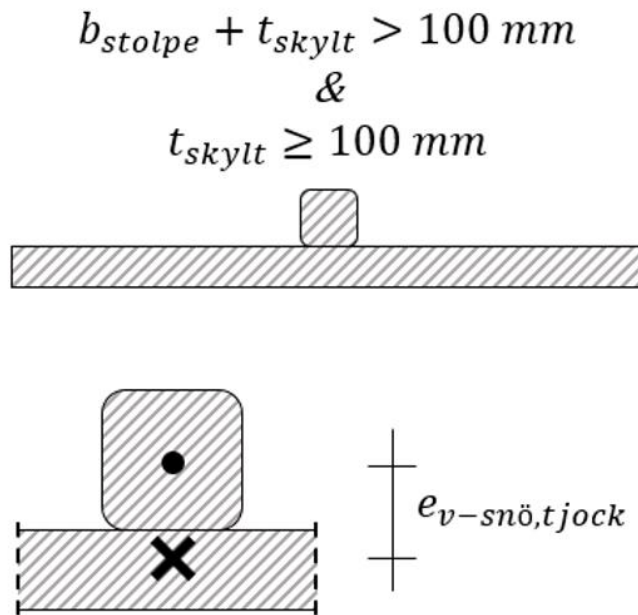
Det sista fallet är då stolpe plus skylt tillsammans samt skylten ensam får en bredd som är lika med eller större än 100 mm. Även här orsakar lasten ett moment på grund excentricitet. Mängden snö på skylten överskrider mängden snö på stolpen och på en skylt med stolpe placerad i skyltens mitt, beräknas hävarmen för momentet med hjälp av ett koordinatsystem för tvärsnittet, se figur 4-15. Inom varje ruta anges  $x$ - och  $y$ -koordinaten för den specifika punkten räknat från  $x$ -axeln.



Figur 4-15 Tyngdpunkten för tvärsnittet med snö på hela skylten beräknas med ett koordinatsystem där  $x$ -koordinaten för båda ytorna sammanfaller i samma punkt.  $y$ -koordinaten varierar baserat på stolpbredd och skylttjocklek samt ytornas area.

$$e_{v\text{-snö,tjock}} = t_{skylt} + \frac{b_{stolpe}}{2} - \frac{(t_{skylt} + \frac{b_{stolpe}}{2}) \cdot A_{stolpe} + \frac{t_{skylt}}{2} \cdot A_{skylt}}{A_{stolpe} + A_{skylt}}$$





Figur 4-16 För profiler av stolpe plus skylt som tillsammans och där skylten själv når upp till en bredd av 100 mm, bildas hävarmen  $e_{v-snö,tjock}$ . Krysset i bilden illustrerar tyngdpunkten för ytan.

Den nedåtriktade normalkraften kan beräknas med det karakteristiska värdet för snölasten samt den yta som snölasten verkar på. Här bildas normalkraft med hävarm för konstruktionen.

$$s \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$A_{v-snö,tjock} \text{ [m}^2\text{]} = (b_{skylt} \cdot t_{skylt}) + b_{stolpe}^2$$

$$P_{x,v-snö,tjock} \text{ [kN]} = A_{v-snö,tjock} \cdot s$$

$$M_{z,v-snö,tjock} \text{ [kNm]} = P_{x,v-snö,tjock} \cdot e_{v-snö,tjock}$$

### Exempel 3 – vertikal snölast

#### Indata:

AL – skylt

$$h_{skylt} = 1,2 \text{ m}$$

$b_{skylt} = 3,1 \text{ m} \rightarrow$  Lokaliseringsskylt

$$t_{skylt} = 0,036 \text{ m}$$

$$z_g = 1,7 \text{ m}$$

Stolpdim, KKR = 120

$$C_e = 1,0$$

Snözon,  $s_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$

$$\left. \begin{array}{l} b_{stolpe} + t_{skylt} > 100 \text{ mm} \\ t_{skylt} > 100 \text{ mm} \end{array} \right\} \text{ Fall 3, } \mu = 1$$

#### Beräkning:

$$s = s_k \cdot \mu \cdot C_e \cdot C_t = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$A_{v\text{-snö,tjock}} [\text{m}^2] = (b_{skylt} \cdot t_{skylt}) + b_{stolpe}^2 = 0,126 \text{ m}^2$$

$$P_{x,v\text{-snö,tjock}} = A_{v\text{-snö,tjock}} \cdot s = \mathbf{0,252 \text{ kN}}$$

$$e_{v\text{-snö,tjock}} = t_{skylt} + \frac{b_{stolpe}}{2} - \frac{(t_{skylt} + \frac{b_{stolpe}}{2}) \cdot A_{stolpe} + \frac{t_{skylt}}{2} \cdot A_{skylt}}{A_{stolpe} + A_{skylt}} = 0,069 \text{ m}$$

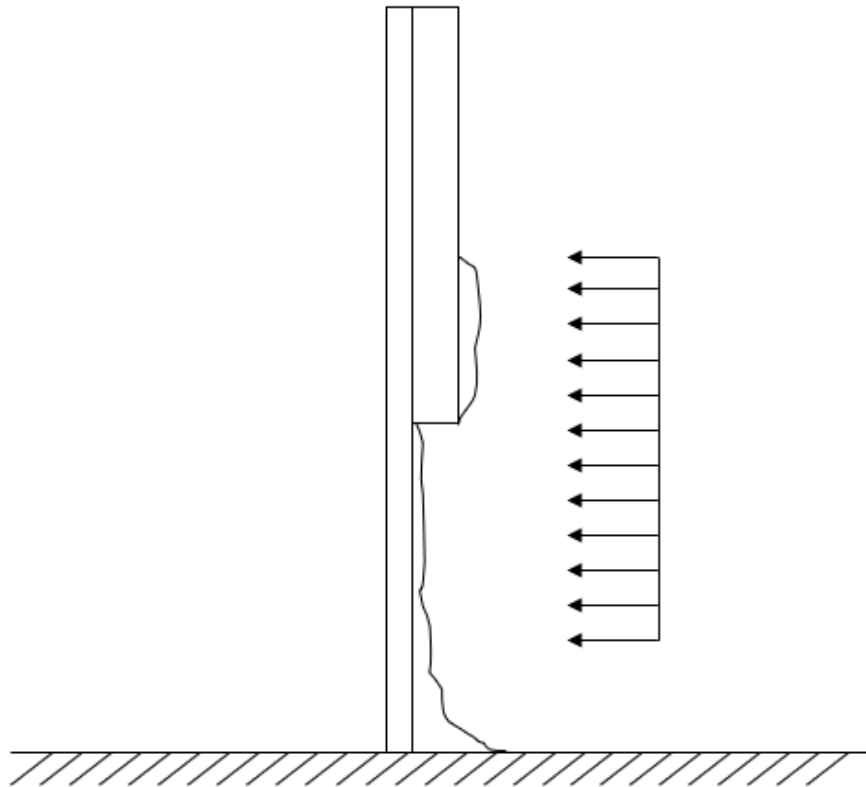
$$M_{z,v\text{-snö,tjock}} = P_{x,v\text{-snö,tjock}} \cdot e_{v\text{-snö,tjock}} = \mathbf{0,017 \text{ kNm}}$$

Den karakteristiska normalkraft som verkar som en punktlast har storleken ca 250 N. Det karakteristiska momentet kring z-axeln som bildas från den vertikala snölasten ovanpå skylten kommer få storleken ca 17 Nm.

### 4.2.3.2 Plogsnölast

Plogsnölasten orsakar böjmoment samt vridning för stolpen. Standardskyltar har ett bestämt värde för plogsnölasten, medan det för lokaliseringsskyltar beräknas beroende av deras avstånd till vägbanan samt den plogningshastighet som kan anses förutsättas. Alla tänkbara träffbilder för plogsnölasten redovisas i bilaga 1, 2 och 3. De respektive skyltarnas lastvärden finns i avsnitt 3.3.3.2 samt 3.4. I övrigt beräknas dessa på samma sätt.

För beräkning av maximalt böjmoment samt maximal vridning studeras två olika lastbilder. Lastbild 1 ger det maximala böjmomentet,  $M_z$ , och lastbild 2 ger den maximala vridningen,  $T_x$ . Dessa behandlas som två separata lastfall, plogsnölast 1 och plogsnölast 2.



Figur 4-17 Den plogsnö som träffar skylt och stolpe helt horisontellt kommer orsaka ett böjmoment i infästningen.

### Plogsnölast 1 – Maximal böjning

I figur 3-8 i avsnitt 3.3.3.2 illustreras plogsnölastens träffyta för skapandet av det maximala böjmoment. Baserat på konstruktionens höjd, avstånd ner till marken och skyltstorlek kan olika träffytor för plogsnön tas fram. Plogsnölasten beaktas som en jämnt utbredd last.

$$ps_k \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$h_{\text{skylt,träff } 1} \text{ [m]} = \max(\min(\min(\min(h_{psk,maximum} - z_g | h_{psk,träff}) | h_{\text{skylt}}) | h_{\text{tot}} - h_{psk,minimum}) | 0)$$

$$b_{\text{skylt,träff } 1} \text{ [m]} = \min(b_{psk,träff} | b_{\text{skylt}})$$

$$q_{y,psk,skylt,1} \text{ [kN/m]} = ps_k \cdot b_{\text{skylt,träff } 1}$$

Stolpen kan, beroende av dess placering i förhållande till skyltbredden träffas av plogsnön. För en stolpe placerad i skyltens mitt kan den totala bredden av den träffade stolpen tas fram.

$$h_{\text{stolpe,träff } 1} \text{ [m]} = \min(\max(z_g - h_{psk,minimum} | 0) | h_{psk,träff})$$

$$b_{stolpe,träff\ 1} [m] = \\ = \min \left( \min(b_{psk,träff} | b_{skylt}) - \min \left( b_{psk,träff} \left| \frac{b_{skylt}}{2} - \frac{b_{stolpe}}{2} \right. \right) \right| b_{stolpe} \right)$$

$$q_{y,psk,stolpe,1} [kN/m] = p s_k \cdot b_{stolpe,träff\ 1}$$

Den vridning som orsakas för lastbilden med maximal böjning baseras på den del av skylt och stolpe som träffas av plogsnön.

För en konstruktion där halva skyltbredden är mindre än den träffbredd som finns får vridning beaktas för dubbla areor. Vid kriteriet

$$b_{skylt,träff\ 1} > \frac{b_{skylt}}{2}$$

bildas träffytorna  $\alpha$  och  $\beta$ , se figur 4-18. Hävarmen för vridmomentet beräknas som avståndet från stolpens mitt till halva träffytan

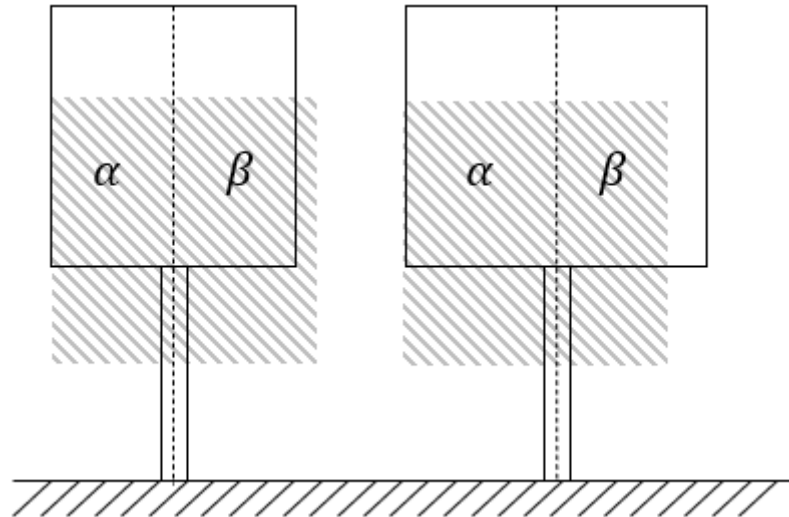
$$e_{psk,skylt,1,\alpha} = \frac{b_{skylt}}{4} \\ e_{psk,skylt,1,\beta} = \frac{b_{skylt,träff\ 1} - \frac{b_{skylt}}{2}}{2}$$

$$q_{\omega,psk,skylt} [kNm/m] = (e_{psk,skylt,1,\alpha} - e_{psk,skylt,1,\beta}) \cdot q_{y,psk,stolpe,1}$$

För stolpen i motsvarande fall beaktas dubbla areor samt hävarmar vid samma kriterium.

$$e_{psk,stolpe,1,\alpha} = \frac{b_{stolpe}}{4} \\ e_{psk,stolpe,1,\beta} = \frac{b_{stolpe,träff\ 1} - \frac{b_{stolpe}}{2}}{2}$$

$$q_{\omega,psk,stolpe} [kNm/m] = (e_{psk,stolpe,1,\alpha} - e_{psk,stolpe,1,\beta}) \cdot q_{y,psk,stolpe,1}$$



Figur 4-18 För de fall då träffbilden är större än halva skyltbredden behöver vridning beaktas för dubbla träffytor med motsatt riktning.

För en konstruktion där halva skyltbredden är större än eller lika med den träffbredd som finns beaktas enbart vridning från träffytan på skyltens vänstra sida. Vid kriteriet

$$b_{skylt,träff\ 1} \leq \frac{b_{skylt}}{2}$$

bildas träffytan  $\alpha$ , se figur 4-19, och dess hävarm enligt:

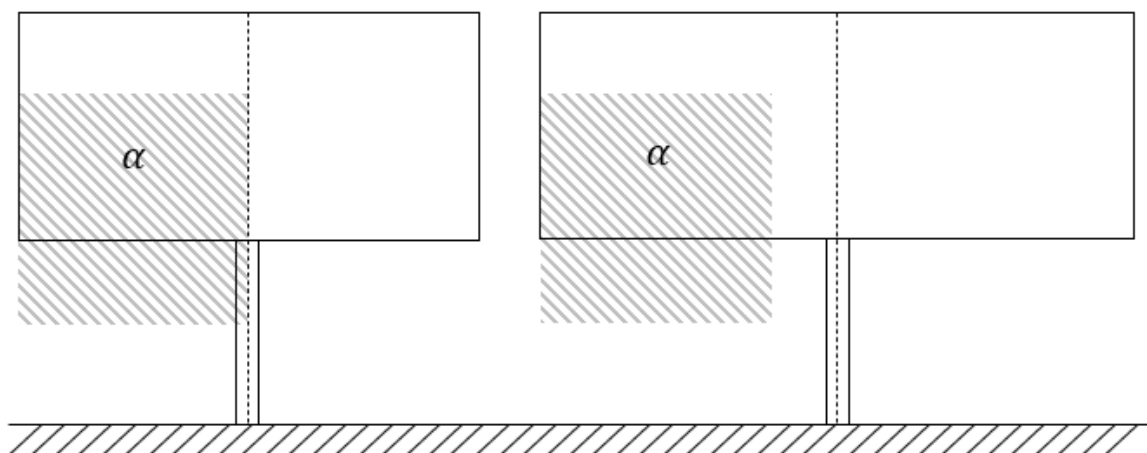
$$e_{psk,skylt,1,\alpha} = \frac{b_{skylt}}{2} - \frac{b_{skylt,träff\ 1}}{2}$$

$$q_{\omega,psk,skylt}[\text{kNm/m}] = e_{psk,skylt,1,\alpha} \cdot q_{y,psk,skylt,1}$$

För stolpen i motsvarande fall beräknas hävarmen för stolpen enligt:

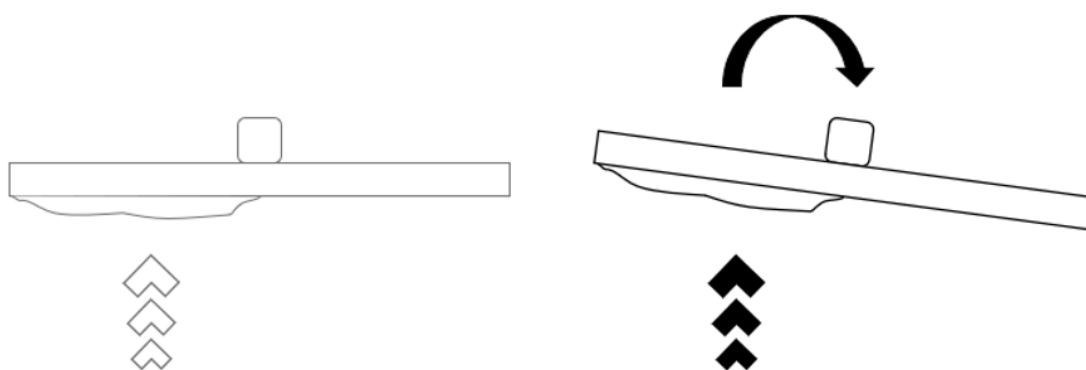
$$e_{psk,stolpe,1,\alpha} = \frac{b_{stolpe}}{2} - \frac{b_{stolpe,träff\ 1}}{2}$$

$$q_{\omega,psk,stolpe}[\text{kNm/m}] = e_{psk,stolpe,1,\alpha} \cdot q_{y,psk,stolpe,1}$$



Figur 4-19 För de fall då träffbilden är mindre än eller lika med halva skyltbredden beaktas vridning enbart på skyltens vänstra sida.

### Plogsnölast 2 – Maximal vridning



Figur 4-20 Den plogsnö som betraktas träffa skylten helt vertikalt kommer orsaka ett vridmoment i infästningen.

Det maximala vridmomentet för skyltar baseras på likande sätt som för det maximala böjmomentet. I figur 3-9 i avsnitt 3.3.3.2 illustreras plogsnölastens träffyta för skapandet av vridmoment kring stolpens egen axel. Träffytans bredd går från ytterkant skylt till stolpens mitt, men maximalt ett avstånd på 2000 mm.

$$p_{s_k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$h_{skylt,2} \text{ [m]} = \max(\min(h - z_g | h_{psk,maximum} - z_g) | 0)$$

$$b_{skylt,2} \text{ [m]} = \min\left(b_{psk,träff} \left| \frac{b_{skylt}}{2} \right.\right)$$

$$q_{y,psk,skylt,2} \text{ [kN/m]} = p_{s_k} \cdot b_{skylt,2}$$

Hävarmen för beräkning av vridmoment tas fram genom att beräkna längden till den träffade ytans bredd-mittpunkt, sett från stolpens mitt.

$$e_{psk,skylt,2}[\text{m}] = \frac{b_{skylt,2}}{2}$$

Vridmomentet beräknas med den totala kraft som plogsnön träffar skylten med, multiplicerad med hävarmen till ytans bredd-mittpunkt.

$$q_{\omega,psk,skylt}[\text{kNm/m}] = e_{psk,skylt,2} \cdot q_{psk,skylt,2}$$

## Exempel 4 - plogsnölast

### Indata:

AL – skylt

$$h_{skylt} = 1,2 \text{ m}$$

$$b_{skylt} = 3,1 \text{ m} \rightarrow \text{Lokaliseringsskylt}$$

$$t_{skylt} = 0,036 \text{ m}$$

$$z_g = 1,7 \text{ m}$$

$$\text{Stolpdim, KKR} = 120$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Placerad } < 3,5 \text{ m från vägen} \\ \text{Motorväg} \end{array} \right\} p_{sk} = 4,0 \text{ kN/m}^2$$

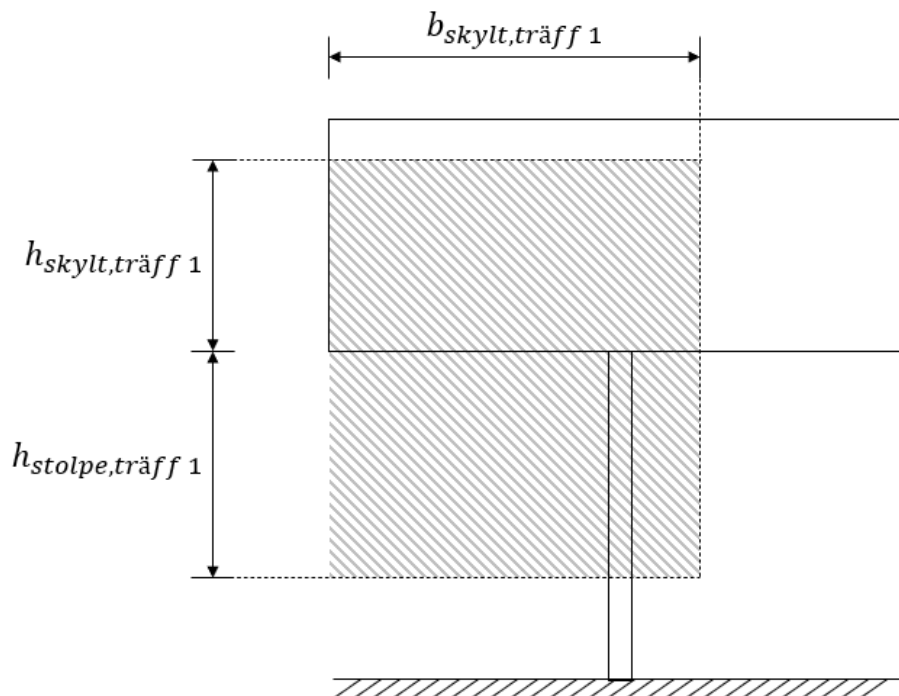
### Beräkningsunderlag:

$$h_{psk,minimum} = 0,5 \text{ m}$$

$$h_{psk,maximum} = 2,5 \text{ m}$$

### Beräkning:

#### Plogsnölast 1 – Böjmoment



$$b_{skylt,träff\ 1} = 2,0 \text{ m}$$

$$b_{stolpe,träff\ 1} = b_{stolpe}$$

$$q_{y,psk,skylt,1} = p_{sk} \cdot b_{skylt,träff\ 1} = 8 \text{ kN/m}$$

$$q_{y,psk,stolpe,1} = p_{sk} \cdot b_{stolpe,träff\ 1} = 0,48 \text{ kN/m}$$



### Plogsnölast 1 - Vridmoment

Förhållandet mellan  $b_{skylt,träff\ 1}$  och halva  $b_{skylt}$  leder till en vridningsberäkning med dubbla areor.

$$b_{skylt,träff\ 1} = 2,0\text{ m}$$

$$q_{y,psk,skylt,1} = 8\text{ kN/m}$$

$$b_{stolpe,träff\ 1} = b_{stolpe}$$

$$q_{y,psk,stolpe,1} = 0,48\text{ kN/m}$$

$$e_{psk,skylt,1,\alpha} = \frac{b_{skylt}}{4} = 0,775\text{ m}$$

$$e_{psk,skylt,1,\beta} = \frac{b_{skylt,träff\ 1} - \frac{b_{skylt}}{2}}{2} = 0,225\text{ m}$$

$$q_{\omega,psk,skylt} = (e_{psk,skylt,1,\alpha} - e_{psk,skylt,1,\beta}) \cdot q_{y,psk,skylt,1} = 4,4\text{ kNm/m}$$

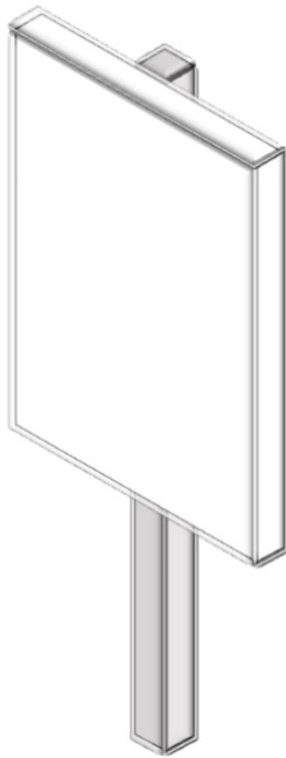
$$e_{psk,stolpe,1,\alpha} = \frac{b_{stolpe}}{4} = 0,03\text{ m}$$

$$e_{psk,stolpe,1,\beta} = \frac{b_{stolpe,träff\ 1} - \frac{b_{stolpe}}{2}}{2} = 0,03\text{ m}$$

$$q_{\omega,psk,stolpe} [\text{kNm/m}] = (e_{psk,stolpe,1,\alpha} - e_{psk,stolpe,1,\beta}) \cdot q_{y,psk,stolpe,1} = 0\text{ kNm/m}$$

Den karakteristiska lasten som ger böjmomentet från plogsnölasten får storleken 8 kN/m skylt och 0,48 kN/m stolpe. Vridmomentets karakteristiska last får ett värde av 4,4 kNm/m skylt. Då hela stolpbredden täcks uppkommer inget vridmoment på stolpen.

#### 4.2.4 Islast



Figur 4-21 En skyltkonstruktion som är täckt av is.

I detta avsnitt beskrivs de effekter som isens tyngd har på konstruktionen i inspänningsnittet samt utböjningar i stolpens topp. Isens tyngd och tjocklek påverkar hela konstruktionen med en växande yta på konstruktionens alla delar. Det medför en ökad tyngd och varierande tyngdpunkter. Konstruktionens växande storlek på grund av islastens tjocklek påverkar vindlasten, vilket beskrivs i avsnitt 4.1.2 Vindlast.

För konstruktionsdelen där det enbart är stolpe kommer tyngdpunkten för islasten vara i stolpens mitt och kommer att ge ren normalkraft. Den utbredda axiella last som bildas från den islast som täcker stolpen beräknas enligt nedan.

$$g_{islast} \text{ [kN/m}^3\text{]} \\ t_{islast} \text{ [m]}$$

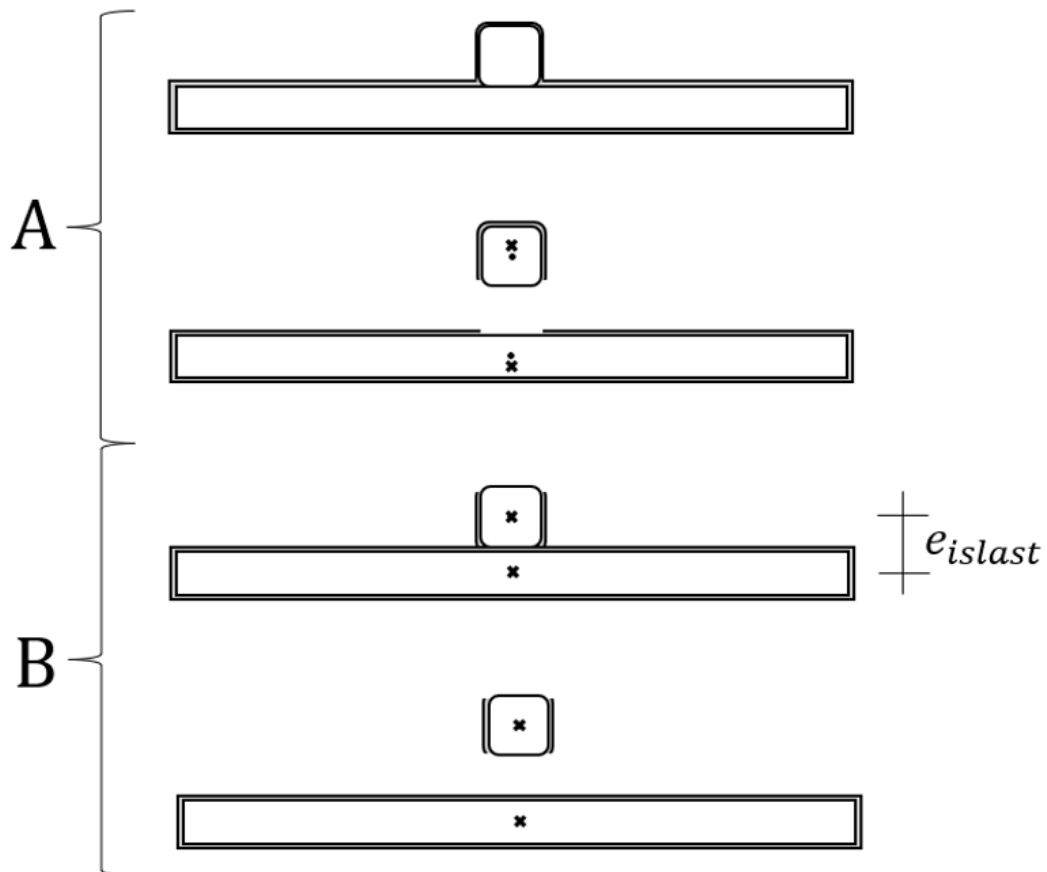
$$A_{istvärnsnitt} \text{ [m}^2\text{]} = (b_{stolpe} + 2 \cdot t_{islast})^2 - A_{stolptvärnsnitt}$$

$$q_{x,islast,stolpe} \text{ [kN/m]} = g_{islast} \cdot A_{istvärnsnitt}$$

För delar av konstruktionen med både stolpe och skylt kommer tyngdpunkten för lasten att påverkas av ytan där mötet skylt och stolpe är. Precis i mötet saknas islast vilket medför mer last på stolpens och skyltens motsatta sida. Tyngdpunkten för skylten respektive stolpen flyttas bort från delarnas respektive mittpunkt (A i figur 4-22). Tyngdpunkternas förflyttning bort från varandra skapar motsatta moment.

För att underlätta beräkningen antas islasten istället verka på skyltens fulla yta och två av stolpens sidor (B i figur 4-22). Tyngdpunkten för den sammansatta ytan förenklas till avståndet från stolpens mittpunkt till den istäckta skyltens mittpunkt. I del A i figur 4-22 visas hur tyngdpunkten flyttas på grund av avsaknaden av islast i mötet stolpe-skylt. I del B visas den förenklade beräkningsmodellen för islast, med antagande att hela skyltens mantelarea och två av stolpens sidor är täckta i is.

$$e_{islast} = \frac{b_{stolpe}}{2} + \frac{t_{skylt}}{2} + t_{islast}$$



Figur 4-22 En skylt med islast sedd från ovan.

För den istäckta skyltens undersida beräknas det punktlaster som verkar enligt:

$$A_{is,undersida/ovansida\ skylt} [m^2] = (b_{skylt} + 2 \cdot t_{islast}) \cdot (t_{skylt} + 2 \cdot t_{islast})$$

$$P_{x,is,undersida} [kN] = g_{islast} \cdot A_{is,undersida/ovansida\ skylt} \cdot t_{islast}$$

$$M_{z,is,undersida} [kNm] = e_{islast} \cdot P_{x,is,undersida}$$

För konstruktionens ovansida beräknas punktlaster för skyltens undersida enligt:

$$A_{is,undersida/ovansida\ skylt} [m^2]$$

$$A_{is,ovansida\ stolpe} [m^2] = (b_{stolpe} + 2 \cdot t_{islast}) \cdot b_{stolpe}$$

$$A_{is,ovansida} [m^2] = A_{is,undersida/ovansida\ skylt} + A_{is,ovansida\ stolpe}$$

$$P_{x,is,ovansida}[\text{kN}] = g_{islast} \cdot A_{is,ovansida} \cdot t_{islast}$$

$$M_{z,is,ovansida}[\text{kNm}] = e_{islast} \cdot P_{x,is,ovansida}$$

För den längsgående lasten i höjddled skapas de utbredda lasterna enligt:

$$A_{is,skylt+stolpe}[\text{m}^2] = ((b_{skylt} + 2 \cdot t_{islast}) \cdot (t_{skylt} + 2 \cdot t_{islast}) - b_{skylt} \cdot t_{skylt}) + (b_{stolpe} \cdot 2 \cdot t_{islast})$$

$$q_{x,is,höjdled}[\text{kN/m}] = g_{islast} \cdot A_{is,skylt+stolpe}$$

$$m_{z,is,höjdled}[\text{kNm/m}] = e_{islast} \cdot q_{x,is,höjdled}$$

## Exempel 5 - islast

### Indata:

AL – skylt

$$h_{skylt} = 0,5 \text{ m}$$

$$b_{skylt} = 1,6 \text{ m} \rightarrow \text{Standardskyt}$$

$$t_{skylt} = 0,036 \text{ m}$$

$$z_g = 1,7 \text{ m}$$

$$\text{Stolpdim, KKR} = 60$$

### Beräkningsunderlag:

$$t_{islast} = 0,01 \text{ m}$$

$$g_{islast} = 10 \text{ kN/m}^3$$

Räkna med is: Ja

### Beräkning:

Normalkraften från isen på stolpen:

$$A_{istv\ddot{a}rsnitt} = (b_{stolpe} + 2 \cdot t_{islast})^2 - b_{stolpe}^2 = 0,0028 \text{ m}^2$$

$$q_{x,islast,stolpe} = g_{islast} \cdot A_{istv\ddot{a}rsnitt} = 0,028 \text{ kN/m}$$

$$e_{islast} = \frac{b_{stolpe}}{2} + \frac{t_{skylt}}{2} + t_{islast} = 0,058 \text{ m}$$

$$A_{is,undersida/ovansida\ skylt} = (b_{skylt} + 2 \cdot t_{islast}) \cdot (t_{skylt} + 2 \cdot t_{islast}) = 0,0907 \text{ m}^2$$

$$A_{is,ovansida\ stolpe} = (b_{stolpe} + 2 \cdot t_{islast}) \cdot b_{stolpe} = 0,0048 \text{ m}^2$$

$$A_{is,skylt+stolpe} = ((b_{skylt} + 2 \cdot t_{islast}) \cdot (t_{skylt} + 2 \cdot t_{islast}) - b_{skylt} \cdot t_{skylt}) + (b_{stolpe} \cdot 2 \cdot t_{islast}) = 0,0343 \text{ m}^2$$

Punkt- och utbredda laster från isen:

$$P_{x,is,undersida} = g_{islast} \cdot A_{is,undersida/ovansida\ skylt} \cdot t_{islast} = 0,009 \text{ kN}$$

$$M_{z,is,undersida} = e_{islast} \cdot P_{x,is,undersida} = 0,5220 \text{ Nm}$$

$$P_{x,is,ovansida} = g_{islast} \cdot (A_{is,undersida/ovansida\ skylt} + A_{is,ovansida\ stolpe}) \cdot t_{islast} = 0,0096 \text{ kN}$$

$$M_{z,is,ovansida} = e_{islast} \cdot P_{x,is,ovansida} = 0,5539 \text{ Nm}$$

$$q_{x,is,h\ddot{o}jdled} = g_{islast} \cdot A_{is,skylt+stolpe} = 0,3432 \text{ kN/m}$$

$$m_{z,is,h\ddot{o}jdled} = e_{islast} \cdot q_{x,is,h\ddot{o}jdled} = 19,9056 \text{ Nm/m}$$

$$q_{tot,vertikal} = (q_{x,islast,stolpe} \cdot z_g) + P_{x,is,undersida} + P_{x,is,ovansida} + (q_{x,is,h\ddot{o}jdled} \cdot h_{skylt}) = 0,20 \text{ kN}$$

$$M_{z,tot} = M_{z,is,undersida} + M_{z,is,ovansida} + (m_{z,is,h\ddot{o}jdled} \cdot h_{skylt}) = 11,03 \text{ kN}$$

Den karakteristiska vertikala lasten som verkar på skyltens ovan- och undersida samt längsgående har en total last på ca 0,2 kN. Det karakteristiska momentet kring z-axeln som skapas från islast på skylt och stolpe har storleken ca 11,0 Nm.

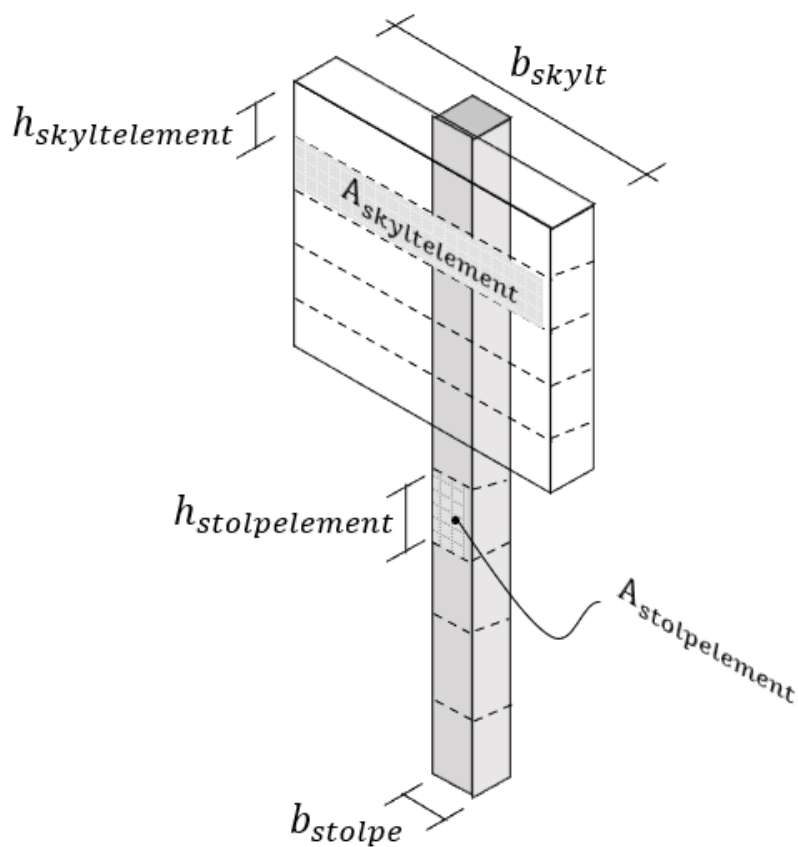
### 4.3 Finita elementberäkningar

Beräkningar av snittkrafter och utböjning görs med Finita-elementmetoden (FEM). Beräkningarna görs i Matlab [29] och CALFEM [30 & 31].

Snittkrafter i inspänningsnittet hade också kunnat beräknas analytiskt, men FEM har valts för att förbereda för utveckling till mer komplicerade fall.

I beräkningsverkyget utvecklas koden för att kunna beakta balkelement med en bestämd längd. Origo för koordinatsystemet är i inspänningsnittet, med  $x$ -axeln i stolpens riktning. Namn för olika delar av konstruktionen som också används i utvecklandet av datorkod redovisas i figur 4-23.

Hur FEM utnyttjas i beräkningarna redovisas utförligare i kapitel 5.



Figur 4-23 Olika delar av konstruktionen efter att ha blivit indelade i element.

## 5 Utveckling av beräkningsverktyg

För utveckling av programkoden har boken *Ingenjörrens guide till Python* av Jonas Lindemann [32] använts som grundkälla.

### 5.1 Utveckling av datorkod

Datorkoden utvecklas i programspråket Python [33], tillsammans med CALFEM [30 & 31], som är en verktygslåda för utveckling av finita elementprogramvaror. Regelverken i kapitel 3 och dimensioneringen i kapitel 4 ligger till grund för utveckling av beräkningsverktyget. CALFEM-beräkningar baseras på vektor- och matrisoperationer. CALFEM använder sig av modulen NumPy [34] för implementering av dessa operationer.

För utveckling av beräkningsverktyget för skyltstolpar används till en början CALFEM i MATLAB för att skapa jämförbara beräkningsunderlag som också används för testning och jämförelse. Efter att beräkningarna för varje last fungerande i MATLAB översattes denna kod till mer koopererande och mindre omfattande beräkningar i Python och CALFEM för Python [31].

#### 5.1.1 CALFEM

CALFEM är en verktygslåda (bibliotek) för utveckling av finita elementprogram, som utvecklats på avdelningarna för byggnadsmekanik och hållfasthetslära vid Lunds Universitet. CALFEM kan användas som ett interaktivt datorprogram för inläring av finita element-metoden men också för utveckling av nya beräkningsprogram.

Nedanstående delar är en kortare förklaring av hur CALFEM fungerar, med hänvisning till manualen *CALFEM – A Finite Element Toolbox. Version 3.6* [30].

Genom att med hjälp av CALFEM definiera var i det tredimensionella rummet konstruktionen befinner sig, ange konstruktionens egenskaper, definiera vilka laster som verkar på den och dess riktningar samt hur upplagen ser ut kan förskjutningar och krafter beräknas.

Var ett balkelement befinner sig i det tredimensionella rummet definieras dels med elementets koordinater i variablerna  $ex$ ,  $ey$  och  $ez$  samt genom att definiera  $x$ - och  $z$ -axelns riktningar med,  $eo$ . Både koordinater och lösning av axlar definieras i vektor-format.

$$\text{Koordinater} \begin{cases} ex = [x_1 & x_2] \\ ey = [y_1 & y_2] \\ ez = [z_1 & z_2] \end{cases}$$

$$eo = [x_{\bar{z}} \quad y_{\bar{z}} \quad z_{\bar{z}}]$$

Balkelementets egenskaper definieras i en vektor,  $ep$ , som beskriver dess elasticitetsmodul, skjuvmodul, tvärsnittsarea, yttröghetsmoment för  $y$ - och  $z$ -axel samt vridstyvhets tvärsnittsfaktor.

$$ep = [E \quad G \quad A \quad I_{\bar{y}} \quad I_{\bar{z}} \quad K_v]$$

Hur elementets frihetsgrader är sammankopplade med andra element beskrivs i topologimatrisen,  $edof$ . Topologimatrisen beskriver hur element delar samma frihetsgrader i det globala systemet och på så sätt är sammankopplade. Varje rad i  $edof$  beskriver vilka globala frihetsgrader ett element kopplas till. För en beräkning i det tredimensionella rummet kommer varje element,  $el$ , ha sex frihetsgrader i ena änden och sex frihetsgrader i den andra, totalt tolv frihetsgrader,  $fg$

$$edof = \begin{bmatrix} el_1 & fg_1 & fg_2 & \dots & fg_{12} \\ & & & \dots & \\ el_n & fg_1 & fg_2 & \dots & fg_{12} \end{bmatrix}$$

Slutligen definieras systemets upplag (randvillkor) i matrisen  $bc$ . För konstruktioner med flera randvillkor definieras flera rader i matrisen,  $bc$ , för att låsa strukturens rörelser för flera frihetsgrader. För beräkning av vägskyltar med bärande stolpar definieras systemet som en fast inspänd pelare, där de enbart de sex första frihetsgraderna i inspänningen låses helt från rörelse (sätts till noll).

$$bc = \begin{bmatrix} fg_1 & u_1 \\ & \dots \\ fg_n & u_n \end{bmatrix}$$

De sista värdena som krävs för att ha en fullt definierad modell är de krafter som verkar på systemet. Krafterna som påverkar systemet kan verka både som punktlaster i enskilda frihetsgrader,  $fl$ , eller som utbredda laster,  $eq$ , på hela balkelement. En  $fl$ -vektor innehåller nodlaster motsvarande de sex frihetsgrader som redovisas i avsnitt 4.1.

De utbredda lasterna finns i riktningarna  $x$ -,  $y$ -  $z$ - och  $t$ -led, där  $t$  är vridning i positiv riktning förhållande till  $x$ -axeln.

$$eq = [q_{\bar{x}} \quad q_{\bar{y}} \quad q_{\bar{z}} \quad q_{\bar{\omega}}]$$

CALFEM och funktionen  $beam3e$  skapar element styvhetsmatriser för varje element, som beroende på deras position till varandra och det tredimensionella rummet omvandlas och assembleras till en sammanlagd, global styvhetsmatris  $K$ . Genom kännedom om verkande laster och randvillkor kan systemet lösas genom:

$$K \cdot a = f$$

Förskjutningsfrihetsgraderna för det globala systemet beskrivs i vektorn  $a$ , enligt Dahlblom och Olsson från 2010 [35]. Genom kännedom om randvillkoren enligt  $bc$ , bestäms vissa frihetsgrader i  $a$ -vektorn och genom kännedom om verkande laster kan ekvationssystemet lösas.

Dahlblom och Olsson delar upp  $f$ -vektorn enligt:

$$f = f_b + f_l$$

där  $f_b$ -vektorn är summan av nodkrafterna för beaktat balkelement och  $f_l$ -vektorn beaktar de laster som verkar på konstruktionen. Både de utbredda- samt punktlaster [35].



Med hjälp av *solveq*-kommandot i CALFEM kan samtliga förskjutningar,  $a$ , och upplagskrafter  $r$  ( $f_b$  i beräkningsverktyget) bestämmas [30]. Vektorerna beskriver hur varje frihetsgrad i varje nod har förflyttat sig ( $a$ -vektorn) och vilka upplagskrafter som verkar i den ( $r$ -vektorn). Dahlbom och Olsson redogör för innehållet i vektorerna  $a$  och  $r$  där varje nod i konstruktionen representerar sex värden i vektorerna [35], se avsnitt 4.1.

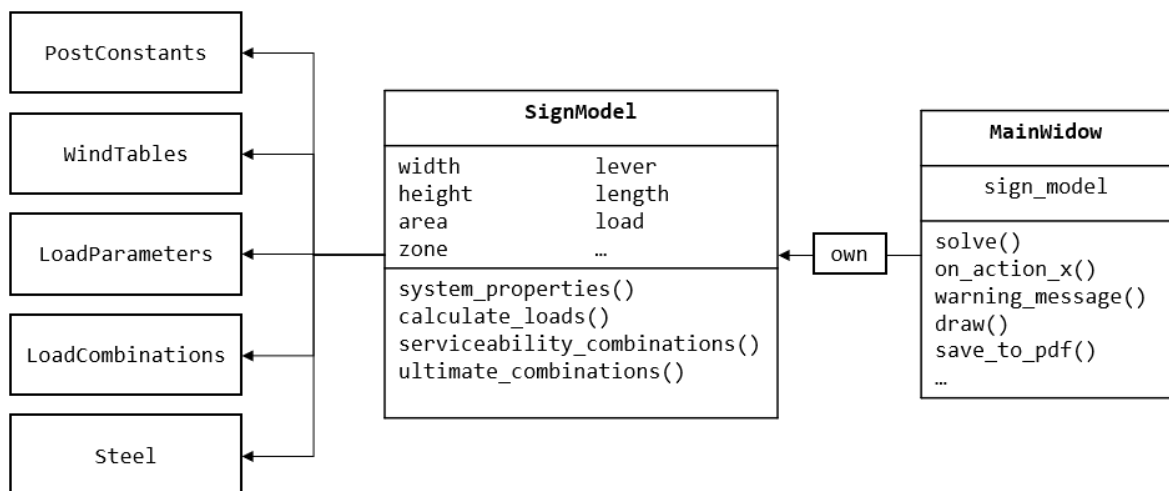
$$a = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \\ u_7 \\ \dots \end{bmatrix} \begin{matrix} \left. \vphantom{\begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \\ u_7 \\ \dots \end{matrix}} \right\} \text{Nod 1} \\ \left. \vphantom{\begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \\ u_7 \\ \dots \end{matrix}} \right\} \text{Nod 2} \end{matrix}$$

$$r = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \\ P_7 \\ \dots \end{bmatrix} \begin{matrix} \left. \vphantom{\begin{matrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \\ P_7 \\ \dots \end{matrix}} \right\} \text{Nod 1} \\ \left. \vphantom{\begin{matrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \\ P_7 \\ \dots \end{matrix}} \right\} \text{Nod 2} \end{matrix}$$

Med hjälp av *beam3s* i CALFEM kan elementens snittkrafter,  $es$ , förskjutningar,  $edi$ , samt matsvarande positioner längs med balken,  $eci$ , beräknas [30]. Med hjälp av dessa matriser kan man sedan ta fram grafer och figurer för snittkrafterna samt utböjningens form.

### 5.1.2 Programstruktur och anpassningar

Programkoden utvecklas i olika filer, klasser, funktioner (def) och egenskaper (property) för att skapa en logisk struktur, möjliggöra fortsatt utveckling och skapa möjligheter för uppdelad felsökning.



Figur 5-1 Klassdiagrammet beskriver klassernas relation med varandra.



Figur 5-2 Beräkningsverktygets klassrelationer, med gränssnittet längst ner till höger.

Vid start av programmet kommer användaren till gränsschnittsfönstret. Här matas nödvändiga data in för aktuell beräkning. Gränssnittet körs från huvudfilen *sign\_main.py* som läser in indata från knappar och inmatningsfält och uppdaterar modellen (*update\_model()*). När användaren startar beräkningen, eller använder någon av verktygets andra handlingsknappar används funktionerna *on\_action()* som baserat på syfte, utför olika uppgifter.

Vid en beräkning körs funktionen *solve\_model()* som kontrollerar eventuella felaktigheter och varnar genom funktionen *warning\_message()*. I gränssnittet dyker det upp en varningsruta enligt figur 5-16. *warning\_message()* innehåller följande varningar:

Tabell 5-1 Programmets inbyggda varningar.

Uppstått fel	Varningstext
Dimensionerna skyltbredd, skylthöjd, skylttjocklek eller avstånd till mark är mindre eller lika med noll.	<i>Du måste knappa in korrekta dimensioner.</i>
Formkrav enligt 3.3.2 uppfylls inte.	<i>Denna skylten räknas som en fri vägg. Verkyget kan enbart räkna på fria skärmar.</i>
Skyltarean understiger 0,7 m <sup>2</sup> .	<i>För skyltar understigande 0,7 m<sup>2</sup> görs ingen särskild dimensionering.</i>
Inmatad dimension på skylthöjd eller avstånd till mark är inte jämnt delbart med fem.	<i>Du måste ange längder i steg om fem millimeter.</i>
Testad stolpdimension tillhör tvärsnittsklass 4.	<i>Programmet kan inte hantera tvärsnittsklass 4.</i>
Testad stolpdimension riskerar skjuvbuckling enligt avsnitt 3.5.3.2.	<i>Det finns risk för skjuvbuckling. Programmet kan inte hantera det.</i>
Programmet hittade ingen lämplig stolpe till angivna indata.	<i>Hittade ingen lämplig stolpe.</i>

Vid korrekt inmatning körs beräkningen genom funktionen *solve()*. *solve()* är huvudfunktionen för beräkning av stolpdimensionering. Här loopas alla aktuella stolpar genom användning av modulen *sign\_model* (*sign\_model.py*) och funktionerna *serviceability\_combinations()* och *ultimate\_combinations()*. När beräkningen är klar och fri från varningar skrivs resultatet från beräkningen ut tillsammans beräkningsrelaterade bilder genom funktionen *draw()*. Resultatet baseras på utskrivna strängar inifrån *sign\_model.py*, som omdirigerats till huvudfönstrets textruta.

Skulle varningar uppkomma innan eller under en beräkning stoppas beräkningen och användaren måste för beräkningsstart ändra indata till för verktyget godkända beräkningsunderlag.

I *sign\_model.py* körs dimensioneringsberäkningarna och dessa redovisas noggrannare i avsnitt 5.1.2.1 och 0. *sign\_model.py* inhämtar data från filen *construction\_constants.py* där data ligger indelat i olika klasser. Exempel på klassernas innehåll redovisas i tabell 5-2.

Tabell 5-2 De klasser som finns i *construction\_constant.py* och beskrivning av deras innehåll.

Klass	Innehåll
PostConstants	Egenskaper som rör verktygets fyra olika stolpar, exempelvis tvärsnittsarea, yttröghetsmoment, stolpbredd och elasticitetsmodul.
WindTables	Värden från TSFS 2018:57 tabell 7.1 och 7.2 för alla referensvindhastigheter och terrängtyper.
LoadParameters	Data rörande de olika lasterna, exempelvis plogsnölastens träffmått, islastens beräkningsunderlag och formfaktorerna för vind.
LoadCombinations	Partialkoefficienterna för olika laster och gränsvärdena för bruksgränstillståndet.
Steel	Kontanter rörande bärförmågeberäkningen, exempelvis värden för buckling, partialkoefficienten för stål och stålets sträckgräns.

### 5.1.2.1 Karakteristiska laster

De karakteristiska lasterna beräknas i klassen *SignModel* där mindre beräkningar görs i *properties* som underlag till lastberäkningarna. Metoderna i klassen beräknar och returnerar, baserat på indata, exempelvis konstruktionshöjd och skyltarea, men även mer lastspecifika beräkningsunderlag, så som vindlasten eller träffyta för plogsnölasten.

Beräkningsunderlagen används sedan för sammanställning av varje enskild lasteffekt.

Lasteffekterna, enligt kapitel 4, beräknas här för varje enskilt balkelement utmed stolpen i höjdlid. Stolpens balkelement har längden 5 mm. Skulle inmatade dimensioner i höjdlid inte vara jämnt delbara med balkelementets längd kommer en varning och beräkning stoppas. Längden på balkelement kan ökas ytterligare till större, och därmed också färre balkelement. Balkelementens storlek gå att modifiera i datorkoden. Den fina elementfördelningen har använts av praktiska skäl, t.ex. för att träffbilder för plogsnö skall motsvara hela balkelement.

$$h_{\text{balkelement}} = 0,005 \text{ m}$$

Balkelementens globala koordinatsystemet definieras i funktionen *system\_properties()* tillsammans med topologimatrisen samt vektorerna *eo* och *ep*.

Laster som verkar som punktlaster placeras i en lastvektor,  $f$ , och utbredda laster i en  $eq$ -vektor. Skapandet av lastvektorerna görs i funktionen  $calculate\_loads()$ .  $calculate\_loads()$  anropar  $system\_properties()$  för att definiera lastvektorerna. För varje last skapas tomma  $f$ - och  $eq$ -vektorer som i funktionen fylls på med värden. Vektorernas storlekar beror av konstruktionens totala höjd.  $f$ -lastvektorn beror av antalet noder i systemet och  $eq$ -lastvektorn av antalet balkelement. Här skapas även den tomma  $K$ -matrisen baserat på antalet noder i konstruktionen samt de kombinationsgemensamma  $f$ - och  $eq$ -vektorerna.

Antalet balkelement, totala antalet noder och frihetsgrader beräknas enligt:

$$n_{balkelement, stolpe} = \frac{z_g}{h_{balkelement}} \quad n_{balkelement, skylt} = \frac{h_{skylt}}{h_{balkelement}}$$

$$n_{balkelement} = n_{balkelement, stolpe} + n_{balkelement, skylt}$$

$$n_{noder, stolpe} = n_{balkelement, stolpe} + 1 \quad n_{noder, skylt} = n_{balkelement, skylt} + 1$$

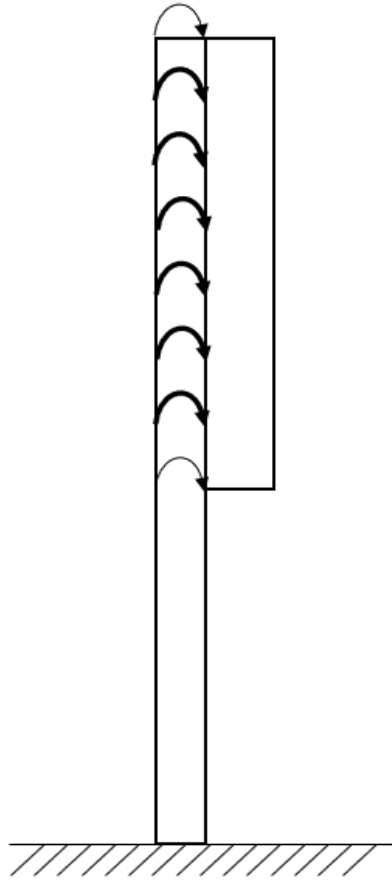
$$n_{noder} = n_{noder, stolpe} + n_{noder, skylt} - 1$$

$$n_{frihetsgrader, stolpe} = (n_{noder, stolpe} \cdot 6)$$

$$n_{frihetsgrader, skylt} = (n_{noder, skylt} \cdot 6)$$

$$n_{frihetsgrader} = n_{frihetsgrader, stolpe} + n_{frihetsgrader, skylt} - 6$$

För utbrett moment kring  $z$ -axeln måste en anpassning göras då dessa i CALFEM endast kan hanteras som punktmoment [30]. Momentlasten kring  $z$ -axeln som verkar över ett balkelement delas i två. Hälften av lasten placeras som punktlast i den övre noden och hälften i den nedre noden. För den översta och den understa noden med enbart lastinverkan från en halv elementdel blir punktlasten hälften så stor.



Figur 5-3 Utbrett moment kring z-axeln hanteras som enskilda punktlaster i skyltens berörda noder.

Utöver anpassningen för det utbredda momentet kring z-axeln, adderas varje lasteffekt till de specifika lastvektorerna för respektive last. De olika lastvektorer som skapas i den digitala utvecklingsmiljön är redovisade i tabell 5-3.

Tabell 5-3 För varje last skapas en eq-lastvektor och en f-lastvektor.

Utbredda laster	Punktlaster
$e_{q_{egentyngd}}$	$f_{egentyngd}$
$e_{q_{vindlast}}$	$f_{vindlast}$
$e_{q_{vindlast\ med\ is}}$	$f_{vindlast\ med\ is}$
$e_{q_{vertikal\ snölast}}$	$f_{vertikal\ snölast}$
$e_{q_{plogsnölast\ 1}}$	$f_{plogsnölast\ 1}$
$e_{q_{plogsnölast\ 2}}$	$f_{plogsnölast\ 2}$
$e_{q_{islast}}$	$f_{islast}$

## Exempel 6 – digital dimensionering

### Indata:

AL – skylt

$$h_{skylt} = 0,5 \text{ m}$$

$b_{skylt} = 1,6 \text{ m} \rightarrow$  Standardskylt

$$t_{skylt} = 0,036 \text{ m}$$

$$z_g = 1,7 \text{ m}$$

Stolpdim, KKR = 60

$$h_{balkelement} = 0,005 \text{ m}$$

### Sammanställning:

För de utbredda lasterna ges varje balkelement en lastvektor med fyra positioner.

$$eq_{egentyngd} = \left. \begin{array}{l} n_{balkelement, stolpe} \\ \\ \\ n_{balkelement, skylt} \end{array} \right\} \begin{bmatrix} [q_{x, stolpe}, 0, 0, 0] \\ \cdot \\ \cdot \\ [q_{x, stolpe} + q_{x, skylt}, 0, 0, 0] \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix}$$

$$M_{z, skylt} = m_{z, skylt} \cdot h_{balkelement} = 0,685 \text{ Nm}$$

För punktlasterna placeras momentet i den sjätte positionen för varje nod på skylten. Övriga positioner har storleken noll.

$$f_{egentyngd} = n_{frihetsgrader, skylt} \left\{ \begin{array}{l} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ M_{z, skylt} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ M_{z, skylt} \end{array} \right.$$

Genom att punktmarkera den sjätte positionen i noden i mötet stolpe-skylt och noden på toppen av konstruktionen i lastvektorerna kan momentet subtraheras då den i dessa positioner är hälften så stor. Det som är innanför parenteserna symboliserar den aktuella positionen.

$$f_{egentyngd}(n_{frijhetsgrader, stolpe}) = - \frac{M_{z, skylt}}{2}$$

$$f_{egentyngd}(n_{frijhetsgrader}) = - \frac{M_{z, skylt}}{2}$$

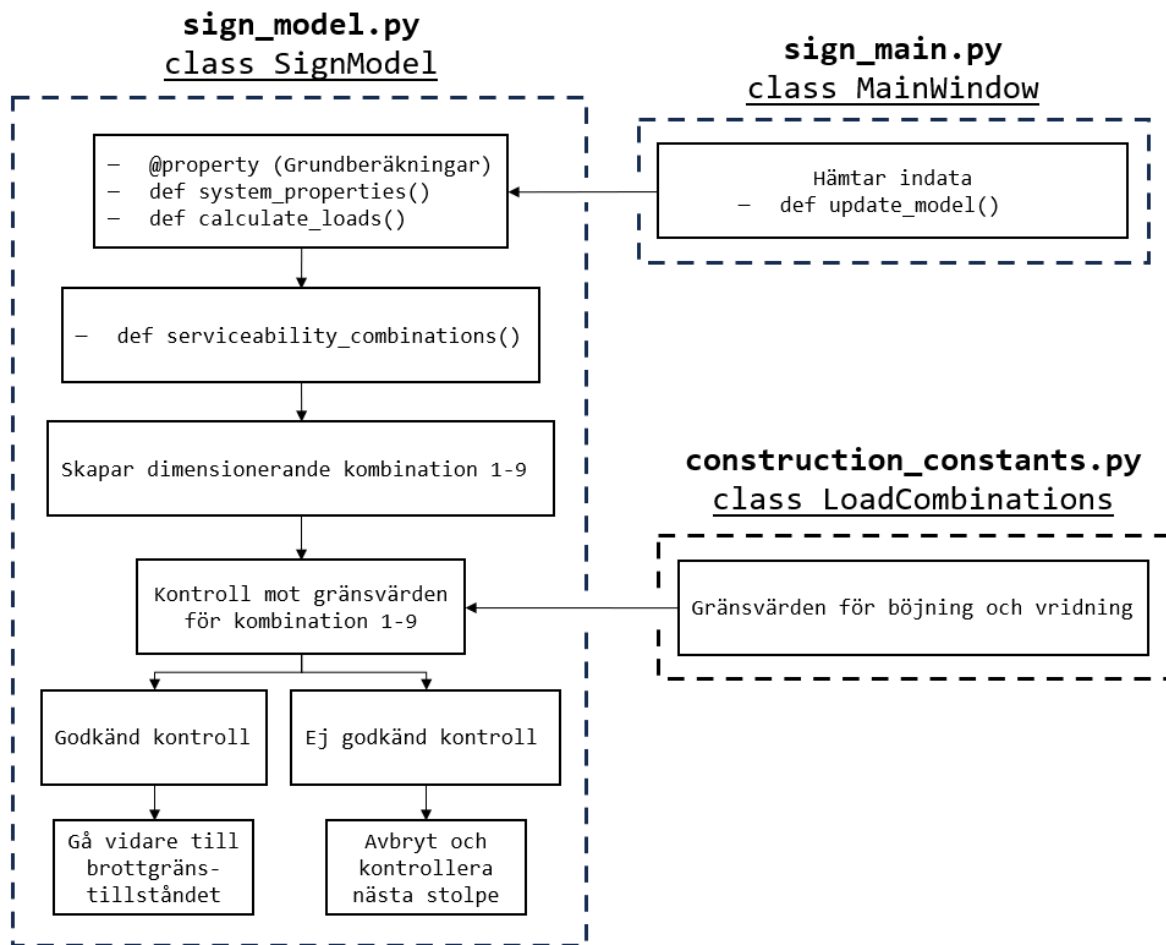
Varje last har sina egna *eq*- och *f*-vektorer på likande sätt som ovan. Genom att addera lasternas vektorer i olika kombinationer ges de lastkombinationer som kontrolleras enligt avsnitt 4.2.

### 5.1.2.2 Kombinationer och stålhantering

Skapandet av lastkombinationer genomförs i funktionerna *serviceability\_combinations()* och *ultimate\_combinations()*. Den första hanterar möjliga lastkombinationer för bruksgränstillståndet och den andra för brottgränstillståndet. Varje funktion inhämtar beräkningar från *system\_properties()* och *calculate\_loads()* för att kunna sammanställa resultatet för varje potentiell lastkombination. De mindre funktioner som hanterar beräkningar rörande stålkapacitet, återfinns utanför funktionen *ultimate\_combinations()*, men returnerar data som funktionen använder för jämförandet mot kombinationernas dimensionerande värden.

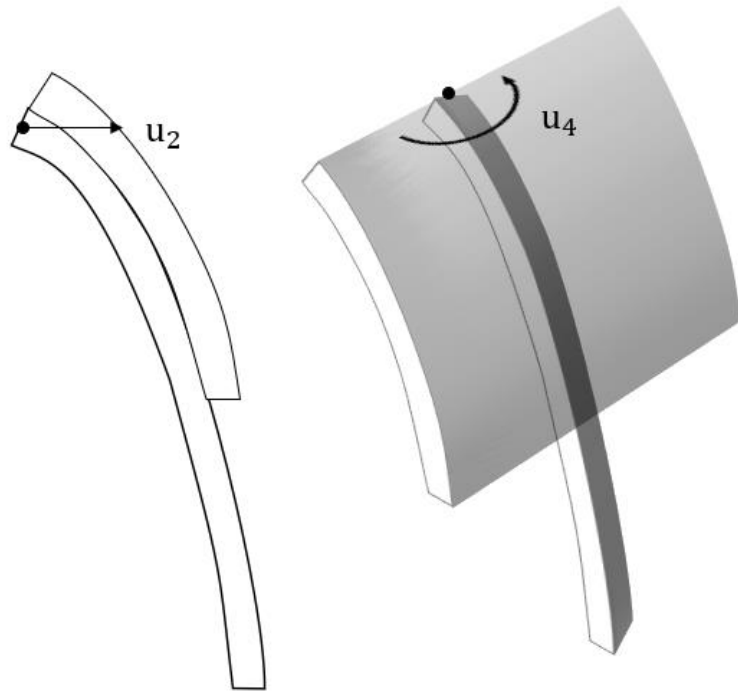
I kombinationsskapandet införs variabler med varje kombinations unika dimensioneringsvärden enligt tabell 3-5. Vid kombinationsskapandet varierar vald variabel för varje last baserat på om lasten anses vara huvudlast eller ej. På så vis beräknas dimensionerande laster baserat på de karakteristiska lasterna.



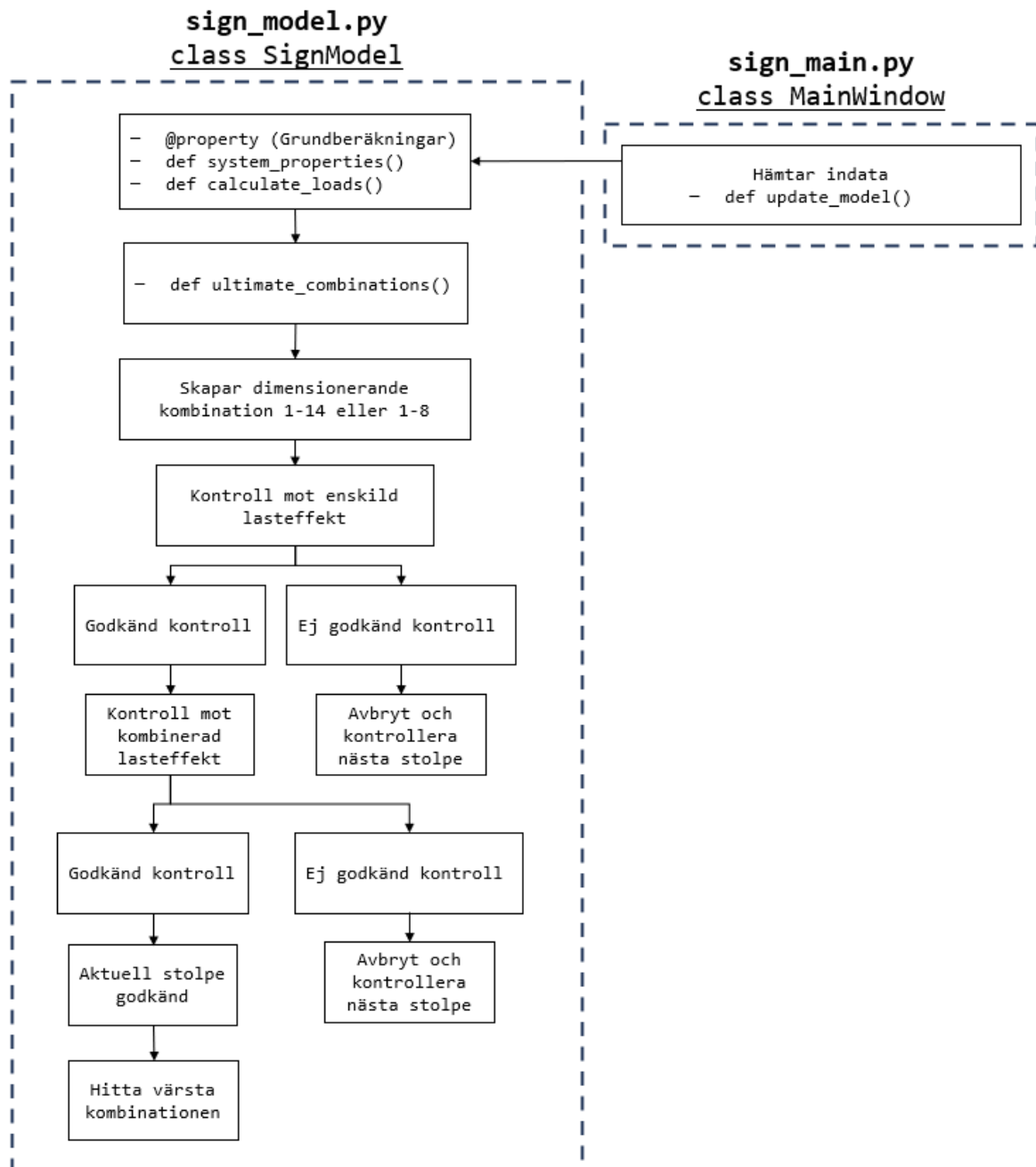


Figur 5-4 Beräkningsföljd för bruksgränstillståndet.

I bruksgränstillståndet kontrolleras utböjningen i lastvektor  $a$  i konstruktionens topp och jämförs med de gränsvärden angivna i avsnitt 3.1.2. Utböjningen per meter beräknas utifrån skillnad i förflyttning i aktuell riktning i konstruktionens översta nod, se figur 5-5, dividerat med konstruktionens totala höjd. Skulle någon av kombinationerna överstiga gränsvärdena, bryts beräkningen för aktuell stolpe och verkyget provar nästa.



*Figur 5-5 Riktningar som kontrolleras mot gränsvärdena för utböjning och rotation. Namngivelsen på riktningarna indikerar position 2 och 4 i den översta noden.*



*Figur 5-6 Beräkningsföljd för brottgränstillståndet.*

I brottgränstillståndet jämförs kombinationsvärdena mot resultaten i  $f_b$ -vektorn för varje kombination mot de enskilda lasteffekterna för stålkapacitet enligt avsnitt 3.5.3.1. Skulle någon av kombinationernas enskilda lasteffekt överstiga stålets maximala kapacitet bryts beräkningen och nästa stolpe testas. Då alla kombinationers enskilda lasteffekter är mindre än stålkapaciteten går verktøget vidare och kontrollerar hur samverkan mellan laster påverkar strukturen enligt avsnitt 3.5.3.2.

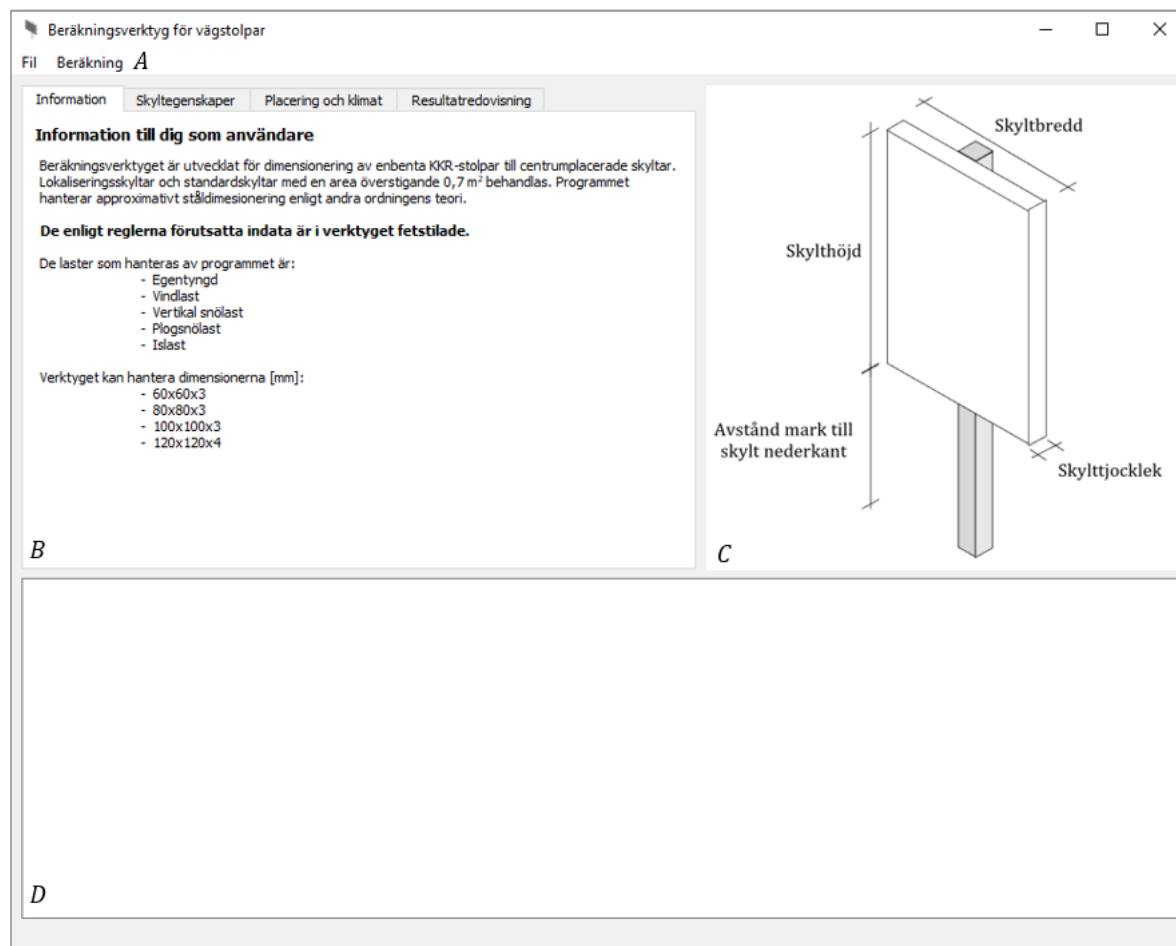
Vid kontroll för lastkombinationernas effekt kontrolleras kombinationernas risk för knäckning och kvoten mellan dimensionerande tvärkraft och kapaciteten för tvärkraft. Baserat på kombination väljs aktuell beräkningsväg i

tabell 3-14 och tabell 3-15. Skulle dimensionerande lastvärde för någon av kombinationerna överstiga kapaciteten för aktuell beräkningsväg avbryts beräkningen och nästa stolpe provas. Skulle alla kombinationer klara både den enskilda lasteffektsberäkningen och beräkningen för effekten av laster i kombination, bestäms den farligaste kombinationen genom att välja den kombination vars kvot för kombinationsberäkningen är störst.

För beräkning av bärförmåga finns mindre funktioner (property) utanför kombinationslooparna, som returnerar nödvändiga indata till beräkningarna. Tvärsnittsklass och de olika lasteffekternas kapacitetsvärden ( $R_d$ ) beräknas bland annat här.

## 5.2 Användarvänlighet och val

Vid utveckling av gränssnittet har gränssnittsbiblioteket  $Qt$  ( $PyQt$  för Python) [36 & 37] använts. Genom att använda  $Qt$  kan koden användas på alla plattformar som Windows, macOS och Linux.



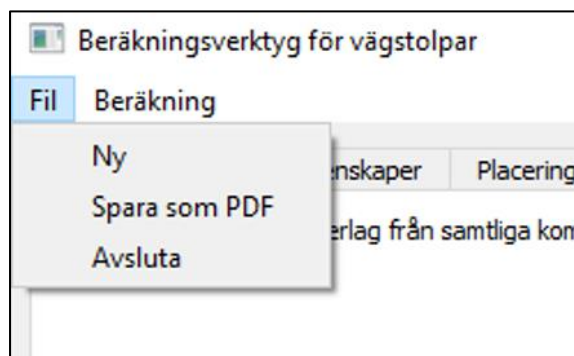
Figur 5-7 Användargränssnittet.

Kraven på det grafiska gränssnittet är att det ska vara lätt att använda och vidareutveckla.

Verktygets huvudfönster är uppdelat i fyra delar:

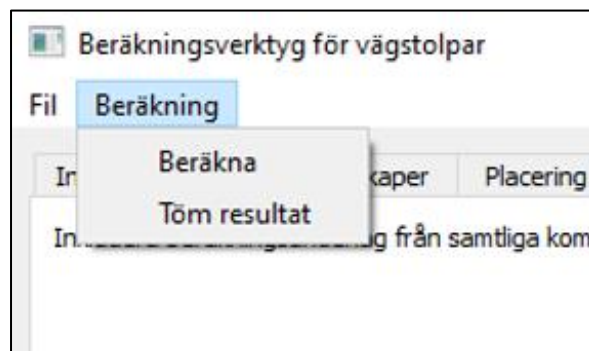
- Menyfält (A)
- Inmatningsruta (B)
- Bildstöd för inmatning (C)
- Resultatruta (D)

Verktygets menyfält består av två huvudknappar. En för filhantering, se figur 5-10 och en för beräkningshantering, se figur 5-11. Något som önskades från samarbetspartnern var att verktyget kunde spara ner resultat för användning som underlag för redovisning av dimensioneringen.



Figur 5-8 I menyfältet och under fliken Fil finns flera möjliga val.

Under *Fil* i menyfältet, kan användaren genom *Ny*, välja att nollställa inmatade värden till standardvärdena som är förinställda i programmet. Användaren kan välja att spara det som finns skrivet i resultatrutan till en PDF-fil genom *Spara som PDF* eller så kan användaren avsluta programmet genom *Avsluta*.



Figur 5-9 I menyfältet och under fliken Beräkning finns flera möjliga val rörande beräkning.

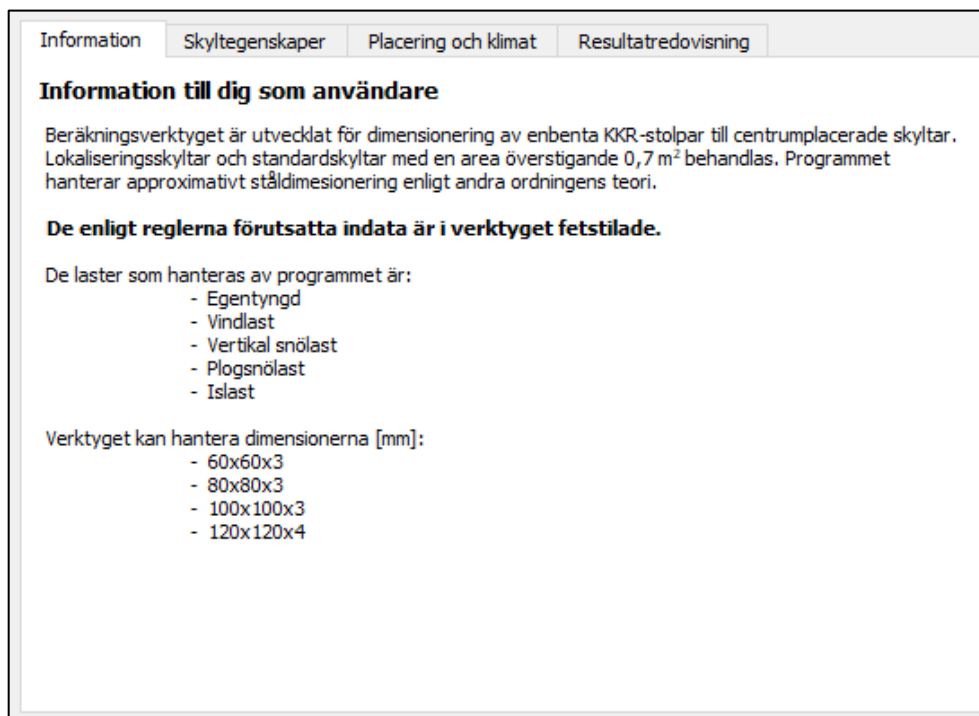
Om användaren vill starta beräkningen väljs *Beräkna* som finns under fliken *Beräkning* i menyfältet. Ifall det finns resultat skrivet i resultatrutan rensas denna innan ny beräkning genomförs. *Töm resultat* rensar enbart eventuellt tidigare resultat i resultatrutan.

Inmatningsrutan är för uppdelning av data indelad i fler separata flikar. Det är också ett smidigt sätt att minska omfattningen av indata vid samma tillfälle samt skapa

förutsättningar för att enkelt addera mer interaktivt innehåll till verktyget. De fyra flikarna är uppdelade enligt:

- *Information*
- *Skyltegenskaper*
- *Placering och klimat*
- *Resultatredovisning*

De dimensioner och val som syns i figur 5-11, figur 5-12 och figur 5-13 är de standardvärden som är angivna vid programstart och när knappen *Ny* används.



*Figur 5-10 Användaren informeras om verktyget i den första fliken.*

Den första fliken *Information* ger användaren information och verktygets egenskaper och begränsningar, se figur 5-10.

Information	Skyltegenskaper	Placering och klimat	Resultatredovisning
Skyltbredd [mm]:	<input type="text" value="1000"/>		
Skylthöjd [mm]:	<input type="text" value="1000"/>		
Avstånd mark till skylt nederkant [mm]:	<input type="text" value="1000"/>		
Skylttjocklek [mm]:	<input type="text" value="36"/>		
Aluminium eller VMS?	<input checked="" type="radio"/> Aluminium <input type="radio"/> VMS		
Skylttyngd [kg/m <sup>2</sup> ]:	<input type="text" value="13"/>		
Säkerhetsklass:	<input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4		
Deformationsklass	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4		

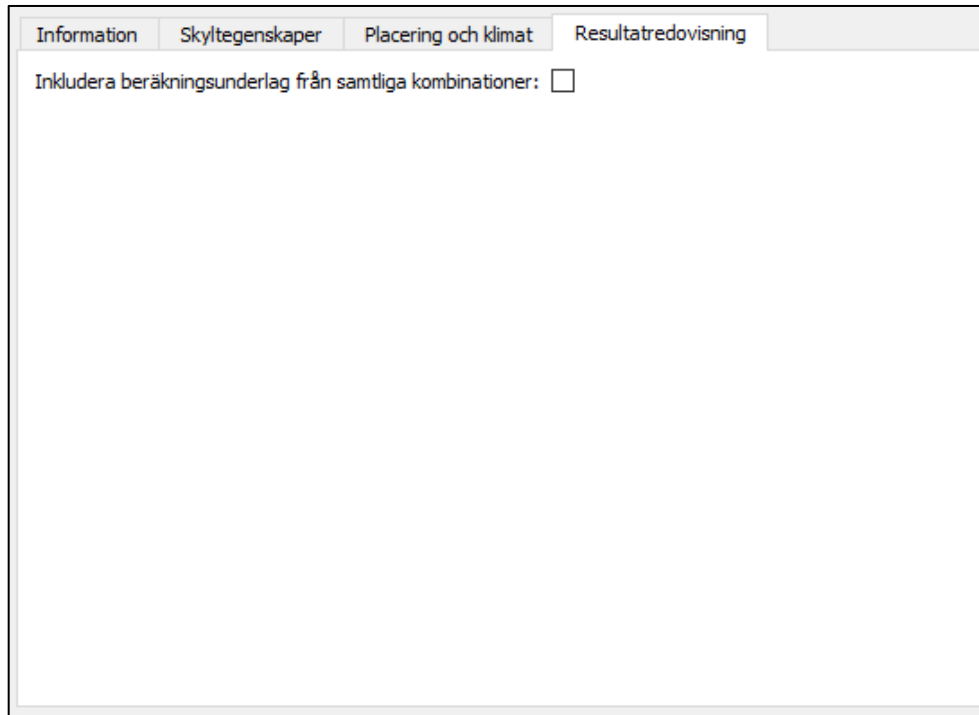
Figur 5-11 Fliken "Skyltegenskaper" innehåller textfält och radioknappar.

Skyltegenskaper hanterar skyltens och konstruktionens dimensioner och förutsättningar. Indata hanteras antingen som textfält eller som radioknappar för begränsning till ett val. Se figur 5-11 för den andra flikens innehåll. Fetstilta text för radioknapparna under säkerhetsklass och deformationsklass visar den enligt regelverken rekommenderade inställning om inget annat är känt.

Information	Skyltegenskaper	Placering och klimat	Resultatredovisning
Referensvindhastighet [m/s]:	<input type="text" value="21"/>		
Terrängtyp:	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> I <input checked="" type="radio"/> II <input type="radio"/> III <input type="radio"/> IV		
Snözon [kN/m <sup>2</sup> ]:	<input type="text" value="1.0"/>		
Exponeringsfaktor:	<input type="radio"/> Vindutsatt <input checked="" type="radio"/> Normal <input type="radio"/> Skyddad		
Vägtyp:	<input type="radio"/> Stads kärna <input type="radio"/> Landsbygd <input checked="" type="radio"/> Motorväg		
Avstånd till vägbanan [m]:	<input type="text" value=" &lt; 3.5"/>		
Räkna med is på skylten:	<input type="checkbox"/>		

Figur 5-12 Fliken "Placering och klimat" innehåller flervalsskontroller, radioknappar och en checkruta.

*Placering och klimat* hanterar konstruktionens placering och det klimat som väntas råda på platsen. Indata hanteras som flervalsskroller, radioknappar och en checkruta. Samtliga fält för indata begränsas av förinställda alternativ vilket eliminerar risken för felaktigt inmatande av användaren. Se figur 5-12 för den tredje flikens innehåll. Fetstil text för radioknappen under terrängtyp visar den enligt regelverken rekommenderade inställning om inget annat är känt.

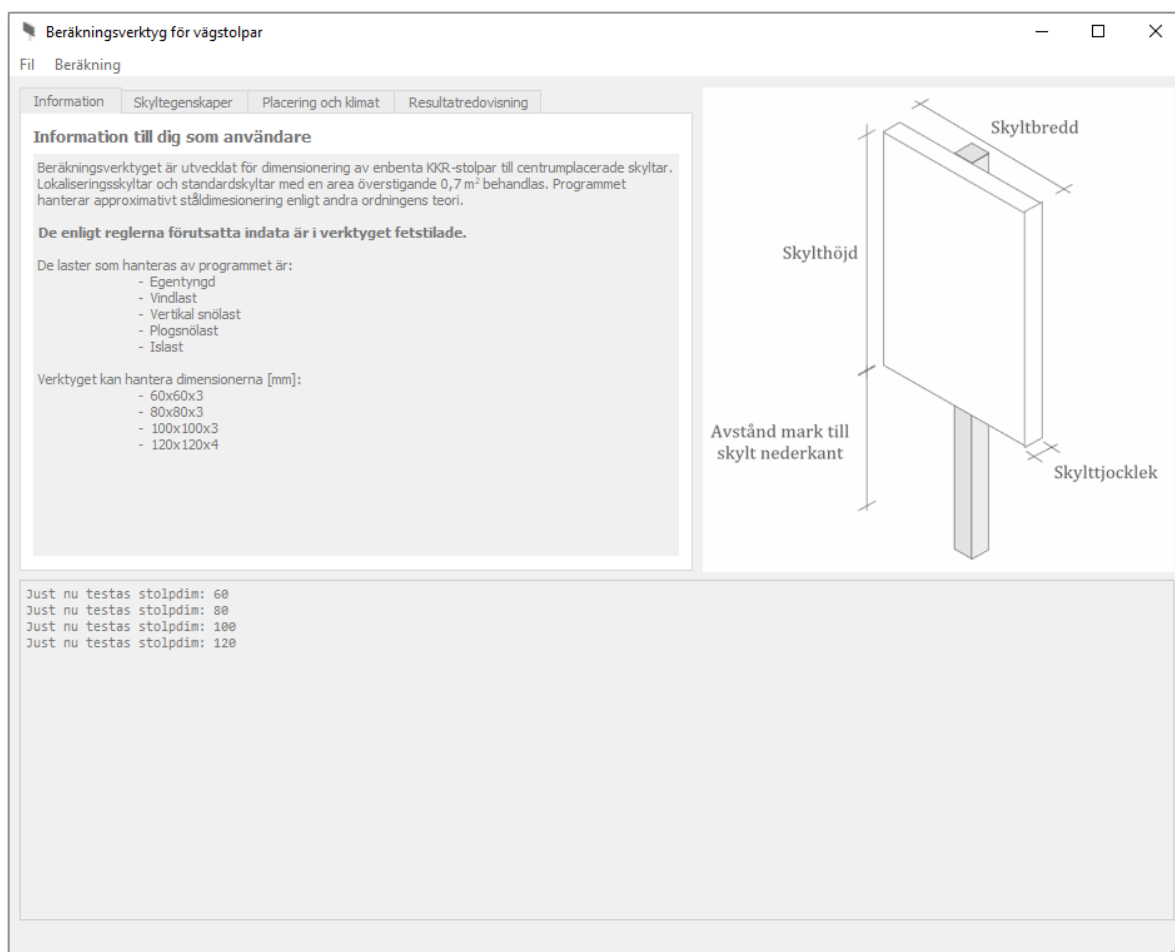


*Figur 5-13 Fliken "Resultatredovisning" en checkruta.*

Den sista fliken i inmatningsrutan är fliken för hantering av resultatredovisning. *Resultatredovisning* hanterar i dagsläget enbart en checkruta, men kan i framtiden byggas ut med önskat innehåll. Checkrutan aktiverar valet av utskrift för alla kombinationsberäkningar i brottgränstillståndet. Är rutan ej markerad skrivs enbart det värsta fallet ut.

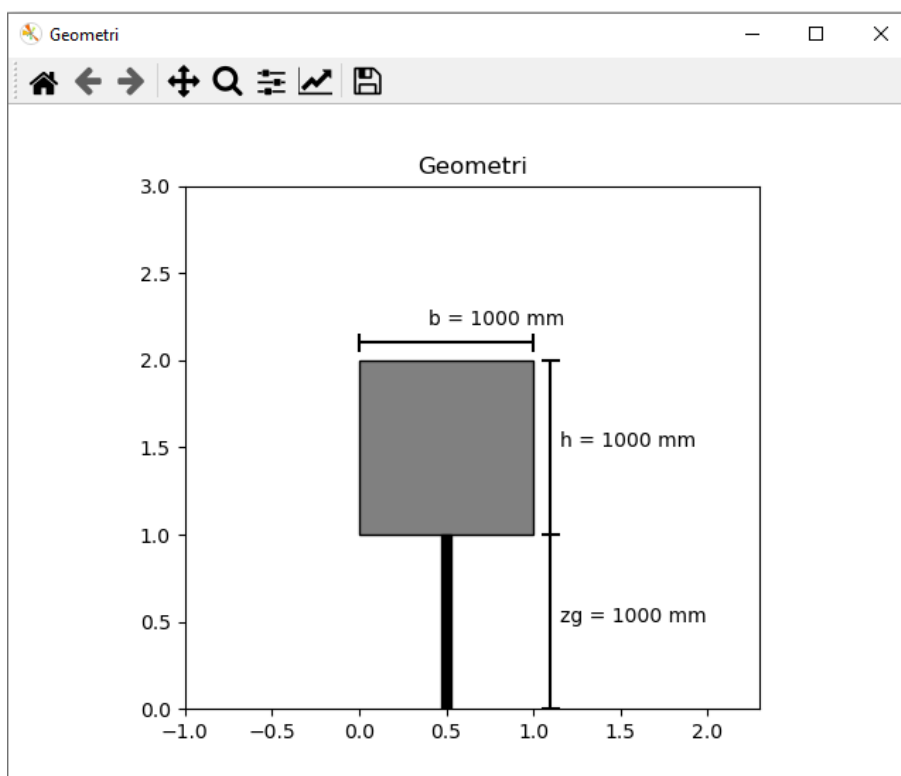
Bredvid inmatningsrutan finns en illustration där mått som krävs avseende *Skyltegenskaper* finns visade. Under inmatningsrutan och illustrationen finns en resultatruta med de beräkningsresultat som dimensioneringsverktyget beräknat fram.





*Figur 5-14 När beräkningen körs informeras användaren om beräkningsstegen i resultatrutan och hela dialogrutan låses för användning (tonas).*

Vi pågående beräkning informerar programmet användaren om vilken stolpe som för tillfället testas genom utskrift av just nu testad stolpdimension. Samtidigt som beräkning pågår låses också användarfönstret för att hindra användaren från att förändra beräkningsförutsättningarna.



Figur 5-15 Vid slutförd beräkning ritas programmet upp geometrin för den inmatade skylten tillsammans med dess mått.

Vid funnen stolpdimension och slutförd beräkning redovisas först en måttsatt geometriskiss över den beräknade skylten som bekräftelse på korrekt indata. Bakom skissen kan användaren skymta det utskrivna resultatdata i resultatrutan. Om även checkrutan i fliken *Resultatredovisning* är i bockad skrivs resultatet ut med följande rubriker:

**Datum**

**Rapportrubrik**

**Företagsnamn**

**Beräkningsutförare**

**Omslagsbild**

**1. Förutsättningar**

1.1 Skyltmaterial

1.2 Säkerhetsklass

**2. Laster**

2.1 Egentyngd

2.2 Vindlast

2.3 Vertikal snölast

2.4 Plogsnölast

2.5 Islast

**3. Lastkombinationer**

3.1 Brottgränstillståndet

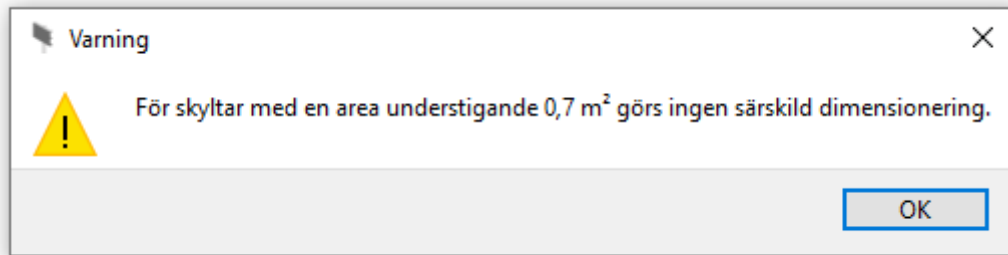
3.2 Bruksgränstillståndet

**4. Dimensionering**

4.1 Stålkonstruktion

4.2 Lasteffekt

4.3 Alla kombinationer



Figur 5-16 En varningsruta varnar för att inmatade värden skapar en för liten skyltarea.

Skulle fel uppstå under beräkningens gång är programmet utrustat med varningar enligt tabell 5-1 för att undvika att beräkningsfel uppkommer. Varningarna dyker upp som fönster i gränssnittet, se figur 5-16, och beräkningen stoppas.

### 5.3 Testning och felsökning

Under hela arbetets gång, har beräkningar stegvis testats för att stämma överens med förväntade värden och resultat. Testandet har oftast skett genom utskrift av beräkningssteg och olika resultat längs vägen. Oftast har inte beräkningen i sig varit orsak till felmeddelanden och felaktiga resultat, utan datorkodens utformning.

```
-----  
Just nu testas stolpdim: 120  
Nummer: 1  
a  
d  
e  
Denna är ok  
False  
Nummer: 2  
a  
d  
e  
Denna är ok  
False  
Nummer: 3  
a  
d  
e  
Denna är ok  
False
```

Figur 5-17 Testning av kombinationer och flödesvägar i beräkningen.



## 6 Resultat

Arbetet har resulterat i ett beräkningsprogram för dimensionering av den bärande stolpen till vägs skyltar med varierande storlek, med hänsyn till skyltens placering och de regler som ska beaktas. Arbetet har även resulterat i en rapport med förklaringar och beskrivningar om arbetets process och verktygets innehåll.

Beräkningsverktygets fundamentala grundstenar bygger på litteraturstudier i olika regelverk där relevanta krav för arbetet sammanställts. Aktuella regelverk för lasthantering och ståldimensionering från europeiska standarder, nationella bilagor och myndighetskrav är redovisade i arbetet för förtydligande av dess samverkan. Krav och regler är integrerade i verktyget genom de beräkningar som gjorts och dessa är förtydligade i rapporten.

Nedan följer en beräkningsprocess för en av referensskyltarna.

### Exempel 7 - beräkningsprocess

Indata:

AL – skylt

$h_{skylt} = 1,2$  m

$b_{skylt} = 3,1$  m → Lokaliseringsskylt

$t_{skylt} = 0,036$  m

$z_g = 1,7$  m

$v_b = 24$  m/s

$TT = 2$

$s_k = 2$  kN/m<sup>2</sup>

$C_e = 1,0$

Placerad < 3,5 m från vägen

Vägtyp: Motorväg

Räkna med is: Ja

För inmatning går användaren över från fliken *Information* till fliken *Skyltegenskaper*. Lokaliseringsskyltens skyltbredd, skylthöjd, avstånd till mark, skylttjocklek, material, tyngd, säkerhetsklass och deformationsklass matas in, se figur 6-1.

Information	Skyltegenskaper	Placering och klimat	Resultatredovisning
Skyltbredd [mm]:	<input type="text" value="3100"/>		
Skylthöjd [mm]:	<input type="text" value="1200"/>		
Avstånd mark till skylt nederkant [mm]:	<input type="text" value="1700"/>		
Skylttjocklek [mm]:	<input type="text" value="36"/>		
Aluminium eller VMS?	<input checked="" type="radio"/> Aluminium <input type="radio"/> VMS		
Skylttyngd [kg/m <sup>2</sup> ]:	<input type="text" value="13"/>		
Säkerhetsklass:	<input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4		
Deformationsklass	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4		

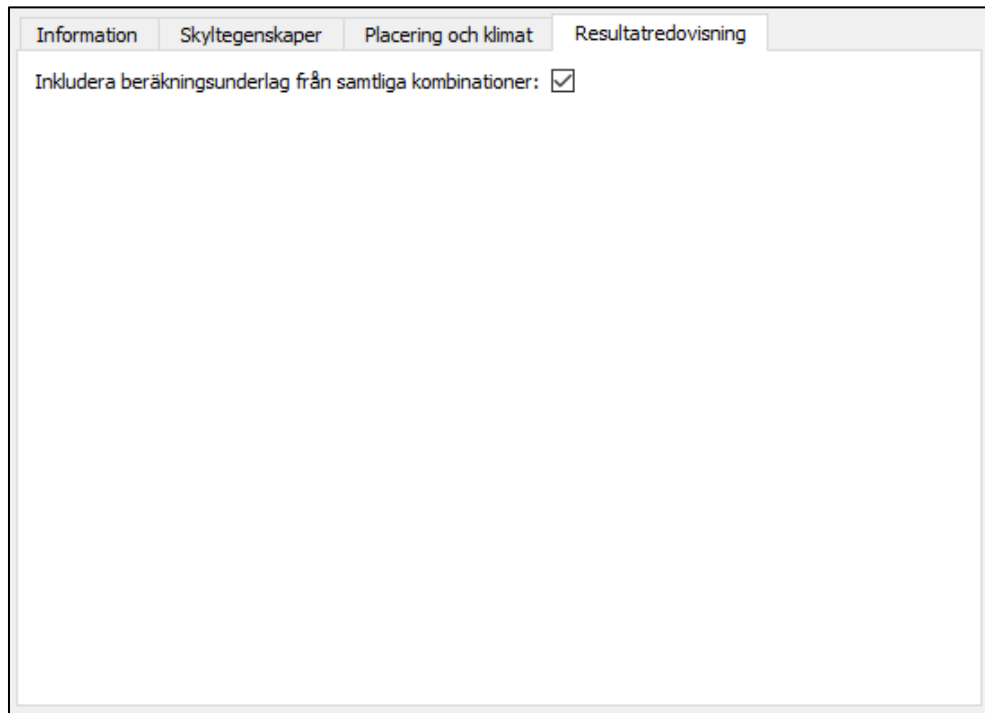
Figur 6-1 Skyltegenskaper inmatat för lokaliseringsskylten.

För att definiera de indata som påverkar de variabla lasterna går användaren vidare till fliken *Placering och klimat*. Här definieras referensvindhastighet, terrängtyp, snözon, exponeringsfaktor, vägtyp, avstånd till vägbanan och ifall beräkningen ska beakta islast. Lokaliseringsskyltens klimatrelaterade data knappas in, se figur 6-2.

Information	Skyltegenskaper	Placering och klimat	Resultatredovisning
Referensvindhastighet [m/s]:	<input type="text" value="24"/>		
Terrängtyp:	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> I <input checked="" type="radio"/> II <input type="radio"/> III <input type="radio"/> IV		
Snözon [kN/m <sup>2</sup> ]:	<input type="text" value="2.0"/>		
Exponeringsfaktor:	<input type="radio"/> Vindutsatt <input checked="" type="radio"/> Normal <input type="radio"/> Skyddad		
Vägtyp:	<input type="radio"/> Stadskärna <input type="radio"/> Landsbygd <input checked="" type="radio"/> Motorväg		
Avstånd till vägbanan [m]:	<input type="text" value="&lt; 3.5"/>		
Räkna med is på skylten:	<input checked="" type="checkbox"/>		

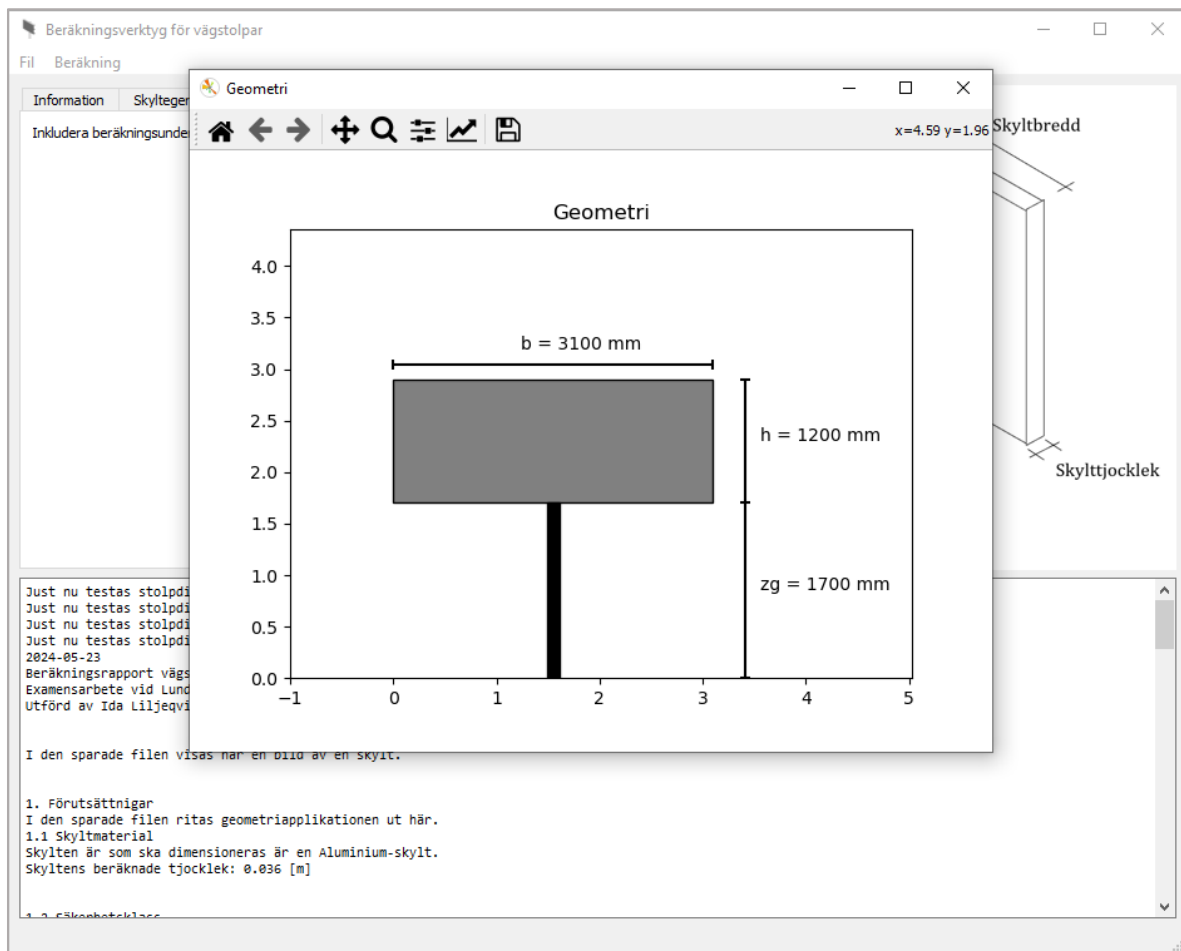
Figur 6-2 Lokaliseringsskyltens placering och klimatstyrda indata ifyllt i verktyget.

Slutligen görs val för vad filen för utdata ska innehålla. Under fliken *Resultatredovisning* väljer användaren om beräkningsdata från samtliga kombinationer i brottgränstillståndet ska skrivas ut, se figur 6-3.



*Figur 6-3 För beräkningen av lokaliseringsskylten tas alla kombinationer med.*

När all indata är ifylld startar beräkningen för lokaliseringsskylten genom menyfältet och *Beräkning* → *Beräkna*.



*Figur 6-4 När beräkningen är klar ritas en geometriskiss upp och resultaten skrivs i resultatrutan.*

Resultatfilen från beräkningen bifogas som bilaga 4. Bilagan är ett skärmbild från den utskrivna resultatfilen i A4-format.



## 7 Diskussion

Arbetet med att framställa verktyget har varit väldigt varierande med många delar att beakta för att uppnå ett bra resultat. Mer än en tredjedel av tiden har lagts på att få en sammanhängande och klar förståelse för de krav och regler som gäller. Då regelverken är uppdelade i flera delar, utspridda hos flertalet utgivare och blandade med regelverk som inte är relevanta för arbetet har sammanställningen tagit sin tid för att få ett bra resultat. I vissa fall har regelverken varit otydliga och det har varit svårt att hitta alla nödvändiga regler som krävs för arbetet. I dessa fall har antaganden gjorts. De antaganden som finns gjorda i rapporten rör kombinationsvärdesfaktorer för plogsnölast och islast, se tabell 3-7, samt hur standardvägmärken förhåller sig till huvudlast, se avsnitt 3.4.

Kombinationsvärdesfaktorerna är antagna ha samma värden som för vertikal snölast. Resonemanget som föranledde antagandet var att både plogsnö och is är köldberoende faktorer, precis som vertikal snölast, och att det därför var rimligt att anta samma värde. För standardvägmärkena görs i regelverken redan vissa förenklingar vid dimensionering. Antagandet grundades därför i att en förenkling även gjorts på denna front.

I regelverken finns krav för hur bl.a. olika laster ska hanteras. Den vertikala snölasten och hanteringen av ökad angreppsyta för is, finns med i Trafikverkets kravdokument. För vägskyltar är dessa effekter väldigt små och meningen i att beakta dessa delar kan ifrågasättas. Andra krav som under arbetet väckt lite frågetecken är relevansen kring plogsnö. Plogsnöns lastvärde baseras på vägtyp och avstånd till vägbanan. Här finns ingen direkt koppling mellan lastvärde och var landet du befinner dig. Rimligtvis borde mängden plogsnö även den öka ju längre norrut du kommer.

Arbetets övriga tid har ägnats åt att omvandla regelverken till faktiska beräkningar och dimensioneringar. Beräkningsmodellerna i kapitel 4 skapades för att ge en bra överblick över beräkningarna som krävdes och vilka saker som måste beaktas. Lasterna som valdes för arbetet är förhållandevis vanliga för en typisk skylt och täcker en stor del av de beräkningar som krävs för dimensionering av skyltar.

Beräkningarna har i de flesta fall kunnat genomföras på förhållandevis enkla sätt både på papper och i datorkod. Beaktande av islastens tyngdpunkt var en förenkling som gjordes med resonemanget att beräkningen genomförts på säkra sidan. Den last som för arbetet tagit långs tid att få grepp om, var plogsnölasten. Alla andra laster förhåller sig till skylten på något sätt, exempelvis genom excentricitet baserat på skyltbredd eller area. Skylten får istället förhålla sig till plogsnön. Helt beroende på skylthöjd, skyltbredd och avstånd till mark finns det under arbetet konstruerat 20 kombinationer av träffbilder, se bilaga 1 och 2. Hur dessa skulle hanteras både på papper och i datorkod tog lång tid att komma fram till. Genom att försöka skapa fall där alla tänkbara kombinationer beaktades, kunde både beräkning på papper och kod göras mycket enklare. På grund av plogsnölastens komplexitet räknar verktyget med väldigt små elementbitar. Vid fortsatt utveckling av verktyget krävs smarta lösningar för att beakta plogsnölasten enligt de regelverk som finns.

FEM användes under arbetet för att förbereda verktyget för vidare utveckling och inkludering av fackverksstolpar. Genom att räkna med FEM finns också möjlighet att ta fram väldigt specifika data längs med hela konstruktionen. Den oerhört fina elementindelningen beror som tidigare nämnt på plogsnölastens komplexitet, men är lite för noggrann för optimal funktion på programmet. Vid beräkning av en konstruktion med en

totalhöjd på två meter behöver verktyget beräkna 400 balkelement för varje testad stolpe. Omfattningen av data som datorn behöver processa skapar ett långsamt program som kräver mycket av körande maskin.

Dimensioneringen tar approximativ hänsyn till andra ordningens teori. Den förenklade metoden som använts bedöms som tillräcklig eftersom tryckkrafterna oftast är små, och den undersökta konstruktionen får en nära sinusformad utböjning. Vid utveckling av verktyget för att t.ex. hantera fackverksstolpar kan det eventuellt finnas behov av att beakta andra ordningens teori på ett mer noggrant sätt. Enligt Eurokod ska imperfektioner beaktas. Detta har inte gjorts, men bedöms inte ha stor påverkan på grund av de små tryckkrafterna. Verktyget har också begränsats under arbetet till hantering av enbart tvärsnittsklass 1–3. Begränsningen innebar enklare beräkningar och snällare modeller. Beaktning av skjuvbuckling har för arbetet och aktuella stolpar inte heller krävts, då de använda stolparna inte är bucklingsbenägna. Bucklingsbenägna stolpar är inte heller lämpliga att använda i aktuell konstruktion.

Verktyget har utvecklats i programspråket Python som är ett av de vanligaste programspråken. Genom att utveckla i ett brett språk med lättillgängliga kunskaper möjliggörs fortsatt utveckling till en bredare publik. De svårigheter som påträffats under utveckling av programmet har ofta handlat om att hitta snygga lösningar för att skapa en logisk och enkel kod att följa. Ibland har dessa lösts genom upprepning och genvägar på grund av brist på annan funnen lösning. Genom att hitta enkla lösningar på dessa problem kan koden göras kortare och mer lätthanterlig.

Användargränssnittet är utvecklat för att skapa en enkel och följsam process för beräkning, men också för att förhindra eventuella fel. Felen som kan uppkomma genom felslag skulle kunna ge felaktiga beräkningsunderlag och är i programmet hanterade som varningar med beräkningsstopp samt en direkt upplysning till användaren på konstruktionens utformning genom skapandet av en geometriskiss. De resultatdata som idag skrivs ut kan i framtiden utvecklas till en fullt godkänd konstruktionsredovisning.

Verktyget kan som helhet beräkna fem olika laster, för två olika dimensioneringstillstånd och för två olika varianter på skyltkategorisering. Det finns ett interaktivt samspel med användaren och kan skapa resultatfiler i PDF-format. Verktyget följer också de regler som finns för konstruktionen och varnar vid eventuella fel. Trots att verktyget vidare kräver testning för att utesluta eventuella felaktigheter och inbyggda buggar, kan programmet ta fram aktuell stolpe för många olika typer av skyltar. Verktygets vidare utveckling står nu för dörren och jag ser med spänning på hur verktyget kommer fortsätta utvecklas.

## 8 Slutsatser

Arbetets syfte har övergripande handlat om att bidra till god trafikmiljö. Målet var att ta fram ett beräkningsverktyg för dimensionering av bärande stolpe till vägs skyltar. De slutsatser som dragits är:

- Regelverken är i vissa fall otydliga och antaganden har behövt göras.
- Regelverken kräver beräkning av vissa typer av laster som i några fall är onödigt noggranna och hade kunnat försummas.
- Plogsnölasten är komplex att beräkna i en digital miljö vilket leder till ett långsamt arbetande program.
- Tryckkrafter för studerade vägs skyltar är ofta små och därför har en förenklad metod för beaktning av andra ordningens effekter använts.
- De lasteffekter som är mest kritiska för stolpens bärförmåga är böjmoment och vridmoment.
- Beräkningsverktyget kan dimensionera mellan fyra olika stolpdimensioner för KKR-rör (60x60x3, 80x80x3, 100x100x3 och 120x120x4), men kräver fortsatt testning för uteslutning av eventuella fel.
- Verkyget är skapat för fortsatt utveckling och uppgradering.



## 9 Framtida studier

För framtida studier kan regelgranskning kring vägskyltar och deras konstruktion fortsätta genomföras och utökas med regelverk kopplade till andra bärare eller skyltformer. Sammanställning av regelverk till de laster som i dagens program ej beaktas är ett annat möjligt framtidsprojekt.

Verktyget är i nuläget framtaget för att genomföra beräkningar kopplade till centrumplacerade skyltar på fyra olika KKR-stolpar. För framtida studier kan programmet fortsätta utvecklas genom beräkning av fler geometriskt varierande skyltar och dess placering på den bärande konstruktionen. Exempel på detta är snedskurna skyltar eller större skyltar i kombination med mindre för till exempel avfarter. Genom utökning av möjliga bärare genom fackverksstolpar, och förankring i marken genom fundament kan verktyget utvecklas till ett fullskaligt beräkningsverktyg för alla typer av enklare vägmärken.

Verktyget kan för framtida studier utvecklas med fler möjligheter för användaren genom fler funktioner från gränssnittet. Programmet kan utvecklas till att skapa fullt godkända konstruktionsdokumentationer som kan användas för redovisning av de större vägmärkena.



# 10 Bilagor

## Bilaga 1 – Plogsnölastens träffbild

A & B – Hanterar konstruktionens totalhöjd.

- A:  $h_{tot} > 2500$  mm
- A:  $h_{tot} \leq 2500$  mm

1, 2 & 3 – Hanterar avståndet  $z_g$ , baserat på minsta träffhöjd för plogsnölasten.

- 1:  $z_g > 500$  mm
- 2:  $z_g = 500$  mm
- 3:  $z_g < 500$  mm

$\alpha$  &  $\beta$  – Hantera storleken på skylten,  $b_{skylt}$ .

- $\alpha$ :  $b_{skylt} > 2000$  mm
- $\beta$ :  $b_{skylt} \leq 2000$  mm

I, II & III – Hanterar avståndet  $z_g$ , baserat på högsta träffhöjd för plogsnölasten.

- 1:  $z_g > 2500$  mm
- 2:  $z_g = 2500$  mm
- 3:  $z_g < 2500$  mm

○ & △ – Hantera storleken på skylten,  $b_{skylt}$  förhållande till stolpbredden  $b_{stolpe}$ .

- ○:  $b_{skylt} \geq 4000$  mm +  $b_{stolpe}$
- △:  $b_{skylt} < 4000$  mm +  $b_{stolpe}$

”X” i tabellen symboliserar att redovisning redovisas i bilaga 2.

”-” symboliserar att denna kombination ej är logiskt möjlig.

		1							
		$\alpha$			$\beta$				
		I	II	III	I	II	III		
A	○	△	○	△	○	△			
B				○	△	X			
		-	-						

## Bilaga 2 – Plogsnölastens träffbild

A & B – Hanterar konstruktionens totalhöjd.

- A:  $h_{tot} > 2500$  mm
- A:  $h_{tot} \leq 2500$  mm

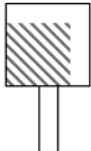
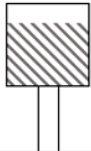
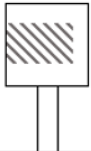
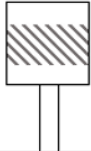
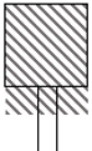
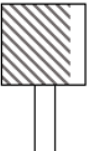
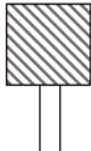
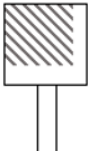
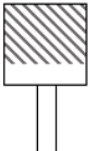
1, 2 & 3 – Hanterar avståndet  $z_g$ , baserat på minsta träffhöjd för plogsnölasten.

- 1:  $z_g > 500$  mm
- 2:  $z_g = 500$  mm
- 3:  $z_g < 500$  mm

$\alpha$  &  $\beta$  – Hantera storleken på skylten,  $b_{skylt}$ .

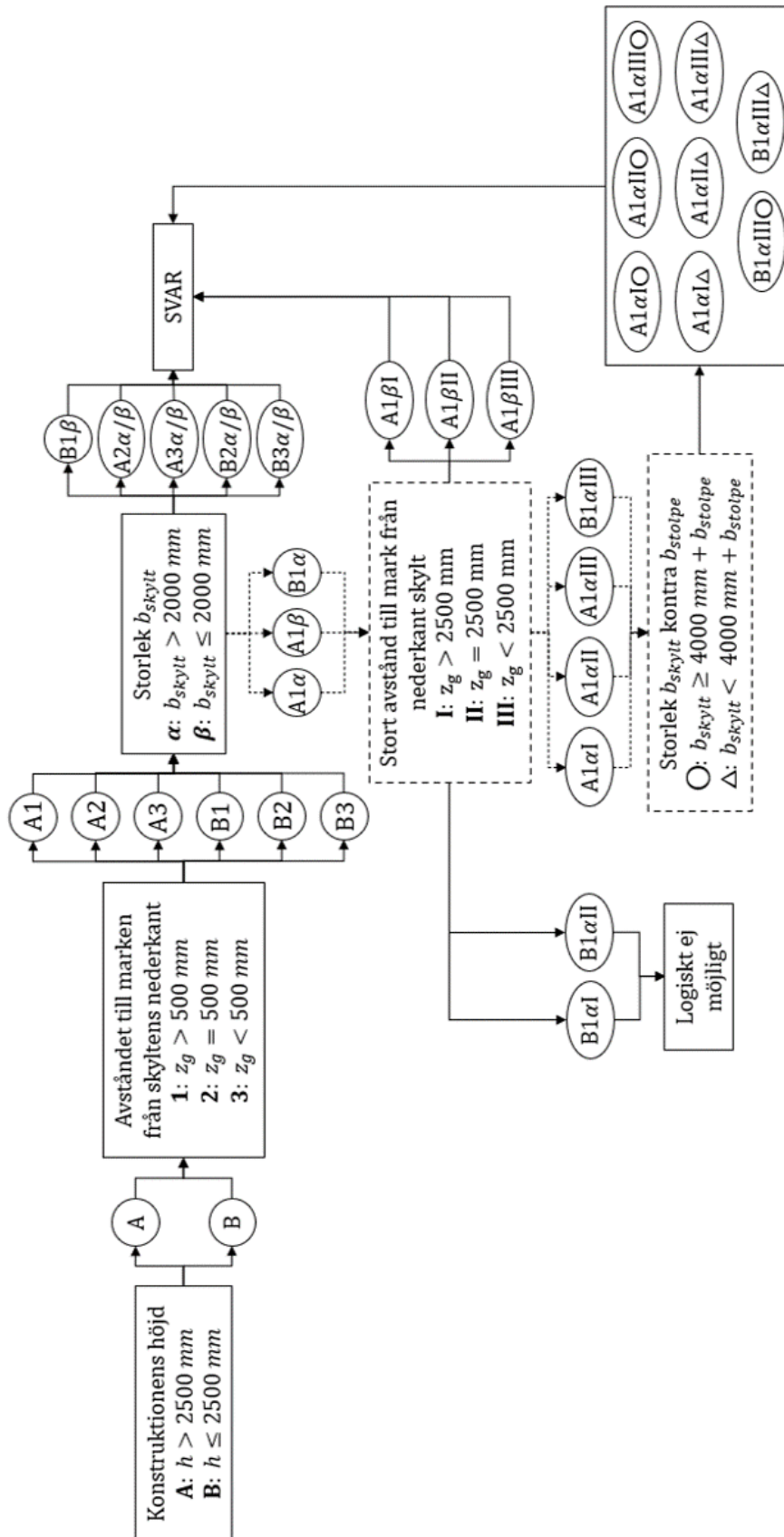
- $\alpha$ :  $b_{skylt} > 2000$  mm
- $\beta$ :  $b_{skylt} \leq 2000$  mm

”X” i tabellen symboliserar att redovisning redovisas i bilaga 1.

	1	2		3	
	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
A	X				
B					



### Bilaga 3 – Plogsnölastens framställningsväg



## Bilaga 4 – Beräkningsrapport - Referensskylt

2024-06-10

# Beräkningsrapport vägs skyltar

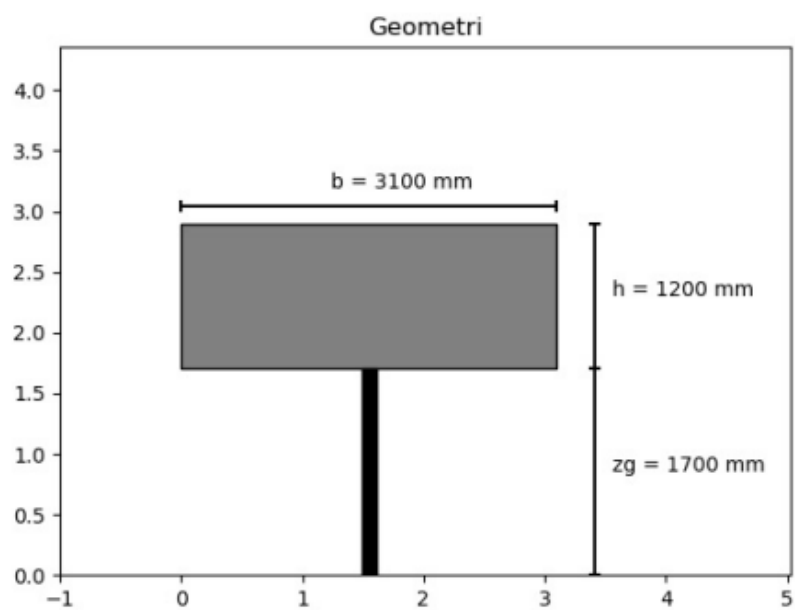
Examensarbete vid Lunds Universitet

Utförd av Ida Liljeqvist



1

## 1. Förutsättningar



### 1.1 Skyltmaterial

Skylten är som ska dimensioneras är en Aluminium-skylt.

Skyltens beräknade tjocklek:  $0.036 \text{ [m]}$

### 1.2 Säkerhetsklass

Konstruktionen är dimensionerad för säkerhetsklass 2.

## **2. Laster**

### **2.1 Egentyngd**

Skyltens tyngd: 13.0 [kg/m<sup>2</sup>]

Stolpens tyngd: 14.2 [kg/m]

### **2.2 Vindlast**

Vindlast betraktas angripa skylten bakifrån för större samverkande last i lastkombinationer

Aktuell vindzon: 24 [m/s]

Avståndet från mark till skyltens centrum: 2.3 [m]

Terrängtyp: 2

Kraftformafaktor: 1.8

### **2.3 Vertikal snölast**

Den vertikala snölasten betraktas enligt TRVINFRA-00338 (K194949) belasta skylten i de fall konstruktionen är bredare än 100 mm.

Konstruktionen är tillräckligt bred för att betrakta vertikal snölast på skyltens och stolpens gemensamma breddtopp.

Exponeringsfaktor: 1.0

### **2.4 Plogsnölast**

Skyltens kant är placerad mindre än 3.5 meter från vägen

Vägtyp: Motorväg

Plogsnölastens lastvärde: 4.0 [kN/m<sup>2</sup>]

## 2.5 Islast

Beräkningarna utförs med Islast: Ja

	Egentyngd	Vindlast	Vindlast med is	Vertikal snölast	Plogsnölast 1	Plogsnölast 2	Islast
Nx [kN]	0.8954	0.	0.	2.	0.	0.	0.8201376
Vy [kN]	-4.05661588e-07	3.66221937	3.77322866	-1.6631474e-11	-6.97610676	-4.96013552	3.10484805e-06
Vz [kN]	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
Tx [kNm]	0.	1.82967865	1.87217441	0.	3.52	-3.844	0.
My [kNm]	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
Mz [kNm]	0.04642475	8.14704662	8.35713869	0.00067392	-14.07383096	-10.41629538	0.18887412

Alla lasters snittkrafter i inspänningen.

## 3. Lastkombinationer

Plogsnölast 1 tar hänsyn till det maximala böjmomentet enligt SS-EN 12899-1 A.2.2

Plogsnölast 2 tar hänsyn till det maximala vridmomentet enligt SS-EN 12899-1 A.2.2

### 3.1 Brottgränstillståndet

Dimensionering görs enligt lastkombination 6.10b.

Den för brottslasten värsta kombinationen: 5

1. Egentyngd, Vindlast (huvudlast) och Vertikal snölast
2. Egentyngd, Vertikal snölast (huvudlast) och Vindlast
3. Egentyngd, Vindlast (huvudlast) och Islast
4. Egentyngd, Islast (huvudlast) och Vindlast
5. Egentyngd, Plogsnölast 1 (huvudlast) och Vertikal snölast
6. Egentyngd, Vertikal snölast (huvudlast) och Plogsnölast 1
7. Egentyngd, Plogsnölast 1 (huvudlast) och Islast
8. Egentyngd, Islast (huvudlast) och Plogsnölast 1
9. Egentyngd, Plogsnölast 2 (huvudlast) och Vertikal snölast
10. Egentyngd, Vertikal snölast (huvudlast) och Plogsnölast 2
11. Egentyngd, Plogsnölast 2 (huvudlast) och Islast
12. Egentyngd, Islast (huvudlast) och Plogsnölast 2
13. Egentyngd och Plogsnölast 1 (huvudlast)
14. Egentyngd och Plogsnölast 2 (huvudlast)

### **3.2 Brukgränstillståndet**

Dimensionering görs enligt frekvent lastkombination 6.15b.

Deformationer beräknas i deformationsklass 4 enligt SS-EN 12899-1.

Tillåten vridning enligt deformationsklass: 0.29 [°/m]

Tillåten böjning enligt deformationsklass: 0.025 [mm/m]

1. Egentyngd, Vindlast (huvudlast), Vertikal snölast och Islast
2. Egentyngd, Vindlast, Vertikal snölast (huvudlast) och Islast
3. Egentyngd, Vindlast, Vertikal snölast och Islast (huvudlast)
4. Egentyngd, Plogsnölast 1 (huvudlast), Vertikal snölast och Islast
5. Egentyngd, Plogsnölast 1, Vertikal snölast (huvudlast) och Islast
6. Egentyngd, Plogsnölast 1, Vertikal snölast och Islast (huvudlast)
7. Egentyngd, Plogsnölast 2 (huvudlast), Vertikal snölast och Islast
8. Egentyngd, Plogsnölast 2, Vertikal snölast (huvudlast) och Islast

9. Egentyngd, Plogsnölast 2, Vertikal snölast och Islast (huvudlast)

#### 4. Dimensionering

Stolpdimensioner: 120x120x4 [mm]

##### 4.1 Stålkonstruktion

Sträckgränsen.  $f_y$ : 355 [MPa]

Tvärsnittsklass: 2

Elasticitiesmodul: 210 [GPa]

Skjuvmodul: 81 [GPa]

Tvärsnittsarea: 1810.0 [mm<sup>2</sup>]

Yttröghetsmoment: 4019999.9999999995 [mm<sup>4</sup>]

Elastiskt välvotstånd: 101000.0 [mm<sup>3</sup>]

##### 4.2 Lasteffekt

	Reaktionskrafter och förflyttningar för kombination 5
Nx [kN]	2.88999902
Vy [kN]	-9.52238511
Vz [kN]	0.
Tx [kNm]	4.8048
My [kNm]	0.
Mz [kNm]	-19.15937389
v [m]	1.03414938e-05

Reaktionskrafter och förflyttningar för kombination 5	
phi [rad]	0.

Den värsta kombinationens snittkrafter i inspänningen.

Värsta kvoten: 0.5319247487585731

#### 4.3 Alla kombinationer

Snittkraft Kombination	Nx [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Tx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
1.	2.88999902	4.99892898	0.	2.49751136	0.	11.17212176
2.	3.70899902	1.49967838	0.	0.74925341	0.	3.38789467
3.	1.7626405	5.15045288	0.	2.55551808	0.	11.63870747
4.	2.09848685	1.54517947	0.	0.76665542	0.	3.73090731
5.	2.88999902	-9.52238511	0.	4.8048	0.	-19.15937389
6.	3.70899902	-6.66573949	0.	3.36336	0.	-13.39601835
7.	1.7626405	-9.52244317	0.	4.8048	0.	-18.97967759
8.	2.09848684	-6.66552683	0.	3.36336	0.	-13.1386565
9.	2.88999902	-6.77024051	0.	-5.24706	0.	-14.16604315
10.	3.70899902	-4.73909975	0.	-3.672942	0.	-9.90036691
11.	1.7626405	-6.77007385	0.	-5.24706	0.	-13.98582065
12.	2.09848684	-4.73901651	0.	-3.672942	0.	-9.64327919
13.	0.97899902	-9.52163487	0.	4.8048	0.	-19.15822627
14.	0.97899902	-6.77007666	0.	-5.24706	0.	-14.16624579

Alla kombinationers snittkrafter i inspänningen.



## 11 Referenser

- [1] Transportstyrelsen (2022). *Vägmärken*. URL: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/vagmarken/> [Hämtad: 2024-01-16]
- [2] SFS nr: 1971:948, Vägslag. URL: [https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/vaglag-1971948\\_sfs-1971-948/](https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/vaglag-1971948_sfs-1971-948/) [Hämtad: 2024-01-16]
- [3] Trafikverket (2022). *Väghållaransvar*. URL: <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/vag/vaghallaransvar/> [Hämtad: 2024-01-16]
- [4] Renoar Salih, Development Engineer på AB Blinkfyrar. Intervju. 23 januari och 14 mars 2024.
- [5] Trafikverket (2022). *Variabla hastigheter*. URL: <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/trafiksakerhet/sakerhet-pa-vag/hastighetsgranser-pa-vag/variabla-hastigheter/> [Hämtad: 2024-01-16]
- [6] Transportstyrelsens författningssamling (TSFS 2019:74) [Internet]. Utgivningsort saknas. Transportstyrelsen. URL: [https://www.transportstyrelsen.se/TSFS/TSFS%202019\\_74k.pdf](https://www.transportstyrelsen.se/TSFS/TSFS%202019_74k.pdf) [Hämtad: 2024-01-16]
- [7] Roxan Saleh, Specialist Vägutrustning och vägutformare på Trafikverket. E-postkommunikation 26 februari 2024.
- [8] Krav Vägutrustning (TRVINFRA-00338) [Internet]. Utgivningsort saknas. Trafikverket. URL: <https://puben.trafikverket.se/dpub/visa-dokument/51f9ca8c-dd58-41fe-bcbc-8a9fbc348b5c> [Hämtad: 2024-01-30]
- [9] European Commission (u.d). *About the EN Eurocodes*. URL: <https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/en-eurocodes/about-en-eurocodes> [Hämtad: 2024-01-26]
- [10] European Commission (u.d). *Eurocodes family*. URL: <https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/en-eurocodes/eurocodes-family> [Hämtad: 2024-01-30]
- [11] European Commission (u.d). *Are the EN Eurocodes Mandatory?* URL: <https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/en-eurocodes-about-en-eurocodes/are-en-eurocodes-mandatory> [Hämtad: 2024-01-26]
- [12] European Commission (u.d). *Nationally Determined Parameters*. URL: <https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/en-eurocodes-implementation/nationally-determined-parameters> [Hämtad: 2024-01-30]

- [13] Svenska institutet för standarder. Nationellt valda parametrar, NDP [Internet]. Stockholm: Svenska institutet för standarder; publiceringsdatum saknas [uppdateringsdatum saknas;]. URL: <https://www.sis.se/konstruktionochillverkning/eurokoder/nationelltvaldparametrarndp/> [Hämtad: 2024-01-30]
- [14] Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av eurokoder (TSFS 2018:57) [Internet]. Utgivningsort saknas. Transportstyrelsen. URL: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/Regler/ts-foreskrifter-i-nummerordning/2018/?RuleNumber=2018:57&RulePrefix=TSFS> [Hämtad: 2024-01-30]
- [15] Svenska institutet för standarder. SS-EN 1990 Eurokod - Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk. Stockholm: Svenska institutet för standarder; 2010.
- [16] Lina Wennström. *En analys av Eurokod 1990 – användarråd, jämförelser samt en intervjuundersökning* [examensarbete på Internet]. Västerås; Mälardalens högskola; 2008. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:121269/FULLTEXT01.pdf> [Hämtad: 2024-02-24]
- [17] Alexander Öbrind och Karl Schlyter. *Dimensionering av bärverk i stål enligt Eurokod - En jämförelse med BKR på grundnivå* [examensarbete på Internet]. Lunds Universitet, Lund; 2011. URL: [https://www.byggmek.lth.se/fileadmin/byggnadskonstruktion/publications/THID/Dimensionering\\_av\\_baerverk\\_i\\_staal.pdf](https://www.byggmek.lth.se/fileadmin/byggnadskonstruktion/publications/THID/Dimensionering_av_baerverk_i_staal.pdf) [Hämtad: 2024-04-29]
- [18] Svenska institutet för standarder. SS-EN 1991-1-1 Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 1–1: Allmänna laster - Tunghet, egentyngd, nyttig last för byggnader. Stockholm: Svenska institutet för standarder; 2011.
- [19] Svenska institutet för standarder. SS-EN 1991-1-4:2005 Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 1–4: Allmänna laster - Vindlast. Stockholm: Svenska institutet för standarder; 2015.
- [20] Svenska institutet för standarder. SS-EN 1991-1-3 Eurokod 1 - Laster på bärverk - Del 1–3: Allmänna laster - Snölast. Stockholm: Svenska institutet för standarder; 2005.
- [21] Svenska institutet för standarder. SS-EN 12899–1:2007 Vägutrustning - Permanenta vägmärken - Del 1: Fasta vägmärken. Stockholm: Svenska institutet för standarder; 2007.
- [22] Svenska institutet för standarder. SS-EN 1993-1-1:2005 Eurokod 3 - Dimensionering av stålkonstruktioner - Del 1–1: Allmänna regler och regler för byggnader. Stockholm: Svenska institutet för standarder; 2005.

- [23] T. Isaksson, A. Mårtensson och S. Thelandersson, (2008). *Byggnadskonstruktion*. 4 upplagan (2020), Studentlitteratur AB, Lund.
- [24] Svenska institutet för standarder. SS-EN 10219–1 Kallformade svetsade konstruktionsrör av olegerat stål och finkornstål – Del 1: Tekniska leveransbestämmelser. Stockholm: Svenska institutet för standarder; 2009.
- [25] Stellenbosch University (2020), *Steel Design - Section Classification and Local Buckling - SD424*. Youtube. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=l8-0hPLjuPw> [Hämtad 2024-04-19].
- [26] Träguiden (2017). *3.1.1 Lasteffekter*. URL: <https://www.traguiden.se/konstruktion/kl-trakonstruktioner/dimensionering-av-kl-trakonstruktioner/3.1-berakningsgrunder/3.1.1-lasteffekter/> [Hämtad 2024-04-25].
- [27] Svenska institutet för standarder. SS-EN 1993-1-5:2006 Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner - Del 1–5: Plåtbalkar. Stockholm: Svenska institutet för standarder; 2006.
- [28] Tord Isaksson och Annika Mårtensson, (2008). *Byggnadskonstruktion. Regel och formelsamling*. Upplaga 4:3 (2020), Studentlitteratur AB, Lund.
- [29] Mathworks (1984). *Matlab R2022a* [Datorprogram]. URL: <https://se.mathworks.com/products/matlab.html>
- [30] Austrell. P.E, Heyden. S, Olsson, K.G, Petersson. H, Serrano. E, Carlsson. H, Lindemann. J, Persson. K, Ristinmaa. M, Wernberg. P. A, Dahlblom. O, Olsson. A, Peterson. A och Sandberg. G (1992). *CALFEM – A Finite Element Toolbox Version 3.6*. Upplaga 3.6 (2022), Lunds Universitet, Lund.
- [31a] Jonas Lindemann (2016). *CALFEM for Python Documentation* (2024), [Datorprogram]. URL: <https://calfem-for-python.readthedocs.io/en/latest/>
- [31b] Jonas Lindemann (2016). *CALFEM for Python Source* (2024), [Datorprogram]. URL: <https://github.com/CALFEM/calfem-python/>
- [31c] Jonas Lindemann (2016). *CALFEM for Python Package* (2024), [Datorprogram]. URL: <https://pypi.org/project/calfem-python/>
- [32] Jonas Lindemann, (2019). *Ingenjörrens guide till python*. Första upplagan, Studentlitteratur AB, Lund.
- [33] Python Software Foundation (2001). *Python* (2024), [Datorprogram]. URL: <https://www.python.org/>

- [34] NumPy - Harris, C.R., Millman, K.J., van der Walt, S.J. et al. *Array programming with NumPy*. Nature 585, 357–362 (2020). DOI: 10.1038/s41586-020-2649-2.
- [35] O. Dahlblom och K-G. Olsson, (2010). *Strukturmekanik. Modellering och analys av ramar och fackverk*. Upplaga: 2:4 (2015), Studentlitteratur AB, Lund.
- [36] Qt Group (1995) *Qt version 5.15.2* (2020), [Datorprogram]. URL: <https://www.qt.io/>
- [37] Riverbank Computing (u.d.). PyQt5, [Datorprogram] URL: <https://www.riverbankcomputing.com/>