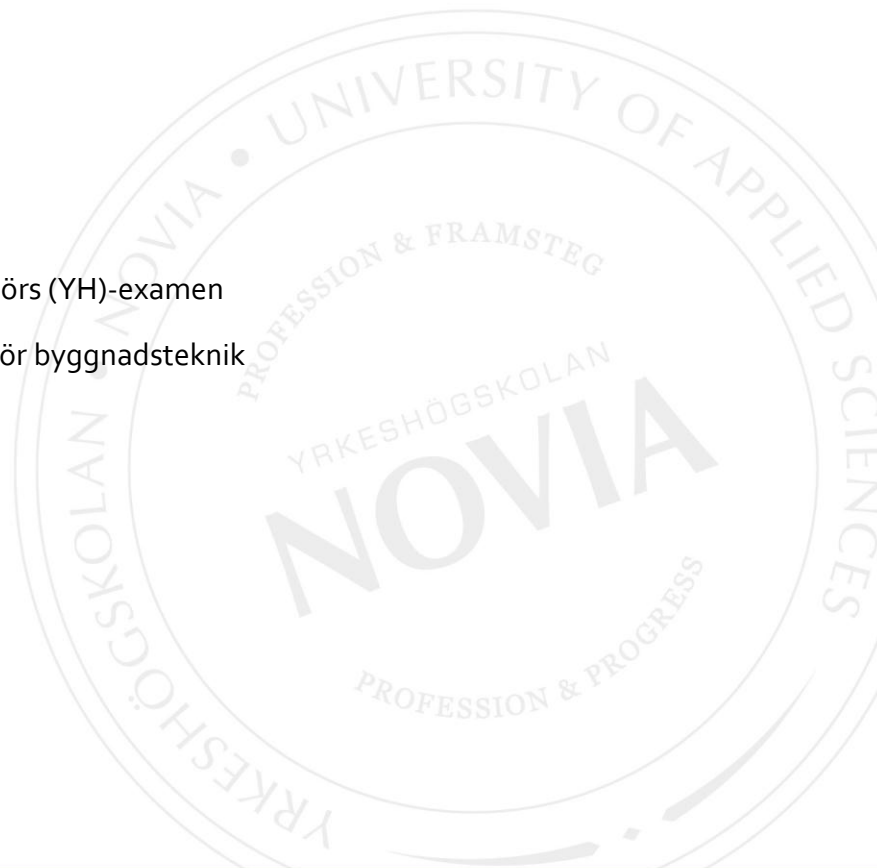


Excel-applikation för dimensionering av betongpelare

Kim Bonn

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen
Utbildningsprogrammet för byggnadsteknik
Vasa 2017



EXAMENSARBETE

Författare: Kim Bonn
Utbildning och ort: Byggnadsteknik, Vasa
Inriktningsalternativ: Byggnadskonstruktion
Handledare: Allan Andersson

Titel: Excel-applikation för dimensionering av betongpelare

Datum: 18.05.2017

Sidantal 35

Abstrakt

Detta examensarbete är framtaget för SS-Teracon OY, ett planeringsföretag med inriktning på planering i stål och betong. Examensarbetet är en applikation gjord i Excel som dimensionerar symmetriskt armerade betongpelare.

Arbetets teoridel förklarar kort teorin bakom några av de mer svårförstådda beräkningsdelarna som berör arbetet. Här tas även upp en del av de dimensioneringskrav som ställs samt några av de formler som hör till de förklarade delarna.

Applikationens alla delar presenteras och förklaras steg för steg. De beräkningar som härletts på egen hand ses igenom noggrannare, men de formler som är direkt tagna ur Eurokod går inte genom utan blir endast hänvisade. Hur applikationen redovisar resultatet presenteras med hjälp av ett exempel. Arbetet avslutas med en kort diskussion och en reflektion över det gjorda arbetet.

Språk: svenska

Nyckelord: excel, betongpelare, konstruktion, eurokod

BACHELOR'S THESIS

Author: Kim Bonn
Degree Programme: Civil engineering
Specialization: Construction
Supervisor(s): Allan Andersson

Title: Excel application for analyzing concrete columns

Date 18.05.2017

Number of pages 35

Abstract

This bachelor thesis is made for SS-Teracon, a construction planning company specialized in steel and concrete planning. The thesis is an application made in Excel for analyzing concrete columns.

The theory chapter of the thesis explains some of the theory of the more advanced parts of the calculation. Also included in this chapter are some requirements from Eurocode and the main formulas that have been in used in the application.

All the parts of the application are being presented and explained in small steps. The formulas which cannot be found directly from Eurocode are gone through thoroughly. The ones taken directly from Eurocode only get referred to. The way the application presents its calculation results is shown by an example. The thesis ends with a discussion and a reflection over the job done.

Language: Swedish

Key words: excel, concrete columns, construction, Eurocode

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Beställare och bakgrund.....	1
1.2	Målsättning.....	1
1.3	Metodval.....	1
1.4	Avgränsning.....	2
1.5	Översikt över innehåll.....	2
2	Teoretisk bakgrund.....	3
2.1	Materialpartialkoefficienter.....	3
2.2	Miljöpåverkan.....	3
2.3	Täckskikt.....	5
2.4	Armering.....	7
2.4.1	Längsgående armering.....	7
2.4.2	Tvärgående armering.....	8
2.5	Moment.....	9
2.5.1	Moment från initialexcentricitet.....	9
2.5.2	Andra ordningens moment.....	11
2.5.3	Dimensionerande moment.....	12
3	Presentation av Excel applikationen.....	14
3.1	Datatabeller.....	14
3.2	Utgångsvärden.....	15
3.3	Beräkningar.....	18
3.4	Applikationens resultat.....	32
4	Diskussion.....	33
4.1	Resultat.....	33
4.2	Utveckling.....	33
4.3	Reflektion.....	34
5	Källförteckning.....	35

Tabell 2.1 Materialpartialkoefficienter [EC2, 2.4.2.4 (2.1), NA(FI)].....	3
Tabell 2.2 Exponeringsklasser indelade enligt miljöpåverkan [EC2, 4.2 (4.1)]	4
Tabell 2.3 Värden för att bestämma $c_{min,dur}$ (Miljöministeriet, 2016).	6
Tabell 2.4 Vidhäftningskrav för täcksikt [EC2, 4.4.1.2 (4.2)]	7

Figur 2.1 Enskilda pelare med excentrisk normalkraft eller sidokraft. [EC2, 5.2 (5.1)]	11
Figur 2.2 Dimensionerande moment vid stöd i båda ändor.....	13
Figur 2.3 Dimensionerande moment när bärverket har ena ändan fri.	13
Figur 3.1 Betong hållfastheter ur dataflik.	14
Figur 3.2 Armering, brukstid och relativ luftfuktighet ur dataflik.	15
Figur 3.3 Olika exponeringsklasser ur dataflik.	15
Figur 3.4 Laster och föränderliga faktorer ur utgångsvärdeflik.....	16
Figur 3.5 Betongdelen ur utgångsvärdeflik.	16
Figur 3.6 Armeringsdelen ur utgångsvärdeflik.....	17
Figur 3.7 Tvärsnitt, knäckningsfall samt excentricitetens riktning och sidostag ur utgångsvärdeflik.....	17
Figur 3.8 Hjälpfiguren för knäckningsfallen från applikationen.....	18
Figur 3.9 Faktorer ur beräkningsflik.	18
Figur 3.10 Krypningsdelen ur beräkningsflik [EC2, 5.8.4, Bilaga B, B1].	19
Figur 3.11 Täcksiktens delen ur beräkningsflik [EC2, 4.4].	20
Figur 3.12 Kontroll av huvudstål ur beräkningsfliken [EC2, 9.5.2].....	21
Figur 3.13 Kontroll av byglar ur beräkningsflik [EC2, 9.5.3].	22
Figur 3.14 Avstånd mellan huvudarmeringens stänger ur beräkningsflik [EC2, 8.2].	22
Figur 3.15 Stängernas centrumavstånd.	23
Figur 3.16 Armeringsstängernas placering i breddled.	24
Figur 3.17 Armeringens placering i höjded.	25
Figur 3.18 Kontroll av armering vid hörn [EC2, 9.5.3 (6)].	26
Figur 3.19 Bärverkets slankhet [EC2, 5.8.3.2].	26
Figur 3.20 Slankhetskriterium för enskilda bärverksdelar [EC2, 5.8.3.1].....	27
Figur 3.21 Moment på grund av initialexcentricitet [EC2, 5.2].....	27
Figur 3.22 Beräkning av krökning [EC2, 5.8.8.3].....	28
Figur 3.23 Framtagning av dimensionerande moment [EC2, 5.8.8.2].	29
Figur 3.24 Momentkapaciteten enligt omvänd balkteori.....	30
Figur 3.25 En del av beräkningen som görs för att bestämma erforderlig stålarea....	30
Figur 3.26 Biaxiell böjning ur beräkningsfliken.	31
Figur 3.27 Krafternas upplägg i resultatfliken.	32

1 Inledning

Vid planering av konstruktioner behövs alltid en dimensioneringskontroll, denna görs för att säkerhetsställa att konstruktionen håller och bibehåller sina egenskaper under sin brukstid. Att beräkna och dimensionera kan vara tidskrävande att göra för hand, svårt och slarvfel kan lätt uppstå. Därför används applikationer och program av olika slag för att underlätta vid dimensioneringsberäkningar.

1.1 Beställare och bakgrund

Beställaren till detta examensarbete är SS-Teracon, ett planeringsföretag som huvudsakligen utför planeringsarbeten i stål och betong. Företaget grundades 1992 och har idag runt 25 anställda. Huvudkontoret är i Tammerfors, men de har även kontor i Vasa, Åbo och Helsingfors.

När jag gjorde min företagsförlagda utbildning på kontoret i Vasa kom det på tal att jag även skulle göra mitt examensarbete för dem. Eftersom den befintliga applikationen som användes var föråldrad och gjord efter gamla standarder, fick jag i uppdrag att göra en ny version baserad på Eurokod.

1.2 Målsättning

Målet med detta examensarbete var att skapa en Excel applikation som underlag för dimensionering av betongpelare vars beräkningar följer Eurokod. Applikationen ska vara lätt att använda och användaren ska inte behöva beräkna något extra för hand.

1.3 Metodval

Först och främst har jag använt mig av Eurokod 1992-1-1:2005, med Finlands nationella bilaga, som källa. Men för att lättare förstå och kunna tyda Eurokod har jag även använt mig av boken BY211 del 2 samt svenska betongföreningens handböcker till Eurokod 2.

Jag valde att göra applikationen i Excel, eftersom just denna typ av beräkningar är något som programmet är väl lämpat för. Jag hade inte gjort så mycket av denna typ av programmering i Excel förut, så programmets egna forum var till stor hjälp.

Källhänvisningar till Eurokod i examensarbetet har förenklats. Eurokod 1992-1-1:2005 har förkortats till EC2 och hänvisningar till Finlands nationella bilaga från 2007 till NA(FI). Hänvisningen är enligt ordningen Eurokod, kapitel, tabell eller formel och slutligen den nationella bilagan. I dess helhet kan hänvisningen till exempel vara [EC2, 4.4.1.1(4.1), NA(FI)].

Examensarbetet innehåller väldigt mycket tabeller och figurer. Därför är dessa först numrerade efter huvudkapitel och sen deras position i kapitlet.

1.4 Avgränsning

En hel del avgränsningar har gjorts för att inte arbetet skulle bli alltför stort. Applikationen fungerar endast för enskilda bärverksdelar och användaren behöver på egen hand ta fram de laster som påverkar bärverket. Applikationen beaktar inte direkt horisontalkrafter, utan användaren måste omvandla dessa till moment. Lasterna kan även endast ges i en riktning, detta betyder att om det är aktuellt att kolla bärverket även i den andra riktningen måste man ”svänga” på tvärsnittet. Eftersom applikationen inte beaktar sprickbildning och dimensioneras i brottgränstillstånd har krympningen inte beaktats.

1.5 Översikt över innehåll

Efter inledning följer kapitel 2, teoretisk bakgrund, som förklarar en del av teorin bakom de huvudbegrepp som förekommer i arbetet. Här förklaras mera ingående en del av de figurer, tabeller och formler som har använts. Därpå följande kapitel presenterar applikationens olika delar, hur den är uppbyggd och hur resultatet visas. De formler som har härletts på egen hand och inte ingår i Eurokod tas upp mera ingående, medans de formler som är direkt tagna ur Eurokod hänvisas till varifrån de är tagna.

I det avslutande kapitlet sammanfattas examensarbetet och resultaten med en diskussion. Här diskuteras även olika utvecklingsförslag gällande applikationen och avslutas med en reflektion över det gjorda arbetet.

2 Teoretisk bakgrund

I detta kapitel förklaras kort om de olika huvudbegreppens betydelse, samt vilka krav som ställs och hur man beräknar de olika momenten enligt Eurokod. Eftersom examensarbetet handlar om dimensionering av pelare tas det endast upp det som behövs vid pelardimensionering.

2.1 Materialpartialkoefficienter

Vid dimensionering i brottgränstillstånd används materialpartialkoefficienter, se tabell 2.1. Materialpartialkoefficienterna tar i beaktande spridningen i materialhållfasthet och arbetsutförandets noggrannhet. Koefficienterna används för att förstora de verkande krafterna och varierar beroende på dimensioneringsfallen om det dimensioneras för normalt rådande och tillfällig eller olycksfall. Vid branddimensionering används andra partialkoefficienter som hittas i EN1992-1-2.

Tabell 2.1 Materialpartialkoefficienter [EC2, 2.4.2.4 (2.1), NA(FI)].

Dimensioneringsfall	Betongens γ_c	Armeringens γ_s	Spännstålets γ_s
Normalt rådande och tillfälligt	1,5	1,15	1,15
Olycka	1,2	1,0	1,0

2.2 Miljöpåverkan

Vid dimensionering med betong är miljöpåverkan något som spelar en stor roll. Denna tas i beaktande med exponeringsklasser som ställer krav på bland annat betongmassan och täcksiktet. Exponeringsklassen bestäms med hjälp av tabell i Eurokod enligt hur aggressiv miljön är där betongkonstruktionen ska placeras.

Som exempel får betongen klass XC1 om den är torr eller ständigt våt. Detta kan vara inomhus med låg luftfuktighet eller om betongen ständigt är under vatten. Detta kan ge upphov till korrosion på grund av karbonatisering av betongen.

Tabell 2.2 Exponeringsklasser indelade enligt miljöpåverkan [EC2, 4.2 (4.1)]

Exponeringsklasser enligt SS-EN 206-1

Klass	Beskrivning av miljö	Exempel, informativa, där exponeringsklassen kan förekomma
1 Ingen risk för korrosion eller angrepp		
XO	För betong utan armering eller ingjuten metall: Alla omgivningsförhållanden utom där frysning/upptining, nötning eller kemiska angrepp förekommer För betong med armering eller ingjuten metall: Mycket torr	Betong inuti byggnader med mycket låg luftfuktighet
2 Korrosion föranledd av karbonatisering		
XC1	Torr eller ständigt våt	Betong inuti byggnader med låg luftfuktighet Betong ständigt stående under vatten
XC2	Våt, sällan torr	Betongytor utsatta för långvarig kontakt med vatten Många grundkonstruktioner
XC3	Måttlig fuktighet	Betong inuti byggnader med måttlig eller hög luftfuktighet Utvändig betong skyddad mot nederbörd
XC4	Cykliskt våt och torr	Betongytor i kontakt med vatten, inte tillhörande exponeringsklass XC2
3 Korrosion orsakad av andra klorider än de från havsvatten		
XD1	Måttlig fuktighet	Betongytor utsatta för luftburna klorider
XD2	Våt, sällan torr	Simbassänger Betong utsatt för industrivatten innehållande klorider
XD3	Cykliskt våt och torr	Brodelar utsatta för stänk innehållande klorider Beläggningar Bjällklag i parkeringsanläggningar
4 Korrosion orsakad av klorider från havsvatten		
XS1	Utsatt för luftburet salt men inte i direkt kontakt med havsvatten	Bärverk nära eller vid kusten
XS2	Ständigt under havsytan	Delar av bärverk belägna i havet
XS3	Tidvatten-, skvalp- och stänkezoner	Delar av bärverk belägna i havet
5 Angrepp av frysning/tining		
XF1	Inte vattenmättad, utan avsningsmedel	Vertikala betongytor utsatta för regn och frysning
XF2	Inte vattenmättad, med avsningsmedel	Vertikala betongytor hos vägbyggnadsbärverk utsatta för frysning och luftburna avsningsmedel
XF3	Nära vattenmättad, utan avsningsmedel	Horisontella betongytor utsatta för regn och frysning
XF4	Nära vattenmättad, med avsningsmedel eller havsvatten	Väg- och brofarbanor utsatta för avsningsmedel Betongytor utsatta för direkt stänk innehållande avsningsmedel och frysning Skvalpzon på bärverk i havet utsatta för frysning
6 Kemiska angrepp		
XA1	Något aggressiv kemisk miljö enligt SS-EN 206-1, tabell 2	Naturliga jordar och grundvatten
XA2	Måttligt aggressiv kemisk miljö enligt SS-EN 206-1, tabell 2	Naturliga jordar och grundvatten
XA3	Mycket aggressiv kemisk miljö enligt SS-EN 206-1, tabell 2	Naturliga jordar och grundvatten

2.3 Täcksikt

Täcksiktet är betongskiktet mellan ytan på den armering som är närmast betongytan till betongytan, detta gäller även byglar och ytarmering. Nominellt täckande betongskikt ska alltid anges på ritningar. Täcksiktet har som uppgift att skydda armeringen så den inte börjar korrodera, vara ett brandskydd och ge armeringen en tillräcklig vidhäftning. Vid dimensionering skall täcksiktet minst uppfylla kravet c_{nom} .

Nedan visas hur man beräknar nominellt täcksikt (EC2, 4.4.1).

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} + \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10mm)$$

c_{min} är minsta täckande betongskikt

Δc_{dev} är ett säkerhetstillägg. Rekommenderat värde är 10mm.

$c_{min,b}$ är minsta täckande betongskikt med hänsyn till vidhäftning.

$c_{min,dur}$ är minsta täckande betongskikt med hänsyn till miljöpåverkan.

$\Delta c_{dur,y}$ är ett säkerhetstillägg. Rekommenderat värde är 0.

$\Delta c_{dur,st}$ är en reduktion för rostfritt stål.

$\Delta c_{dur,add}$ är reduktion för tilläggsskydd.

10mm är minsta värdet på c_{min}

Värdena på de olika faktorerna bestäms ur tabeller och beror på bland annat brukstid, betongens hållfasthet och miljöpåverkan. Dessa hittas i Finlands nationella bilaga för EN 1992-1-1:2005 samt från en nyare förordning som hittas på miljöministeriets hemsida (Miljöministeriet, 2016).

Tabell 2.3 Värden för att bestämma $c_{min,dur}$ (Miljöministeriet, 2016).

Betoniplitteens vähimmäisarvovaatimus $c_{min,dur}$ (mm) eri ympäristöolosuhteissa							
Kriteeri	Rasitusluokka standardin SFS-EN 1992-1-1 taulukon 4.1 mukaan						
	X0	XC1	XC2	XC3, XC4	XD1, XS1	XD2, XS2	XD3, XS3
Betoniteräs	10	10	20	25	30	35	40
Jänneteräs	10	20	30	35	40	45	50
100 vuoden suunniteltu käyttöikä	+0	+0	+5	+5	+5	+5	+5

Huomautus 1. Tartuntajänteille, joiden pitkäaikainen jännitys käyttörajatilassa on korkeintaan 400 N/mm^2 , sovelletaan betoniteräkselle asetettuja vaatimuksia.

Huomautus 2. Betoniplitteens vähimmäisarvoa voidaan pienentää 5 mm, mikäli betonin lieriölujuus on vähintään 10 MPa suurempi kuin säilyvyyden kannalta vaadittava vähimmäislieriölujuus.

Huomautus 3. Betoniplitteens vähimmäisarvovaatimukset koskevat myös jänneterästen ankureita ja valuun asennettavia metalliosia ellei niitä ole korroosiosuojattu rasitusluokkaa vastaavasti.

Huomautus 4. Betonin säilyvyyden tulee myös muilta osin täyttää 100 vuoden käyttöikävaatimus, mikäli rakenteen suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta

Tabell 2.3 visar hur man tar fram minimikravet, $c_{min,dur}$, för täckande betongskikt enligt rådande exponeringsklass. Den första och andra raden, armering och spännstål, ger ett basvärde på täckskiktstjockleken i millimeter. Vilken rad som följs beror på armeringstypen, om det är en spänd armering eller inte. Den tredje raden, planerad livslängd, är ett tillägg som blir gällande om den planerade livslängden på pelaren är minst 100 år. Notera att för exponeringsklasserna X0 och XC1 är tillägget noll. Den andra anmärkningen i tabell 2.3 blir aktuellt om cylinderhållfastheten för betongen är minst 10MPa större än vad som krävs för att bibehålla hållfastheten. Uppfylls kravet får täckskiktet vara fem millimeter tunnare.

Tabell 2.4 visar hur man tar fram kravet på minsta täckande betongskikt, $c_{min,b}$, med hänsyn till vidhäftning. Som tabellen visar så skiljs det på om stängerna är åtskilda eller buntade. Vid åtskilda stänger blir kravet dess diameter i millimeter, det är frågan om huvudarmeringens diameter. Om stängerna är buntade blir deras ekvivalenta diameter kravet. Med detta menas att man ersätter de buntade stängerna med en nominell stång med samma tvärsnittsarea och tyngdpunkt. Notera även fotnoten i tabellen som säger att om den största stenstorleken i cementblandningen överstiger 32mm bör kravet ökas.

Tabell 2.4 Vidhäftningskrav för täckskikt [EC2, 4.4.1.2 (4.2)]

Vidhäftningskrav	
Anordning av stänger	Minsta täckande betongskikt $c_{\min,b}$ *
Åtskilda	Stångens diameter
Buntade	Ekvivalent diameter (ϕ_h se 8.9.1)
* Om ballastens nominella största stenstorlek överstiger 32 mm bör $c_{\min,b}$ ökas med 5 mm.	

2.4 Armering

Armering fungerar som en samverkande konstruktion med betongen och gör att konstruktionen får en mycket bättre hållfasthet. Beroende på konstruktionstyp kan armeringen ha som uppgift att förbättra tryckhållfastheten eller draghållfastheten. Exempelvis är pelare och väggar konstruktionstyper som ofta utsätts för stora tryckpåkänningar och där armering kan användas för att möjliggöra en högre belastning. Armeringen delas upp i längsgående armering och tvärgående armering.

2.4.1 Längsgående armering

Längsgående armering, även kallad huvudarmering, är den armering som ska ta upp påfrestningarna i betongen. Den dimensioneras genom att beräkna ut den totala arean för all huvudarmering som verkar i pelaren. Man kollar denna armering med att beräkna den minsta stålmängd som behövs samt ett max värde på stålmängden. I pelare är det oftast tryckande kraft, så armeringen fungerar som tryckarmering. I vissa fall kan även en del av kraften vara dragande, då fungerar armeringen som dragarmering. Det är huvudarmeringen som tar upp de här krafterna. Det minsta rekommenderade värdet för diametern för huvudarmeringen är 8mm. Det bör även i polygonformade tvärsnitt placeras minst en armeringsstång vid varje hörn och i cirkulära pelare minst fyra stänger.

Nedan visas hur man tar fram kraven för huvudarmeringen (EC2, 9.5.2).

$$A_{s,min} \leq A_{s,tot} \leq A_{s,max}$$

$$A_{s,min} = \frac{0,10 * N_{Ed}}{f_{yd}} \text{ dock minst } 0,002 * A_c$$

$$A_{s,max} = 0,6A_c \text{ vid överlappning gäller } A_{s,max} = 0,12A_c$$

$A_{s,min}$ är kravet för minsta stålmängd

$A_{s,max}$ är kravet för max stålmängd

$A_{s,tot}$ är totala stålmängden för aktuellt tvärsnitt

N_{Ed} är den dimensionerande normalkraften

f_{yd} är dimensionerande värde för stålets sträckgräns

A_c är betongtvärsnittets area

2.4.2 Tvärgående armering

Tvärgående armering är byglar, slingor eller spiralformad armering. Byglar i pelare har som uppgift att förhindra att den längsgående armeringen knäcks ut vid pålastning. Man bestämmer storleken på tvärgående armering baserat på vald storlek på huvudarmeringen, men med ett minimikrav på 6mm. Nedan visas uttrycket för minsta godtagbara armering.

$$\emptyset_{\min,sek} = \min\left(\frac{\emptyset_{main}}{4}, 6mm\right)$$

$\emptyset_{\min,sek}$ är minsta godtagbara diametern på tvärgående armering

\emptyset_{main} är vald storlek på längsgående armering

Det ställs även en del krav på byglarnas placering i tvärsnittet. I pelare får inte centrumavståndet $S_{clt,max}$ överstiga en del krav som ställs, samma gäller vid omlottsskarvar och vid större riktningsändringar. Riktningsändringar kan t.ex. vara vid ändring av pelartvärsnitt. Längsgående armering i hörn bör alltid omslutas av tvärarmering och ingen stång inom tryckt tvärsnittsdel får vara längre än 150mm från ett omslutet bygelhörn eller annan likvärdig omslutning. Detta gör att man även behöver beräkna den längsgående armeringens placering för att se till att kravet uppfylls. Nedan visas hur man tar fram $S_{clt,max}$.

$$S_{clt,max} = \min(15 * \emptyset_{main}, pelarens \text{ minsta tvärsnittsmått}, 400mm)$$

2.5 Moment

Moment är en vridande kraft som uppkommer genom att man belastar en punkt på en given längd, det blir frågan om en hävstångsverkan och är med andra ord kraftens förmåga att vrida runt ett objekt kring en viss axel. Moment mäts i newtonmeter, Nm.

Man delar upp analys av lasteffekterna i första ordningens analys och andra ordningens analys. Till första ordningens analys hör effekter utan hänsyn till deformationer i bärverket, men inkluderande inverkan av geometriska imperfektioner. Andra ordningens analys berör de lasteffekter som tillkommer på grund av deformationer i bärverket.

2.5.1 Moment från initialexcentricitet

Det finns ingen pelare som belastningen skulle verka helt centriskt fast den endast utsätts för tryckande kraft. Detta kan bero på en rad olika orsaker, såsom sned montering, måttavvikelser eller helt enkelt bara osymmetri i tvärsnittet. Därför uppkommer det en excentricitet som ger upphov till moment. Man beaktar initialexcentriciteten genom att beräkna en snedhetsvinkel. Man kan beakta initialexcentriciteten på två alternativa sätt, se figur 2.1. Det första är att man beaktar den som en excentricitet, e_i , det andra är att man tar fram den som en sidokraft, H_i . Vid beräkningar i brottgränstillstånd ska alltid imperfektioner beaktas.

Vilket alternativ man följer beror på konstruktionstypen och hur den belastas. Om man har en verkande horisontell last kan det vara skäl att beakta initialexcentriciteten som en sidokraft. Det finns även en del förenklingar som tas upp i Eurokod för att underlätta beräkningarna. Dessa har mest att göra med om det är fråga om ett stabiliserande system eller inte.

Nedan visas hur man tar fram snedhetsvinkeln och hur man beaktar initialexcentriciteten enligt de två alternativen.

$$\theta_i = \theta_0 * \alpha_h * \alpha_m$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{l}}$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

θ_i är snedhetsvinkeln

θ_0 är ett grundvärde. Rekommenderat värde är 1/200.

α_h är en reduktionsfaktor för längd eller höjd, ska uppfylla kravet: $2/3 \leq \alpha_h \leq 1$.

α_m är en reduktionsfaktor för antalet delar.

l är längd eller höjd i meter.

m är antalet vertikala delar som bidrar till den totala inverkan.

$$e_i = \theta_i * \frac{l_0}{2}$$

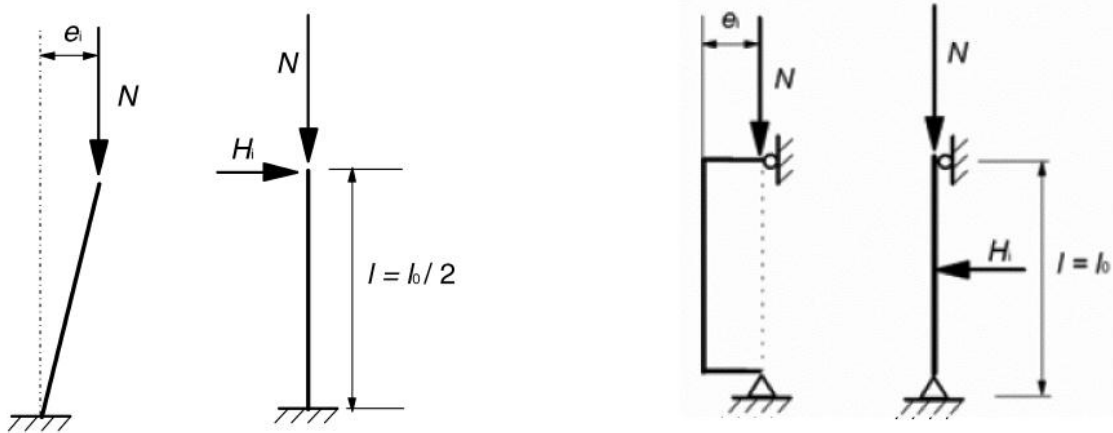
l_0 är den effektiva längden.

$H_i = \theta_i * N$ för mastpelare eller vägg.

$H_i = 2\theta_i * N$ för pelare eller vägg med stöd i båda ändar.

N är verkande normalkraft.

Vid framtagande av sidkraften är det skillnad om bärverket fungerar som enskild bärverksdel eller i ett stabiliserande system. De formler som visas är för enskilda bärverksdelar. Stabiliserande system har valts bort för att avgränsa arbetet och kommer inte att gås igenom närmare. Man skiljer även på hur bärverket är stödd i dess ändor. Den vänstra delen av figur 2.1 visar hur bärverket beter sig när den är fri i enda ändan, mastpelare, och den högra delen visar hur det beter sig när det har stöd i båda ändor. Vid beräkningar används samma formel vid framtagning av excentriciteten, men om man väljer att ta fram den som en sidkraft skiljer sig formlerna som man kan se ovan.



Figur 2.1 Enskilda pelare med excentrisk normalkraft eller sidokraft. [EC2, 5.2 (5.1)]

2.5.2 Andra ordningens moment

Andra ordningens moment uppkommer vid deformationer i bärverket, alltså blir det frågan om en andra ordningens analys. Se M_2 i figurerna 2.2 och 2.3. Momentet kan beaktas med olika metoder beroende på bärverkets uppbyggnad. Applikationen använder krökningsmetoden, så därför utreds endast denna närmare.

Krökningsmetoden bygger på att man gör en direkt uppskattning av en krökning, som är oberoende av momentet. Metoden lämpar sig bäst för enskilda bärverksdelar, som har en definierad knäcklängd och konstant normalkraft. Denna metod kan endast användas om det är frågan om ett konstant, symmetriskt tvärsnitt.

Andra ordningens moment, M_2 , fås genom att multiplicera den dimensionerande normalkraften med excentriciteten, e_2 . Excentriciteten är utböjningen från krökning med inverkan av krypning. Detta gör att man behöver beräkna det effektiva kryptalet, φ_{ef} .

Andra ordningens effekter får försummas om de är mindre än 10% av motsvarande första ordningens effekter. Det finns olika förenklade kriterier beroende på om det är frågan om enskilda bärverksdelar eller ett bärverk. För enskilda bärverksdelar får andra ordningens effekter försummas om slankhetstalet, λ , är mindre än värdet λ_{lim} .

2.5.3 Dimensionerande moment

Dimensionerande moment är det kritiska momentet som verkar i bärverksdelen. Det är enligt detta moment som man dimensionerar. Momentet består av flera olika moment som adderas ihop. Enligt krökningsmetoden i Eurokod adderas momenten ihop enligt nedanstående formel [EC2, 5.8.8.2].

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2$$

M_{0Ed} är första ordningens moment med inverkan av imperfektioner.

M_2 är andra ordningens moment.

De moment som verkar i bärverkets ändor kallas för M_{01} och M_{02} . Vid drag på samma sida skall momenten ha samma tecken, i annat fall motsatt tecken. De skall även uppfylla kriteriet $|M_{02}| \geq |M_{01}|$. Om ingen last verkar mellan ändmomenten, kan man ersätta dessa med ett ekvivalent första ordningens moment, M_{0e} . Detta beräknas enligt nedanstående formel.

$$M_{0e} = 0,6M_{02} + 0,4M_{01} \geq 0,4M_{02}$$

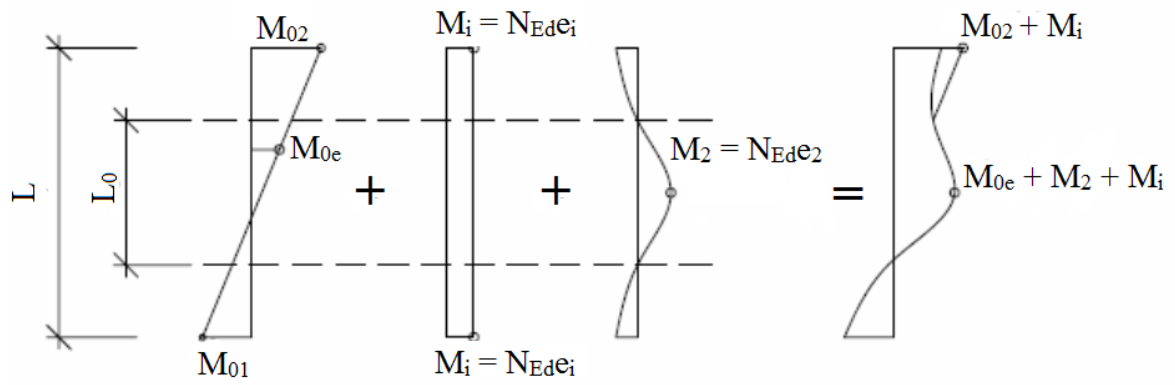
Tvärsnitt med symmetrisk armering som belastas med en tryckkraft antas alltid få en excentricitet. Denna minsta excentricitet, e_0 , förutsetts vara minst 20mm eller tvärsnittets höjd dividerat med 30. Detta ger momentet, M_{min} . [EC2, 6.1, (4)]

Beroende på bärverkens stöd, se figur 2.2 och 2.3, adderas momenten ihop på olika sätt. Excel applikationen använder sig av följande formler för att bestämma det dimensionerande momentet.

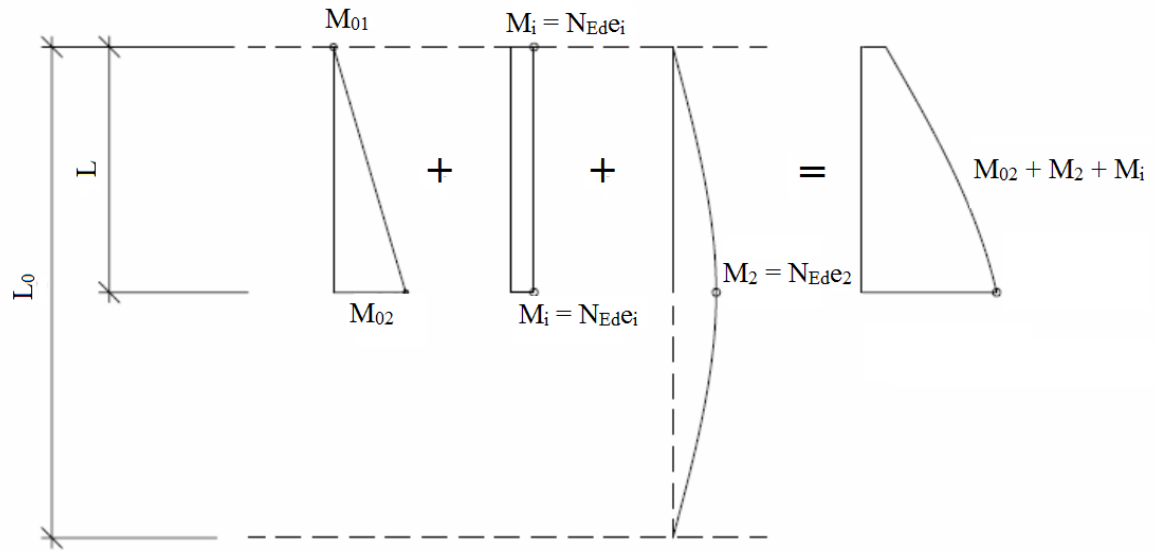
$$M_{Ed} = \text{Max}(M_{min}, M_{02} + M_2 + M_i) \text{ för bärverksdelar som är fria i ena ändan.}$$

$$M_{Ed} = \text{Max}(M_{min}, M_{02} + M_i, M_{0e} + M_2 + M_i) \text{ för bärverksdelar stödd i båda ändorna.}$$

Om man jämför figurerna 2.2 och 2.3 med dessa formler, så ser man att de första två momentkurvorna, från vänster, är de kurvor som ger upphov till första ordningens moment och den tredje är andra ordningens moment.



Figur 2.2 Dimensionerande moment vid stöd i båda ändor.



Figur 2.3 Dimensionerande moment när bärverket har ena ändan fri.

3 Presentation av Excel applikationen

I detta kapitel presenteras hur applikationen funkar, vad som finns bakom en del celler och hur beräkningarna har gjorts. Nästan alla beräkningar hittas i Eurokod 2 förutom ett fåtal som har härletts på egen hand. Dimensioneringen har gjorts i brottgränstillstånd.

3.1 Datatabeller

Det krävs en hel del värden och faktorer för att kunna dimensionera pelare. För att själva beräkningsfliken inte skulle bli allt för lång och svåröverskådlig placerades och beräknades dessa värden i en flik som namngavs ”Data”. Här beräknas de olika hållfastheterna som behövs för betongen, armeringsstålens hållfastheter, värden för exponeringsklasserna samt alla de värden och text som behövs för att applikationen ska fungera.

Som exempel visas i figur 3.2 hur dessa tabeller kan se ut. Detta är tabellen där de olika betongklassernas hållfasthet, med mera, beräknas enligt Eurokod. Bakom de flesta värden döljer sig en formel, som t.ex. för att beräkna f_{ctm} för betong av klass C30/37 finns denna formel; $0,3 * B11^{\frac{2}{3}}$, där B11 är cellen i Excel med värdet $f_{ck} = 30\text{MPa}$.

Betong hållfastheter														
	f_{ck}	$f_{ck,cube}$	f_{cm}	f_{ctm}	$f_{ctk,0,05}$	$f_{ctk,0,95}$	E_{cm}	ϵ_{c1}	ϵ_{cu1}	ϵ_{c2}	ϵ_{cu2}	n	ϵ_{c3}	ϵ_{cu3}
Klass	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	GPa	%o	%o	%o	%o		%o	%o
C12/15	12	15	20	1,6	1,1	2,0	27	1,8	3,5	2,0	3,5	2,0	1,8	3,5
C16/20	16	20	24	1,9	1,3	2,5	29	1,9	3,5	2,0	3,5	2,0	1,8	3,5
C20/25	20	25	28	2,2	1,5	2,9	30	2,0	3,5	2,0	3,5	2,0	1,8	3,5
C25/30	25	30	33	2,6	1,8	3,3	31	2,1	3,5	2,0	3,5	2,0	1,8	3,5
C30/37	30	37	38	2,9	2,0	3,8	33	2,2	3,5	2,0	3,5	2,0	1,8	3,5
C35/45	35	45	43	3,2	2,2	4,2	34	2,2	3,5	2,0	3,5	2,0	1,8	3,5
C40/50	40	50	48	3,5	2,5	4,6	35	2,3	3,5	2,0	3,5	2,0	1,8	3,5
C45/55	45	55	53	3,8	2,7	4,9	36	2,4	3,5	2,0	3,5	2,0	1,8	3,5
C50/60	50	60	58	4,1	2,9	5,3	37	2,5	3,5	2,0	3,5	2,0	1,8	3,5
C55/67	55	67	63	4,2	3,0	5,5	38	2,5	3,2	2,2	3,1	1,8	1,8	3,1
C60/75	60	75	68	4,4	3,0	5,7	39	2,6	3,0	2,3	2,9	1,6	1,9	2,9
C70/85	70	85	78	4,6	3,2	6,0	41	2,7	2,8	2,4	2,7	1,44	2,0	2,7
C80/95	80	95	88	4,8	3,4	6,3	42	2,8	2,8	2,5	2,6	1,4	2,2	2,6
C90/105	90	105	98	5,0	3,5	6,6	44	2,8	2,8	2,6	2,6	1,4	2,3	2,6

Figur 3.1 Betong hållfastheter ur dataflik.

Vid utgångsvärden har Excels listfunktion använts. Texten eller värdet till dessa finns i datafliken, som exempel se figur 3.2 och 3.3. Listfunktionen ger användaren ett antal alternativ att välja på från ett specificerat område.

Armering		Brukstid	Relativ luftfuktighet (RH)	
Diameter	Area (mm ²)	50	40 %	
6	28,27	100	70 %	
8	50,27		90 %	
10	78,54		100 %	
12	113,10			
16	201,06			
20	314,16			
25	490,87			
32	804,25			

Figur 3.2 Armering, brukstid och relativ luftfuktighet ur dataflik.

Exponeringsklasser samt täcksiktvärden					
EN2-1-1 Tab. 4.1 samt NA(fi) Tab. 4.3					
	$C_{min,dur}$	$C_{min,100år}$	$C_{min,fck}$	Klass _{min}	$f_{ck,min}$
	mm	mm	mm		
XO	10	0	-5	C20/25	20
XC1	10	0	-5	C30/37	30
XC2	20	5	-5	C35/45	35
XC3	20	5	-5	C35/45	35
XC4	25	5	-5	C35/45	35
XD1	30	5	-5	C35/45	35
XD2	30	5	-5	C35/45	35
XD3	35	5	-5	C45/55	45
XS1	40	5	-5	C40/50	40
XS2	40	5	-5	C45/55	45
XS3	40	5	-5	C45/55	45

Figur 3.3 Olika exponeringsklasser ur dataflik.

3.2 Utgångsvärden

Det första man får se när man öppnar beräkningsbotten är utgångsvärden. Här fyller man i de värden som är kända och antar de som inte är kända. Till exempel kan man behöva börja med att anta ett tvärsnitt och sedan ändra storlek när man har kollat beräkningarna. Applikationen fungerar därför på den basis att man antar och korregerar tills man uppnår ett godkänt resultat och utnyttjandegrad.

Applikationen är uppbyggd hela vägen med samma system som i figur 3.4. Med det menas att först kommer symbol, som är beteckningen för uträknat värde. Följande är värdet samt dess enhet och till sist en kort förklaring.

Laster	Symbol	Värde	Enhet	Förklaring
	N_{Ed}	1000	kN	Normalkraft
	$M_{0,top}$	200	kNm	Moment vid toppen av pelaren
	$M_{0,btm}$	-50	kNm	Moment vid botten av pelaren

Föränderliga faktorer				
	1. Varaktiga och tillfälliga			
		50	år	Brukstid
		XC2		Exponeringsklass
	RH	90 %		Relativ luftfuktighet
	t	3650	d	Betongens ålder vid granskningstidpunkt i dagar
	t0	28	d	Betongens ålder vid pålastning i dagar

Figur 3.4 Laster och föränderliga faktorer ur utgångsvärdeflik.

Det första användaren skall fylla i är lasterna som påverkar pelaren, se figur 3.4. Lasterna tas på egen hand fram av användaren. Alla laster ska vara i brottgränstillstånd och framtagna enligt Eurokod. Notera att momentet är uppdelat i om det verkar i toppen av pelaren eller i nedre kant.

Den andra delen av figur 3.4, föränderliga faktorer, är i denna applikation faktorer som ofta skiljer sig vid dimensionering. Det första är en listfunktion där det kan väljas mellan alternativen; ”Varaktiga och tillfälliga” eller ”Exceptionell last (olyckslast)”. Detta väljer vilka partialkoefficienter för materialen som applikationen ska använda. Brukstid är den teoretiska tiden som bärverket kommer att vara i funktion. Denna väljs ur en listfunktion med alternativen 50år eller 100år. Även exponeringsklasserna väljs ur en listfunktion, för en närmare förklaring om olika exponeringsklasser se kapitel 3.2. Den relativa fuktigheten är fuktigheten i omgivande miljö och väljs ur en listfunktion med alternativen 40,70, 90 och 100%.

Betongens ålder vid granskning samt vid pålastning bestäms av användaren, notera att åldern ska anges i dagar. Åldern behöver bestämmas för att man ska kunna beräkna krypning.

Betong				
	f_{ck}	C35/45		Betongen hållfasthet
	ΔC_{dev}	10	mm	Kompensationstillägg för avvikelser vid täcksikt
	d_g	32	mm	Max kornstorlek
	C	35	mm	Täcksikt, kontrollera att det uppfyller kravet C_{nom}

Figur 3.5 Betongdelen ur utgångsvärdeflik.

Vid betongdelen av utgångsvärden, se figur 3.5, väljs först betongklass ur en listfunktion. För en närmare översikt av de olika valmöjligheterna se figur 3.1. Kompensationstillägget

beaktar avvikelser i täcksiktet, som exempelvis ojämnheter. Rekommenderat värde på kompensationstillägget är 10mm. Max kornstorlek är största kornet, i millimeter, som får finnas i betongblandningen. Täcksiktet som väljs ska vara större än kravet C_{nom} . Ett antagande kan göras som sen korrigeras enligt kravet från beräkningarna.

Armering

Armering	A600HW		Välj armeringstyp
f_{yk}	600	MPa	Armeringens hållfasthet
\varnothing_{main}	20	mm	Armeringsdiameter för huvudstål
η_h	4	st	Antal stål i höjddled
η_b	5	st	Antal stål i breddled
\varnothing_{sek}	10	mm	Armeringsdiameter för byglar
cc	200	mm	Byglarnas cc-avstånd

Figur 3.6 Armeringsdelen ur utgångsvärdeflik.

Figur 3.6 visar armeringsdelen av utgångsvärde. Här väljs armeringsklassen ur en listfunktion. Armeringens hållfasthet beror på klassen, så f_{yk} är i detta fall endast en kontrollruta. Användaren antar huvudstålets diameter och antalet stänger som behövs i höjddled samt breddled. Omkretsen är i en listfunktion med de vanligaste diameterstorlekarna för armering i pelare. Maximala antalet stänger som applikationen kan beräkna med i huvudriktningarna är tio stycken. Bygelarmeringens omkrets finns även den i en listfunktion och till sist antar användaren bygelarmeringens centrumavstånd.

Tvärsnitt

b	380	mm	Tvärsnittsbredd
h	580	mm	Tvärsnittshöjd
L	6000	mm	Pelarens längd

Knäckningsfall

μ_{yy}	1,00		Knäckningsfaktor, Z-Z
μ_{zz}	1,00		Knäckningsfaktor, Y-Y

Excentritetsriktning och sidostag

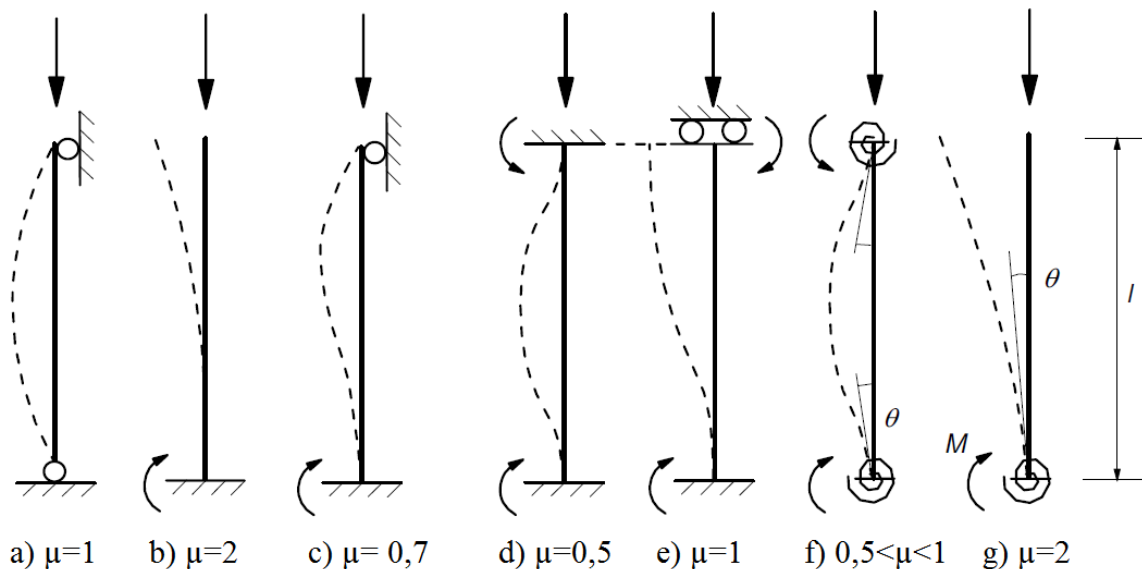
Z-Z Riktning		Riktningen på excentricitet e_i
Stadgad riktning Y-Y		Stabiliseringsriktning

Figur 3.7 Tvärsnitt, knäckningsfall samt excentricitetens riktning och sidostag ur utgångsvärdeflik.

Tvärsnittets höjd, bredd och längd bestäms. Vanliga mått för bredd och höjd för pelare är ett jämnt hundratal minus 20mm. Som exempel; $600\text{mm} - 20\text{mm} = 580\text{mm}$.

Knäckningsfallen bestäms med hjälp av en figur, se figur 3.8, i applikationen och har att göra med hur bärverket är inspänt. Notera att om det är frågan om en mastpelare, så blir det inget verkande moment i toppen av pelaren.

Excentricitetsriktningen väljs om den skall gå i z-riktning eller y-riktning ur en listfunktion. Till sist bestäms hur bärverket är stadgat, även detta ur en listfunktion.



Figur 3.8 Hjälpfiguren för knäckningsfallen från applikationen.

3.3 Beräkningar

Beräkningsfliken följer samma uppställning som utgångsvärdefliken. Applikationen är gjord så att man inte måste eller ska ändra på något i själva beräkningarna. Formlerna för beräkningarna är gömda för användaren, men upplägget är i många små steg för att underlätta granskningen och för att underlätta vid behov av tilläggsberäkningar.

Till följande förevisas beräkningsfliken som är själva kärnan i applikationen. De formler som finns i Eurokod blir endast hänvisade och tas inte upp mera ingående. De beräkningar som är härledda på egen hand visas i dess helhet.

Faktorer					
	α_{cc}		0,85		
	γ_c		1,5		
	γ_s		1,15		
	ρ_c		25	kN/m ³	Betongens densitet

Figur 3.9 Faktorer ur beräkningsflik.

Faktorer som ses i figur 3.9 är materialens partialkoefficienter. Dessa plockas automatiskt ur datafliken enligt användarens val av dimensioneringssituation.

Krypning [EN2-1-1, 5.8.4, Bilaga B, B1]			
RH	90	%	Relativ luftfuktighet
h	580	mm	Pelarens höjd
b	380	mm	Pelarens bredd
A_c	220400	mm ²	Tvårsnittets area
u	1920	mm	Den del av tvårsnittets omkrets som är i kontakt med luft
h_0	229,58	mm	Bärverksdelens ekvivalenta tjocklek
f_{cm}	43	MPa	
α_1	0,866		Koefficienter som beaktar inverkan av betongens hållfasthet
α_2	0,960		
α_3	0,902		
t_0	28	d	Betongens ålder vid pålastning i dygn
t	3650	d	Betongens ålder vid granskningstidpunkt i dygn
φ_{RH}	1,095		Faktor som beaktar inverkan av relativ fuktighet
$\beta_{(f_{cm})}$	2,562		Faktor som inverkar på betongens hållfasthet
β_H	1353,3		Koefficient som beror på den relativa luftfuktigheten
$\beta(t_0)$	0,488		Faktor som beaktar inverkan av betongens ålder vid pålastning
$\beta_c(t, t_0)$	0,909		Koefficient som krypningens utveckling med tiden efter pålastning
φ_0	1,371		nominellt kryptal
$\varphi(t, t_0)$	1,246		Krypning

Figur 3.10 Krypningdelen ur beräkningsflik [EC2, 5.8.4, Bilaga B, B1].

Krypning, se figur 3.10, beräknas enligt EC2, Bilaga B, B1. Krypningstalet behövs för att få fram effektivt kryptal som används för att ta fram andra ordningens moment med hjälp av krökningsmetoden.

Täckskikt [EN2-1-1; 4.4]					
			XC2		Exponeringsklass
			50	år	Brukstid
	f_{ck}		C35/45		Vald hållfasthet för betong
	$f_{ck,min}$		C35/45		Minsta hållfasthet enl. bärverksklass
	f_{ck}		35	MPa	
	$f_{ck,min}$		35	MPa	
	\varnothing_{main}		20	mm	Huvudstålens diameter
	\varnothing_{sek}		10	mm	Byglarnas diameter
	$C_{min,b}$		10	mm	Minsta täckande betongskikt enl. vidhäftning
	$C_{min,dur,bas}$		20	mm	Basvärde enligt exponeringsklass
	$C_{min,100}$		0	mm	Tillägg enligt brukstid
	$C_{min,fck}$		0	mm	Beaktande av vald hållfasthet
	$C_{min,dur}$		20	mm	Minsta täckande betongskikt enl. miljöpåverkan
	C_{min}		20	mm	Minsta täckande betongskikt
	ΔC_{dev}		10	mm	Tillägg pga. avvikelser
	C_{nom}		30	mm	Nominell tjocklek på täckande betongskikt
	C		35	mm	Vald tjocklek på täcksikt, ska vara $>C_{nom}$
	KONTROLL		OK		

Figur 3.11 Täckskiktet ur beräkningsflik [EC2, 4.4].

Täckande betongskikt, se figur 3.11, är beräknade enligt EC2-1-1, 4.4, NA(FI). Eurokod använder sig av tabeller för att visa hur man beräknar täckskiktet. Figur 3.3 visar motsvarande tabell i programmet som används.

Som exempel bakom $C_{min,100}$ i figur 3.11, döljer sig motsvarande formel:

$$= IF(D38 \geq 100; VLOOKUP(D37; Data!J41:L51; 3;); 0)$$

Denna formel består av två aktiva komponenter. Den första är ”IF” som kollar om kravet som ställts uppfylls och utgående från det returnerar det värde som blivit definierat. Den andre komponenten är ”VLOOKUP” som letar efter ett efterfrågat värde och sen returnerar ett värde inom ett specificerat område.

Med andra ord granskar denna formel om värdet i cell D38, som är brukstiden, är större än eller lika med 100. Om kravet uppfylls tar den värdet ur cell D367, som är vald exponeringsklass, och letar efter motsvarande värde i ett specificerat område i datafliken. Därifrån returneras det värde som är i den tredje kolumnen på raden med det funna värdet inom specificerat område, se figur 3.3. Uppfylls inte kravet returneras en nolla.

Applikationen kontrollerar om vald täckskiktets tjocklek, C , är större eller lika med den nominella tjockleken C_{nom} . Om kravet uppfylls returnerar applikationen ”OK”, om inte returneras ”Höj på täckskiktet!”. Detta för att förenkla genomgranskning.

Kontroll av huvudstål [EN2-1-1; 9.5.2]							
	h	580	mm	Pelarens höjd			
	b	380	mm	Pelarens bredd			
	A_c	220400	mm ²	Tvärsnittsarea			
	f_{yd}	522	MPa	Stålets dimensionerande hållfasthet			
	η_h	4	st	Antal stål i höjddled			
	η_b	5	st	Antal stål i breddled			
	A_{main}	314,16	mm ²	Huvudståletsarea per stång			
	Σ_{bars}	14	st	Totala antalet stänger			
	$A_{s,min}$	440,8	mm ²	Minsta armeringsmängd			
	$A_{s,max}$	13224	mm ²	Max armeringsmängd			
	$A_{s,tot}$	4398	mm ²	Huvudstålets totala area			
	KONTROLL	OK					

Figur 3.12 Kontroll av huvudstål ur beräkningsfliken [EC2, 9.5.2].

Den längsgående armeringen, figur 3.12, beräknar ut armeringsmängden för huvudstålen. Kontrollrutan granskar så att A_s är mindre än $A_{s,max}$ och större än $A_{s,min}$.

Kontroll av byglar [EN2-1-1; 9.5.3]				
	\varnothing_{sek}	10	mm	Vald bygeldiameter
	$\varnothing_{sek, min}$	6,00	mm	Minimi krav på bygel diameter
	KONTROLL	OK		
	cc	200	mm	Vald bygelavstånd
	$s_{cl, tmax}$	300	mm	Max bygelavstånd
	KONTROLL	OK		

Figur 3.13 Kontroll av byglar ur beräkningsflik [EC2, 9.5.3].

Tvärgående armering kontrolleras enligt EC2-1-1, 9.5.3. Den första kontrollrutan, se figur 3.13, granskar att vald bygeldiameter är större eller lika med minimikravet. Den andra rutan kollar att bygelavstånden är under beräknat maxvärde.

Avstånd mellan huvudarmeringens stänger [EN2-1-1;8.2]				
	k_1	1		
	k_2	3	mm	
	d_g	32	mm	Max kornstorlek
	\varnothing_{main}	20	mm	Huvudstålens diameter
	\varnothing_{sek}	10		
	a_{min}	35	mm	Minsta fria avstånd mellan armeringstångerna för huvudarmeringen
	a_h	136,67	mm	Verkligt avstånd mellan stänger i höjddled
	a_b	47,50	mm	Verkligt avstånd mellan stänger i breddled
	KONTROLL	OK		

Figur 3.14 Avstånd mellan huvudarmeringens stänger ur beräkningsflik [EC2, 8.2].

För att säkerhetsställa en tillräcklig vidhäftningsförmåga behöver de längsgående stängerna ha ett tillräckligt stort inbördes avstånd, se figur 3.14. Detta kontrolleras enligt EC2-1-1, 8.2. Med verkligt avstånd menas utrymmet mellan armeringsstångerna. Applikationen beräknar avståndet med denna formel:

$$a_h = \frac{h - 2 * C - 2 * \varnothing_{main} - 2 * \varnothing_{sek} - (n_h - 2) * \varnothing_{main}}{n_h - 1}$$

a_h är det verkliga avståndet mellan stängerna i höjddled.

h är tvärsnittets höjd.

C är vald täcksiktstjocklek.

\varnothing_{main} är huvudarmeringens diameter.

\varnothing_{sek} är sekundärarmeringens diameter.

n_h är antal stänger i höjded.

Verkligt avstånd i breddled beräknas på samma vis men med tvärsnittets bredd istället för höjd och med antalet stänger i breddled. Kontrollrutan kontrollerar att a_h och a_b är större än a_{min} , som är minimiavstånd mellan armeringsstängerna.

Stängernas placering				
	h	580	mm	
	b	380	mm	
	d'_1	55	mm	Avstånd från huvudarmeringens mitt till kanten av pelare
	a'_h	156,67	mm	Avstånd mellan stängerna i h-led från mittpunkt till mittpunkt
	a'_b	67,50	mm	Avstånd mellan stängerna i b-led från mittpunkt till mittpunkt

Figur 3.15 Stängernas centrumavstånd.

För att kunna kontrollera armeringen vid hörn behöver man veta armeringens exakta placering. Figurerna 3.16 och 3.17 visar hur beräkningarna är upplagda i Excel. Armeringens position, y , är beräknade från koordinataxlarna till stängernas mitt och d'_n är till stängernas mitt från kanten av pelaren i det led som beräknas.

Stängernas position bestäms genom att först bestämma stängernas centrumavstånd och avståndet från kanten av pelaren till centrum av den närmaste stängen. Huvudarmeringens diameter adderas till avståndet mellan armeringsstängerna för att få centrummättet. Likaså med måttet från kanten av pelaren.

Avstånden beräknas enligt följande formler:

$$a'_h = a_h + \varnothing_{main}$$

$$d'_1 = C + \varnothing_{sek} + \frac{\varnothing_{main}}{2}$$

$$d'_2 = d'_1 + a'_h$$

$$d'_3 = d'_2 + a'_h$$

$$y_1 = \frac{h}{2} - d'_1$$

$$y_2 = \frac{h}{2} - d'_2$$

a'_h är centrumavståndet mellan stängerna i höjddled

$d'_{1,2,3...}$ är avståndet från kanten till n:te stångens mitt

$y_{1,2,3...}$ är avståndet från koordinataxeln till n:te stängen smitt

För beräkning i breddled används samma formler men a'_h ersätts med a'_b .

Applikationen är begränsad till max tio armeringsstänger i vardera led. Detta beror på att man sällan behöver mer stänger än så och att fler stänger än så skulle ge ett osäkert resultat. Begränsningen ses i figurerna 3.16 och 3.17, där antalet rader i tabellerna är tio.

Armeringens placering i bredd-led						
	n_h		5 st	Antal stål i breddled		
Rad	d'_n (mm)	y (mm)				
1	55	135				
2	122,50	67,5				
3	190,00	0				
4	257,50	-67,5				
5	325,00	-135				
6						
7						
8						
9						
10						

Figur 3.16 Armeringsstängernas placering i breddled.

Armeringens placering i höjd-led					
	n_h	4 st		Antal stål i höjdled	
Rad	d'_n (mm)	y (mm)			
1	55	235			
2	211,67	78,3			
3	368,33	-78,3			
4	525,00	-235			
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Figur 3.17 Armeringens placering i höjdled.

Punkt 6 i EC2-1-1. 9.5.3 lyder: ”Varje längsgående stång eller bunt av stänger placerade i ett hörn bör omslutas av tvärarmering. Ingen stång inom tryckt tvärsnittsdelen bör placeras på större avstånd än 150mm från en stång omsluten av ett bygelhorn eller annan likvärdig konstruktion.” Detta betyder i praktiken att man kollar att ingen längsgående stång överhuvudtaget befinner sig längre än 150mm från en hörnstång. Detta kollas med hjälp av värden beräknade i figur 3.16 och 3.17. Som man ser i figur 3.18 uppfyller stängerna i breddled kravet, men stängerna i höjdled kräver en extra bygel. Applikationen beräknar h_{max} med nedanstående formel.

$$=D117-VLOOKUP((ROUNDUP(D114/2;0));B117:D126;3;FALSE)$$

D117 är cellen innehållande y_1 värdet från tidigare beräkningar.

D114 är stål antalet, n_h .

Formeln fungerar så att den halverar antalet stänger som finns och avrundar dessa uppåt ifall det blir ett ojämnt värde. Till exempel fem stänger ger värdet tre. Applikationen letar sen efter detta värde i positionstabellen, se figur 3.16, och returnerar y -värdet på den raden. Figur 3.16 har fem stänger i breddled och skulle därför returnera värdet noll. För att få det maximala avståndet mellan stängerna subtraheras det returnerade värdet från y_1 . Applikationen använder samma formel både i breddled och höjdled, men plockar värdena från två olika tabeller.

Kontroll av armering vid hörn [EN2-1-1; 9.5.3 (6)]

Max avstånd från stång omsluten av bygelhörn eller likvärdig omslutning = 150mm				
	h_{max}	157	mm	Extra byglar behövs!
	b_{max}	135	mm	OK

Figur 3.18 Kontroll av armering vid hörn [EC2, 9.5.3 (6)].

För att användaren lättare skall kunna granska beräkningarna, kontrollerar applikationen själv om avstånden överstiger 150mm. Om kravet uppfylls ger applikationen texten ”OK”, men om avståndet överstiger kravet ges texten ”Extra byglar behövs”. Cellerna är ännu till målade gröna för att användaren lättare ska hitta kontrollrutorna, se figur 3.18.

Slankhet och knäcklängd [EN2-1-1; 5.8.3.2]

	L	6000	mm	Pelarlängd
	μ_{yy}	1,00		
	μ_{zz}	1,00		
	$l_{0,yy}$	6000	mm	Effektiv knäcklängd, Y-Y
	$l_{0,zz}$	6000	mm	Effektiv knäcklängd, Z-Z
	i_{yy}	167,4315781	mm	Tröghetsradie
	i_{zz}	109,6965511	mm	Tröghetsradie
	λ_{yy}	35,83553395		Slankhetstal
	λ_{zz}	54,69634129		slankhetstal

Figur 3.19 Bärverkets slankhet [EC2, 5.8.3.2].

Beräkningen av slankhet är för enskilda bärverksdelar. Om slankhetstalet, se figur 3.19, är mindre än kravet i figur 3.20 får andra ordningens moment försummas. Slankhetstalen används även vid kontroll av biaxiell böjning.

Slankhetskriterium för enskilda bärverksdelar [EN2-1-1; 5.8.3.1]				
	f_{cd}	19,83	MPa	Dimensionerande betong tryckhållfasthet
	ω	0,5250		Mekanisk armeringsgrad
	φ_{ef}	0,92		Effektivt kryptal
	$r_{m,yy}$	-0,25		Momentkvot
	$r_{m,zz}$	0		Momentkvot = 0, inget moment vid ZZ
	A	0,84		
	B	1,43		
	C_{yy}	1,95		
	C_{zz}	1,7		
	n	0,23		Relativ normalkraft
	$\lambda_{lim,yy}$	98,55		
	$\lambda_{lim,zz}$	85,92		

Figur 3.20 Slankhetskriterium för enskilda bärverksdelar [EC2, 5.8.3.1].

Bestämning av excentricitet samt moment [EN2-1-1; 5.2]				
	e_i	Z-Z Riktning		
	L	6000	mm	Pelarenslängd
	α_h	0,816		Reduktionsfaktor för längd
	α_m	1		Reduktionsfaktor för antalet vertikala delar
	Θ_0	0,005		
	Θ_i	0,00408		Snedhetsvinkel
	$l_{0,yy}$	6000	mm	Effektiv knäcklängd, Y-Y
	$l_{0,zz}$	6000	mm	Effektiv knäcklängd, Z-Z
	$e_{i,yy}$	0,00	mm	Excentricitet yy
	$e_{i,zz}$	12,25	mm	Excentricitet zz
	$M_{i,yy}$	12,2	kNm	Moment pga imperfektion runt y-axel
	$M_{i,zz}$	0,0	kNm	Moment pga imperfektion runt z-axel

Figur 3.21 Moment på grund av initialexcentricitet [EC2, 5.2].

Figur 3.21 visar hur momenten på grund av initialexcentricitet beräknas. Antalet vertikala delar är alltid ett eftersom applikationen är tänkt att användas endast för enskilda bärverksdelar. Eftersom momentet är i Z-Z riktning ger det endast uppkomst till moment runt y-axeln. Om man väljer att momentet far i Y-Y riktning får man endast moment runt z-axeln.

Krökning [EN2-1-1; 5.8.8.3]			
ϵ_{yd}	2,609	‰	
n	0,228766643		
n_u	1,5250		
n_{bal}	0,4		Värdet 0,4 används
Runt Y-Y-axeln			
β_{yy}	0,286		
d_{yy}	525	mm	Effektiv höjd
$K_{r,yy}$	1,000		
$K_{\phi,yy}$	1,264		
$1/r_{0,yy}$	0,00001	1/mm	
$1/r_{yy}$	0,000014	1/mm	
Runt Z-Z-axeln			
β_{zz}	0,160		
d_{zz}	325	mm	Effektiv höjd
$K_{r,zz}$	1,000		
$K_{\phi,zz}$	1,148		
$1/r_{0,zz}$	0,00002	1/mm	
$1/r_{zz}$	0,000020	1/mm	

Figur 3.22 Beräkning av krökning [EC2, 5.8.8.3].

Krökning, figur 3.22, beräknas eftersom applikationen använder sig av krökningsmetoden för att beräkna andra ordningens moment. En förenkling har gjorts genom att definiera n_{bal} till 0,4. Detta är en godtycklig förenkling enligt Eurokod.

De dimensionerande momenten tas fram i figur 3.23. Här visas alla hittills framtagna moment och excentriciteter för att förenkla granskning. De dimensionerande momenten i huvudriktningarna tas fram enligt principen som diskuteras i kapitel 2.5.3.

Böjmoment [EN1992-1-1; 5.8.8.2]			
		Stadgad Z-Z och Y-Y	
	$M_{0,yy,top}$	200	
	$M_{0,yy,btm}$	-50	
	$M_{01,yy}$	-50 kNm	
	$M_{02,yy}$	200 kNm	
	$M_{0e,yy}$	100 kNm	
	$M_{01,zz}$	0 kNm	
	$M_{02,zz}$	0 kNm	
	$M_{0e,zz}$	0 kNm	
	c	9,87	Faktor som beror på krökningsfördelningen
	$e_{z,zz}$	42,36 mm	Utböjning
	$M_{z,yy}$	0,00 kNm	Nominellt andra ordningens moment runt y-axel.
	$e_{z,yy}$	60,86 mm	Utböjning
	$M_{z,zz}$	0,0 kNm	Nominellt andra ordningens moment runt z-axel.
	$e_{0,zz}$	20 mm	Excentricitet [EN2-1-1; 6.1(4)]
	$M_{min,yy}$	20 kNm	Moment pga excentriciteten $e_{0,zz}$ runt y-axel
	$e_{0,yy}$	20 mm	Excentricitet [EN2-1-1; 6.1(4)]
	$M_{min,zz}$	20 kNm	Moment pga excentriciteten $e_{0,yy}$ runt z-axel
	$M_{Ed,yy}$	212,2 kNm	Dimensionerande moment runt y-axel
	$M_{Ed,zz}$	20,0 kNm	Dimensionerande moment runt z-axel

Figur 3.23 Framtagning av dimensionerande moment [EC2, 5.8.8.2].

Momentkapaciteten är det maximala moment som kan finnas i bärverket före brott uppstår, se figur 3.24. Excel applikationen använder sig av en förenklad version, baserad på omvänd balkteori, för att beräkna momentkapaciteten. Formlerna som har använts visas nedan.

$$M_{Rd} = \mu * f_{cd} * h * d^2$$

$$\mu = \beta * \left(1 - \frac{\beta}{2}\right)$$

$$\beta = \frac{2 * |A_{s,erf}|}{\frac{f_{cd}}{f_{yd}} * b * d}$$

h är tvärsnittets höjd.

d är effektiv höjd.

$A_{s,erf}$ är den erforderliga dragarmeringens area.

Momentkapacitet		(Enligt balkteori)			
	f_{yd}	435	MPa	Stålets dimensionerande hållfasthet	
	d'_1	55	mm		
	$A_{s,erf,y}$	-625,1	mm ²	Erforderlig stålarea, y	
	d_{yy}	525	mm	Effektiv tvärsnittshöjd	
	β	0,00025			
	μ	0,00024			
	$M_{Rd,y}$	665,80	kNm	Momentkapacitet, y	
	$A_{s,erf,z}$	-555,1	mm ²	Erforderlig stålarea, z	
	d_{zz}	325	mm	Effektiv tvärsnittshöjd	
	β	0,00035			
	μ	0,00035			
	$M_{Rd,z}$	239,81	kNm	Momentkapacitet, z	

Figur 3.24 Momentkapaciteten enligt omvänd balkteori.

Den erforderliga dragarmering som verkar i tvärsnittet har bestämts med hjälp av arbetsekvationer. Ekvationerna baseras sig på jämviktsvillkoret, inre arbeten är lika med yttre arbeten.

x	y	eps_c	eps_sc	eps_s	σ_{sc}	σ_s	A_{s1}
0,0029	0,00232	5,55449E-05	-0,000997893	0,01000	-199,5786	434,78261	-865,5340975
0,0087	0,00696	0,000168507	-0,000896765	0,01000	-179,3531	434,78261	-858,6766175
0,0145	0,0116	0,000284035	-0,00079334	0,01000	-158,6680	434,78261	-851,6497793
0,0203	0,01624	0,000402219	-0,000687537	0,01000	-137,5074	434,78261	-844,4358737
0,0261	0,02088	0,000523151	-0,000579274	0,01000	-115,8549	434,78261	-837,0165993
0,0319	0,02552	0,000646928	-0,000468465	0,01000	-93,6930	434,78261	-829,3732482
0,0377	0,03016	0,000773651	-0,000355017	0,01000	-71,0035	434,78261	-821,4869368
0,0435	0,0348	0,000903427	-0,000238837	0,01000	-47,7674	434,78261	-813,3388851
0,0493	0,03944	0,001036367	-0,000119823	0,01000	-23,9647	434,78261	-804,9107449

Figur 3.25 En del av beräkningen som görs för att bestämma erforderlig stålarea.

Beräkningen fungerar, i stora drag, så att den låter neutralaxelns läge växa i flera steg enligt ett givet värde, se figur 3.25. Avståndet från tvärsnittets kant till neutralaxeln betecknas x . Vid varje enskilt värde på x bestäms spänningsresultanterna. Vid den punkt, x , där stålarean, A_{s1} , blir som störst är det värde på arean som blir gällande. Applikationen kollar spänningsresultanterna vid upp till 500 punkter.

Biaxiell böjning [EN2-1-1; 5.8.9]			
	λ_{yy}	35,8	
	λ_{zz}	54,7	
	e_y	20,0	mm
	e_z	212,2	mm
	$e_y/h/e_z/b$	0,062	
	$e_z/b/e_y/h$	16,198	
	$\lambda_{yy}/\lambda_{zz}$	0,7	
	$\lambda_{zz}/\lambda_{yy}$	1,5	
	Biaxiell böjning behöver inte kontrolleras		
	N_{Rd}	6666,0	kN Dimensioneringsvärdet för tvärsnittets axiella bärförmågan
	N_{Ed}/N_{Rd}	0,15	kN
	a	1,042	
		85,7 %	Utnyttjandegraden baktande biaxiell böjning

Figur 3.26 Biaxiell böjning ur beräkningsfliken.

Biaxiell böjning är när det uppstår böjning samtidigt i två huvudriktningar. En noggrann analys är svår och kräver avancerade dataprogram. Men i Eurokod hittas förenklade metoder för att få det kontrollerat.

De första kriterierna för att biaxiell böjning inte ska behöva kontrolleras är om huvudriktningarnas slankhetstal dividerade med varandra resulterar i ett värde under två. Förutom dessa båda krav behöver även ett av kriterierna för relativ excentricitet uppfyllas. Om kraven inte uppfylls finns det en förenklad metod för att kolla den biaxiella böjningens utnyttjandegrad. Figur 3.25 visar hur biaxiell böjning kontrolleras i applikationen.

3.4 Applikationens resultat

Applikationen visar beräkningsresultaten i en egen flik som är anpassad till en A4 storlek för att underlätta utskrift. Endast de mest väsentliga värdena från beräkningarna visas och den är gjord så att användaren snabbt ska få en överblick. Vid närmare granskning är det tänkt att användaren ska gå igenom beräkningsfliken. Figur 3.26 är ett exempel på hur upplägget i resultatfliken ser ut.

Krafter						
N_{Ed}	1000 kN		e_i	Z-Z Riktning		
$M_{0,top}$	200 kNm			Stadgad Z-Z och Y-Y		
$M_{0,btm}$	-50 kNm					
			λ_{yy}	35,83553	$\lambda_{lim,yy}$	89,24008
$M_{01,yy}$	-50 kNm		λ_{zz}	54,69634	$\lambda_{lim,zz}$	77,79905
$M_{02,yy}$	200 kNm					
$M_{0e,yy}$	100 kNm		Andra ordningens analys behöver inte beaktas			
$e_{z,zz}$	42,44 mm	$M_{z,yy}$	0 kNm			
$e_{z,yy}$	61,65 mm	$M_{z,zz}$	0 kNm			
$e_{i,yy}$	0 mm	$M_{i,yy}$	12,25 kNm			
$e_{i,zz}$	12,25 mm	$M_{i,zz}$	0 kNm			
$e_{0,zz}$	20 mm	$M_{min,yy}$	20 kNm			
$e_{0,yy}$	20 mm	$M_{min,zz}$	20 kNm			
$M_{Ed,yy}$	212,25 kNm	$M_{Rd,y}$	585,60 kNm	η	36,2 %	
$M_{Ed,zz}$	20 kNm	$M_{Rd,z}$	237,49 kNm	η	8,4 %	

Figur 3.27 Krafternas upplägg i resultatfliken.

4 Diskussion

Det är viktigt att man alltid gör en dimensioneringskontroll av strukturen i planeringsskedet. För att man ska få sova gott om nätterna är det även viktigt att dessa stämmer och att man kan lita på dem. Att dimensionera och beräkna för hand är inte alltid så lätt och slarvfel kan lätt förekomma. Därför är program och applikationer av olika slag bra att ha eftersom de minskar på risken att någonting går fel i beräkningarna och minskar på arbetsbördan för arbetarna.

4.1 Resultat

Resultatet av detta examensarbete blev en användarvänlig Excel applikation som underlag för dimensionering av betongpelare. Applikationen går att tillämpa för enskilda betongpelare och den dimensionerar armering, täckskikt samt kollar att den håller för pålastning. De olika kraven som ställs i den nyaste versionen av Eurokod har beaktats och införts i applikationen.

4.2 Utveckling

Applikationen skulle ännu kunna utvecklas från att endast kunna beräkna enskilda bärverk till att innefatta hela stabiliserande system. Men med just detta skulle det kanske vara bättre att göra en helt egen applikation, med stöd från denna.

Applikationen skulle ännu behöva göras mer användarvänlig, som vid val av knäckningsfaktorer och stagningsriktningar skulle det kunna finnas varningstexter som varnar användaren om det matas in fel värde. Detta skulle även kunna tillämpas på en del andra faktorer. Applikationen skulle även kunna vidareutvecklas till att kolla fler än ett lastfall åt gången och att den skulle kontrollera dessa i båda huvudriktningarna istället för enbart en.

4.3 Reflektion

Arbetet var väldigt lärorikt och jag fick fördjupa mig en hel del i betongens värld. Jag fick även en bättre förståelse för hur Eurokod är upplagd och hur man ska gå till väga när man läser den. Något som jag lade märke till i Eurokod var att det inte finns allt som man behöver för en dimensionering, utan stöd från andra källor behövs.

Att arbeta och göra beräkningar i Excel hade jag inte så stor erfarenhet av från tidigare, så även här fick jag göra en fördjupning. Att programmera och göra beräkningar i Excel är något som jag tror jag kommer att ha stor nytta av i framtiden vid dimensioneringar av olika slag.

Applikationen kommer ännu att testas och granskas noggrannare innan den tas i bruk på företaget. Den kommer sen att användas vid planeringen av byggnader som konstrueras i betong.

5 Källförteckning

Miljöministeriet. (2016). *Betonirakenteet, ohjeet*. Hämtat från http://www.ymp.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarays_kokoelma/Rakenteiden_lujuus_ja_vakaus den 18 Maj 2017

SS-EN 1992-1-1:2005 Eurokod 2: Dimensionering av betongkonstruktioner - Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader. (2008).

Suomen Betoniyhdistys ry. (2015). *Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja-osa 2 BY211*.

Svenska Betongföreningen. (2012). *Svenska Betongföreningens handbok till Eurokod 2 (Volym I)*.

Svenska Betongföreningen. (2012). *Svenska Betongföreningens handbok till Eurokod 2 (Volym II)*.