

Tverrsnittsberegninger av betongskall

Wei Guan

Bygg- og miljøteknikk (2 årig)

Innlevert: juni 2013

Hovedveileder: Jan Arve Øverli, KT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for konstruksjonsteknikk



+
NORGES TEKNISK NATURVITENSKAPELIGE
UNIVERSITET, NTNU
Institutt for konstruksjonsteknikk

Masteroppgave i konstruksjonsteknikk 2013 for Guan Wei

Tverrsnittsberegninger av betongskall

Non-linear cross-sectional analysis of concrete shells

INNLEDNING

Skallkonstruksjoner kan i en del sammenhenger være statisk nødvendig, økonomisk gunstig og/eller arkitektonisk ønskelig sammenlignet med tradisjonelle bæresystemer.

Oppgaven fokuserer på kapasitetskontroll av tverrsnitt påkjent av skallkrefter. Det skal utvikles et brukervennlig dataprogram som beregner kapasiteten. Kapasitetskontrollen utføres med iterasjonsmetoden som er en metode for ikke-lineær tverrsnittsanalyse av skallsnitt.

OPPGAVE

Oppgaven kan deles opp som følger:

- Et litteraturstudium og teoridel som beskriver metoder for beregning av betongskall
- Utvikling av et dataprogram for kapasitetskontroll av betongskall.
- Verifikasjon av dataprogram mot kjente lesninger.
- Lage en brukermanual for beregningsprogrammet.

Oppgaven skal være gjennomført innen den 10. juni 2013.

Trondheim den 31.01.2013

Jan Arve Øverli
Forsteamanuensis / Faglrerer

Sammendrag

Betongskall er en viktig og populær konstruksjon i byggebransjen. Det er derfor viktig å ha god kunnskap om tverrsnittsberegninger av betongskall. Rapporten omhandler å utvikle et dataprogram som kan brukes til kapasitetskontroll av tverrsnitt påkjent av skallkrefter. For at det skal være enkelt for andre å bruke programmet, er det også laget en brukermanual.

Iterasjonsmetoden benyttes for kapasitetskontroll. Det er en metode for ikke-lineær tverrsnittsanalyse av et skallelement. Gjennom rapporten presenteres teorigrunnlaget og forutsetninger for denne metoden. Videre presenteres prosessen om utvikling av dataprogrammet. I prosessen fokuseres det på verifikasjonen.

For å verifisere kvaliteten av programmet, sammenlignes det videre med resultater fra enkle håndberegninger og et annet tilsvarende program. Det er funnet at resultatene stemmer godt overens med håndberegningene og det andre programmet (selv om i noen spesielle tilfeller bryter løsningen sammen). En forskjell er imidlertid at utnyttelsesgraden for armeringen i dette programmet er basert på bruddtøyning, mens den i det andre programmet er basert på spenning eller flytetøyning. Tøyningene for betong- og armeringslamellene som utdataene fra programmet er riktige, og de kan brukes som å sjekke kapasitet av betongskall. Selv om spenningene for betong og armering ikke blir samme som utdataene i programmet, kan de beregnes ut i koden til programmet og brukes i verifikasjon. I tillegg er antall iterasjoner i noen tilfeller mindre, som betyr at programmet er mer effektivt.

Abstract

Concrete shell is an important and well-known construction in building industry. Therefore it is important to have good knowledge of cross-sectional calculation for concrete shell. This report content developing of a computer program that can be used for capacity control for the cross-section subjected to shells strength. To make it easy for others to use the program, a user manual is also created.

Iteration method is used for capacity control. This is a method for non-linear cross section analysis of a shell element. Through the report presents the theoretical basis and assumptions for this method. These are followed by the process of the development of the computer program. This process should be focus on verification.

In order to verify quality of the program, results should be compared with simple hand calculation and another similar program. It is found that the results are consistent with the hand calculations and the other program (although in some special cases, break down solution). One difference is that the utilization rate of reinforcement in this program is based on strain at break, while in the other program is based on stress or strain at yield. Strains of concrete and reinforcements layer as output in the program is under control, and they can be used to check the capacity of the concrete shell. Although tensions for concrete and reinforcement are not as the output of the program, they can be calculated in code of the program and used in verification. In addition, the number of iterations in some cases less, which means that the program is more efficient.

Forord

Denne rapporten er utført som masteroppgave ved institutt for konstruksjonsteknikk ved NTNU, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Arbeidet med rapporten er gjort i løpet av våren 2013. Dette har vært et lærerikt halvår, som har gitt meg mye kunnskap om kapasitetskontroll av tverrsnitt påkjent av skallkrefter og utviklinger av dataprogram. Selv om jeg har ingen erfaring om utvikling av dataprogrammet før, kan dette arbeidet gi meg mer fordypningen om betongskall og kan bli brukt videre i arbeidslivet. Det er derfor å velge jeg valgt dette temaet.

Jeg ønsker å takke alle som har hjulpet meg med oppgaven. Spesielt takk til Jan Arve Øverli for en flott jobb som veileder. I tillegg må jeg også takke Håvard Nedrelid for hjelp med utvikling av dataprogrammet.

Trondheim, juni 2013

Wei Guan

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	i
Abstract	ii
Forord.....	iii
Figurliste	vii
Tabelliste.....	ix
Symbolerliste	xi
1 Innledning	1
2 Litteraturstudium og teoridel	3
2.1 Definisjon	3
2.2 Materialer	4
2.2.1 Materialelegenskaper betong	4
2.2.2 Materialmodeller for betong	6
2.2.3 Materialelegenskaper armeringsstål.....	8
2.2.4 Materialmodeller for armeringsstål.....	9
2.3 Skallkrefter	9
2.4 Metoden.....	10
2.4.1 Ikke-lineær tverrsnittsanalyse	10
2.4.2 Iterasjonsmetoden	11
2.5 Metoden for beregning av betongskall.....	12
3 Utvikling av dataprogram	19
3.1 Prosessen for utvikling av dataprogram	19
3.2 Introduksjon av MATLAB.....	21
3.3 Kode for dataprogram	22
3.3.1 Transformer metoden til kode.....	22
3.4 Design av dataprogrammet.....	26
4 Verifikasjon	29
4.1 Eksempler med aksialkraft og bøyemoment	30
4.1.1 Eksempel 1 med håndberegning	31
4.1.2 Eksempel 2 med håndberegning	32

4.1.3	Eksempel 3 med håndberegning	34
4.2	Eksempelene med BABS 1.0	36
4.2.1	Eksempel 1 med BABS 1.0	37
4.2.2	Eksempel 2 med BABS 1.0	37
4.2.3	Eksempel 3 med BABS 1	38
4.3	Sammenlign med resultatene	38
4.4	Eksempler med kombinasjon av skallkrefter	40
4.4.1	Første eksempel	40
4.4.2	Andre eksempel	43
5	Brukermanual for beregningsprogrammet.....	49
5.1	Introduksjon	49
5.2	Generell informasjon.....	49
5.3	Hvordan komme i gang	51
5.4	Hvordan BABS 1.0 brukes.....	53
5.5	Hvilke resultater vises i BABS 1.0.....	56
5.6	Spesiale situasjoner (ukonvensjonell prosess)	57
5.7	Andre.....	59
6	Konklusjon.....	61
7	Forslag til videre arbeid.....	63
	Litteraturliste.....	65

Figurliste

Figur 2.1: Midtplan, krumningsradius og tykkelsen av et tynt skall	3
Figur 2.2: Typisk spenning-tøyningskurve for betong i trykk	4
Figur 2.3: Spenning-tøyningskurver for ulike betongfastheter	5
Figur 2.4: Typiske spenning-tøyningskurver for betong i strekk	6
Figur 2.5: Parabel-rektangel diagram for betong under trykk	6
Figur 2.6: Spenningsindusert anisotropi	7
Figur 2.7: Toakset bruddkurve for betong	8
Figur 2.8: Typisk spenning-tøyningskurve for armering i strekk	8
Figur 2.9: Idealisert og dimensjonerende spennings- og tøyningsssammenheng for armering	9
Figur 2.10: Skallutsnitt med volum $a*a*h$	9
Figur 2.11: Ikke-lineært stivhet forhold	11
Figur 2.12: Skallelement deles i betonglameller.....	14
Figur 2.13: Tøyning over skalltverrsnittet	14
Figur 2.14: Ikke-lineært forhold mellom tøyning og spenning.....	16
Figur 3.1: Prosessen for utvikling av dataprogram.....	19
Figur 3.2: For-løkker for iterasjon	22
Figur 3.3: Steg 8 i metoden til MATLAB-syntaks	23
Figur 3.4: Steg 12 i metoden til MATLAB-syntaks	25
Figur 3.5: Strukturen til grensesnitte	26
Figur 3.6: Grensesnittet for inndata	27
Figur 3.7: Grensesnittet for utdata	28
Figur 4.1: Prosessen for verifikasjon	29
Figur 4.2: Betong i trykk og betongtverrsnittet	31
Figur 4.3: Armert betong i strekk	33
Figur 4.4: Armert betong i bøyningmoment	34
Figur 4.5: Hovedspenning i trykk for betong.....	39
Figur 4.6: Hovedspenning i trykk for betong.....	39
Figur 4.7: Hovedspenning i trykk for betong.....	40
Figur 4.8: Tverrsnitt med symmetrisk armering	41
Figur 4.9: Tøyningstilstander for kombinert moment og aksialkraft.....	41
Figur 4.10: Bruplate i kassebærerbru	43

Figur 5.1: Grensesnittet for MATLAB 2012b	51
Figur 5.2: Bla gjennom mapper	51
Figur 5.3: Vinduet for valg av en ny mappe	52
Figur 5.4: Dokumenter for BABS 1.0 i aktuell mappen	52
Figur 5.5: Grensesnittet for kommandovinduet	52
Figur 5.6: Grensesnittet for programmet BABS 1.0	53
Figur 5.7: Ytre kraftvektor	53
Figur 5.8: Inndataene for betong.....	54
Figur 5.9: Inndataene for armeringer	55
Figur 5.10: Armeringsareal vektor	55
Figur 5.11: Likevektstoleranse for iterasjon	56
Figur 5.12: Resultatet for BABS 1.0.....	56
Figur 5.13: Varsel om feil.....	58
Figur 5.14: Varsel om ikke konvergens	58

Tabelliste

Tabell 4.1: Resultatene fra BABS 1.0.....	37
Tabell 4.2: Resultatene fra BABS 1.0.....	37
Tabell 4.3: Resultatene fra BABS 1.0.....	38
Tabell 4.4: Resultater fra håndberegningen	42
Tabell 4.5: Resultater fra BABS 1.0	42
Tabell 4.6: Resultater fra det godkjente programmet	44
Tabell 4.7: Resultater fra BABS 1.0	44
Tabell 4.8: Resultater om armeringslameller fra det godkjente programmet	44
Tabell 4.9: Resultater om armeringslameller fra BABS 1.0	44
Tabell 4.10: Utnyttelsesgrader for hver armeringslamell fra BABS 1.0	45
Tabell 4.11: Utnyttelsesgrader med endret tøyningsgrense fra BABS 1.0	46
Tabell 4.12: Resultater for betong fra BABS 1.0.....	46
Tabell 4.13: Utnyttelsesgrader for hver armeringslamell fra BABS 1.0	46
Tabell 4.14: Resultater etter endret armering fra BABS 1.0.....	47
Tabell 5.1: Systemkravet for 2009b.....	50

Symbolerliste

I denne rapporten gjelder følgende symboler(fet representeres vektor):

h : tverrsnittshøyde (figur 2.1) eller tykkelse i skall

ε_{c2} : tøyningen idet maksimalspenningen

ε_{cu} , ε_{cu2} og ε_{cu3} : tøyningsgrense for trykk i betongen

f_{ck} : betongens karakteristiske sylindetrykkfasthet etter 28 døgn

f_{cd} : dimensjonerende betongtrykkfasthet

ε_c : maksimal hovedtøyning for tykk i betong/hovedtrykk tøyning i betongen

σ_x og σ_y : spenninger i global x- og y-retning.

ε_x og ε_y : tøyninger i global x- og y-retning

E_x og E_y : her ikke-lineært material modul i x- og y- retning

f_y : karakteristisk fasthet ("flytegrense")

σ_s : spenning for armering

E_s : elastisitetsmodul ifølge EC2, 3.2.7(4), $2 \cdot 10^5 MPa$

ε_s : tøyning for armering / tøyning for hver armeringslamell

ε_{sv} : flytetøyning

f_{yd} : armerinens dimensjonerende flytegrense

f_{yk} : armeringens karakteristiske flytegrense

γ_s : partialfaktor for armeringsstål

γ_c : partialfaktor for betong

ε_{ud} : tøyningsgrense for armeringen (bruddtøyning)

ε_{uk} : karakteristisk tøyning i armering ved største last

N_x, N_y og N_{xy} : skivekrefter

V_x og V_y : tverrskjær krefter

M_x og M_y : bøyemoment

M_{xy} : torsjonsmoment

$\boldsymbol{\varepsilon}_{t,r}$: generaltøyning vektor

$\mathbf{K}(\boldsymbol{\varepsilon}_{t,r})$: sekant stivhetsmatrise for betong og armering i iterativ nummer r

\mathbf{R} og \mathbf{R}_k : ytre kraftvektor

\mathbf{S}, \mathbf{S}_r og \mathbf{S}_{0k} : indre kraftvektor

β : en valgt likevektstoleranse

\mathbf{K}_{c0} : initial stivhetsmatrise for betongskallet

\mathbf{K}_{s0} : initial stivhetsmatrise for armering

\mathbf{K}_0 : sum av initial stivhetsmatrise

\mathbf{C}_{0i} : materialmatrise for betong

n : antall lameller i betong

m : antall lameller i armering

Δh : hver tykkelse for hver betonglamell

\mathbf{A} og \mathbf{A}_i : transformasjonsmatrise fra general tøyningvektor til planet tøyning i en avstand fra middel plan til midt i hver tykkelse

ε_m : tøyning av skallmiddelplaten

κ : krumning av skallmiddelplaten

z : avstand fra hver lamell i betong til skallmiddelplaten (UNO) / indre momentarm(i eksempel 2)

\mathbf{C} : materialmatrise

\mathbf{C}_p : materialmatrise opprissing i strekk og ikke-lineær oppførsel i trykk for betongen

ν : Poisson forhold (tverrkontraksjonstallet)

E_{11}, E_{12} og E_{22} : sekantmodul i hovedretning

\mathbf{C}_s og \mathbf{C}_{s0j} : materialmatrise for armering, antatt retning av armering i global xy-system

E_{sx} og E_{sy} : sekantmodul for armering i global xy-system
 ϵ_{t0} : tøyning i skallmiddelflaten
 ϵ og ϵ_{0i} : plantøyning i en avstand z fra skallmiddelplaten
 ϵ_{p0i} og ϵ_{p0i} : hovedtøyninger for hver betonglamell
 θ_i : hovedretning for hver betonglamell
 $T_{\epsilon i}(\theta_i)$: transformasjonsmatrise fra global akse til lokal hovedretning
 σ_{p0i} : hovedspenninger for hver betonglamell til lokal system
 σ_c og σ_{c0i} : hovedspenninger for hver betonglamell til global xy-system
 σ_{s0i} : armeringsspenninger for hver armeringslamell
 ϵ_{0j} : plantøyning for armering i hver lamell
 C_{0sxj} og C_{0syj} : materialmatrise for armering i xy-retning, $j = 1, 2, \dots, m$
 z_i : avstand fra hver lamell i betong til skallmiddelflaten
 z_j : avstand fra hver lamell i armering til skallmiddelflaten
 A_{sxj} og A_{syj} : armeringsarealer i x- og y-retning
 ϵ_{s0i} : tøyninger for hver armeringslamell
 C_{1i} : materialmatrise i global xy-system
 C_{p1i} : lokale materialmatrise
 UR_c : utnyttingsgrad av betong
 UR_s : utnyttingsgrad av armering
 E_s : dimensjonerende verdi for armeringsstålets elastisitetsmodul
 A_c : areal for betong
 b : bredden av betong
 α_{cc} : sikkerhetsfaktor for betongen
 A_{sx1} og A_{sx2} : armeringsarealer i x-retning
 ϵ_{yk} : karakteristisk flytetøyning
 ϵ_{yd} : dimensjonerende flytetøyning

S_x : sum av indre krefter

S_{xi} : indre krefter for hver lamell

x : trykksonehøyden

α : tykksonehøydefaktor

α_b : tykksonehøydefaktor, når $\varepsilon_s = \varepsilon_{yd}$

η : den effektive trykkfastheten

$A_{s,b}$: den balanserte armeringsmengden

A_s : den aktuelle armeringsmengden

T_c : Trykkraft

d : effektiv høyde av betongen

λ : den effektive høyden til trykksone

1 Innledning

Bakgrunnen

Skallkonstruksjoner kan i en del sammenhenger være statisk nødvendig, økonomisk gunstig og/eller arkitektonisk ønskelig sammenlignet med tradisjonelle bæresystemer. Men kapasitetskontroll av betongskall er et område innen konstruksjonsteknikk med potensiale for forbedring. På grunn av at skall er definert som element dominert av både normalkrefter og momenter, blir det vanskelig å kontrollere kapasitet med vanlig håndberegning.

Formålet

Oppgaven fokuserer på kapasitetskontroll av tverrsnitt påkjent av skallkrefter. Det skal utvikles et brukervennlig dataprogram som beregner kapasiteten. Kapasitetskontrollen utføres med iterasjonsmetoden som er en metode for ikke-lineær tverrsnittsanalyse av skallsnittet.

Omfanget av arbeidet

Arbeidet er et forsøk på å bedre forstå metoden for beregning av betongskall, slik at en kan transformere metoden til et brukervennlig dataprogram. Dataprogrammet blir laget ved bruk av et programverktøy som heter MATLAB [21]. I MATLAB kan kode og grensesnittet til dataprogrammet lages først. Etterpå blir programmet verifisert, og så brukermanual blir laget etter verifikasjon.

Begrensninger i rapportens behandling av temaet

Oppgaven er å utvikle et enkelt dataprogram for å kunne utføre noen enkle beregninger av betongskallet slik at programmet kan oppnå kapasitetskontroll for tverrsnitt av betongskallet. Rapporten kan bidra til å vise programmet utvikles fra teori til grensesnittet og viser hvordan programmet brukes.

Rapportens oppbygging

Rapportens hoveddel består av fem kapitler:

1 Innledning: Her innleder med rapportens bakgrunn, formålet og rapportens oppbygging, og så videre.

2 Litteraturstudium og teoridel: Et litteraturstudium og teoridel som beskriver om betongskallet og metoder for beregning av betongskallet.

3 Utvikling av dataprogram: Her presenteres prosessen av utviklingen til dataprogrammet for kapasitetskontroll av betongskallet utvikles.

4 Verifikasjon: I dette kapitlet presenteres kvalitets kontroll av programmet som har utviklet i forrige kapittel med kjente løsninger.

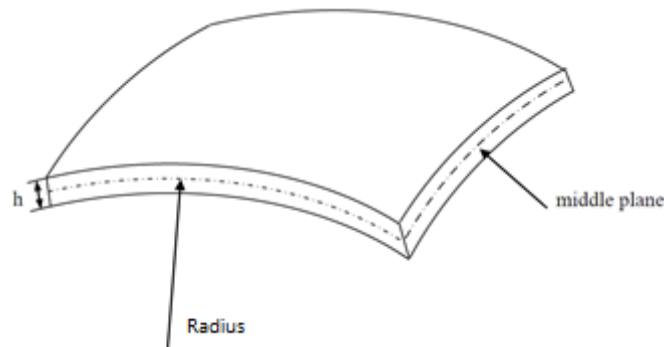
5 Brukermanual: I dette kapitlet presenteres en brukermanual for en vanlig bruker. Dette gjelder egenskapene til programmet, hvordan komme i gang og hvordan programmet kan brukes og så videre.

Etter hoveddelen presenteres rapportens **konklusjon**, etterfulgt av **forslag til videre arbeid, litteraturliste og vedlegg**.

2 Litteraturstudium og teoridel

2.1 Definisjon

Skall er en blanding av skive- og platevirkning, dvs. at det kan tåle både membran og bøyingskrefter. En tynn skallkonstruksjon tåler høy belastning hvis membrankrefter dominerer. Lokaliserte bøyespenninger opptrer i nærheten av belastning konsentrasjoner eller geometriske diskontinuiteter. Skallet kan være en del av både plane og krummede konstruksjonen.[1] Skall har liten tykkelse i forhold til utbredelse, som vist i figur 2.1. Det er påkjent av lastvirkninger både i planet (skivevirkning) og på tvers (platevirkning).[2] På grunn av de krummede flatene er betongskall naturlige sterke konstruksjoner, slik at en kan oppnå lange spenn uten anvendelse av innvendige støtter.[3] Kvalitet av betongskallmaterial er nesten uavhengig av spenn, så kostnad av lengre spenn kanskje blir bare litt høyere enn kostanden for kort spenn.



Figur 2.1: Midtplan, krumningsradius og tykkelsen av et tynn skall [4]

I klassisk skallteori for tynne plater, Love-Kirchhoff teori, gjelder følgende forutsetninger for betongskallet [4] :

- Skalltykkelsen er neglisjerbar i forhold til krumningen av skallmiddelflaten
- Spenningene og tøyningene er små
- Rette linjer som er normal til den midtre flaten før deformasjonen forblir rett under deformasjonen
- Påkjenninger normalt til den midtre flaten i skallet er neglisjerbart

2.2 Materialer

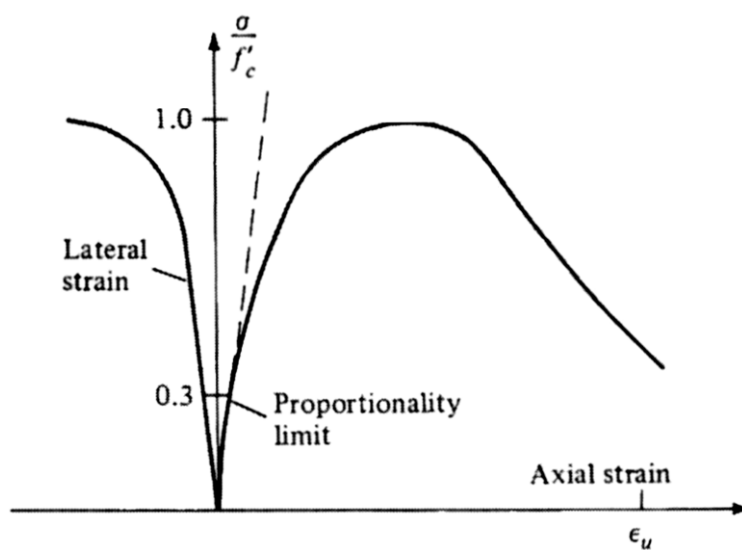
Betongskall består vanligvis av betong og armering. I dette avsnittet gjøres det riktige antagelser om materialenes oppførsel. Både for håndberegninger og dataprogrammet er det viktig å bruke materialmodeller, som representerer den virkelige oppførselen på en god måte. [5] Det er ikke nødvendigvis at samme materialmodellen er best for alle situasjoner, [5] men egenskapene og modellene må presenteres som grunnlag for tverrsnittsberegning av betongskall.

2.2.1 Materialeegenskaper betong

Betongen er et av de viktigste byggematerialene. Den består av følgende delmaterialer: sement, vann, tilslag og eventuelle tilsetningsstoffer.

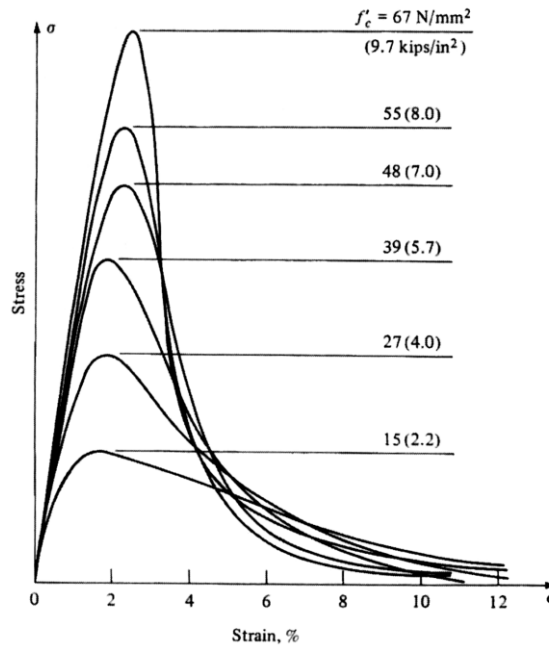
Betong i trykk

Trykkfastheten er at det maksimale trykket som betongen kan utsettes for, uten å gå til brudd. Betongtrykkfastheten bestemmer hvor store dimensjoner en betongkonstruksjon må ha for å klare de lastene den skal bære. Desto større betongtrykkfastheten er, desto mindre dimensjoner trenger konstruksjonen å ha. [6]



Figur 2.2: Typisk spenning-tøyningskurve for betong i trykk [7]

En typisk spenning-tøyningskurve for enakset trykkbelastning av betong er vist i figur 2.2. For små spenninger er det en tilnærmet lineær sammenheng mellom spenning og tøyningsgrad for betong i trykk. Når spenningen blir større enn omtrent 30 % av trykkfastheten, går spenning-tøyningskurven over til en krum form.[8] Ved tøyningsgrad oppnår rundt 2 ‰, oppnår betongen sin maksimale trykkfasthet. Denne tøyningsverdien er stort sett lik for de fleste betongkvalitetene.[7] Dette er vist i figur 2.3 om spenning-tøyningsdiagram for forskjellige betongfastheter.

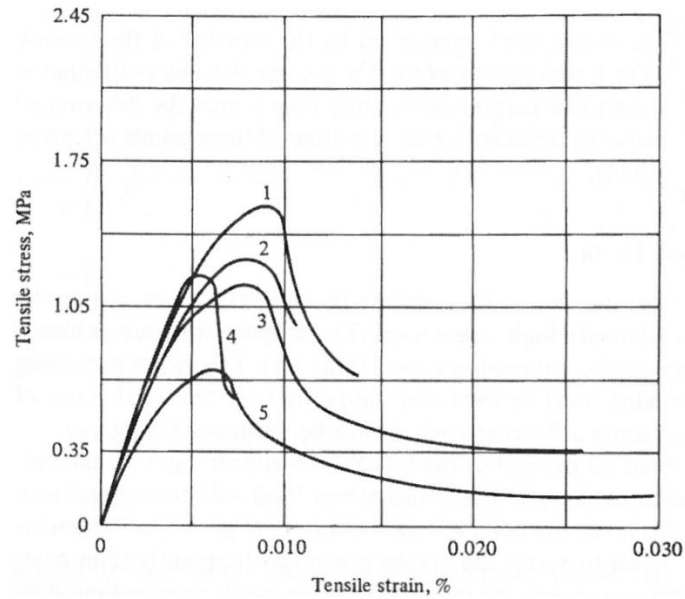


Figur 2.3: Spenning-tøyningskurver for ulike betongfastheter [7]

Betongens stivhet, eller elastisitetsmodul, er sterkt avhengig av fastheten. Stivheten avgjør hvor store deformasjoner en konstruksjon vil få når den påsettes en last. Desto større stivhet betongen har, desto mindre deformasjoner vil konstruksjonen få. I figur 2.3 kan også ses at økt fasthet i betongen gir økt elastisitetsmodul.

Betong i strekk

For uopprisset betong er det mulighet for å ha strekkfasthet, dvs. at betong kan overføre strekkrefter. Men i figur 2.4, som viser spenning-tøyningsdiagram for enakset strekkbelastning av betong, vises det at maksimalspenningen er bare 5-10 % av den maksimalspenningen i trykk når den er i strekk. [7] I figur 2.4 vises det også at for spenninger som er opp til omtrent 60 % av kapasitet er kurven relativt lineær. [5] Etter det får kurven mer krumning, i likhet med kurven for trykk. Men strekkfastheten er betydelig mindre enn trykkfastheten. I de fleste tilfeller antas det at betong ikke har noen strekkfasthet. For strekkspenning i en betongkonstruksjon kan det benyttes armering til å forsterke betong.

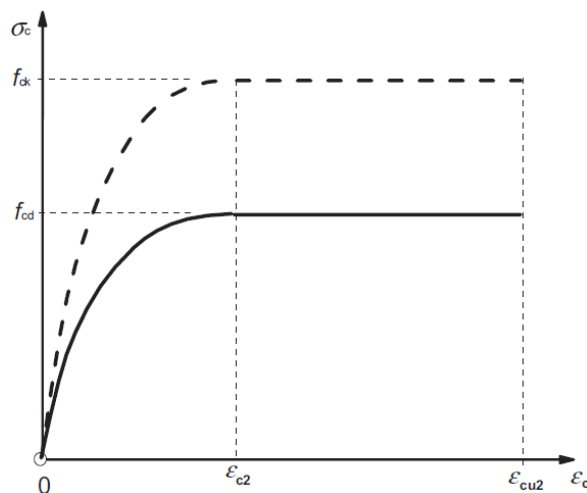


Figur 2.4: Typiske spenning-tøyningskurver for betong i strekk [7]

2.2.2 Materialmodeller for betong

Betong i trykk

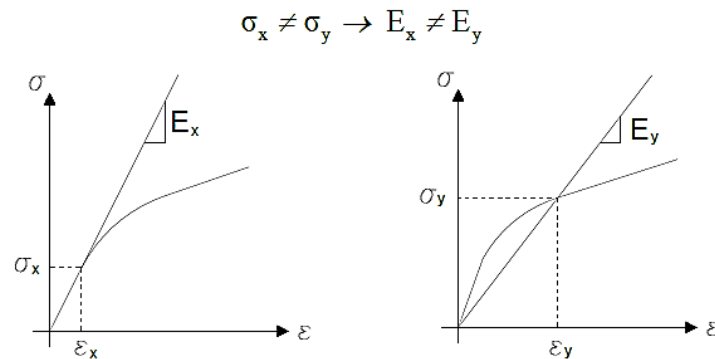
Det finnes mange materialmodeller for betong i trykk. Eurokode 2 har en egne anbefaling for spenning-tøyningsdiagram for bruk i ikke-lineære konstruksjonsanalyser. Det er ikke et krav at denne modellen brukes. [5] For dimensjonerende tverrsnitt kan spennings- og tøyningssammenheng blir som vist i figur 2.5 (trykktøyning er vist som positive verdier). [9]



Figur 2.5: Parabel-rektangel diagram for betong under trykk [9]

Mellom null og ε_{c2} blir det kurve, og spenningen for betong under trykk kan beregnes som tilnærmet linearisering. Mellom ε_{c2} og ε_{cu2} oppnår betong den maksimale trykkfastheten, og det blir tilnærmet som en rette linje, vist i figur 2.5. Så trykkspenningen kan bli samme som dimensjonerende betongtrykkfasthet. I oppgaven skal figur 2.5 brukes for å beregne hovedspenningene, som er normalspenningene på snittplanet oppnår ekstremalverdier.

Det finnes mange metoder for å modellere rissutvikling i betongtverrsnitt. I oppgaven brukes *smearred cracking* som er en rissmodell, det går ut på at risset betong forblir kontinuum, men at den mister sine isotrope egenskaper etter at første riss er dannet. [10] Dette betyr at betong har anisotrope egenskaper. Ved ikke-lineært materiale for betong fører spenningsindusert anisotropi til at Hook lov er ikke gyldig, dvs. at spenningen har anisotropisk oppførsel. Anisotropisk oppførsel beskriver egenskap av betongen der forholdene er ulike avhengig av retning. Spenningene i x- og y-retning blir ikke like, og moduler i x- og y-retning blir forskjellig. Dette illustreres i figur 2.6 om anisotropisk oppførsel. [4]

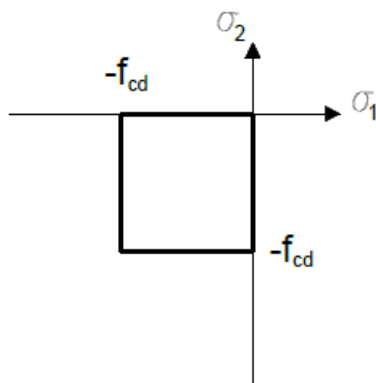


Figur 2.6: Spenningsindusert anisotropi [4]

Betong i strekk

Som nevnt tidligere er det antatt at betong ikke har noen strekkfasthet i håndberegninger. Ved bruk av ikke-lineære analyse er det vanlig å inkludere strekkfastheten fordi dette er mer reelt, siden betong faktisk har en strekkfasthet. En annen fordel ved å inkludere denne fastheten er at den gjør det lettere å få konvergens i likevektsiterasjonene i analysene. [5]

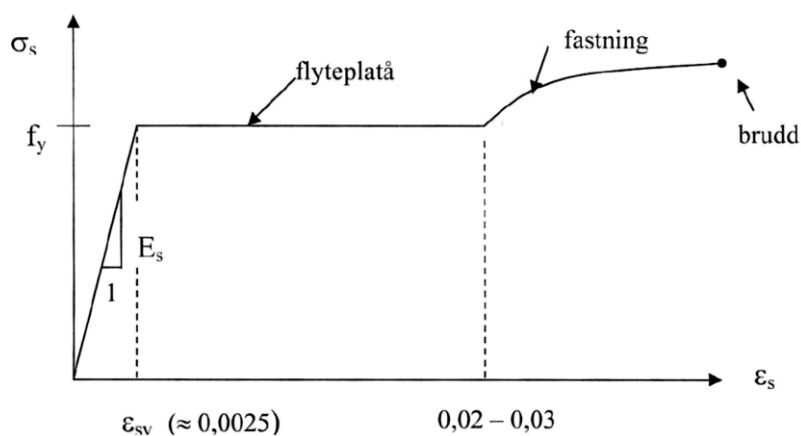
Men for kapasitetsberegning i bruddgrensetilstanden antas det at effekter i de to hovedretningene ikke er koblet, dvs. tverrkontraksjonstallet $\nu = 0$, slik at en toakset bruddkurve i hovedspenningsplanet blir som figur 2.7. I den viste bruddkurven er strekkfastheten til betongen satt lik null. Dette er i samsvar med vanlige dimensjoneringsprinsipper i standard. Rent formelt tilsvarende dette et rent normalspenningskriterium. [4] Fordel er at det gjør lettere å utvikle et dataprogram. En annen fordel er at det er tilpasset for å sammenligne mellom håndberegninger og dataprogrammet i senere kapittel.



Figur 2.7: Toakset bruddkurve for betong [4]

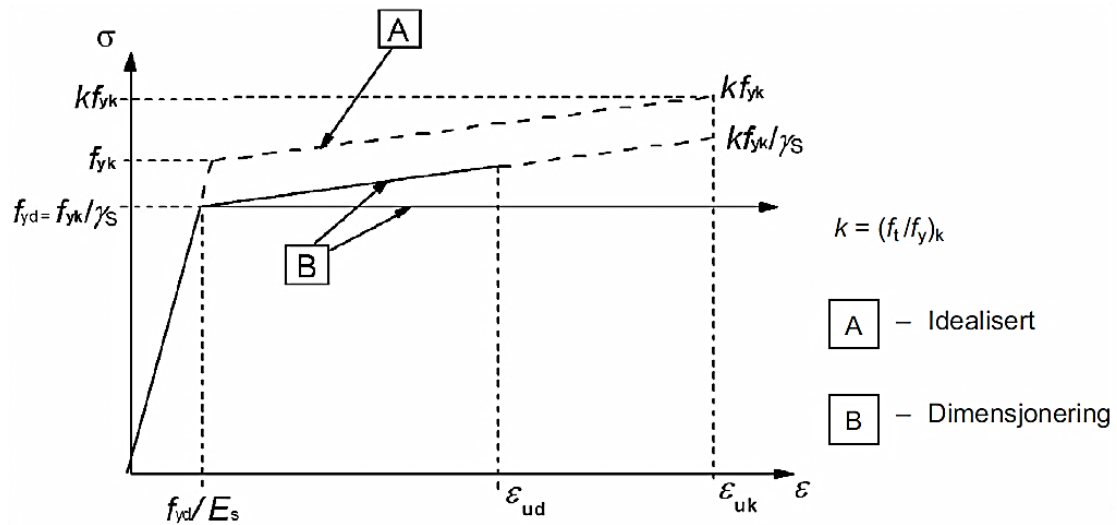
2.2.3 Materialegenskaper armeringsstålet

I figur 2.8 vises det et typisk spennings-tøyningsdiagram for armeringsstål i strekk. Formen på kurven er noe enklere enn for betongen, og når den skal beskrives kan den deles opp i tre deler. Først kommer et elastisk område hvor armeringsstål vanligvis har en E-modul på rundt $200\,000\text{ MPa}$. Dette kalles også Youngs modul. Flytespenning for armering ligger vanligvis rundt 500 MPa , og når flytespenningen er nådd kommer det et flyteplatå. Her er spenningen uforandret frem til en tøyning på $2 - 3\%$. Til slutt kommer et område med fastning. Her øker spenningene igjen før brudd oppstår. Bruddspenningen er typisk 1,5 ganger flytespenningen. [7] [11]



Figur 2.8: Typisk spennings-tøyningskurve for armering i strekk [11]

2.2.4 Materialmodeller for armeringsstål

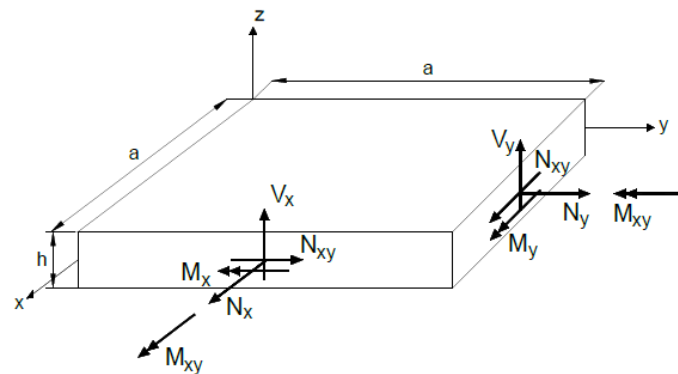


Figur 2.9: Idealisert og dimensjonerende spennings- og tøyningssammenheng for armering [9]

I oppgaven blir spenning-tøyningsskurve for armeringsstålet antatt som elastisk-perfekt plastisk, altså B (dimensjonering) i figur 2.9. Det skyldes at for ikke-lineære analyser i de fleste tilfeller tillates flytning, men kun små plastisk deformasjoner, slik at materialkurve kan ses ut som fastning. Så det er elastisk-perfekt plastiske materialmodellen for armeringen nøyaktig nok, og dette skaper bedre stabilitet i analysen i det stålet når flytegrensen. Figur 2.9 viser spenning- og tøyningforløp for armeringsstål i både trykk og strekk.

2.3 Skallkrefter

For å utvikle et program for tverrsnittsberegning av betongskall i denne oppgaven, er det viktig å kjenne skallkreftene og gjøre kjent med den vesentlige forutsetningen.



Figur 2.10: Skallutsnitt med volum $a \cdot a \cdot h$ [4]

Figur 2.10 viser ytre lastvirkninger per lengde i skallutsnitt med volum $a \cdot a \cdot h$. De snittkreftene er to bøyemomenter, M_x og M_y , torsjonsmoment M_{xy} , to tverrskjær krefter V_x og V_y , og tre skivenormalkrefter N_x , N_y og N_{xy} . [4]

Dimensjonering for i plan påkjenninger er basert på Kirchoff hypotese av lineær belastnings fordeling over hele tykkelsen av skallet. Ut av planet normale påkjenninger er antatt å være null, dvs. at V_x og V_y er ikke tatt hensyn med. Det er samme som klassisk bjelke og plate teori, slik at skallet kan bli analysert som et to-dimensjonalt problem. [4]

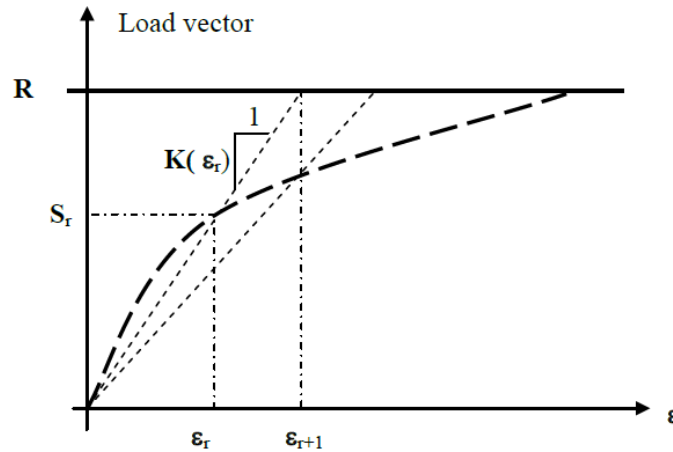
2.4 Metoden

I dette avsnittet introduseres noe sentrale teorier for å beregne betongskall. Det er to viktige teorier som trenges å presentere før gjennomgang av hele prosessen for tverrsnittsberegning av betongskallet. De to teoriene handler om de grunnleggende kunnskapene som trenges for å forstå beregningen i denne oppgaven.

2.4.1 Ikke-lineær tverrsnittsanalyse

Ikke-lineær tverrsnittsanalyse trenger lastinkrementer og iterasjoner (likevektiterasjon) for å komme frem til en løsning. Et ikke-lineært system er når utdataene ikke er direkte proporsjonal med inndataene. Det fører til at superposisjonsprinsippet ikke er gyldig ved bruk av ikke-lineære analysemetoder, fordi deformasjonstilstanden er avhengig av lasthistorien. Men i ikke-lineære analyser er det mulig å inkludere ikke-lineære materialmodeller, for eksempel oppførselen av betong i trykk og strekk som var nevnt i forrige avsnitt. [5]

Prinsippet for ikke-lineære analyser kjennetegnes ved at en ønsker å finne likevektpunkter langs last-forskyvningskurven. [5] I oppgaven kan analyse av forskyvningsformulering brukes til å illustrere dette.



Figur 2.11: Ikke-lineært stivhet forhold [4]

I figur 2.11 vises det at indre krefter konvergerer mot ytre krefter for å oppnå likevektspunkter, dvs. at ytre krefter er likevekt med indre krefter som er en funksjon av forskyvning. Ligning kan bli skrevet som [4]:

$$R = S(\varepsilon_{t,r})$$

For å kunne ta hensyn til egenskaper til ikke-lineære materialer for betong og armering, med nedbryting og flytting, kan ligning av tøyingsformulering bli definert som [4]:

$$R = K(\varepsilon_{t,r}) \cdot \varepsilon_{t,r+1}$$

$K(\varepsilon_{t,r})$, som sekant stivhetsmatrise for betong og armering, beregnes ut fra en antatt forskyvning for en gitt last. De totale tøyningene for systemet oppdateres til $\varepsilon_{t,r+1}$ ved bruk av iterasjon, og de indre kreftene for å oppnå likevekt med ytre krefter kan beregnes som $K(\varepsilon_{t,r})$ ganger med $\varepsilon_{t,r+1}$.

Fra figur 2.11 viser det også at dette er en ubalansert kraft, som er forskjellen mellom indre S_r og ytre krefter R , kan kalles residualet og blir ofte brukt for å vurdere konvergens i likevektiterasjonene. Når residualet er tilstrekkelig lite avsluttes likevektiterasjon. Hvis konvergenskravet ikke er tilfredsstillt etter den initiale lastpåføring, dvs. ytre krefter, starter en ny iterasjon inntil at indre nærmer seg til ytre krefter.

2.4.2 Iterasjonsmetoden

En iterasjonsmetode i komputasjonelle matematikk er en matematisk prosedyre som genererer en sekvens av gradvis bedre tilnærmede løsninger for en klasse av problemer. Iterasjonsmetoden kalles konvergent hvis tilsvarende sekvenser konvergerer for gitte innledende tilnærmelser.[12]

I oppgaven brukes det egentlig en Newton-Raphson iterasjonsprosedyre. En Newton-Raphson iterasjonsprosedyre gir rask konvergens fordi stivhetsmatrisen blir oppdatert

for hver iterasjon. [13] Ulempen med dette er at det er en datateknisk kostbar prosess: å sette opp og faktorisere stivhetsmatrisen.

I oppgaven utføres iterasjonsmetoden som er en metode til å kontrollere kapasitet for ikke-lineære tverrsnittsanalyse av skallsnitt, basert på gitte materialer, last, tverrsnitt og armeringsmengder.

Iterasjonsmetoden er numerisk løsning av likevektslikning mellom ytre og indre spenningsresultants. Denne ligningen er løst ved iterasjoner på tøyningens fordeling. Siden det er en numerisk løsning, må en konvergenzkriterium bli definert når akseptabel likevekt er nådd. En enkel og robust kriterium er å bruke den relative avvik mellom hver av de seks ytre og indre spenningsresulterende komponenter. Iterasjonen stoppes når avviket er innenfor en akseptabel verdi. [4]

$$\text{Konvergens hvis } \left| \frac{R_k - S_{0k}}{R_k} \right| < \beta; k = 1, 2, \dots, 6$$

I stedet for residualet brukes her β , som er forhold mellom residualet og ytre krefter, til å vurdere konvergens. β er typisk omtrent 0,01. Så lenge armeringsmengden ikke automatisk økes under iterasjonen, må divergens i løsningen være forhindret av noen begrensninger for det antall iterasjoner.[4] Ved kombinasjon av denne ligningen ovenfor og figuren 2.11 blir det tydelig å se en tendens av konvergens. Hel konvergens er monoton økende. Jo mindre β blir, det vil si jo nærmere blir β for forhold mellom residualet og ytre krefter, desto mer nøyaktig blir kontrollen av kapasitet for betongskall.

2.5 Metoden for beregning av betongskall

I metoden for beregning av betongskall benyttes en lamellmodell, der skallelementet deles i en rekke betonglag med lik tykkelse, og armeringen defineres som egne lag. Ved Love-Kirchhoff teori som er gyldig i avsnitt 2.1 og skallkrefter i avsnitt 2.3 kan det sies at hver av betonglamellene vil da være i en tilstand av planspenning. Hele skallelementet betraktes i kapasitetskontrollen, og opptredende spenningsresultanter tildeles ikke enkelte lag i modellen, slik som i dimensjoneringsmetodene. Kapasitetskontrollen går ut på å bestemme den tøyningstilstanden i skallelementet, som tilsvarer likevekt mellom ytre og indre spenningsresultanter. Dette gjøres ved en likevektiterasjon av tøyningfordelingen, der skallelementets stivhetsmatrise oppdateres for hvert iterasjonstrinn. Lagene i betong og armering kan la stivhetene av betong og armering analyseres numerisk. Det tas utgangspunkt i en lineærelastisk materialoppførsel for betong og armering, og for å ivareta opprissing i strekk, og ikke-lineær oppførsel i trykk for betongen, etableres en ortotropmaterialmodell i hovedspenningsplanet.

Ortotropmaterialmodell i retninger av hovedspenninger kan brukes til å finne indre spenningsresultanter. Iterasjonen stoppes når et valgt konvergenzkriterium er nådd, eksempelvis når forskjellen mellom ytre og indre spenningsresultanter med en gitt verdi. Detalj av metoden for beregning av betongskall vil bli beskrevet nedenfor.[14]

Påfølgende prosedyre kan beskrive metoden for beregning av betongskallet [4]:

1. Avgjør ytre lastvektor \mathbf{R} , vanligvis fra FEM analyse, og armeringsmengde som kommer fra en initial dimensjonering. I oppgaven blir disse to vektorene inndataene.

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \\ M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{bmatrix} \quad \mathbf{A}_s = \begin{bmatrix} A_{sx} \\ A_{sy} \end{bmatrix}$$

2. Beregn initial stivhetsmatrise \mathbf{K}_0 . I begynnelsen er det forutsatt henholdsvis at betongoppførselen er isotrop lineær elastisk og armeringsoppførsel er lineær elastisk. Stivhetsmatriser for begge to kan etableres ved bruk av prinsipp av virtuell arbeid.

- Betong:

$$\mathbf{K}_{c0} = \sum_{i=1}^n \Delta h \cdot \mathbf{A}_i^T \cdot \mathbf{C}_{0i} \cdot \mathbf{A}_i = \Delta h \sum_{i=1}^n \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{0i} & -z_i \mathbf{C}_{0i} \\ -z_i \mathbf{C}_{0i} & z_i^2 \mathbf{C}_{0i} \end{bmatrix}$$

- Armering:

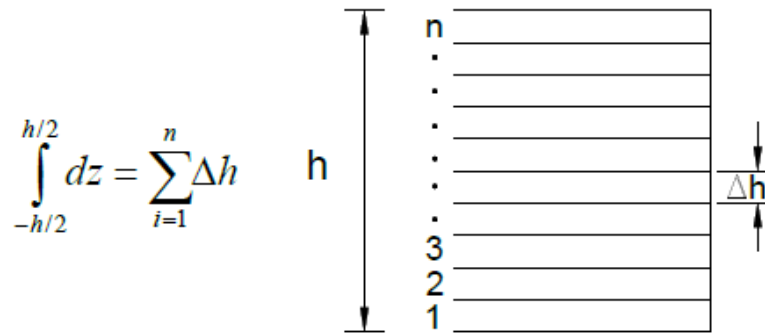
$$\mathbf{K}_{s0} = \sum_{j=1}^m (\mathbf{A}_{sxj} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{0sxj} & -z_j \mathbf{C}_{0sxj} \\ -z_j \mathbf{C}_{0sxj} & z_j^2 \mathbf{C}_{0sxj} \end{bmatrix} + \mathbf{A}_{syj} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{0syj} & -z_j \mathbf{C}_{0syj} \\ -z_j \mathbf{C}_{0syj} & z_j^2 \mathbf{C}_{0syj} \end{bmatrix})$$

- Initial stivhetsmatrisen \mathbf{K}_0 :

$$\mathbf{K}_0 = \mathbf{K}_{c0} + \mathbf{K}_{s0}$$

- Her er stivhetsmatriser for betong og armering en general funksjon av avstanden z fra skallmiddelflaten. I figur 2.12 viser det at integralet, som er løst numerisk ved å dele tverrsnitt inn i en rekke betonglamell, på grunn av tøyning og hovedretninger vil variere over skalltykkelsen, som vist i figur 2.13, slik at en eksakt integrasjon blir umulig. En nu-

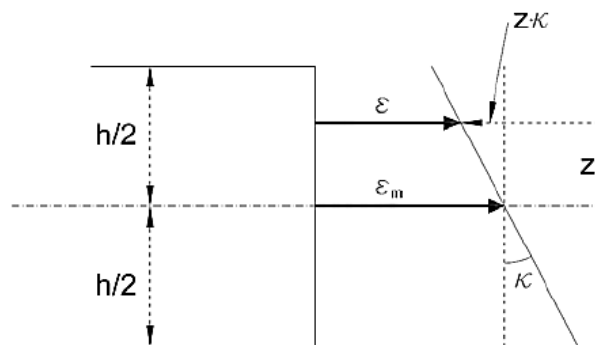
merisk integrasjon over tykkelsen er derfor nødvendig. Skallet er delt i n betonglameller med $\Delta h = h/n$, her h er skallstykkelse. I tillegg defineres armeringen som egne lameller, m . Spenning og tøyning antas konstant over lamelltykkelsen, slik at summasjon over lamellene tilsvarer en midtpunkts- eller rektangelintegrasjon.



Figur 2.12: Skallelement deles i betonglameller

- Under forutsetning av lineær tøyingsfordeling over hele tykkelsen, se figur 2.13, kan det gi plan tøyning i en avstand z fra skallmiddelplaten:

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_x \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \boldsymbol{\varepsilon}_m - z \cdot \boldsymbol{\kappa} = \mathbf{A} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -z & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -z & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_{xm} \\ \varepsilon_{ym} \\ \gamma_{xym} \\ \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \end{bmatrix}$$



Figur 2.13: Tøyning over skallverrsnittet

- Materialmatrise \mathbf{C} inkluderer fordeling fra både betong og armering. For betong er det to situasjoner i oppgaven, en hvor betong er et

lineært elastisk, isotropt material, Hooks lov i planspenning, kan bli definert som:

$$\mathbf{C} = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix}$$

For å ta hensyn til opprissing i strekk og ikke-lineær oppførsel i trykk for betongen velges en ortogonalt anisotrop modell i hovedspenningsplanet. Ortotrop materialmodell for betong:

$$\mathbf{C}_p = \frac{1}{1-\nu^2} \cdot \begin{bmatrix} E_{11} & \nu E_{12} & 0 \\ \nu E_{12} & E_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(1-\nu)E_{12}}{2} \end{bmatrix}$$

- Elastisitetsmodulene E_{11} og E_{12} er sekantmoduler i henholdsvis 1. og 2. hovedretning, som vist i figur 2.6. Så det er et lineariseringsproblem. For et ikke-lineært material kan de bli beregnet fra forholdet mellom spenning og tøyning:

$$E_{ii} = \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} \text{ for } i = 1, 2$$

For armering blir det bare tatt hensyn på x- og y-retning, det er ikke sekantmodul for skjær. Materialmatrise for armeringen kan bli definert som:

$$\mathbf{C}_s = \begin{bmatrix} E_{sx} & 0 & 0 \\ 0 & E_{sy} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3. Finn tøyninger og krumninger i skallmiddelflaten:

$$\boldsymbol{\varepsilon}_{t0} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\varepsilon}_m \\ \boldsymbol{\kappa} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xm} \\ \varepsilon_{ym} \\ \gamma_{xym} \\ \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \end{bmatrix} = \mathbf{K}_0^{-1} \cdot \mathbf{R}$$

4. Finn tøyningstilstand i hver lamell (både betong- og armeringslameller) referert til globalt xy-system:

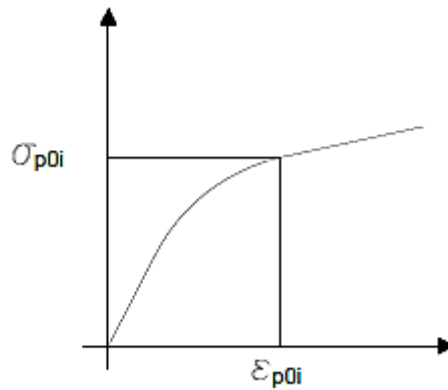
$$\boldsymbol{\varepsilon}_{0i} = \mathbf{A}_i \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_{t0}$$

5. Finn hovedtøyninger og hovedretninger i betonglamellene:

$$\boldsymbol{\varepsilon}_{p0i} = \mathbf{T}_{\varepsilon i}(\theta_i) \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_{0i}$$

$$\theta_i = \frac{1}{2} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{\gamma_{xy}^i}{\varepsilon_x^i - \varepsilon_y^i} \right)$$

6. Beregn hovedspenninger i betonglamellene. Hovedspenning σ_{p0i} avhenger av forhold mellom spenning og tøyning, i figur 2.14, og ikke-lineære materialegenskaper i betong blir tatt vare på.



Figur 2.14: Ikke-lineært forhold mellom tøyning og spenning

Ved å kombinere EC 2 og betongtrykkfasthet som var nevnt i avsnitt 2.2.2, kan spenning- tøyingsforløpet for dimensjonering av tverrsnitt gis av:

$$\sigma_{p0i} = \sigma_c = f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right) \right] \quad \text{for } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2}$$

$$\sigma_{p0i} = \sigma_c = f_{cd} \quad \text{for } \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2}$$

7. Transformer hovedspenningene for hver betonglamell til globalt xy-system:

$$\sigma_{c0i} = \mathbf{T}_{\varepsilon i}^T(\theta_i) \cdot \sigma_{p0i}$$

$$\mathbf{T}_{\varepsilon}^T = \mathbf{T}_{\sigma}^{-1} \quad \text{på grunn av ortotropmaterialmodell}$$

8. Finn armeringsspenninger for hver armeringslamell:

$$\sigma_{s0i} = \mathbf{C}_{s0j} \cdot \varepsilon_{0j}$$

9. Beregn indre kraftvektor som sum av betong- og armeringsbidrag:

$$S_0 = \Delta h \cdot \sum_{i=1}^n \begin{bmatrix} \sigma_{c0i} \\ -z_i \cdot \sigma_{c0i} \end{bmatrix} + \sum_{j=1}^m \begin{bmatrix} A_{sxj} \cdot \sigma_{sx0} \\ A_{syj} \cdot \sigma_{sy0} \\ 0 \\ -z_j A_{sxj} \cdot \sigma_{sx0} \\ -z_j A_{syj} \cdot \sigma_{sy0} \\ 0 \end{bmatrix}$$

10. Beregn den maksimale relativ forskjellen mellom komponenter av ytre og indre kraftvektor:

$$Maxdiff = \left| \frac{R_k - S_{0k}}{R_k} \right|; k = 1, 2, \dots, 6$$

11. sjekk konvergens ut fra en valgt toleranse, for eksempel $\beta = 0,01$.

- Dersom $Maxdiff \leq \beta$, altså at den relative differensen er mindre eller lik 1 %, er konvergens oppnådd og beregningen avsluttes.
- Dersom $Maxdiff \geq \beta$, altså at det ikke er konvergens, og kalkulasjon må starte med en ny.

12. Finn nye sekantmoduler for alle betong- og armeringslamellene, hvis det ikke er konvergens i steg 11

- For betong beregnes de nye sekantmodulene ut fra hovedspenningene og hovedtøyningene, altså E_{11} , E_{22} og E_{12} som nevnt i materialmatrisene.

$$E_{ii} = \frac{\sigma_{p0i}}{\varepsilon_{p0i}} \quad i = 1, 2$$

- For armering kan sekantmodulene beregnes ut fra steg 4 og 8:

$$E_s = \frac{\sigma_{s0i}}{\varepsilon_{s0i}}$$

13. Kalkuler nye materialmatriser for betong beregnet på sekantmodulene:

$C_{p1i}; i = 1, \dots, n$, det er samme som C_p

$$C_{p1i} = C_p = \frac{1}{1 - \nu^2} \cdot \begin{bmatrix} E_{11} & \nu E_{12} & 0 \\ \nu E_{12} & E_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(1 - \nu)E_{12}}{2} \end{bmatrix}$$

14. Transformer lokale materialmatriser til globalt xy-system:

$$C_{1i} = T_{\varepsilon i}^T \cdot C_{p1i} \cdot T_{\varepsilon i}$$

15. Gjenta steg 2-12 med de nye materialmatrisene inntil konvergens kriterium blir oppnådd, dvs. at kravet i steg 11 er møtt.

16. Kalkuler utnyttelsesgrad av betong og armering etter konvergens blir møtt.

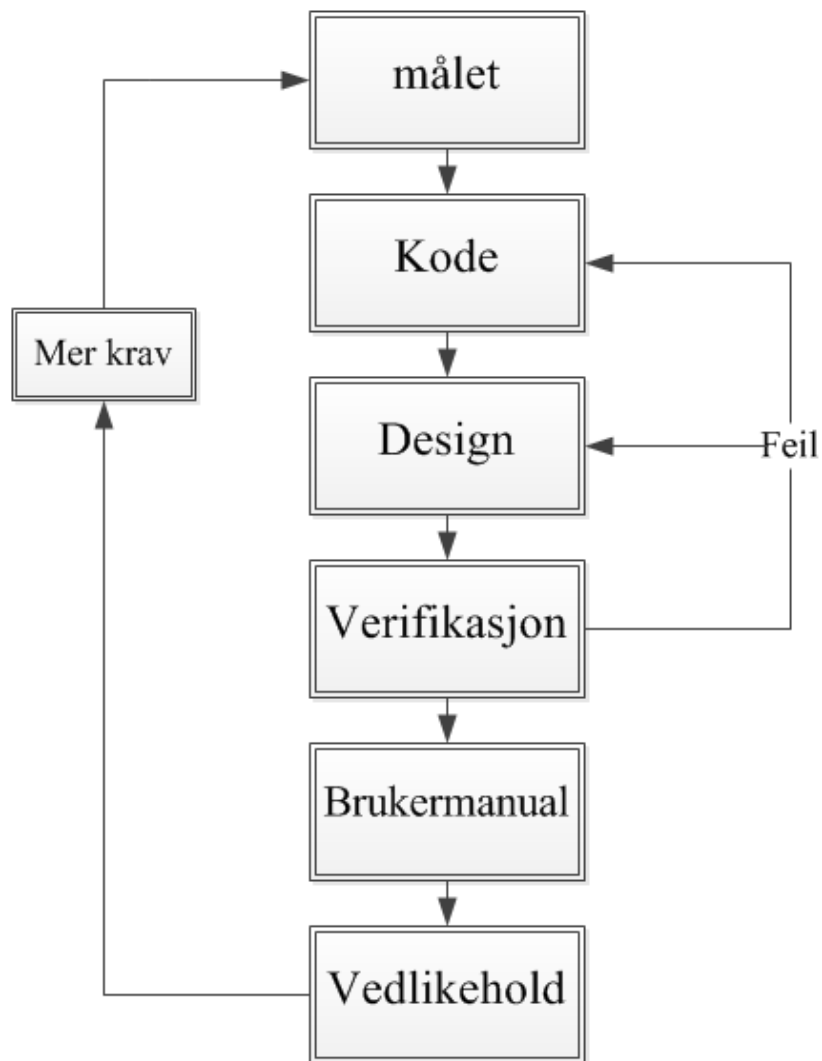
Fra konvergent løsning i iterasjonsmetoden kan tøyningens fordeling for betong og armering brukes til å vurdere utnyttingsgrad av skallelement, og for å verifisere at dimensjonerende laster ikke overskrider kapasitet. Utnyttingsgrad av en konstruksjonsdel er uttrykt ved bruk av forholdstall (UR). I bruddgrensetilstanden er gradene relatert til tøyningensgrense i betong og armering.[4]

For utnyttingsgrad for betong og armering brukes repressivt:

$$UR_c = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cu}} \cdot 100\% \text{ for betong}$$
$$UR_s = \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{ud}} \cdot 100\% \text{ for armering}$$

3 Utvikling av dataprogram

3.1 Prosessen for utvikling av dataprogram



Figur 3.1: Prosessen for utvikling av dataprogram

Begrepet "utvikling av dataprogram" kan brukes for å referere til aktiviteten til programmering, som er prosessen med å skrive og vedlikeholde kildekoden. Med bredere syn inkluderer dette også design og test og så videre.[15]

Før å utvikle et dataprogram må man ha en god plan som viser hvordan dataprogrammet lages, slik at hele prosessen blir effektiv og ikke kostbar. Det er mange forskjellige prosesser for å utvikle et dataprogram. I forbindelse med oppgaven lages prosessen for utvikling av dataprogrammet, vist i figur 3.1.

Målet

Det handler om hvorfor programmet utvikles, hvordan programmet utvikles og hvordan brukere skal bruke det. Dette er skrevet i innledningen om dataprogrammet skal utvikles for å kontrollere kapasitet av betongskall, og programmet lages av MATLAB, og programmet kan brukes med manual.

Kode

Kode er viktig for å utvikle et dataprogram fordi den handle om hvordan programmet skal utføre en kommando. I oppgaven lages all kode ifølge metoden, som var nevnt i avsnitt 2.5. Koden til programmet trenger et verktøy for å lages, inkludert valg av programmeringsspråk, følgende av språkets regler /syntaks og skrivning en programkode som utfører det som har blitt planlagt. Disse vil presenteres i avsnitt 3.2 og 3.3.

Design

Design av dataprogrammet inkluderes en del informasjon, som går på å definere arkitekturen, komponentene, grensesnittene og andre trekk ved et system eller en komponent. I oppgaven legges det vekt på brukergrensesnitt ved bruk av ett verktøy. Det er beskrevet i avsnitt 3.4.

Verifikasjon

Verifikasjon betyr test. Når programmet er ferdig, må det prøvekjøres. Dette steget ligger vanligvis etter kode, fordi det er lettere å rette opp og å finne feil når kode kan kjøres. Men hvis dataprogrammet skal garantert kunne kjøres riktig, er det best å gjøre verifikasjoner av både kode og design, som er ferdig. Det blir vist i kapittel 4. Hvis det er noen problemer med kode eller design, kan man gå tilbake til å justere og rette opp.

Bruksmanual

Det handler om hvordan brukere kan bruke dette programmet. I tillegg skal den også beskrives egenskaper til programmet. Brukermanual er også en viktig del av prosessen for utvikling av programmet. Dette blir vist i et eget kapittel 5. Jo mer brukere kan bruke programmet, jo mer bruksverdi for dem ut av det.

Vedlikehold

I ett nytt program kan det oppdages mange feil eller flere krav til programmet, når programmet kjøres. Så det trenger en å korrigere og utviklere. Noen ganger kan det

føre til at hele prosessen for utvikling av dataprogrammet utføres en gang til, hvis en trenger å legge til ny funksjon. Vedlikehold i oppgaven blir som videre arbeid.

3.2 Introduksjon av MATLAB

Opgaven er å utvikle et dataprogram for å beregne kapasitet av betongskall. Dataprogrammet trenges først å skrive i språket C++, all ligninger som vist i avsnitt 2.5 må implementeres, etterpå utvides kodene til et skikkelig dataprogram. Om programmet skal fungere, er det i store grad avhengig av kode.

Hele dataprogram skal utvikles og lages i MATLAB-programmet. Det er fordi at MATLAB(Matrix Laboratory) er et omfattende matematikkprogram med eget scriptspråk basert på C++, og det er et høynivå matrisespråk, som inneholder en rekke verktøy, for eksempel kontrolloppgaver, funksjoner, datastrukturer, input og output, og objekt-orienterte programmeringsfunksjoner. MATLAB kan utvides med verktøykasser (toolboxes), dvs. at det kan utvikle et program i MATLAB. I prinsippet kan man gjøre alt med MATLAB som en kan gjøre med C++. Programmet er et av de mest brukte matematiske programvarene blant ingeniører. Som for eksempel, denne oppgaven om å lage programmet til å beregne betongkonstruksjon. [16]

Fra erfaringer, MATLAB som ett utviklingsverktøy med eget scriptspråk, er lettere å bruke for nybegynnere enn andre programmer. Språket i MATLAB er mer enkel i forhold til språket i de andre programmene, slik at det blir mer praksis for en som ikke kan MATLAB før, å utføre sine egne tanker i MATLAB uten store problem.

I oppgaven er det to viktige verktøyer i MATLAB som blir mest benyttet, script i M-file og GUI(graphical user interface). Script i M-file blir benyttet i kode, og GUI blir benyttet til å formere grensesnitt for dataprogram. I tillegg brukes funksjon i M-file også for å lage kode.

Script-file er den enkleste form for MATLAB og kan samle sekvenser av kommandoer i egne filen. Når filen er kjørt, leser MATLAB kommandoer og utfører dem nøyaktig i kommandovinduet. Ved å skrive inn filnavnet, kan man bruke denne filen som inndata. Script har filtypen **.m**. I oppgaven utføres kapasitetskontrollen for betongskall med iterasjonsmetoden. I avsnitt 2.4 var det allerede vist at iterasjonsmetoden må gjentas til konvergens oppnår. Dette kan utføres i script. I script kan en utføre kommandoer gjentatte ganger, og en kan også endre inndata under gjentatt. Så de fleste ligningene om beregning av betongskallet skal lages til kode i scripts. Detaljert informasjon blir vist i avsnitt 3.3.

I tillegg blir Funksjon i M-file også benyttet i oppgaven på grunn av at funksjon fil aksepterer en eller flere MATLAB variabler som inndata og opererer på dem på en bestemt måte, og deretter gir en eller flere MATLAB variabler som utdata. [17]

En GUI (graphical user interface) tillater brukere å utføre oppgaver interaktivt gjennom kontroller som knapper og glidebryter. [18] Etter å ha laget kode skal det utvikles et billedlig grensesnitt til et program ved bruk av GUI, dvs. at GUI gjøre programmet enklere å bruke ved å gi dem et helhetlig utseende og intuitive kontroller som trykknapper, lister, menyer og så videre. Det grafiske til programmet oppfører seg på en forståelig og forutsigbar måte, slik at en bruker vet hva som venter når en utfører en handling. Detaljert informasjoner vises i avsnitt 3.4.

3.3 Kode for dataprogram

Før å forme dataprogrammet må det lages kode for programmet. Kode er kjernen til dette dataprogrammet. Dette er fordi koden viser hvordan programmet kan utføre enkle beregninger av betongskall.

Kode trenges å programmeres i et språk. I hele kode handler det om noen viktige MATLAB-syntakser, for eksempel for-løkker, if-setning og så videre. For-løkker betyr at sekvenser av kommandoer vil gjennomføres mange ganger. If-setninger utfører et sett instruksjoner hvis en betingelse er tilfredsstilt. I avsnitt 3.3.1 vises det noen eksempler om hvordan disse syntaksene blir brukt i koden til dataprogrammet.

3.3.1 Transformer metoden til kode

I dette avsnittet presenteres noen viktige MATLAB-syntakser og de to hovedsakelige stegene i avsnitt 2.5 igjen, steg 8 og steg 12. Det skal forklares om hvordan de transformeres til programmene i MATLAB. De fleste kodene nedenfor skrives i Script-filen. Alle analyser og forklaring fokuserer på oppgaven.

I oppgaven er det viktig å bruke iterasjonsmetoden for å utføre kapasitetskontroll, og dette kan få en tilnærmet løsning (indre krefter) som konvergerer til en nøyaktig løsning (ytre krefter). I MATLAB kan det brukes for-løkker til å utføre denne prosessen. Det kan opprettes som, i figur 3.2:

```
>> for i = 1:n  
>> .  
>> .  
>> .  
>> end
```

Figur 3.2: For-løkker for iterasjon

I figur 3.2 mener n at hvert steg blir gjentatt et uendelig antall ganger. Steg fra 2 til 12 i avsnitt 2.5 trenger å gjenta mange ganger, de settes inne i apostrofene. End, som

betyr slutt, stopper for-løkker-syntaks. Så iterasjonen kan bli etablert på denne måten.

Steg 8 i kode

I steg 8 handler det om å finne spenninger i hver armeringslamell. Formulering i teorien er definert som, steg 8 i avsnitt 2.5:

$$\sigma_{s0i} = C_{s0j} \cdot \epsilon_{0j}$$

Man kan se at spenninger for armering kan bregnes, når det får tøyning fra steg 4 og C_{s0j} som er grunnlag for figur 2.9, som var vist tidligere.

I håndberegning kan en finne spenning direkte ved bruk av tøyninger for armering og tøyningsgrense i figuren. Men det medføres mer detaljer og kompleksitet, når man lager kode om spenningene i MATLAB, fordi MATLAB-syntaks må brukes. I figur 3.3 vises det hvordan en transformerer formulering i teorien til programmet i MATLAB.

```

% % % % % STEG 8
% % % % % ARMERINGSSPENNINGER FOR HVER ARMERINGSLAMELL
fprintf('steg 8')
E=2*10^5
%   fyk=500; % armeringens karakteristisk flytegrense
%   gs=1.15; % sikkerhetsfaktor
fyd=fyk/gs; % armeringens dimensjonerende flytegrense
for j=1:m
    esx=ej0(1,:j);
    esy=ej0(2,:j);
    rsxy=ej0(3,:j);

    if abs(esx)<=fyd/E
        sigma_s0(1,:j)= E* ej0(1,:j); % spenniger fo armering
    else
        sigma_s0(1,:j)=fyd.*sign(ej0(1,:j));
    end

    if abs(esy)<= fyd/E
        sigma_s0(2,:j)= E* ej0(2,:j);
    else
        sigma_s0(2,:j)=fyd.*sign(ej0(2,:j));
    end
    sigma_s0(3,:j)=0;
end
if m~=0
    sigma_s0
end

```

Figur 3.3: Steg 8 i metoden til MATLAB-syntaks

Først må en definere egenskapene til armering. Som vanlig armering blir armeringens karakteristiske flytegrense $f_{yk} = 500 \text{ Mpa}$, dimensjonerende verdi for armeringsstålets elastisitetsmodul er $E_s = 2 \cdot 10^5 \text{ Mpa}$ (her $E_s = E$ i figur 3.3). Partialfaktor for armering er $\gamma_s = 1.15$ (her $\gamma_s = gs$ i figuren). Etterpå brukes det en for-løkke for å gjenta på beregning av spenningene m ganger, hvis armering blir delt inn i m lag. Da kan dette defineres som hvert element i tøyningene for hver armeringslamell, slik at det blir lett å opprette MATLAB-syntaks for å beregne spenningene.

Som nybegynnere i MATLAB kan en ikke tenke på komplekse eller mer nøyaktige metoder for å lage kode. Så en enkel metode er at spenningene deles inn i to parter, en i x-retning og en annen i y-retning. På grunn av armering som kan tåle strekk og trykk, som vist i figur 2.9, dvs. at tøyningene for armering kan være positiv eller negativ. Det blir ikke det samme som betong med tanke på bare trykk. Så det brukes absolutt verdi for å inkludere både positiv eller negative tøyning. Ut fra figuren kan det opprette if-setning for å beregne spenningene for hver armeringslamell. Det er fordi at tøyning ligger mellom null og grensetøyning (f_{yd}/E_s), det er en stigende del, som kan bli som lineært, så spenningene kan beregnes som armeringsstålets elastisitetmodul ganger med armeringens dimensjonerende flytegrense. Når tøyning er over grensetøyning (f_{yd}/E_s), kan det bli antatt at spenningene for armeringer tilnærmet uforandret. Denne forutsetningen stemmer med figur 2.8, som var nevnt i avsnitt 2.2.3, om at når flytespenningen er nådd kommer et flyteplatå, og da er spenningen uforandret frem til en tøyning på 2-3 %. Så kan en sette spenningene er lik armeringens dimensjonerende flytegrense f_{yd} .

På grunn av at armering ligger i xy-retning, og det er ingen kombinasjoner mellom disse to retningene, så en kan sette det tredje elementet som null.

Steg 12 i kode

I steg 12 handler det om å finne nye sekantmoduler for alle betong- og armeringslameller. Formuleringene er vist i avsnitt 2.5. Her fokuserer det bare på sekantmodulene for betong. Med sekantmodulene for armering blir det lett å lage kode for i MATLAB, ifølge formuleringen på teorien, som var vist i avsnitt 2.5. For ikke-lineært oppførselen i betongen beregnes de nye sekantmodulene ved bruk av at hovedspenningene fra steg 6 deler på hovedtøyningene fra steg 5, altså E_{11} , E_{22} og E_{12} som var nevnt i materialmatrisene.

$$E_{ii} = \frac{\sigma_{p0i}}{\varepsilon_{p0i}} \quad i = 1,2$$

I forhold til formuleringen på teorien kan det bli skrevet mer kompleks kode i MATLAB. I figur 3.4 vises det hvordan en lager kode for de nye sekantmodulene for betong.

```

for i=1:n
    if sigma_p0(1, :, i) > 0.1
        E11(i) = sigma_p0(1, :, i) / ep0(1, :, i);
    elseif ep0(1, :, i) <= 0
        E11(i) = 0.1;
    elseif 0 <= sigma_p0(1, :, i) && sigma_p0(1, :, i) <= 0.1
        E11(i) = Ecm;
    else
        E11(i) = 0;
    end

    if sigma_p0(2, :, i) > 0.1
        E22(i) = sigma_p0(2, :, i) / ep0(2, :, i);
    elseif ep0(2, :, i) <= 0
        E22(i) = 0.1;
    elseif 0 <= sigma_p0(2, :, i) && sigma_p0(2, :, i) <= 0.1
        E22(i) = Ecm;
    else
        E22(i) = 0;
    end

    E12(i) = (E11(i) + E22(i)) / 2;
end

```

Figur 3.4: Steg 12 i metoden til MATLAB-syntaks

Først oppretter man en for-løkke for å utføre iterasjonen. Etterpå blir det delt i tre deler. En for å beregne E_{11} , en annen for å beregne E_{22} og E_{12} til slutt.

Det var nevnt i avsnitt 2.5 at elastisitetmodulen E_{11} er sekantmodulen i hovedretning. Så det kan bli et lineariseringsproblem, vist i figur 2.6. E_{11} kan beregnes ved bruk av at hovedspenningene deler på hovedtøyningene, hvis hovedspenningene er større enn 0,1. I avsnitt 2.2 var det nevnt at betong vanligvis bare tåler trykkpåkjenning, så i oppgaven kan det være gunstig å anta spenningene for betongen bare med hensyn på trykk, her er trykk positiv. Så for situasjonen hvor hovedspenningene er større enn 0,1, bare tenkt på trykkspenningene i betong.

E_{11} blir 0,01, hvis hovedtøyningene er mindre eller lik null. Det er fordi at denne situasjonen blir utført, når betong er i strekk, dvs. at ytre krefter er strekk, her som negativ tegn, slik at hovedtøyningene blir negativ. Når nesten alle ytre strekkrefter blir tålt av armering, sekantmodulene for betong spiller ingen rolle, men det må settes 0,01 for sekantmodulene på grunn av figur 2.4, hvor det ble vist at betongen kan overføre litt strekk og til å være sikker på at hele programmet kan utføres normalt. Ved å kjøre programmet kan det ses at E_{11} settes til 0,01, som ikke påvirker beregning av betongskall.

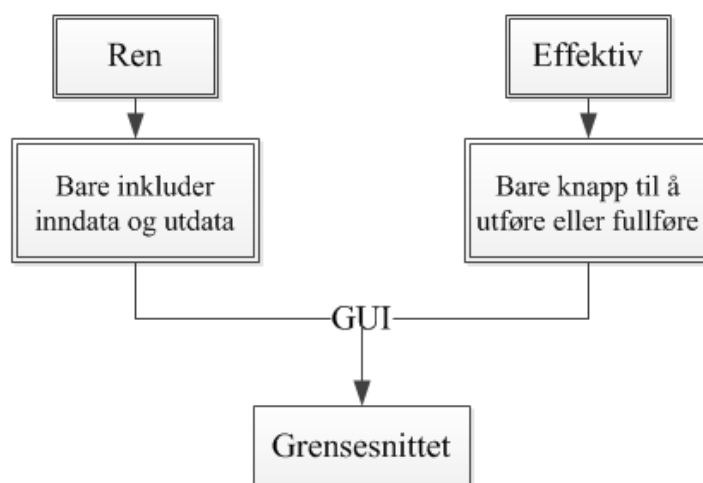
E_{11} blir E_{cm} , når hovedspenningene ligger mellom 0 og 0,1. Det er fordi at beregningsprogram i MATLAB kan regne med avrundede tall. Men E_{11} ikke faktisk er null, hvis man skriver en kommando (format long) i kommandovinduet. Dette fører til at E_{11} egentlig tilhører lineært elastisitetmodul, vist i figur 2.6. Det er derfor at E_{11} settes lik E_{cm} .

Metoden til å lage kode for beregning av E_{22} er det samme som E_{11} . E_{12} er gjennomsnitt av E_{11} og E_{22} .

3.4 Design av dataprogrammet

I dette avsnittet skal det presenteres om grensesnitt av dataprogrammet, dvs. at det skal forklares om hvordan kode i MATLAB transformeres til å forme dataprogrammet, og om strukturen til grensesnittet. For å gjøre en transformasjon må det brukes ett verktøy i MATLAB som heter GUI. Den var nevnt i avsnitt 3.1. GUI kan gjøre programmet enklere å brukes ved å gi dem et helhetlig utseende og med intuitive kontroller som trykknapper. Brukere trenger bare å bruke trykknapper til å fullføre det de vil gjøre i stedet for å se mye kompleks kode.

Det finnes mange forskjellige programmer for å beregne kapasitet av betongen i samfunnet, og de er veldig avansert og integrert. Grensesnittene deres er varierende. Grensesnittet til programmet i oppgaven lages ifølge grensesnittene til disse programmene. Strukturen til grensesnittet i oppgaven vises i figur 3.5. Grensesnittet legger vekt på renhet og effektivitet. Det er veldig rent, ingen ekstra informasjon blir lagt opp i grensesnittet. Målet i oppgaven er å utvikle et dataprogram for beregning av betongskall. Så alle informasjoner i grensesnittet handler bare om hvilke inndata skal slås inn og hvilke utdata skal vises for å beregne betongskall. Effektivitet reflekterer at funksjoner i programmet ikke er komplekse, og at det ikke er ekstra informasjon å lese i programmet slik at programmet kan kjøre så fort som mulig.



Figur 3.5: Strukturen til grensesnittet

Her bruker figurer til å forklare hvordan programmet blir designet.

Figur 3.6: Grensesnittet for inndata

Grensesnittet for inndata vises i figur 3.6. Grensesnittet er veldig rent, det består bare av fire deler, ytre krefter, betong, armering og iterasjon. Detaljene for disse fire delene blir presentert i kapittel 5. Hele grensesnitt inkluderer alle grunnleggende krav, for eksempel minimum, maksimal vindu og avgang. Grensesnittet ser ikke komplekst ut. Det er tilpasset for de fleste brukere. Hvis en ikke har erfaring med betong eller konstruksjon, kan en gjøre hvert steg for å beregne betongskall ut fra brukermanual i kapittelet 5. Når alle inndataene slås inn i, bare trykker man en knapp (Run). Dette gjør at programmet automatisk utfører oppgaver av seg selv.

For å gjøre programmet med GUI kan det bli oppsummert til følgende åtte viktige steger.

- 1) Lag plan om hvordan utseende av grensesnitt skal være
- 2) Start MATLAB, åpne GUI og velg Blank GUI
- 3) Dra en tekst boks til blank form og dobbeltklikk på tekst boksen til å endre egenskapene til boksen
- 4) Lagre grensesnitt, samme som for lagring av en vanlig fil, skriv filnavn, inputdiag.
- 5) Etter å ha lagret filen blir det automatisk slått opp ett vindu for M-filen. Legg i all kode som kan utføres i dette grensesnittet.
- 6) I samme innhold som inputdiag.m er det en fil som heter inputdiag.fig, all kode om grensesnittet legges i denne filen.
- 7) Dra alle tekstbokser og knapper som en vil lage til en blank del av grensesnittet og så endre egenskaper
- 8) Utfør tilbakekall(callback) for å fullføre grensesnittet.

Grensesnittene lages på engelsk fordi en ikke kan skrive spesielle bokstaver i GUI. Å lage grensesnittet inkluderer ikke kunnskaper om kapasitetskontroll av betongskall, så det skal ikke beskrives veldig grundig. Informasjonen om hvordan grensesnittet lages kan ses i [19].

The screenshot shows a software window titled "outputdiag" with the main title "BABS 1.0". The interface is divided into several sections for data entry:

- ec**: A box containing "max. trykk" and a percentage input field.
- es**: A box containing four input fields labeled "Asx1", "Asx2", "Asy1", and "Asy2", each followed by a percentage symbol.
- UR**: A box containing four input fields labeled "URc", "URs1", "URs2", "URs3", and "URs4", each followed by a percentage symbol.
- S0**: A box containing six input fields labeled "Nx", "Ny", "Nxy", "Mx", "My", and "Mxy", each followed by the unit "kN/m".
- Antall av iterasjon**: A separate input field for the number of iterations.
- An "OK" button is located at the bottom right of the window.

Figur 3.7: Grensesnittet for utdata

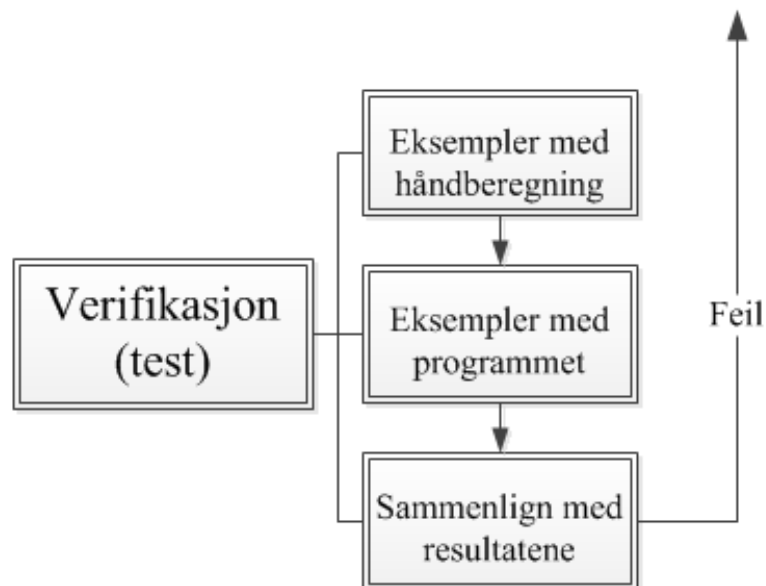
Målet til oppgaven er å utvikle et dataprogram for å kontrollere kapasitet av betongskall, altså skal det sjekke om tøyningene for betong og armering og utnyttelsesgrader for armering og betong, så i grensesnittet for utdata, som viser i figur 3.7, presenteres disse to henholdsvis av S0, ec og es. Kapasitetskontroll er utført av iterasjonsmetoden slik at dette kan få indre kraftvektor. Under konvergens kan tøyningene for armering og betong beregnes. Tøyningene viser hvor stor deformasjoner betongskall blir, når betongskall tåler med gitt ytre lastvektor. Der er også betingelser for å beregne utnyttelsesgrader for armering og betong. Ved antall av iterasjon kan det vises utføringsantall av metoden i avsnitt 2.5 før det oppnår konvergens med den gitte verdien, β . Hele grensesnittet for utdata legger også vekt på renhet og effektivitet, slik at brukere tydelig kan se resultatene.

Hvert program har sitt eget navn. Programmet i oppgaven har også sitt eget navn som heter BABS 1.0. Det er forkortelse for beregning av betongskall. Navnet for programmet reflekterer også at programmet er enkelt og effektivt. Med forbedring og videre utvikling kan navnet bli endret til BABS 2.0 eller 3.0 senere.

4 Verifikasjon

Verifikasjon for programmet er en underdisiplin av programutvikling, og er en aktivitet som utføres for å evaluere og forbedre kvaliteten til programvare ved å identifisere defekter og problemer. [20] På grunn av at det er veldig viktig for oppgaven, så settes det et eget kapittel til å verifisere programmet BABS 1.0.

Nivå av verifikasjon er vanligvis fire deler, enhetsprøver, integrasjonsprøver, systemprøver og overtakelsesprøver. [20] Men verifikasjon blir forenklet i oppgaven, på grunn av at programmet bare er i prøvingsfase. Så programmet blir ikke verifisert ifølge verifikasjonsnivåene. Prosessen for verifikasjon i oppgaven blir delt i tre deler, som vist i figur 4.1. En må først dimensjonere noen enkle eksempler og beregne for hånd, slik at en kan kjenne nøyaktige resultater med håndberegninger for å verifisere programmet. Deretter brukes programmet til å beregne de samme eksemplene som har vært beregnet på hånd. Til slutt skal en sammenligne resultatene av disse to metodene. I hvert enkelt eksempel kan det verifiseres om kode i dataprogrammet er riktig eller ikke. Hvis resultatene fra programmet ikke stemmer med resultatene fra håndberegning, må en indentifisere feil og gå tilbake til kode eller design for å rette opp, som var vist i figur 3.1. Hvis alle enkle eksemplene er korrekte, kan en fortsette til å dimensjonere noen vanskelige eksempler for å teste egenskaper til programmet. Jo flere ulike eksempler programmet prøver å utføre, jo mer bedre blir programmet på grunn av at en kan finne flere feil eller problemer i programmet.



Figur 4.1: Prosessen for verifikasjon

4.1 Eksempler med aksialkraft og bøyemoment

Ut fra prosessen for verifikasjonen skal det presenteres tre enkle eksempler med kjente løsninger i oppgaven. Tre eksempler blir først beregnet for hånd, og etterpå brukes programmet til å beregne dem. Til slutt skal en sammenligne med resultater for disse tre eksemplene. Hvis resultatene fra dataprogrammet stemmer med resultatene fra håndberegning, skal det utføres to ekstra komplekse eksempler, en som har kjente løsninger fra håndberegning og en annen som vist i [4] uten håndberegning for å verifisere programmet.

Verifikasjon kan ikke alltid fullstendig identifisere alle feil innen programmet. Disse tre eksemplene kan sjekke programmet i tre ulike sider. I det første eksempelet er det bare en ytre kraft som er trykk, $-N_x$, slik at den kan sjekke om det er riktig for kode til betong. I det andre eksempelet vises det at betongskallet tåler en ytre kraft som er strekk, N_x med to armeringslameller. Dette kan da sjekke om kode til armering er riktig eller ikke. Det er fordi at betongen antas nesten ikke å tåle strekk, som vist i avsnitt 2.3.3, all strekk blir tålt av armering. I det siste eksempelet er den ytre kraften et bøyingsmoment, M_x med en armeringslamell som ligger underkant for å tåle strekk, slik at det kan være forventet å sjekke om kombinasjon av betongskall i strekk og trykk og armeringer.

For å oppnå de forventelige verifikasjonene ovenfor må en få beregningsresultat i hvert enkelt eksempel med håndberegningen for å sammenligne med resultat fra dataprogrammet, BABS 1.0. I det første eksempelet er resultatet en spenning for betongen, når betongen bare er påkjent av trykk. Det forventes at spenningen fra BABS 1.0 er lik fra håndberegningen, slik at det kan verifiseres at kode til betong skal bli riktig. I det andre eksempelet skal resultatet være spenninger for armering og indre kraft. Det er forventet at spenningene og den indre kraften fra dataprogrammet er lik med resultatene fra håndberegningen. Gjennom det tredje eksempelet kan BABS 1.0 sjekkes av resultatene fra spenning for betongen og tøyning for armering.

De tre enkle eksemplene tilhører spesielle situasjoner. For de første to eksemplene er det bare en ytre kraft som virker på betongskall, så det kan se ut betongskall som en betongsøyle, særlig første eksempel, er det samme som betongprøvestykker med trykkfastheten. I det tredje eksempelet skal betongskall bli som en bjelke med en ren bøyning.

Disse tre eksemplene skal dimensjoneres under bruddgrensetilstanden. I denne tilstanden bestemmes konstruksjonsdelenes kapasitet mot brudd ved beregning på grunnlag for materialenes tøyningsegenskaper og dimensjonerende fastheter.

Beregningsforutsetninger i tre eksempler gjøres som følgende[11]:

- Full heft mellom betong og armering
- Naviers hypotese gyldig

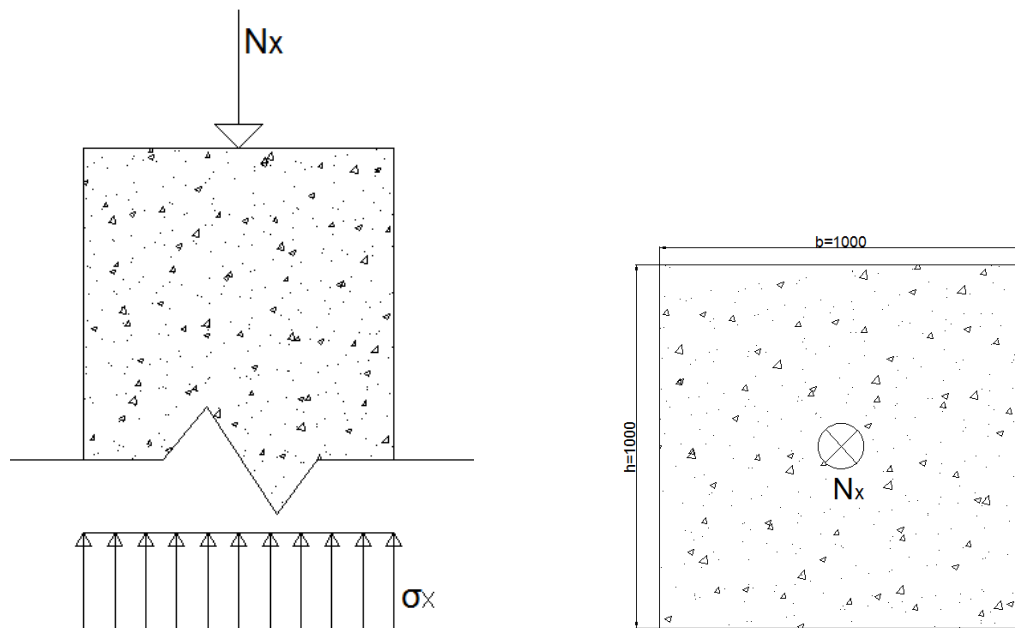
- Spennings- og tøyningsegenskaper etter EC2, 3.1.7
- Det ses bort fra betongens strekkfasthet

I oppgaven skal det ikke forklares hvordan formuleringene som brukes i eksemplene kommer ut. De fleste formuleringene i håndberegninger er ut fra EC2 og [11]. Symbolene i formuleringene er lagt i symbollisten.

4.1.1 Eksempel 1 med håndberegning

I det første eksemplet er det forutsatt en sentrisk aksialkraft som blir påkjent på betong. På grunn av at betong har en meget stor fasthet for trykk sammenlignet med strekk, kan betong bli antatt å tåle trykk uten å ha armeringer til å forsterke.

For å få resultatet om spenningen i betongen, σ_x , dimensjoneres tverrsnittet av betongskall som kvadrat $1000 * 1000 \text{ mm}^2$, som vist i figur 4.2 og betongs- og armeringsmaterial skal henholdsvis være B30 og B500NC. Ved bruk av forholdet mellom den ytre kraften, N_x og arealet, A_c kan en beregne spenningen i betongen.



Figur 4.2: Betong i trykk og betongtverrsnittet

Material:

Betong: B30

Armering: B500NC

Betongtrykk:

$$N_x = -1000 \text{ kN} = 10^6 \text{ N (negativ for trykk)}$$

Areal for betong:

$$A_c = b \cdot h = 1000 \cdot 1000 = 10^6 \text{ mm}^2$$

Spenning for betong:

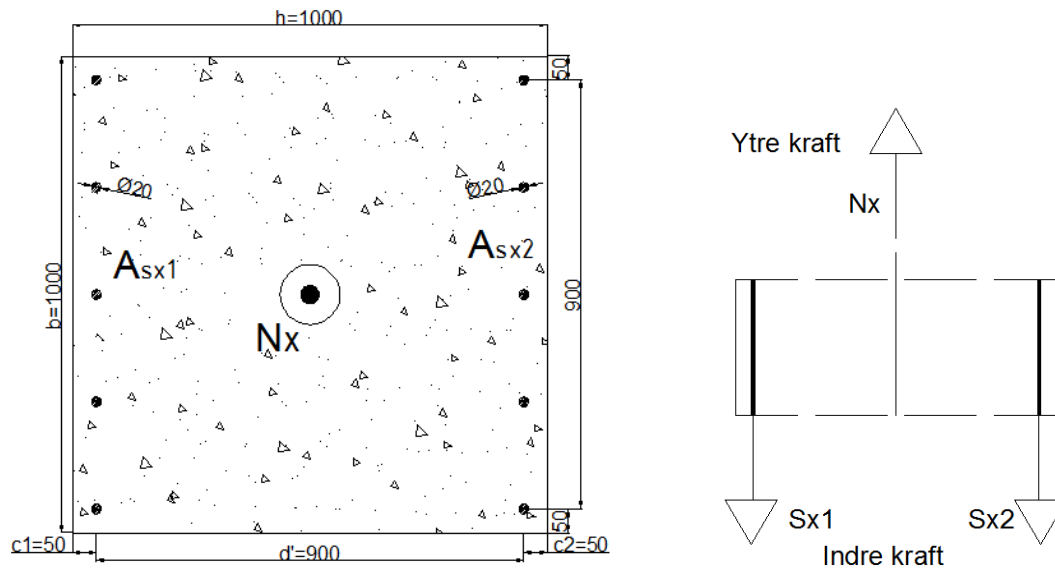
$$\sigma_x = \frac{N_x}{A_c} = \frac{-10^6}{10^6} = -1 \text{ N/mm}^2$$

4.1.2 Eksempel 2 med håndberegning

Det dimensjoneres at en strekk virker på betongen i dette eksempelet, og fastheten i betongen er B30 med armeringer, B500NC. På grunn av at betongen nesten ikke kan tåle strekk, er det antatt at armeringer skal tåle den ytre kraften, dvs. at betongens strekkfasthet ses bort fra.

Samme som det første eksempelet dimensjoneres tverrsnittet av betongen som kvadrat $1000 \cdot 1000 \text{ mm}^2$. Mens det er to armeringslameller, hver lamell ligger ved siden av betongens side. Avstand fra betongskanten til tyngder av armeringene er 50 mm . Diameter for armeringene er 20 mm , og hver lamell har fem armeringer, det totale arealet for hver lamell er 1000 mm^2 , dvs. at $A_{sx1} = A_{sx2} = 1000 \text{ mm}^2$, som vist i figur 4.3.

Det var nevnt at eksempelet får to resultater, som skal benyttes til å sammenligne med resultatene fra BABS 1.0, spenningen for armeringene, σ_s og indre kraft, S_x . Spenningen og indre kraften skal henholdsvis beregnes på forholdet mellom den ytre kraften og arealet for armeringene, og forholdet mellom arealet for armeringene og spenningen. Betongen får ingen virkning, så den ytre kraften er lik sum av de indre kreftene for armeringene.



Figur 4.3: Armert betong i strekk

Material:

Betong: B30

Armering: B500NC

Armering:

$$5\phi 20 \rightarrow A_{sx1} = A_{sx2} = 1000 \text{ mm}^2$$

Dimensjonerende fastheter:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,85 * \frac{30}{1,5} = 17 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434 \text{ N/mm}^2$$

Flytetøyning for armeringsstål:

$$\varepsilon_{yd} = f_{yd}/E_s = \frac{434}{2 \cdot 10^5} = 0,00217$$

Strekraft:

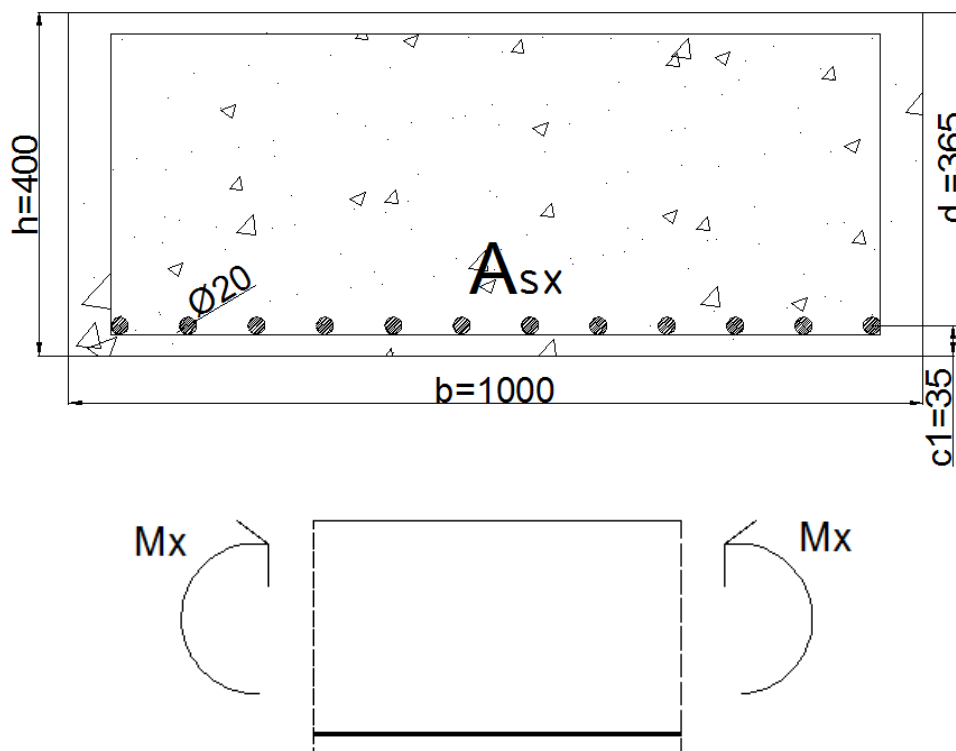
$$N_x = 500 \text{ kN} = 500\,000 \text{ N (positiv for strekk)}$$

Spenning for armering:

$$\sigma_s = \frac{N_x}{(A_{sx1} + A_{sx2})} = \frac{500 \cdot 10^3}{1000 + 1000} = 250 \text{ N/mm}^2$$

Indre kraft:

$$S_x = S_{x1} + S_{x2} = (\sigma_{s1} \cdot A_{sx1}) + (\sigma_{s2} \cdot A_{sx2}) = 500 \text{ kN}$$

4.1.3 Eksempel 3 med håndberegning**Figur 4.4:** Armert betong i bøyningmoment

Figur 4.4 viser en armert betongbjelke med rektangulært tverrsnitt $1000 \times 400 \text{ mm}^2$. Bjelket er påkjent av et rent bøyemoment, M_x , som representerer lastvirkning med lastfaktorer i bruddgrensetilstanden. Det er tjue armeringer som ligger i underkant i betongbjelket, avstanden fra underkanten i betongen til tyngden i armeringen er 35 mm . Og diameter for armeringene er 20 mm , det totale arealet for armeringene, A_{sx} , er 3768 mm^2 .

Egentlig kommer dette ekempelet fra [11]. Ekempelet i [11] beregner ut betongtrykksjonens momentkapasitet ut fra gitt tverrsnitt med armering. I oppgaven endres momentkapasitet som ytre moment, slik at dette kan sjekke virkninger av det armerte betongbjelket, altså at det kan beregne ut betongstøyningen. I tillegg ble bredden av tverrsnittet utvidet til 1000 mm (1 m). Materialene for betongen og armeringene er uendret i forhold til [11], og er også det samme som de to første eksemplene, B30 og B500NC.

Gjennom dette eksempelet kan det fås to resultater, som skal brukes for å sammenligne med resultatene fra BABS 1.0, spenningen for betongen i global x-retning, σ_c og tøyningen for armering, ε_s .

Material:

Betong: B30

Armering: B500NC

Armering:

$$12\phi 20 \rightarrow A_{sx} = 12 \cdot 314 = 3768 \text{ mm}^2 / m$$

Dimensjonerende fastheter:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,85 * \frac{30}{1,5} = 17 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434 \text{ N/mm}^2$$

Flytetøyning for armeringsstål:

$$\varepsilon_{yd} = f_{yd}/E_s = \frac{434}{2 \cdot 10^5} = 0,00217$$

Ytre kraften (bøyningsmoment):

$$M_x = 516 \text{ kNm/m}$$

$$M_x = T_c \cdot z \rightarrow M_x = T_c \cdot (d - 0,5 \cdot \lambda \cdot \alpha \cdot d)$$

Indre momentarm, z:

$$z = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot \alpha \cdot d \rightarrow z = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot \alpha \cdot d$$

$\lambda = 0,8$ for fasthetsklasse \leq B50

trykksonehøydefaktor: $\alpha = \frac{x}{d}$

Balansert armeringstverrsnitt bestemmes:

$$\alpha_b = \frac{\varepsilon_{cu}}{(\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd})} = \frac{0,0035}{0,0035 + 0,00217} = 0,617$$

$$A_{s,b} = \lambda \cdot \eta \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot d \cdot \alpha_b = 0,8 \cdot \frac{17}{434} \cdot 1000 \cdot 365 \cdot 0,617 = 7057 \text{ mm}^2$$

Dvs.: $A_s < A_{s,b} \rightarrow$ Tverrsnitt er underarmert

Aktuell α finnes derfor av lign $\lambda \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d \cdot \alpha - f_{sd} \cdot A_s$

$$0,8 \cdot 17 \cdot 1000 \cdot 365 \cdot \alpha - 434 \cdot 3768 = 0$$

Dette gir: $\alpha = 0,329$

Trykkraft:

$$T_c \cdot z \rightarrow M_x = T_c \cdot (d - 0,5 \cdot \lambda \cdot \alpha \cdot d)$$

$$T_c = \frac{M_x}{d - 0,5 \cdot \lambda \cdot \alpha \cdot d} = \frac{516 \cdot 10^6}{365 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,329 \cdot 365} = 1627935N = 1628kN$$

Spenning for betong i globalt x-retning:

$$\sigma_c = \frac{T_c}{\lambda \cdot \alpha \cdot d \cdot b} = \frac{1627935}{0,8 \cdot 0,329 \cdot 365 \cdot 1000} = 16,95 N/mm^2$$

Tøyning for armering:

$$\varepsilon_s = \frac{1 - \alpha}{\alpha} \cdot \varepsilon_{cu} = \frac{1 - 0,329}{0,329} \cdot 0,0035 = 0,0071$$

4.2 Eksempelene med BABS 1.0

Her skal programmet BABS 1.0 brukes for å utføre de samme eksemplene som var beregnet i avsnittet 4.1.1 for å verifisere om kvaliteten til programmet. Det forventes at resultatene fra BABS 1.0 blir lik med resultatene fra håndberegningen.

Alle tre eksemplene blir i bruddgrensetilstanden, slik at det er antatt at effekter i de to hovedretningene, x og y-retningen, ikke er koblet, dvs. tverrkontraksjonstallet $\nu = 0$ antas å være i samsvar med vanlige dimensjoneringsprinsipper i EC 2, altså at det tilpasser de tre eksemplene for hånd. I tillegg er det valgt å dele betongskalltykkelse i 100 lameller, $n = 100$. Og konvergens av løsningen er valgt når største relative avvik mellom ytre og indre kraft er 0,001.

Materialdata for betongen og armeringene er det samme som eksemplene med håndberegningene, B30 og B500NC, som inndataene. Inndataene for materialkoeffisientene er også i samsvar med håndberegningene, $\gamma_c = 1,5$ og $\gamma_s = 1,15$. I tillegg er sikkerhetsfaktor for betong $\alpha_{cc} = 0,85$.

Detaljsinndataene og utdataene for disse tre eksemplene vises i vedlegg B, her vises det bare de viktige resultatene. Spenningene for betongen og armeringene ligger ikke i

grensesnittet for utdata, det skyldes at kapasitetskontroll legger vekt på utnyttelsesgrader for betong og armeringer avhengig av tøyningene for betongen og armeringene. Hvis en gjerne vil sjekke spenningene for betongen eller armeringene, kan en se brukermanual i kapittelet 5.

4.2.1 Eksempel 1 med BABS 1.0

Ut fra dataene i eksempelet med håndberegningen kan inndata slås inn direkte til BABS 1.0. Den ytre trykkraften, $-N_x$ (trykk er negativ) er inndata.

Tabell 4.1: Resultatene fra BABS 1.0

	Armering [mm^2/m]
A_{sx1}	0
	Spenning [N/mm^2]
σ_c og σ_p	-0,99

I tabell 4.1 vises det at hovedspenningen for betong i et globalt xy-system er det samme som hovedspenningen i et lokalt system. Dette er fordi hovedretningen er null, som vist i avsnitt 2.5. Så begge to er $-0,99 N/mm^2$. På grunn av at betongen tåler trykk, som er i samsvar med eksempelet for hånd, er det ingen armeringer som er lagt inn i betong, $A_{sx1} = 0$. (Armeringsmengden er ikke som utdataene, altså resultat, den er bare inndata for å forklare reaksjonen for armering, når betong er i trykk.)

4.2.2 Eksempel 2 med BABS 1.0

I dette eksempelet finnes armeringer også som inndataene. Tabell 4.2 viser resultatene til eksempelet fra BABS 1.0.

Tabell 4.2: Resultatene fra BABS 1.0

	Armering [mm^2/m]	Spenning [N/mm^2]
A_{sx1}	1000	249,94
A_{sx2}	1000	249,94
	Spenning [N/mm^2]	
σ_c og σ_p	0	

	Indre kraft [kN/m]
N_x	- 499,88

På grunn av at strekkfastheten for betongen er satt lik null, fører det til at både den generelle spenningen og hovedspenningen for betong er null (begge to er like, samme årsaken som eksempelet 1), $\sigma_c = 0$ og armeringene, A_{sx1} og A_{sx2} , tåler strekk N_x (strekk er positive). Spenningene for begge lameller er $249,94 \text{ N/mm}^2$. (Armeringsmengden er ikke som utdataene, altså resultat, den er bare inndata for å forklare reaksjonen for armering, når betong er i strekk.)

4.2.3 Eksempel 3 med BABS 1

Bøyemomentet, $M_x = 516 \text{ kNm/m}$ og armeringen $A_{sx1} = 3768 \text{ mm}^2/\text{m}$ er inndata.

Tabell 4.3: Resultatene fra BABS 1.0

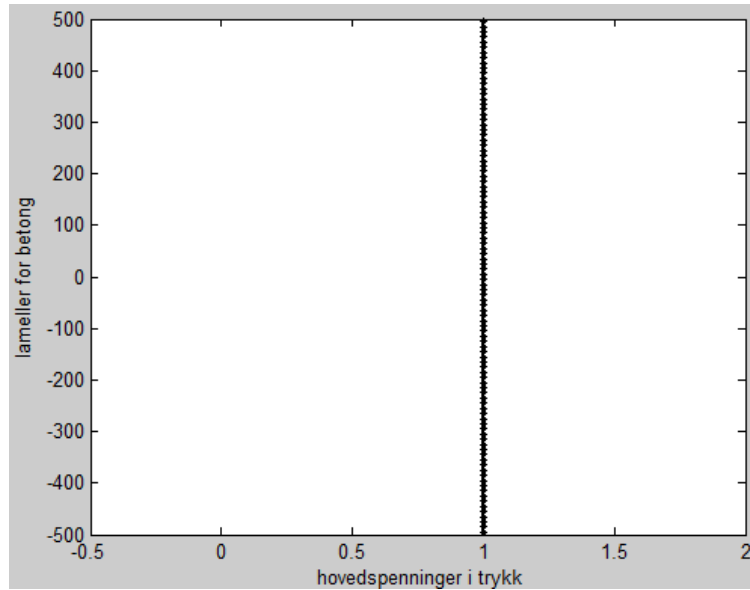
	Armering [mm ² /m]	Tøyning [‰]
A_{sx1}	3768	5,4
	Spenning [N/mm ²]	
σ_c	-17	

Etter å ha slått inn inndataene til BABS 1.0, kan resultater fås fra BABS 1.0, som vist i tabell 4.3. For armeringsarealet $A_{sx1} = 3768 \text{ mm}^2/\text{m}$ er tøyningen for armeringen 8,0 ‰. Trykkspenningen er $\sigma_c = -17 \text{ N/mm}^2$. (Armeringsmengden er ikke som utdataene, altså resultat, den er bare inndata for å forklare reaksjonen for armering, når betong er påkjent med bøyemomentet.)

4.3 Sammenlign med resultatene

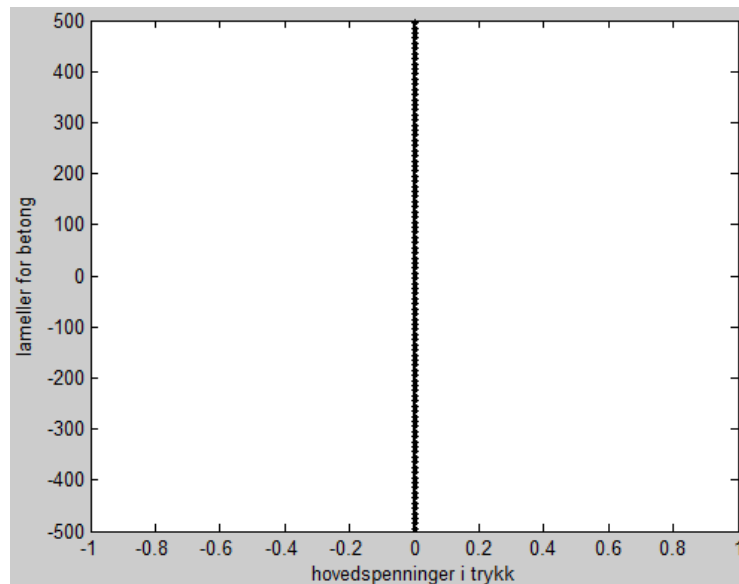
Verifikasjonene virker å være en grei test, med stort sett forventede og fornuftige resultatene.

I det første eksempelet kan en se at resultatet, som er spenningen for betongen, er lik i begge to metoder. Det vises også i figur 4.5 om spenningen for betongen i BABS 1.0. Spenningen i all betongslameller er lik $0,99 \text{ N/mm}^2$ ($\approx 1 \text{ N/mm}^2$). Så en kan si at koden til betongen er riktig.



Figur 4.5: Hovedspenning i trykk for betong

I det andre eksempelet kan en se at resultatet for armeringsspenningen fra BABS 1.0 er lik med håndberegning. Forskjellen kan være at beregning fra MATLAB er mer nøyaktige, de beholder mange desimalnummer under beregninger. I figur 4.6 vises det at hovedspenningene i trykk for all betongslameller er lik null, slik at det er tilpasset for forutsetningen om at strekkfastheten for betongen er null. Så kan det verifiseres at kode til armering er riktig.

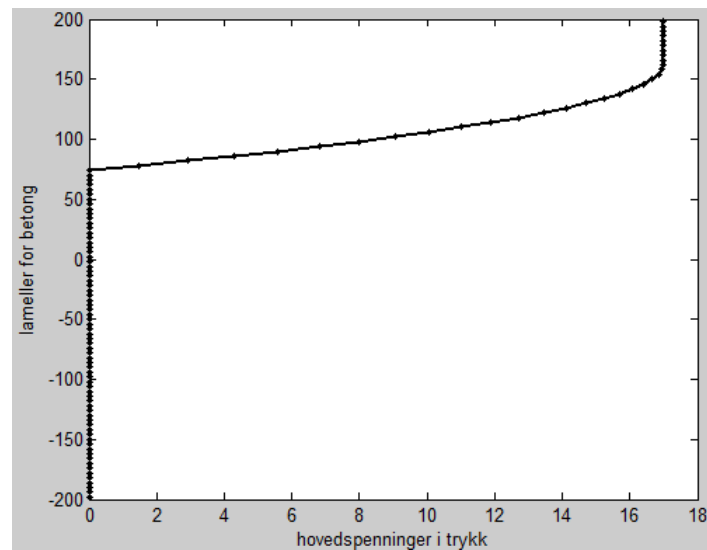


Figur 4.6: Hovedspenning i trykk for betong

I det tredje eksempelet er resultatet for armeringstøyningen fra BABS 1.0 litt forskjellig fra håndberegningen på grunn av at betongen deles i 100 lameller og konvergenzkriterium, β er $\beta = 0,001$. Hvis konvergenzkriterium blir 0,0001, blir

armeringstøyningen 6 ‰, så det stemmer med teorien som var nevnt i avsnitt 2.4.2, jo mer β økes, desto mer nøyaktig blir resultatet.

Figur 4.7 viser at resultatet for hovedtrykkspenningene for betongen. Indre moment er med urviseren, så trykket ligger opp, og strekk ligger under nøytralaksen. Fra figuren kan en se at den maksimale hovedtrykkspenningen er 17 N/mm^2 (her er trykket positiv for å se tydelig) som er i samsvar med håndberegningen. Under nøytralaksen er hovedspenningene for betongen null. Det skyldes at bare armeringene blir påkjent av strekk, altså strekk i betong er null.



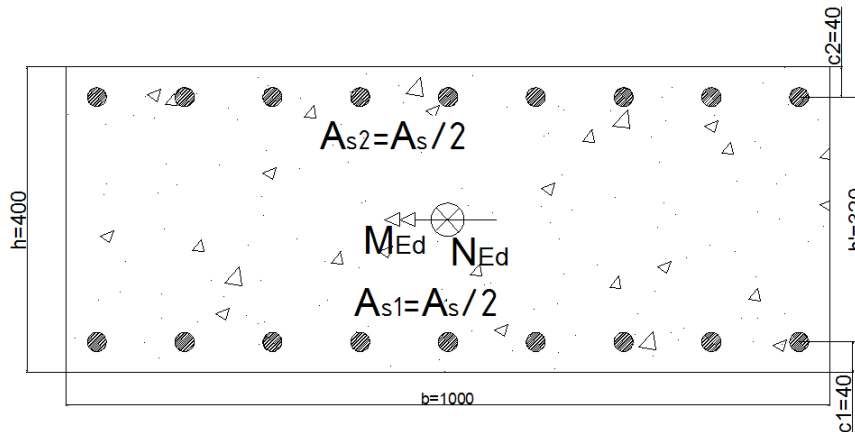
Figur 4.7: Hovedspenning i trykk for betong

4.4 Eksempler med kombinasjon av skallkrefter

Gjennom de tre øvrige enkle eksemplene mot kjente løsninger kan det se at programmet BABS 1.0 kan utføre noen enkle beregninger med tilsvarende riktige svar, så en kan prøve å utføre to vanskeligere eksempler for å verifisere programmet riktighet og sjekke kapasitetskontroll.

4.4.1 Første eksempel

Her er det første eksempelet om kombinasjoner av to ytre krefter, N_x og M_x med to armeringslameller i x-retning for å teste programmets riktighet. Dette eksempelet kommer egentlig også fra [11]. Oppgaven i [11] er om trykkbrudd i betong samtidig med flytning i armering. I forhold til eksempelet må data i oppgaven [11] endres litt for å tilpasses BABS 1.0. Resultatene om aksialkraften og momentet her blir inndata. Og bredden av tverrsnittet blir 1000 mm (1m). I dette eksempelet gjelder følgende for å beregne ut tøyningene for betongen og armeringene:



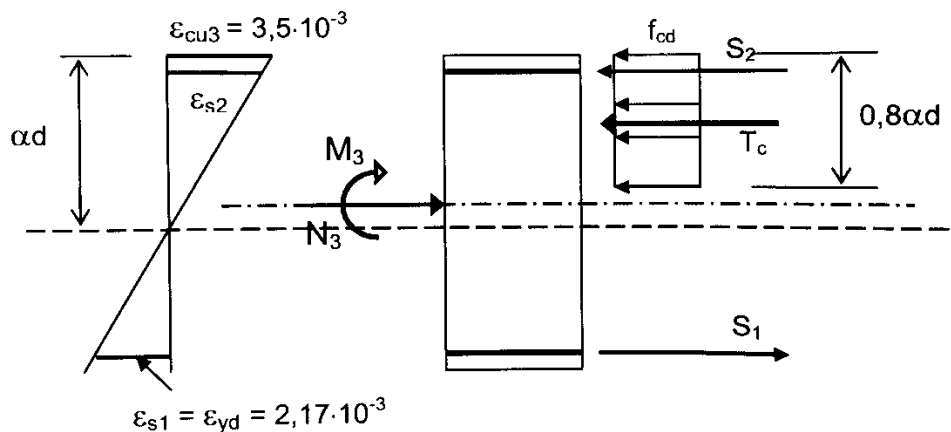
Betong: B30
Armering: B500C
 $A_{s1} = A_{s2} = 4190 \text{ mm}^2/\text{m}$
 $N_x = 3020 \text{ kN/m}$
 $M_x = 1017 \text{ kNm/m}$

Figur 4.8: Tverrsnitt med symmetrisk armering

Figur 4.8 viser tverrsnittet med symmetrisk armering, materiale egenskaper og ytre krefter. Tverrsnittet er $400 \times 1000 \text{ mm}^2$, og avstanden fra betongkantene til tyngde av armeringene er 40 mm . På grunn av at bredden blir 1000 mm , blir de ytre kreftene og armeringene endret til per meter i forhold til oppgaven i [11].

For trykkbrudd i betong samtidig med flytning i armering vises det nedenfor i figur 4.9:

Bruddkriterium B, $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu3}$ og $\varepsilon_s = \varepsilon_{yd}$



Figur 4.9: Tøyningstilstander for kombinert moment og aksialkraft

I figuren ovenfor kan det ses at den største tøyningen i betongen er $\varepsilon_{cu3} = 3,5 \cdot 10^{-3}$, og tøyningen for den første armeringslamellen er $\varepsilon_{s1} = 2,17 \cdot 10^{-3}$, som er den dimensjonerende flytetøyningen. Ved kombinasjonen av tøyningstilstandene og tverrsnittet kan tøyningen for den andre armeringslamellen ε_{s2} beregnes [11]:

$$\text{Trykksonehøyde: } \alpha d = \frac{3,5}{3,5+2,17} \cdot d = 0,617d = 222,1 \text{ mm}$$

$$\text{Tøyning i den andre armeringslamellen: } \varepsilon_{s2} = \frac{222,1-40}{222,1} \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} = 2,87 \cdot 10^{-3}$$

Alle resultatene fra håndberegningen er vist i tabell 4.4

Tabell 4.4: Resultater fra håndberegningen

	Armering [mm ² /m]	Tøyning [‰]
A_{sx1}	4190	(-)2,17
A_{sx2}	4190	2,87
	Tøyning [‰]	
$\varepsilon_c (\varepsilon_{cu3})$	3,5	

Etter å ha fått resultatene fra håndberegningen brukes BABS 1.0 til å utføre det samme eksempelet. I programmet antas det at tøyningbrudd for betongen er ε_{cu2} , men her er ε_{cu3} , fordi material er B30 i eksempelet, ε_{cu2} er lik med ε_{cu3} , slik at det har ingen virkning. De fleste dataene som vist i figur 4.8 blir slått inn i BABS 1.0. Detaljerte inndata vises i vedlegg B. I tillegg er det valgt å dele betongskalltykkelse i 100 lameller, $n = 100$, og konvergensen til løsningen er valgt når største relative forskjell mellom ytre og indre kraft er 0,01. Resultatene fra BABS 1.0 vise i tabell 4.5.

Tabell 4.5: Resultater fra BABS 1.0

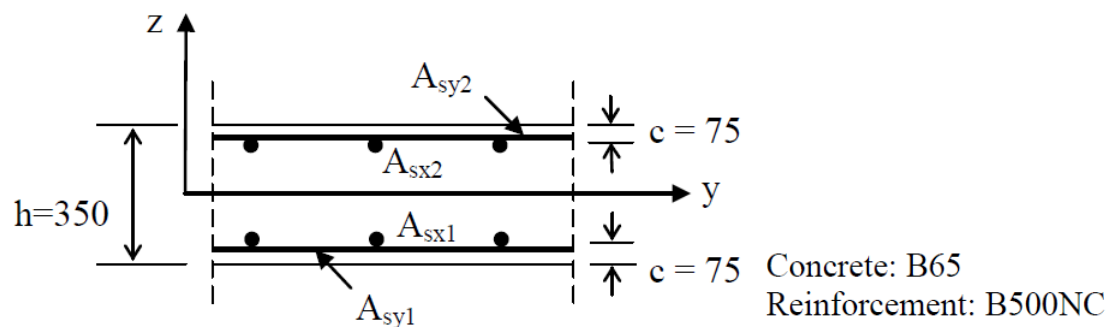
	Armering [mm ² /m]	Tøyning [‰]
A_{sx1}	4190	- 2,2
A_{sx2}	4190	2,8
	Tøyning [‰]	
$\varepsilon_c (\varepsilon_{cu3} = \varepsilon_{cu2})$	3,4	

Sammenligning av de to resultatene vises at de nesten ikke er forskjellige. Det største avviket er 0,0001, så dette kan bli akseptert. Forskjellen kan skyldes at flere desimalnummer beholdes i BABS 1.0, slik at resultatene i BABS 1.0 blir mer nøyaktig enn håndberegningen. Eller fordi det gjøres optimalt for sekantmodulene som var nevnt i avsnitt 3.3.1 for å tilpasse kode i MATLAB. På grunn av at A_{sx1} og den største trykktøyningen i betongen ligger opp på nøytralaksen, er tøyningen for

A_{sx1} negativ, $-2,2 \text{ ‰}$ (her bestemt trykk er negativ), og tøyningen for A_{sx2} er positiv, $2,8 \text{ ‰}$. Når betongen i trykksone er fullt utnyttet, blir den største trykktøyningen $\epsilon_c = -3,4 \text{ ‰}$. Gjennom dette eksempelet kan det bevises at BABS 1.0 kan utføre denne slags oppgaven uten problem.

4.4.2 Andre eksempel

Her skal det vises et gammelt eksempel fra [4]. På grunn av at det er slitsomt å beregne ett vanskelig eksempel på hånd, beregnes resultatene for dette gamle eksemplet også med programmet som har blitt produsert og godkjent av institusjonen. Resultatene fra dette programmet skal brukes som kjente løsninger til å sammenligne med resultatene fra BABS 1.0.



Stress resultants:		$A_{sx1} = 5570 \text{ mm}^2/\text{m}$
$n_x = 4127 \text{ kN/m}$	$m_x = -38 \text{ kNm/m}$	$A_{sy1} = 1289 \text{ mm}^2/\text{m}$
$n_y = 250 \text{ kN/m}$	$m_y = 70 \text{ kNm/m}$	$A_{sx2} = 5365 \text{ mm}^2/\text{m}$
$n_{xy} = -464 \text{ kN/m}$	$m_{xy} = 3 \text{ kNm/m}$	$A_{sy2} = 1241 \text{ mm}^2/\text{m}$

Figur 4.10: Bruplate i kassebærerbru [4]

Figur 4.10 viser et snitt av ei kassebærerbru i armert betongskall med detaljert informasjon. Materialdata for betong og armeringer og snittkrefter fra FEM-analyse er også vist i figuren. Iterasjonsmetoden krever de langsgående armeringene som inndata, som vist i figur 4.10.

Samme som de andre eksemplene antas det enakset forhold for spenning-tøyninger i betong og armeringer fra [9], dvs. at tverrkontraksjon er lik null, $\nu = 0$. Konvergenstkriterium $\beta = 0,001$, her det er litt strengere enn vanlig, som $\beta = 0,01$. I tillegg er det valgt å dele skalltykkelsen i 100 lameller.

Etter å slå inn i all inndata som vist i figur 4.10, brukes BABS 1.0 til å beregne betongskall. Det viser at likevekten mellom ytre og indre kraftvektor er oppnådd etter 357 iterasjoner, som vist i vedlegg B. Tabell 4.6 og tabell 4.7 viser henholdsvis resultater fra det godkjente programmet og fra BABS 1.0 om den maksimale hovedspenningen og hovedtøyningen i trykk for betongskall.

Tabell 4.6: Resultater fra det godkjente programmet

	Spenning i trykk [MPa]	Tøyning i trykk [‰]
Betong	12	0,4

Tabell 4.7: Resultater fra BABS 1.0

	Spenning i trykk [MPa]	Tøyning i trykk [‰]
Betong	11,07	0,5

Fra ovenfor tabellene kan det ses at den maksimale hovedspenningen og hovedtøyningen ikke er veldig forskjellig mellom disse to programmene. Forskjellen kan være grunnet ulike desimalnummer i MATLAB, eller forskjellige metoder for å lage kode.

På tabeller 4.8 og 4.9 nedenfor vises det spenningene og tøyningene i armeringene fra det godkjente programmet og BABS 1.0 med begynnende armeringsmengder. Resultatene fra to programmer er nesten ikke forskjellige, slik at det kan verifiseres at programmet som utvikles i oppgaven kan også brukes til litt vanskelige oppgaver og gi relativt gode resultater.

Tabell 4.8: Resultater om armeringslameller fra det godkjente programmet

	Armering [mm ² /m]	Spenning [N/mm ²]	Tøyning [‰]
A_{sx1}	5570	401	2,0
A_{sy1}	1289	435	3,1
A_{sx2}	5365	435	4,1
A_{sy2}	1241	262	1,3

Tabell 4.9: Resultater om armeringslameller fra BABS 1.0

	Armering [mm ² /m]	Spenning [N/mm ²]	Tøyning [‰]
A_{sx1}	5570	401,65	2,0
A_{sy1}	1289	434,78	3,2
A_{sx2}	5365	434,78	4,2
A_{sy2}	1241	262,24	1,3

BABS 1.0 er laget for å utføre kapasitetskontroll. Kapasitetskontroll i dette eksempelet kan vurderes ved bruk av utnyttelsesgrad av armeringstøyninger. De tøyningene i tabell 4.9 deles på dimensjonerende flytetøyningen, $\varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$, som er ut fra [4], da kan en få utnyttelsesgraden for hver armeringslamell, som vist i tabell 4.10.

Tabell 4.10: Utnyttelsesgrader for hver armeringslamell fra BABS 1.0

	Utnyttelsesgrad [%]
A_{sx1}	92
A_{sy1}	194
A_{sx2}	148
A_{sy2}	60

I tabell 4.10 vises det at armeringer ikke er fullt utnyttet, slik at det vil si at tverrsnittet av betongskallet ikke er fullt utnyttet. Dette gjelder både A_{sx1} og A_{sy2} . Armeringen i y-retning i lag 2 er bare 60 % utnyttet. Så det er mulig å redusere armeringsmengde, men en kan ikke direkte optimalisere totale armeringene i iterasjonsmetoden, på grunn av at reduksjon av armeringsareal i en lamell i en retning kan påvirke reaksjoner i uforandret armering og betong ut fra prøv i BABS 1.0 og [4].

Armeringsarealer A_{sy1} og A_{sx2} er over fullt utnyttet med å dele på dimensjonerende flytetøyning. Det stemmer ikke med spenningene for A_{sy1} og A_{sx2} , som viser at begge to er akkurat fullt utnyttet i forhold til dimensjonerende armeringsspenningen. I figur 3.3 vises det at det er rette linje etter flytegrense i dimensjonerende spenning-tøyningskurve for armeringsstålet, altså armeringsspenningen økes ikke med økende armeringstøyning, slik at en ikke kan definere bruddtøyningen som $\varepsilon_{ud} = 3 \text{ ‰}$ ved dimensjonering, [11] og ideell flytning der det ikke er nødvendig å påvise grensetøyningen. [11] Dette gjør at den dimensjonerende armeringsspenningen ikke brukes tilpassende for å sjekke om armering blir mot brudd, eller den dimensjonerende flytetøyningen som øker uendelig når det brukes for å bestemme utnyttelsesgraden til armeringen. Men i forhold til spenning er det best å bruke armeringstøyning, fordi det kan være lett å definere et punkt som tøyningssbrudd for armeringen.

Vanlig praksis er å velge armeringstøyning ved brudd som er større enn den dimensjonerende flytetøyningen, altså underarmert. Fordelen med dette er at konstruksjonen framviser en viss seighet før brudd. Dette fører til at en kan få forvarsel om brudd gjennom relativt store deformasjoner og synlige riss. Vanlig praksis i Norge er en armeringstøyning ved brudd, $\varepsilon_{ud} = 2\varepsilon_{yk} = 0,005$. [11] Så det antas at denne verdien blir som bruddtøyning i oppgaven for å sjekke utnyttelsesgradene av armeringene.

Tabell 4.11: Utnyttelsesgrader med endret tøyningsgrense fra BABS 1.0

	Utnyttelsesgrad [%]
A_{sx1}	40
A_{sy1}	64
A_{sx2}	84
A_{sy2}	26

Etter å ha antatt armeringstøyning ved brudd, $\varepsilon_{ud} = 2\varepsilon_{yk} = 5\text{‰}$ i stedet for $\varepsilon_{yd} = 2,17\text{‰}$, kan en få at utnyttelsesgrad for armeringen er under fullt utnyttet, som vist i tabell 4.11.

For å øke utnyttelsesgrad av armering, altså øke utnyttelsesgrad av tverrsnittet, antas det at armering i y-retning i lag 2 reduserer til $500\text{ mm}^2/m$. I tillegg endres tøyningbrudd til å bli $\varepsilon_{ud} = 0,005$. Den maksimale hovedspenningen og hovedtøyningen i trykk for betongen er vist i tabell 4.12.

Tabell 4.12: Resultater for betong fra BABS 1.0

	Spenning i trykk [MPa]	Tøyning i trykk [‰]
Betong	16,68	0,78

I forhold til tabell 4.6 kan det ses i tabell 4.12 at begge verdier øker relativt, men det er ennå veldig lav. Utnyttelsen i trykk er veldig lav siden all armeringene på topp og bunn i begge retninger er i strekk. [4]

Tabell 4.13 viser utnyttelsesgradene for armeringene med redusert armeringsmengde i en retning.

Tabell 4.13: Utnyttelsesgrader for hver armeringslamell fra BABS 1.0

	Utnyttelsesgrad [%]
A_{sx1}	42
A_{sy1}	47
A_{sx2}	186
A_{sy2}	76

Tabell 4.14: Resultater etter endret armering fra BABS 1.0

	Armering [mm ² /m]	Spenning [N/mm ²]	Tøyning [‰]
A_{sx1}	5570	423,70	2,12
A_{sy1}	1289	434,78	2,34
A_{sx2}	5365	434,78	9,32
A_{sy2}	500	434,78	3,78

Det kan tydelig ses at utnyttelsesgradene av armeringene som vist i tabell 4.14 blir som helhet høyere enn tabell 4.9, mens tøyningene også blir høyere, som vist i tabellen. Men det er et lite problem med utnyttelsesgraden av armeringen på topp armering i x-retning, hvor tøyningen er 9,32 ‰. Det gjør at opprisset i betongskallet ikke møter bruksgrensetilstanden. Beregningene av betongskallet utføres i bruddgrensetilstanden, derfor opprisset i bruksgrensetilstanden skal ikke diskuteres.[4]

Fra kapasitetskontroll i eksempelet kan det ses at utnyttelsesgrad av tverrsnittet blir høyere ved bruk av redusert armeringsmengde, når armeringene ikke er fullt utnyttet. Bruddtøyningen $\varepsilon_{ud} = 0,005$ er bare en anbefalingsverdi, og den har ikke fått fullstendig bekreftelse fra relevante institusjoner. Så den kan bli videre arbeid.

5 Brukermanual for beregningsprogrammet

5.1 Introduksjon

Etter å ha utført verifikasjonene for dataprogrammet, BABS 1.0, kan det bekreftes at BABS 1.0 kan brukes til å utføre noen enkle eksempler. For å la brukere kunne prøve dette programmet og kunne finne ut problem for å oppdatere under vedlikeholde, bør en lages brukermanual til programmet. Kapittel 5 skal vise brukermanualen for BABS 1.0. Det inkluderes generelle informasjonen for BABS 1.0, hvordan BABS 1.0 kommer i gang, hvordan BABS 1.0 brukes og resultatene fra BABS 1.0. I tillegg er det noen spesielle situasjoner i BABS 1.0 som må ta hensyn på. Brukermanualen er tilpasset for to ulike grupper mennesker. En gruppe har ikke kunnskaper om betong eller konstruksjon, dvs. at de ikke vet hvordan programmet utføres oppdrag men de kan bruke brukermanualen for å utføre enkel beregninger. En annen gruppe som er godt kjent med betongkonstruksjoner, kan utføre programmet mens de kan finne ut dataprogrammetsproblemer for å justere.

5.2 Generell informasjon

Funksjon

Oppgaven fokuserer på kapasitetskontroll av tverrsnitt påkjent av skallkrefter. Ved programmet som utvikles i oppgaven, kan det beregne ut indre kraftvektor, tøyninger for betong og armeringer og utnyttelsesgrad for å kontrollere kapasitet av betongskall. I tillegg kan programmet vise iterasjonsantall. Det er et brukervennlig dataprogram som beregner kapasiteten.

Egenskapet for programmet

Gjennom eksemplene i forrige kapittel kan det ses at programmetsnøyaktighet er relativt god for tilnærmet løsninger. På grunn av at nøyaktig er fire desimaler i MATLAB, kan man at resultatene fra programmet er mer nøyaktig enn fra håndberegning.

Tiden for å kjøre programmet er varierende basert på nøyaktighet. Jo mer nøyaktighetskrav det er, desto mer tida må det konsumeres, f. eks. hvis betongskall blir delt i

mer lameller eller beta β blir gitt under 0,00001, vil programmet BABS 1.0 trenge mer tid enn ovenfor eksemplene. I tillegg kan tida i BABS 1.0 koste litt mer i forhold til andre programmer på grunn av at resultatene for hvert steg i metoden ble vist i kommandovinduet for å sjekke riktighet for hvert steg.

Manipulasjonen for programmet er veldig enkel, det handler ikke om kompleks grensesnittet eller vanskelig prosedyre for å kjøre programmet. Som testkjøring utfører programmet i oppgaven bare under MATLAB, dvs. at programmet BABS 1.0 ikke kan brukes uten MATLAB. Så fleksibilitet for programmet trenger å forbedre i fremtida. Det blir skrevet til videre arbeid.

Grunnleggende prinsipp og metode til å oppfylle prinsipp

Prinsippet til programmet som var nevnt i avsnitt 2.4.2, er å bruke iterasjonsmetoden som er en metode for ikke-lineær tverrsnittsanalyse av skallsnitt til å kontrollere kapasitet. ved å gjennomføre repetisjon av metoden, som var nevnt i avsnitt 2.5, fører det til at resultatene, som er forhold mellom ytre- og indre kraftvektor, i integrasjonsprosessen konvergerer til en gitt verdi.

For å oppfylle prinsippet ovenfor kan MATLAB programvaren brukes. Den kan utføre iterasjon og forme programmet ved bruk av syntaks og GUI- funksjoner i MATLAB.

Systembeskrivelse

Programmet i oppgaven blir laget og brukes under MATLAB. Versjon for MATLAB er høyere enn 2009b. Det minste systemkravet for 2009b er som vist i tabell 5.1.

Tabell 5.1: Systemkravet for 2009b

	32-bit MathWorks Produksjon	64-bit MathWorks Produksjon
Operasjonssystem	Windows XP Service Pack 2 or 3	Windows XP x64 Service Pack 2
Prosesor	Intel Pentium 4 og ovenpå	Intel Pentium 4 og ovenpå
Diskplass	680 MB* (MATLAB bare)	1024 MB* (MATLAB bare)
RAM	1024 MB (minst 2048 MB anbefalt)	1024 MB (minst 2048 MB anbefalt)

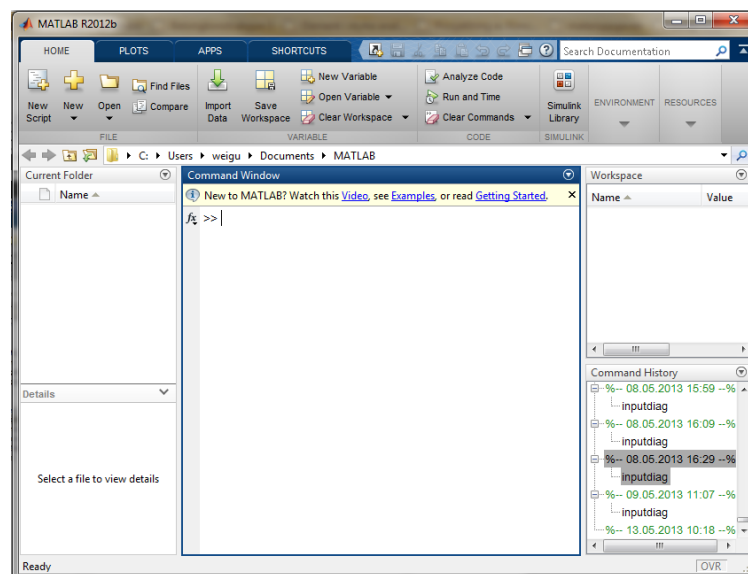
Referanse

Alle kilder til å lage programmet er vist i referansen. Det handler om f. eks. bok for MATLAB [21] og informasjoner som er hentet fra internett.


5.3 Hvordan komme i gang

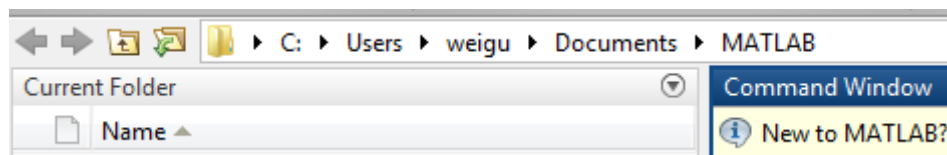
Som var sagt må programmet BABS 1.0 kjøres under MATLAB, det vil si at BABS 1.0 kan kun komme i gang av MATLAB. Her skal det presenteres om hvordan BABS 1.0 åpnes. Hele bruksanvisningen i kapitlet 5 brukes MATLAB 2012b som den nyeste versjonen for MATLAB.

Før start av programmet BABS 1.0 må det først være sikker på at mappen for BABS 1.0 har frigjort fra komprimert fil, BABS 1.0 og er inn i datamaskinen. Etterpå må MATLAB 2012b åpnes, vist i figur 5.1.




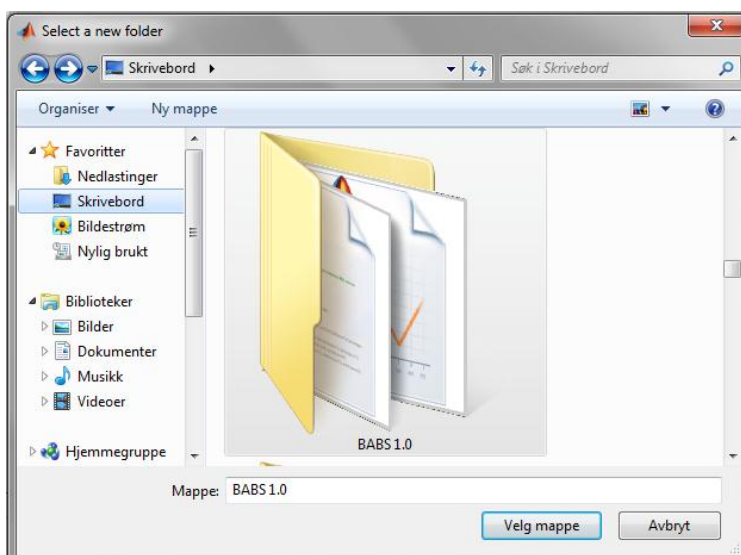
Figur 5.1: Grensesnittet for MATLAB 2012b

For å åpne mappen for BABS 1.0 må det finne ut bane for mappen, trykk på  (bla gjennom mapper) i grensesnittet for MATLAB, vist i figur 5.2.



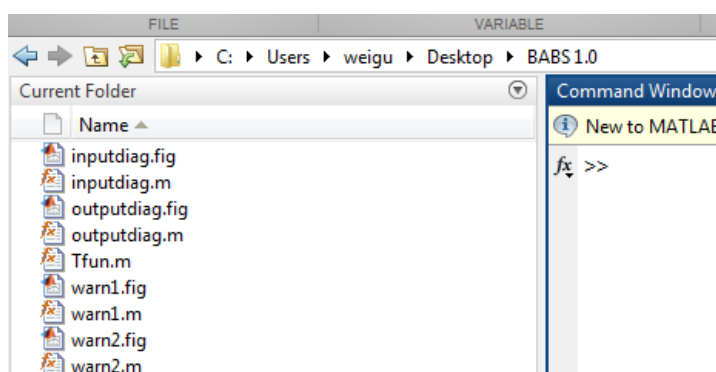
Figur 5.2: Bla gjennom mapper

Etter å trykke på  skal et vindu automatisk åpnes, valg av en ny mappe (select a new fold). Velg bane for BABS 1.0 og trykk på velg mappe, vist i figur 5.3.



Figur 5.3: Vinduet for valg av en ny mappe

Alle dokumenter i mappen for BABS 1.0 skal vises i aktuell mappe (current folder), vist i figur 5.4.



Figur 5.4: Dokumenter for BABS 1.0 i aktuell mappen

I kommandovinduet skrives det inn i inputdiag og trykkes på Enter, som vist i figur 5.5. Programmet BABS 1.0 skal automatisk åpnes, som vist i figur 5.6. Figur 5.6 er det samme som figur 3.6 om grensesnittet for inndata.



Figur 5.5: Grensesnittet for kommandovinduet

Figur 5.6: Grensesnittet for programmet BABS 1.0

5.4 Hvordan BABS 1.0 brukes

Etter å ha startet programmet BABS 1.0 kan brukere begynne å benytte det til å utføre kapasitetskontroll for betongskall. I dette avsnittet skal det presenteres om hvordan BABS 1.0 skal brukes til å utføre en oppgave. Det handler om hvilke inndata skal slås inn i, hvor de skal settes og hvilke utdataene skal fås. For å forklare grundig skal det kombinere med tidligere eksemplet i avsnitt 4.4.2.

I eksemplet har det fått spenningsresultatene fra FEM analyse. Spenningsresultatene er ytre kraftvektor som er inndataene i oppgaven. I grensesnittet for inndata, som vist i figur 5.6 representeres R som ytre kraftvektor, og spenningsresultatene som inndataene, er skrevet under R, som vist i figur 5.7. Programmet defineres at trykk er negativ og strekk er positiv, definisjonene er tilpassende for vanlig standard.

R		
Nx	4127	kN/m
Ny	250	kN/m
Nxy	-464	kN/m
Mx	-38	kN/m
My	70	kN/m
Mxy	3	kN/m

Figur 5.7: Ytre kraftvektor

Figur 5.7 viser også at enheter for skivekrefter er kilonewton per meter (kN/m) og momenter er kilonewtonmeter per meter (kNm/m). All enheter er per meter, det skyldes at tverrsnittet for betongskall i programmet blir som et element med en meter i bredden. Hvis enhetene for kreftene og momentene henholdsvis er newton per millimeter (N/mm) og newtonmillimeter per millimeter (N/m), må de henholdsvis gange med $\frac{10^{-3}}{10^{-3}}$ (kN/m) og $\frac{10^{-3} \cdot 10^{-3}}{10^{-3}}$ (kNm/m).

Betong	
h	350 mm
c1	75 mm
c2	75 mm
fck	65 MPa
acc	0.85
gc	1.5
n	100
v	0

Figur 5.8: Inndataene for betong

Etter at man er ferdig med å skrive inn i inndataene for ytre kraftvektor, skal en slå i inndataene for betong. Figur 4.8 viser tverrsnittet til eksempelet. Høyden til tverrsnittet er 350 mm , så det skal skrives ved siden av h i grensesnittet. c1 og c2 er henholdsvis avstand fra nedre til tyngdepunktet i underkantarmring, og avstand fra øvre rand til tyngdepunktet i overkantarmring. Generelt kan c1 og c2 ha forskjellige avstander, men de er samme som 75 mm i eksempelet. Den karakteristiske trykkfastheten for betongen B65 i eksempelet er 65 MPa , så det skrives inn i blank ved siden av fck. Det er mer valg for trykkfastheten i [9]. For å ta hensyn til at virkning av langtidslast reduserer trykkfastheten og ugunstige virkninger, må trykkfastheten multiplisere med en faktor acc, og det er vanlig 0,85, som vist i [9]. I tillegg til acc må den karakteristiske trykkfastheten også multiplisere med materialfaktor på grunn av sikkerhet, mest vanlig er $gc=1,5$. Materialfaktoren for betongen finnes i [9]. n i figur 5.8 representerer antall lameller i betongskallet. Det kan anslås av brukere, her antas betong 100 lameller. Jo mer stor antall lameller det er, desto mer nøyaktige resultatene beregnes det ut til slutt. Men dette fører til å konsumere mer tid for å få resultatene. v er kontraksjonstallet i figur 5.8. For å tilpasse forutsetningen om effekter i de to hovedretningene er ikke koblet, vist i figur 2.7, blir v null ($v=0$).

Armering					
Asx1	<input type="text" value="5570"/>	mm ² /m	Asx2	<input type="text" value="5365"/>	mm ² /m
Asy1	<input type="text" value="1289"/>	mm ² /m	Asy2	<input type="text" value="1241"/>	mm ² /m
Esx	<input type="text" value="200000"/>	MPa	Esy	<input type="text" value="200000"/>	MPa
fyk	<input type="text" value="500"/>	MPa	gs	<input type="text" value="1.15"/>	
m	<input type="text" value="4"/>				

Figur 5.9: Inndataene for armeringer

Figur 5.9 viser alle inndata om armeringer, som trenges å slå inn. Asx og Asy er henholdsvis areal for armeringer i x- og y-retning. Asx1 og Asy1 er under skallmiddelflaten, og Asx2 og Asy2 er opp på skallmiddelflaten. I eksempelet har Asx to lameller Asx1 og Asx2, som henholdsvis er $5570 \text{ mm}^2/\text{m}$ og $5365 \text{ mm}^2/\text{m}$. Asy har også to lameller Asy1 og Asy2, som henholdsvis er $1289 \text{ mm}^2/\text{m}$ og $1241 \text{ mm}^2/\text{m}$. Det må legges vekt på enheten for armeringsarealene, som er millimeter i kvadrat per meter, mm^2/m . Det skyldes også at bredden i tverrsnittet er en meter. Hvis det ikke stemmer med denne enheten, må det endres. Armeringsstålet i eksempelet er B500NC, så dette stålet har en karakteristisk fasthet, $\text{fyk}=500 \text{ MPa}$. Materialkoeffisient for armeringsstål, gs, er mest vanlig 1,15, som vist i [9].

Som vist i figur 2.9 er Esx og Esy elastisitetsmoduler i global xy-system, og de har samme verdi som er 200000 MPa .

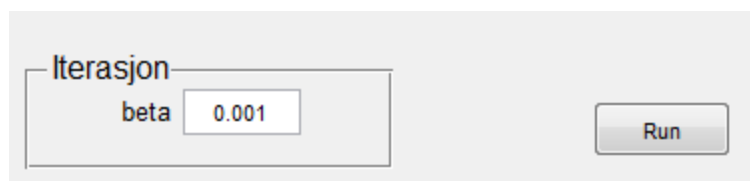
m i figur 5.9 representeres antall lameller i armering. I eksempelet vises tverrsnittet at det er fire lameller, så det skrives inn i $m = 4$. Men det er noen spesielle situasjoner for m, som må legges vekt på. Det skyldes at armeringsarealer i global x- og y-retning er henholdsvis skrevet vektor i koden, som vist i figur 5.10.

```
Asx=[Asx1/1000 Asx2/1000 0/1000 0/1000]; % armeringsareal i x-retning
Asy=[0/1000 0/1000 Asy1/1000 Asy2/1000]; % armeringsareal i y-retning
```

Figur 5.10: Armeringsareal vektor

Armeringsareal i global x- og y-retning som vektor blir lettere satt inn i stivhetsmatriksene for armering, K_{s0} , som vist i avsnittet 2.5, men dette fører til at Asy1 og Asy2 ligger på de tredje og fjerde elementene i vektoren, og det er null armeringsarealer på de første og andre elementene i vektoren. Hvis det skrives $m=2$ uten armeringsarealer i global x-retning, kan programmet ikke utføres en oppgave, på grunn av at de første og andre for-løkkene (for-løkker fra 1 til m) i K_{s0} bare er tilsvarende til armeringsarealene i global x-retning, og armeringsarealene i global y-retning virker på de tredje og

fjerde løkkene. Så dette må settes m som er lik fire, $m=4$, hvis det bare er armeringsarealer i global y-retning.



Figur 5.11: Likevektstoleranse for iterasjon

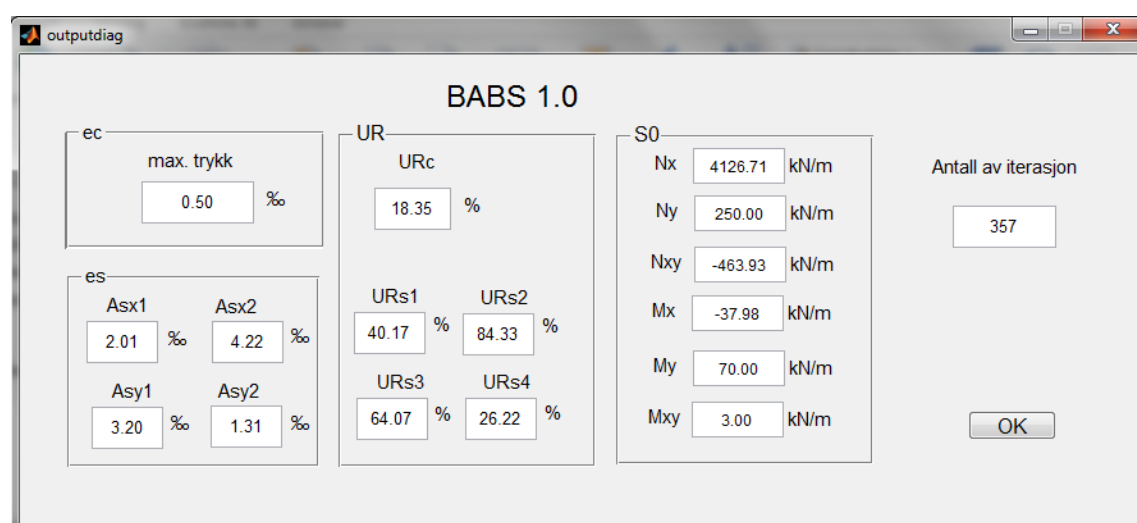
Beta, β , representeres en valgt likevektstoleranse eller konvergenzkriterium, som sammenlignes med den maksimale relative forskjellen mellom komponentene av indre og ytre kraftvektor. Denne verdien kan bestemmes av brukere, mest vanlig $\beta = 0,01$. Jo flere desimaler for β , desto mer nøyaktige blir resultatene for tøyningene, spenningene og indre kraftvektor beregnes det ut.

Etter å ha slått inn alle inndataene i grensesnittet kan en trykke på knappen, Run, for å utføre beregning for kapasitetskontroll, som vist i figur 5.11.

5.5 Hvilke resultater vises i BABS 1.0

Alle utdataene som resultater vises i figur 5.12. Det handler om tøyninger for betong og armering, utnyttelsesgrader for betong og armering og indre kraftvektor. I tillegg er det også antall løkker for iterasjonsmetoden.

Resultatene har blitt diskutert i eksemplene, her skal de ikke presenteres i detalj, men det skal forklares hva de egentlig mener for hver forkortelse.



Figur 5.12: Resultatet for BABS 1.0

S0 representerer indre kraftvektor, det inkluderes samme antall krefter og moment som ytre kraftvektor på grunn av at S0 skal sammenlignes med ytre kraftvektor R med en gitt verdi. Det er en standard til å sjekke om beregningen av kapasitetskontroll er konvergens, som vist i figur 2.11.

Når indre kraftvektor konvergerer til ytre kraftvektor, sjekkes det tøyninger for betong og armeringer. ϵ_c representerer betongstøyning. Under ϵ_c vises det den maksimale hovedtøyningen i trykk for betonglamellen. ϵ_s betyr tøyninger for armeringer. I ϵ_s brukes ϵ_{sx} og ϵ_{sy} henholdsvis for å representere tøyninger for forskjellige armeringslameller.

Å vise tøyningene for betongen og armeringene er å sjekke reaksjon for begge to, altså deformasjoner for betong og armeringer. Tøyningene kan også brukes for å vise nyttelsesgrader for betong og armeringer. UR betyr utnyttelsesgrad. UR_c og UR_s representeres henholdsvis utnyttelsesgrader for betong og armeringer. Det er fire armeringslameller i eksempelet, så vises det fire armeringstøyninger.

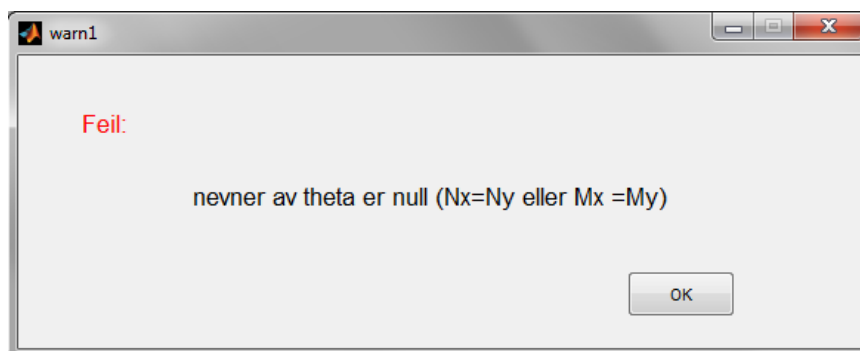
5.6 Spesiale situasjoner (ukonvensjonell prosess)

I dette avsnittet skal det diskuteres om to spesielle situasjoner, en som er program-metsproblem og en annen som er hvordan det foregår, hvis iterasjon ikke er konvergens.

Løsninger i oppgaven til disse to situasjonene kan ikke være de best metodene, men det kan diskuteres mer i fremtidsarbeid. Det blir som en del av videre arbeid. For brukerne, som er flink med betongkonstruksjon og å lage kode, kan de se dette avsnittet, slik at de kan forbedre programmet.

Situasjonen om $N_x = N_y$ eller $M_x = M_y$:

Hvis skivenormalkrefter i global xy-system er like, $N_x = N_y$ eller bøyemomenter i global xy-system er like $M_x = M_y$, skal programmet automatisk til å slå opp ett vindu, som vist i figur 5.13.



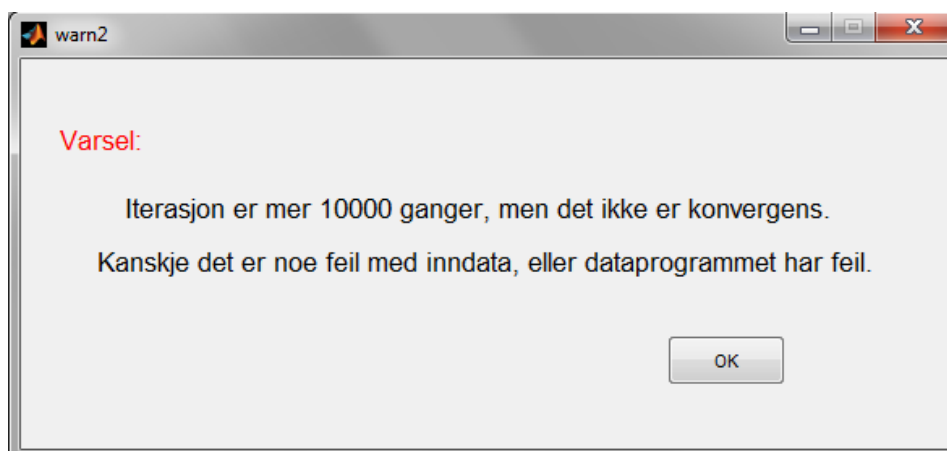
Figur 5.13: Varsel om feil

Det skyldes at hovedretningene i steg 5 av metoden, som vist i avsnitt 2.5, er uløst, altså at tøyningene i global xy-system er like. Dette gjør nevner i inversjon av tangent er null, slik at hovedretningen er uendelig. Men dette ikke stemmer med praksis. Hvis betongskall tåler trykk i begge hovedretninger (x og y-retning) og tverrkontraksjons-tallet er null, blir spenningene i trykk samme verdi i begge retninger, dvs. ikke uløst. Programmet utfører feil, så lages dette vinduet for å vise denne situasjonen. Det skal tilbake til grensesnittet for inndata med å trykke på knappen, OK.

Situasjonen om ikke konvergens:

I kode var det satt for-løkker til iterasjonen 10000 ganger. Hvis iterasjonen er over 10000 ganger, men det ikke er konvergens ennå, som vist i figur 5.14. Dette er fordi de fleste kapasitetskontrollene er iterasjonene under 10000 ganger, for eksempel at det maksimale antallet er 357 ganger, tidligere på det femte eksempelet. Så 10000 ganger for iterasjonen er sikkert nok for vanlig beregning av betongskall.

Iterasjonen over 10000 ganger kan det være at programmet har noe problem eller det er noe feil med inndata. Det kan komme tilbake til å sjekke feil for inndataene ved å trykke på knappen, OK. Hvis det oppdages noe problem med programmet, kan en åpne inputdiag.m for å rette opp kode.



Figur 5.14: Varsel om ikke konvergens

5.7 Andre

Som var nevnt i avsnitt 4.1.2 er spenningene for betong og armering ikke som utdataene, vist i grensesnittet for utdata. Hvis en gjerne vil sjekke dem, kan en åpne mappe, som heter main 26 i BABS 1.0 fil, og kjøre den. All resultater vises i kommandovinduet, og så slås relative symboler inn for å finne spenningene for betong og armeringer. Det må legges merk på at det er motsatte tegner i kode, dvs. at trykk er positiv, og strekk er negativ.

6 Konklusjon

Programmet som lages i oppgaven oppnår som helhet forventende resultatene. BABS 1.0 kan utføres noen enkle beregninger av betongskallet for å kontrollere kapasitetene. Og ved å gjennomgå rapporten kan det la brukere kjenne dette programmet og kan la dem prøve å bruke.

Litteraturstudium og teorier er grunnlag for dataprogrammet. Metoden kan hjelpes til å forme strukturen til programmet. Ved bruk av håndberegningen mot kjente løsningene kan det verifiseres at metoden til å utvikle programmet er riktig, og kode i programmet er også riktig, men det ikke kan sies at kodes form i programmet er helt vesentlig, det kan optimaliseres i videre.

Ved eksemplene kan en se at prosessen av kapasitetskontroll er å bruke iterasjonsmetoden for å få konvergens mellom indre og ytre kraftvektor med gitte balanserte verdien, og å bruke den maksimale tøyningen i betongslamellene og de tøyningene for armeringslamellene under konvergens til å beregne utnyttelsesgradene av betong og armeringene for å sjekke betongskallskapasitet. Men resultatene for utnyttelsesgrad av armeringene er ikke vesentlige på grunn av at det ikke er sikkert verdi for bruddtøyningen ved dimensjoneringen. Dette fører til at resultatene er ikke helt riktige, selv om det har gitt anbefalingsverdien i oppgaven. Utnyttelsesgrad i BABS 1.0 stemmer ikke med formuleringen i teorien og kan ikke helt oppnå forventende virkningen, så utnyttelsesgrad for armeringene trengs å arbeides i videre.

Ved sammenligning mellom håndberegning og BABS 1.0 kan det ses at resultatene fra BABS 1.0 nesten ikke er forskjellige. Litt avvik kan være på grunn av to årsaker, en er at desimalsnummer i MATLAB er mer enn i håndberegning under beregningsprosessen, en annen er at optimal for sekantmodulene kan gjøre litt forskjellig med håndberegningen.

Ved sammenligning mellom de to programmene i den samme situasjonen, BABS 1.0 og det godkjente programmet, kan man se at en kan få de riktige resultatene for tøyningene og spenningene i betong- og armeringslamellene i BABS 1.0. I tillegg er antall iterasjonen i BABS 1.0 bedre enn i det godkjente programmet, dvs. at BABS 1.0 konsumerer kortere tid.

For å kunne la alle brukere prøve BABS 1.0 lages brukermanualen for ulike nivå, fra enkle informasjonene til spesielle situasjoner, slik at det kan være tilpasset for ulike grupper. Ved hjelp av brukermanualen kan en bruke BABS 1.0, i tillegg kan en også utføre vedlikeholdene og justering for BABS 1.0.

Prosessen for utvikling av BABS 1.0 er vesentlig, men BABS 1.0 som et nytt program kan ikke fullstendig utføre alle oppgaver. Det trenges å forbedre, verifisere og oppdagere i videre.

7 Forslag til videre arbeid

Her følger en liste med forslag til videre arbeider innenfor samme oppgavetema. Forslagene har enten blitt vurdert brukt i oppgaven eller tenkt som tema for videre oppgaver.

- Grundigere studie av teori om MATLAB, slik at det kan forbedre syntaks i kode og mer tilpassende for grensesnittet.
- Grundigere studie av teori om tøyningsgrense for armeringer.
- Forbedre egenskapene til programmet BABS 1.0 i de to spesielle situasjoner som har nevnt i oppgaven.
- Forbedre funksjon til BABS 1.0 om å lage sin egen lamell for hver armering.
- Lag fullstendig programmet uten å utføre under MATLAB.

Litteraturliste

-
- [1] Bernhard P. Bittig, *Plates and Shells. Lecture 12, MEEM4405, Introduction to Finite Element Analysis*, 2002.
- [2] Brekke, E. R. & Hanssen, A. S, *Beregningsmetoder for armerte betongskall*. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. 2011.
- [3] Concrete shell, [online] URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Concrete_shell#Modern_concrete_shell_construction (23.01.2013).
- [4] Jan Arve Øverli /Department of structural Engineering, TKT4222, *Concrete structures 3*, Autumn 2012, *Compendium*, 2011.
- [5] Henning Bergmann-Paulsen, *Tillatt dordiameter ved bøyning av armering*, Masteroppgaven, NTNU- Norges Teknisk- Naturvitenskapelige Universitet, juni, 2010
- [6] Norcem, *Betongboka*, Universitetsforlaget, 1995.
- [7] Wai-Fah Chen, *Plasticity in Reinforced Concrete*. J. Ross Publishing, 1982.
- [8] Bjarne Chr. Jensen, *Betongkonstruksjoner - etter DS/EN 1992-1-1*, Nyt Teknisk Forlag, 2008.
- [9] Standard Norge, NS-EN 1992-1-1: 2004 + NA: 2008, *Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner - Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger*. 2008
- [10] Linn Grepstad, *Brugarrettleiing for DIANA*, Master's thesis, NTNU – Norges Teknisk- Naturvitenskapelige Universitet, 2006.
- [11] Svein I. Sørensen. *Betongkonstruksjoner*. Tapir Akademisk Forlag, 2005.
- [12] Iterative method, [online] URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Iterative_method (15.01.2013).
- [13] Kjell Magne Mathisen, *Forelesningsnotater TKT4197 Nonlinear Finite Element Analysis*, Institutt for konstruksjonsteknikk, 2009.

-
- [14] Betten, I. K. & Johansen, S.-M. B, *Dimensjonering av betongskall*, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, 2010.
- [15] Abran, Alain; Moore, James W.; Bourque, Pierre; Dupuis, Robert; Tripp, Leonard L., *Guide to the Software Engineering Body of Knowledge*. IEEE. ISBN 0-7695-2330-7, 2004.
- [16] *MATLAB*, [online] URL: <http://baike.baidu.com/view/10598.htm> (15.02.2013).
- [17] Mark L. Fowler, *MATLAB Functions Handout*, EE521 Digital Signal Processing 2001.
- [18] MathWorks®, u.d, *MATLAB GUI, Creating Graphical User Interfaces in MATLAB*, [online] URL: <http://www.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html> (18.04.2013).
- [19] Chapman, Stephen J., *MATLAB Programming for Engineers*, Brooks Cole, 2001.
- [20] Jiantao Pan, *Software Testing*, Carnegie Mellon University, 1999
- [21] Attaway Stormy. Department of Mechanical Engineering, *MATLAB® A Practical Introduction to Programming and Problem Solving, Second edition*, Boston University, 2011.

Vedlegg A

Symboler for programmet BABS 1.0

R: ytre kreftvektor som er spenningsresultatene fra FEM analyse.

N_x : skivenormalkraften i global x-system [kN/m]

N_y : skivenormalkraften i global y-system [kN/m]

N_{xy} : skiveskjærkraften i global xy-system [kN/m]

M_x : bøyemomentet i global x-system [kNm/m]

M_y : bøyemomentet i global y-system [kNm/m]

M_{xy} : torsjonsmomentet i global xy-system [kNm/m]

h: tverrsnittshøyden [mm]

c1: avstand fra nedre rand til tyngdepunktet i underkantarming [mm]

c2: avstand fra øvre rand til tyngdepunktet i overkantarming [mm]

fck: betongens karakteristiske sylindertykkfasthet etter 28 døgn [MPa]

acc: faktoren med hensyn til at virkning av langtidslast

gc: materialkoeffisienten for betong

n: antall lameller i betongskallet

v: kontraksjonstallet

Asx1 og Asx2: armeringsareal i x-retning [mm^2/m]

Asy1 og Asy2: armeringsareal i y-retning [mm^2/m]

Esx: elastisitetsmodulen i global x-system [MPa]

Esy: elastisitetsmodulen i global y-system [MPa]

fyk: den karakteristiske fastheten for armering [MPa]

gs: materialkoeffisienten for betong

m: antall lameller i armering

Beta: β , en valgt likevektstoleranse eller konvergenskriterium

ec: presenterer betongstøyning

max.trykk: den maksimale hovedtøyningen i trykk for betonglamellen

es: tøyninger for armeringer

Asx1 og Asx2 i es: armeringstøyninger i global x-system

Asy1 og Asy2 i es: armeringstøyninger i global y-system

UR: utnyttelsesgrad

URc: utnyttelsesgrad for betong

URs: utnyttelsesgrad for armering

S0: indre kraftvektor

Antall av iterasjon: antall iterasjon

Vedlegg B

Inndata og utdata for fem eksempler i rapporten

Eksempel 1 med BABS 1.0

The screenshot shows the 'inputdiag' window for 'BABS 1.0'. It contains three main input sections: 'R', 'Betong', and 'Armering', along with an 'Iterasjon' section and a 'Run' button.

Parameter	Value	Unit
Nx	-1000	kN/m
Ny	0	kN/m
Nxy	0	kN/m
Mx	0	kN/m
My	0	kN/m
Mxy	0	kN/m
h	1000	mm
c1	0	mm
c2	0	mm
fck	30	MPa
acc	0.85	
gc	1.5	
n	100	
v	0	
Asx1	0	mm ² /m
Asx2	0	mm ² /m
Asy1	0	mm ² /m
Asy2	0	mm ² /m
Esx	200000	MPa
Esy	200000	MPa
fyk	500	MPa
gs	1.15	
m	0	
beta	0.001	

The screenshot shows the 'outputdiag' window for 'BABS 1.0'. It displays the results of the calculation, including stress, reinforcement utilization, and iteration count.

Parameter	Value	Unit
max. trykk	-0.06	%
URc	1.71	%
URs1		%
URs2		%
URs3		%
URs4		%
Nx	-999.89	kN/m
Ny	0.00	kN/m
Nxy	0.00	kN/m
Mx	-0.00	kN/m
My	0.00	kN/m
Mxy	0.00	kN/m
Antall av iterasjon	2	

Eksempel 2 med BABS 1.0

inputdiag

BABS 1.0

R	Betong	Armering
Nx <input type="text" value="500"/> kN/m	h <input type="text" value="1000"/> mm	Asx1 <input type="text" value="1000"/> mm ² /m
Ny <input type="text" value="0"/> kN/m	c1 <input type="text" value="50"/> mm	Asx2 <input type="text" value="1000"/> mm ² /m
Nxy <input type="text" value="0"/> kN/m	c2 <input type="text" value="50"/> mm	Asy1 <input type="text" value="0"/> mm ² /m
Mx <input type="text" value="0"/> kN/m	fck <input type="text" value="30"/> MPa	Asy2 <input type="text" value="0"/> mm ² /m
My <input type="text" value="0"/> kN/m	acc <input type="text" value="0.85"/>	Esx <input type="text" value="200000"/> MPa
Mxy <input type="text" value="0"/> kN/m	gc <input type="text" value="1.5"/>	Esy <input type="text" value="200000"/> MPa
	n <input type="text" value="100"/>	fyk <input type="text" value="500"/> MPa
	v <input type="text" value="0"/>	gs <input type="text" value="1.15"/>
		m <input type="text" value="2"/>
		Iterasjon
		beta <input type="text" value="0.001"/>
		<input type="button" value="Run"/>

outputdiag

BABS 1.0

ec	UR	S0	Antall av iterasjon
max. trykk <input type="text" value="0.00"/> %	URc <input type="text" value="0.00"/> %	Nx <input type="text" value="499.88"/> kN/m	<input type="text" value="1"/>
		Ny <input type="text" value="0.00"/> kN/m	
		Nxy <input type="text" value="0.00"/> kN/m	<input type="button" value="OK"/>
es	URs1 <input type="text" value="24.99"/> %	Mx <input type="text" value="0.00"/> kN/m	
Asx1 <input type="text" value="1.25"/> %	URs2 <input type="text" value="24.99"/> %	My <input type="text" value="0.00"/> kN/m	
Asx2 <input type="text" value="1.25"/> %	URs3 <input type="text" value=""/> %	Mxy <input type="text" value="0.00"/> kN/m	
Asy1 <input type="text" value=""/> %	URs4 <input type="text" value=""/> %		
Asy2 <input type="text" value=""/> %			

Eksempel 3 med BABS 1.0

inputdiag

BABS 1.0

R	Betong	Armering
Nx <input type="text" value="0"/> kN/m	h <input type="text" value="400"/> mm	Asx1 <input type="text" value="3768"/> mm ² /m
Ny <input type="text" value="0"/> kN/m	c1 <input type="text" value="35"/> mm	Asx2 <input type="text" value="0"/> mm ² /m
Nxy <input type="text" value="0"/> kN/m	c2 <input type="text" value="0"/> mm	Asy1 <input type="text" value="0"/> mm ² /m
Mx <input type="text" value="516"/> kN/m	fck <input type="text" value="30"/> MPa	acc <input type="text" value="0.85"/>
My <input type="text" value="0"/> kN/m	gc <input type="text" value="1.5"/>	Esx <input type="text" value="200000"/> MPa
Mxy <input type="text" value="0"/> kN/m	n <input type="text" value="100"/>	Esy <input type="text" value="200000"/> MPa
	v <input type="text" value="0"/>	fyk <input type="text" value="500"/> MPa
		gs <input type="text" value="1.15"/>
		m <input type="text" value="1"/>
		Iterasjon
		beta <input type="text" value="0.001"/>
		<input type="button" value="Run"/>

outputdiag

BABS 1.0

ec	UR	S0	Antall av iterasjon
max. trykk <input type="text" value="-2.80"/> %	URc <input type="text" value="80.09"/> %	Nx <input type="text" value="0.00"/> kN/m	<input type="text" value="142"/>
		Ny <input type="text" value="0.00"/> kN/m	
es	URs1 <input type="text" value="108.11"/> %	Nxy <input type="text" value="0.00"/> kN/m	<input type="button" value="OK"/>
Asx1 <input type="text" value="5.41"/> %	URs2 <input type="text" value=""/> %	Mx <input type="text" value="515.48"/> kN/m	
Asx2 <input type="text" value=""/> %	URs3 <input type="text" value=""/> %	My <input type="text" value="0.00"/> kN/m	
Asy1 <input type="text" value=""/> %	URs4 <input type="text" value=""/> %	Mxy <input type="text" value="0.00"/> kN/m	
Asy2 <input type="text" value=""/> %			

Det første ekstra eksempelet

inputdiag

BABS 1.0

R	Betong	Armering
Nx: -3020 kN/m	h: 400 mm	Asx1: 4910 mm ² /m
Ny: 0 kN/m	c1: 40 mm	Asx2: 4910 mm ² /m
Nxy: 0 kN/m	c2: 40 mm	Asy1: 0 mm ² /m
Mx: 1017 kN/m	fck: 30 MPa	Asy2: 0 mm ² /m
My: 0 kN/m	acc: 0.85	Esx: 200000 MPa
Mxy: 0 kN/m	gc: 1.5	Esy: 200000 MPa
	n: 100	fyk: 500 MPa
	v: 0	gs: 1.15
		m: 2
		Iterasjon beta: 0.01
		Run

outputdiag

BABS 1.0

ec	UR	S0	Antall av iterasjon
max. trykk: -3.38 %	URc: 96.64 %	Nx: -2996.87 kN/m	13
Asx1: 2.20 %	URs1: 43.92 %	Ny: 0.00 kN/m	
Asx2: 2.79 %	URs2: 55.81 %	Nxy: 0.00 kN/m	
Asy1: %	URs3: %	Mx: 1010.56 kN/m	
Asy2: %	URs4: %	My: 0.00 kN/m	
		Mxy: 0.00 kN/m	OK

Det andre ekstra eksempelet

inputdiag

BABS 1.0

R	Betong	Armering
Nx 4127 kN/m	h 350 mm	Asx1 5570 mm ² /m
Ny 250 kN/m	c1 75 mm	Asx2 5365 mm ² /m
Nxy -464 kN/m	c2 75 mm	Asy1 1289 mm ² /m
Mx -38 kN/m	fck 65 MPa	Asy2 1241 mm ² /m
My 70 kN/m	acc 0.85	Esx 200000 MPa
Mxy 3 kN/m	gc 1.5	Esy 200000 MPa
	n 100	fyk 500 MPa
	v 0	gs 1.15
		m 4
		Iterasjon beta 0.001
		Run

outputdiag

BABS 1.0

ec	UR	S0	Antall av iterasjon
max. trykk -0.50 %	URc 18.35 %	Nx 4126.71 kN/m	357
		Ny 250.00 kN/m	
		Nxy -463.93 kN/m	
		Mx -37.98 kN/m	
		My 70.00 kN/m	
		Mxy 3.00 kN/m	
			OK

es

Asx1	Asx2
2.01 %	4.22 %
Asy1	Asy2
3.20 %	1.31 %

URs

URs1	URs2	URs3	URs4
40.17 %	84.33 %	64.07 %	26.22 %