

Dimensjonering av avstivende dekkeskiver

Amund Børde

Bygg- og miljøteknikk (2 årig)

Innlevert: Juni 2012

Hovedveileder: Leidulv Vinje, KT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for konstruksjonsteknikk



MASTEROPPGAVE 2012

FAGOMRÅDE: Konstruksjon	DATO: 5. Juni 2012	ANTALL SIDER: 77
----------------------------	-----------------------	---------------------

TITTEL:

Dimensjonering av avstivende hulldekkeskiver

Design of hollow-core concrete slabs utilized as structural bracing

UTFØRT AV:

Amund Børde



SAMMENDRAG:

Oppgaven omhandler dimensjonering av avstivende hulldekker ved hjelp av et effektiviserende regneark i excel. Regnearket inneholder lastberegninger samt dimensjonering av fuger og knutepunkter. Sammen med programmet følger en brukerhåndbok som er nødvendig for å forstå oppbygning og virkemåte for beregningene. Til slutt er det testet to eksempler for å vise hvordan regnearket brukes på konkrete tilfeller. Oppgaven er utført i samråd med Spenncon AS.

SUMMARY

This thesis is about the design of hollow-core concrete slabs using an efficiency-enhancing spreadsheet in excel. The spreadsheet contains calculation of internal forces, and design of joints and connections. The program comes with a user manual which is necessary to understand the way the spreadsheet works. Finally, the program is tested on two examples to demonstrate how the spreadsheet is applied in real cases. The thesis is done in consultation with Spenncon AS.

FAGLÆRER: Leidulv Vinje

VEILEDER(E): Leidulv Vinje

UTFØRT VED: Institutt for konstruksjonsteknikk

Definering av oppgaven

Norges teknisk-
naturvitenskapelige universitet
NTNU

Institutt for
konstruksjonsteknikk



Oppgavetekst:

Bygninger bestående av hulldekkegulv opplagt på bærende veggelementer i prefabrikeret betong er en svært aktuell byggemetode. Det er samtidig svært vanlig å benytte de samme konstruksjonene som avstivende skiver for horisontale laster. Oppgaven er å utvikle beregningsprogrammer (for eksempel i Excel) for de horisontale hulldekkeskivene inkludert lastberegninger og dimensjonering av de tilhørende knutepunktene.

Stikkord fra Spenncon:

Teorigrunnlag hentes fra Betongelementboken og forelesningsnotatene fra Betong 2 (4. årskurs) og evt. Prosjektering av konstruksjoner (5. årskurs).

For øvrig følges relevante Eurokoder EC0, EC 1 (ikke jordskjelv), EC2 osv.

Programmet skal ikke inneholde kraftfordelingsberegning av de horisontale lastene til de vertikale skivene.

Det forutsettes at dette gjøres for hånd, eller at kreftene er funnet ved hjelp av programmet V-skive (Ove Sletten)

Studere dagens programmer (Spenncon har ingen). Søke etter evt. slike programmer hos rådgivere og betongelementprodusenter.

Avdekke brukerbehov hos Spenncon AS Trøndelag, evt. hos andre for å bestemme hvilke skivevarianter (og veggskiveplasseringer) som trengs.

Avdekke brukerbehov hos Spenncon AS Trøndelag, evt. hos andre for å bestemme hvilke knutepunktsutførelser og ståldeler som skal inngå i modellen.

Dimensjoneringsprogrammet utføres i Excel (evt. annet etter avtale).

Lage brukermanual med teorigrunnlag, forutsetninger, forklaring av input og output.

Håndberegninger som verifiserer resultatene.

Output som passer inn i praktiske statiske beregninger iht. brukerbehov.

Omfanget av oppgaven, hvilke parametre som skal variere etc. vurderes av studenten og avtales med faglærer.

Leiduly Vinje
Faglærer

Forord

Denne rapporten er resultatet av mitt arbeid med avsluttende masteroppgave utført ved institutt for konstruksjonsteknikk, NTNU - våren 2012. Oppgavens tittel er "Dimensjonering av avstivende hulldekkeskiver" og har blitt utført i samarbeid med Spenncon AS. Forfatter er Amund Børde.

Oppgaven gikk ut på å lage et regneark i excel som tar for seg beregning av indre krefter i hulldekker, og dimensjonering av fuger og knutepunkter. Hovedformålet med programmet var å gjøre beregningen mer effektiv i forhold til håndberegning.

Arbeid med oppgaven har bestått av noe litteraturstudie, og mye vurdering av hvordan programmet skulle utformes. Samarbeidet med Spenncon har bestått av at de har gitt brukerkrav og retningslinjer for programmets funksjoner og virkemåte, samt at de har gitt veiledning og avklaringer av fagstoff underveis.

Veileder fra NTNU og samtidig kontaktperson i Spenncon har vært Leidulv Vinje. Jeg vil takke ham for en inspirerende og ryddig presentasjon av hva som var ønskelig å få ut av oppgaven, samt god veiledning.

Trondheim 5. Juni 2012

Amund Børde

Innholdsfortegnelse

Definering av oppgaven	3
Forord.....	5
Innholdsfortegnelse	6
Figurliste	9
Innledning	11
1 Litteraturstudie	13
1.1 Teoretisk modell	13
1.2 Framgangsmåte ved beregning	15
1.2.1 Minimumsarmering	15
1.2.2 Lengdearmering	17
1.2.3 Tverrarmering	18
1.2.4 Kraftoverføring i veggskiver	19
1.2.5 Skjærkontroll av fuger.....	20
1.2.6 Strekk på tvers av hulldekkene (forankring i sidekant).....	22
1.2.7 Diverse	24
1.3 Løsninger.....	24
1.3.1 Skjæroverføring	24
1.3.2 Detaljer	25
2 Brukerhåndbok	27
2.1 Forutsetninger og brukerkrav	27
2.2 Generelt	29
2.3 Veggskive input og kraftbalanse	31
2.4 Materialparametre	34
2.5 Minimumsarmering	35
2.6 Skjær- og momentdiagram virkemåte	36
2.6.1 Momentberegning	36
2.6.2 Skjærkraftberegning.....	37
2.7 Generelle parametre.....	38
2.8 Forankringstabell	40
2.9 Armering ved last parallelt med hulldekkene	40
2.9.1 Lengdearmering	40
2.9.2 Tverrarmering	41
2.9.3 Kraftinnføring i veggskiver	43
2.10 Armering ved last vinkelrett på hulldekkene	45
2.10.1 Tverrarmering	45
2.10.2 Kraftinnføring i veggskiver.....	47
2.11 Skjærkontroll.....	48
2.12 Forankring i sidekant.....	49
3 Eksempel 1	51
3.1 Last parallelt med hulldekkene.....	52
3.1.1 Veggskive-input	52
3.1.2 Moment- og skjærdiagram	53
3.1.3 Generelle parametre	53
3.1.4 Lengdearmering	54
3.1.5 Tverrarmering	54
3.1.6 Kraftinnføring i veggskiver	55
3.2 Last ortogonalt på hulldekkene	56

3.2.1	Veggskiveinput	57
3.2.2	Skjør- og momentdiagram	57
3.2.3	Generelle parametre	58
3.2.4	Tverrarmring	58
3.2.5	Kraftinnføring i veggskiver	59
3.3	Skjærkontroll	61
4	Eksempel 2	63
4.1	Materialparametre og minimumsarmring	63
4.2	Last i y-retningen (parallelt med hulldekkene)	64
4.2.1	Veggskive-input og diagrammer	64
4.2.2	Lengdearmring	65
4.2.3	Tverrarmring	67
4.2.4	Kraftinnføring i veggskiver	68
4.3	Last i x-retningen (ortogonalt på hulldekkene)	70
4.3.1	Veggskive-input og diagrammer	70
4.3.2	Tverrarmring	71
4.3.3	Kraftinnføring i veggskiver	72
4.4	Skjærkontroll	74
4.5	Konklusjon	76
	Kildeliste	77

Figurliste

- Figur 1.1 - Ytre krefter og indre reaksjoner i et normalt elementbygg (ref kilde [2])
- Figur 1.2 - Høy bjelketeori og indre reaksjoner i et hulldekke (ref kilde [2])
- Figur 1.3 - Valg av momentarm som funksjon av opplagerbetingelse (ref kilde [2])
- Figur 1.4 - Anbefalte minimumskrefter i et hulldekke (ref kilde [2])
- Figur 1.5 - Illustrasjon av hvordan veggskivene på tvers av lastretningen motvirker vridning av bygget
- Figur 1.6 - Illustrasjon av hvordan veggskivekreftene kan fordeles med hensyn til anbefalte fordelingslengder. Som vist virker strekket i skjærfugen normalt på de andre overføringskreftene.
- Figur 1.7 - Bidrag som gir skjærkapasitet (stavmodeller) (ref kilde [2])
- Figur 1.8 - Øvre jevnt fordelt grenselast som funksjon av hulldekke-geometri (ref kide [3])
- Figur 1.9 - minstekrav for senteravstand med tilhørende punktlast med hensyn til kanalnummeret det forankres fra (ref kilde [3])
- Figur 1.10 - Vanlig armeringsføring i fuger (ref kilde [1])
- Figur 1.11 - Armeringsføring for å sikre at ikke selve hulldekket tar for mye strekk
- Figur 1.12 - Forankringstyper til dekke-bærende konstruksjon (ref kilde [1])
- Figur 1.13 - Forankringstyper til sidekant (ref kilde [1])
- Figur 2.1 - Skjermbilde fra excel options i excel 2010. Layouten kan variere litt fra versjon til versjon)
- Figur 2.2 - Høy bjelketeori og indre reaksjoner i et hulldekke(ref kilde [2])
- Figur 2.3 - Henholdsvis lastretning parallelt med hulldekkene (til venstre), og lastretning ortogonalt på hulldekkene (til høyre). Strekk-resultant fra moment vises også

Figur 2.4 - Utdrag fra veggskive-input i regnearket

Figur 2.5 - Valg av plassering av aksesystem

Figur 2.6 - Utdrag fra materialparametre i regnearket

Figur 2.7 - Anbefalte minimumskrefter i et hulldekke(ref kilde [2])

Figur 2.8 - Utdrag fra minimumsarmering i regnearket

Figur 2.9 - Utdrag fra skjær og momentdiagram i regnearket

Figur 2.10 - Momentberegninger for den første meteren inn i dekket

Figur 2.11 - Skjærberegninger for den første meteren inn i dekket

Figur 2.12 - Utdrag fra generelle parametre i regnearket

Figur 2.13 - Valg av momentarm som funksjon av opplagerbetingelse (ref kilde [2])

Figur 2.14 - lengdearmering

Figur 2.15 - Utdrag fra beregning av lengdearmering i regnearket

Figur 2.16 - Tverrarmering ved lastretning parallelt med hulldekkene

Figur 2.17 - Utdrag fra tverrarmering i regnearket (ved lastretning parallelt med hulldekkene)

Figur 2.18 - Utdrag fra kraftinnføring i regnearket (ved lastretning parallelt med hulldekkene)

Figur 2.19 - Illustrasjon av hvordan veggskivekreftene kan fordeles med hensyn til anbefalte fordelingslengder. Som vist virker strekket i skjærfugen normalt på de andre overføringskreftene

Figur 2.20 - Alternative lastbilder for kraftinnføring ved lastretning parallelt med hulldekkene

Figur 2.21 - Tverrarmering ved lastretning ortogonalt på hulldekkene

Figur 2.22 - Utdrag fra tverrarmering i regnearket (ved lastretning vinkelrett på hulldekkene)

Figur 2.23 - Alternative lastbilder for kraftinnføring ved lastretning vinkelrett på hulldekkene

Figur 2.24 - Utdrag fra skjærkontroll i regnearket

Innledning

Markedet for bruk av betongelementer i norsk byggevirksomhet har vært sterkt økende de siste årene. Grunnen til dette er at bygging med elementer gir en rekke fordeler i forhold til å støpe på byggeplassen, både i kvalitet, materialutnyttelse, tidsbesparelse og økonomisk lønnsomhet. I Norge har dessuten bransjen opparbeidet kompetanse på topp internasjonalt nivå.

Hulldekker er et av de hyppigst brukte dekke-elementene i Norge. I tillegg til å fungere som bærende plate spiller de også en vesentlig rolle for avstivningen av bygget (som skive). Vi kan tenke oss det statiske systemet ved at veggskivene tar imot horisontalkreftene, og at disse fordeles ned i dekkeskivene. Vi modellerer dette på noe av samme måte som en bjelke der veggskivekreftene er opplagerkreftene, og dekkeskivene blir selve bjelken som kontrolleres for indre reaksjoner som moment og skjær.

Spenncon og mange andre benytter et eget program for å beregne veggskivekreftene for en gitt horisontallast. For å beregne dekkeskivene deretter benyttes det håndberegning. I oppstarten av arbeidet med denne masteroppgaven ble det sendt ut epost til 13 norske produsenter (og rådgivere) av betongelementer med spørsmål om de hadde programvare som kunne utføre beregninger av avstivende dekkeskiver. 8 av bedriftene svarte, og ingen av dem hadde software som tok seg av dette. Tanken bak denne masteroppgaven er derfor å gjøre noe med nettopp dette.

Programmet baserer seg på input og output, og inneholder beregning av moment og skjærdiagram samt dimensjonering av fuger og knutepunkter. Det er lagt vekt på at programmet skal være effektivt og følge en viss logisk rekkefølge, samtidig som at mye er holdt åpent for manuell forandring.

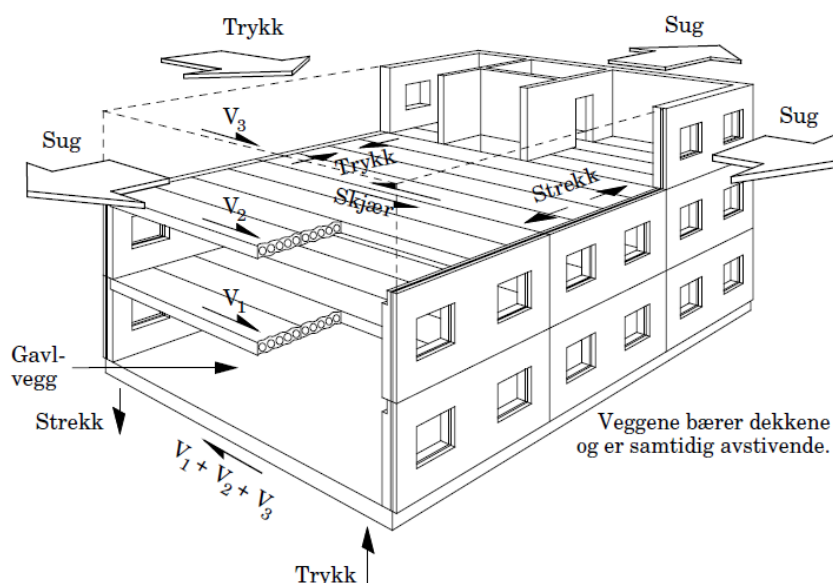
Oppgaven er bygd opp i omtrent samme rekkefølge som arbeidet ble utført. Først finnes et litteraturstudie med bakgrunnsteori og hvordan beregningen gjøres i praksis. Deretter følger en brukerhåndbok som tar for seg bakgrunnen for programmet, virkemåte og praktisk gjennomføring. Tilslutt følger to eksempler for å teste at programmet fungerer som det bør, og for å vise mer konkret hvordan man bruker regnearket i praksis.

1 Litteraturstudie

Med skivebygg menes bygninger som baserer avstivningen (mot f eks vind, jordskjelv, skjevstilling) på skiver. Dette kapittelet tar for seg grunnleggende teori vi benytter på horisontale skiver, framgangsmåte ved beregning, og typiske løsninger for hulldekker.

1.1 Teoretisk modell

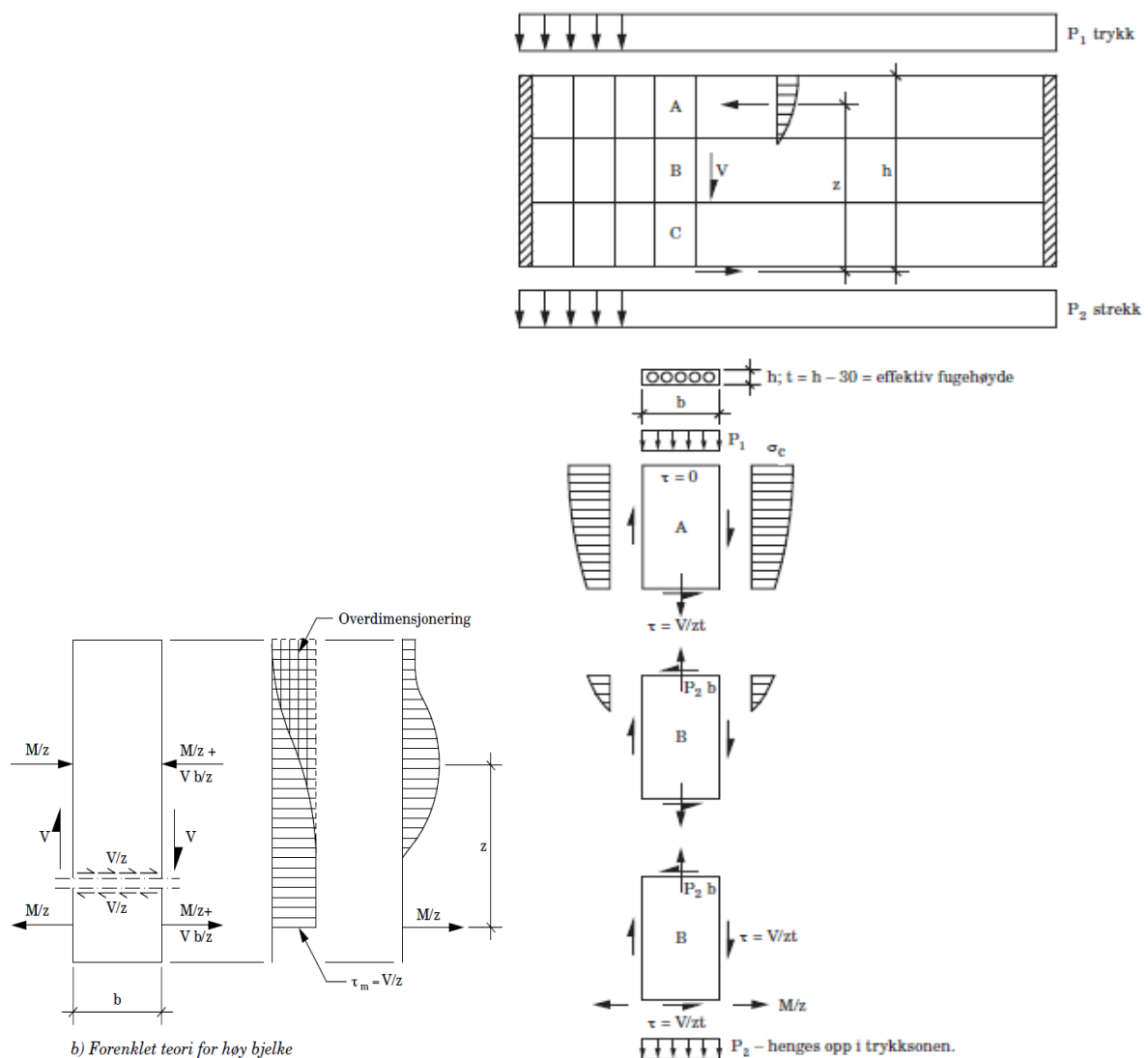
Vi modellerer kraftoverføringen i slike bygg ved at dekkeskivene først anses som uendelig stive, og at veggskivene tar imot horisontalkreftene. Veggskivene motvirker byggets forskyvning og vridning forårsaket av horisontalkreftene. Beregningen av veggskivekreftene baserer seg på forholdet mellom skivenes plassering samt moment- og skjærstivhet. Veggskivekraften overføres deretter til dekkeskivene, og dette gir indre reaksjoner i dekkeskivene som skjær og moment. Under dimensjonering må man i tillegg ta hensyn til de ytre normalkrefter som virker på skiven.



Figur B 8.7.
Fler-etasjes skivesystem.

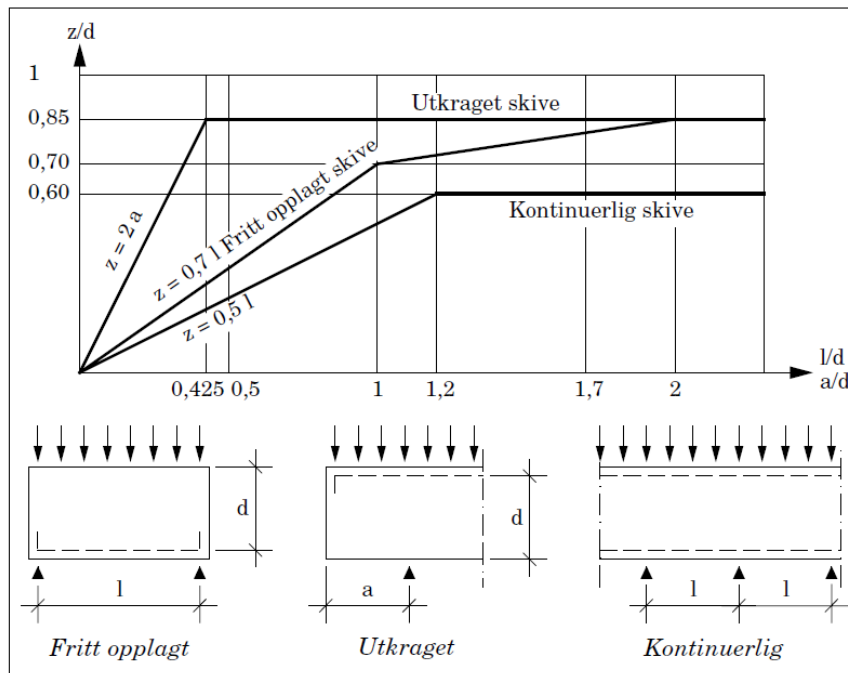
Figur 1.1 - Ytre krefter og indre reaksjoner i et normalt elementbygg (ref kilde [2])

Erfaring tilsier at dersom vi beregner horisontalskiven som bjelke, får vi at kapasiteten blir lavt utnyttet, men allikevel en meget stor stivhet i praksis. Den svært høye stivheten stemmer bra med antakelsen om uendelig stiv horisontalskive ved kraftfordelingen til vertikalskivene. Horisontalskivenes spennings- og tøyningsbilde modelleres ved å betrakte den som en høy bjelke, der momentarmen z er mindre enn ved en vanlig bjelke. Skjæroverføringen mellom elementer varierer fra dekketype til dekketype, men for hulldekker anses skjærspenningene konstante rundt alle elementer i snittet bortsett fra ved den frie rand. Man må også selv vurdere om skjærspenningen skal være lokalt høyere eller lavere enn det skjærdiagrammet tilsier i det aktuelle snittet.



Figur 1.2 - Høy bjelketeori og indre reaksjoner i et hulldekk (ref kilde [2])

For å finne et skjæringspunkt mellom teori og erfaring er det utarbeidet et diagram som viser anbefalt momentarm som funksjon av forholdet lengde og bredde av dekket, samt at det tas hensyn til om dekket er utkraget, fritt opplagt eller kontinuerlig (opplagt på veggskivene). I virkeligheten må man ofte vurdere stivheten selv, og velge en mellomting mellom de tre opplagerbetingelsene.



Figur B 12.37.
Indre momentarm i skiver.

Figur 1.3 - Valg av momentarm som funksjon av opplagerbetingelse (ref kilde [2])

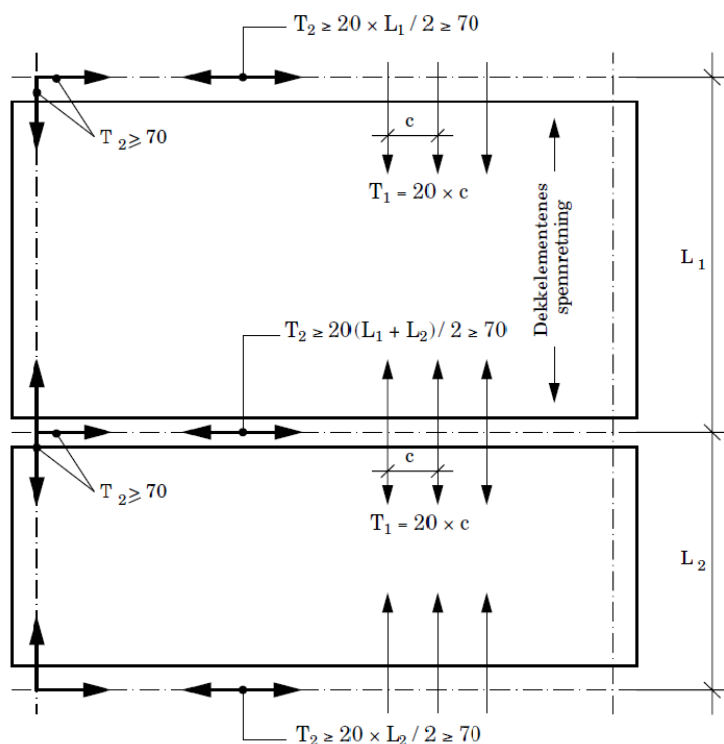
Der vi har et hakk, utsparring eller sprang, inngår spesielle regler fordi vi vil få noen ekstra strekksoner. Disse kan være vanskelig å beregne, både størrelsesmessig og hvor de befinner seg. I og med at slike strekksoner ofte må vurderes i hvert enkelt tilfelle, vektlegges dette ikke i oppgaven.

1.2 Framgangsmåte ved beregning

1.2.1 Minimumsarmering

For at hulldekkene skal kunne overføre skjærkraft, må det ligge armering i fugene, og lengdearmering og tverrarmring må være forbundet på en eller annen måte.

Det er gitt i [2] betongelementboken bind B en anbefaling av minimumsarmering i fuger. Prinsippet er at det ikke skal armeres for mindre enn en kapasitet på 20kN/m strekk-kraft. Illustreres godt her:



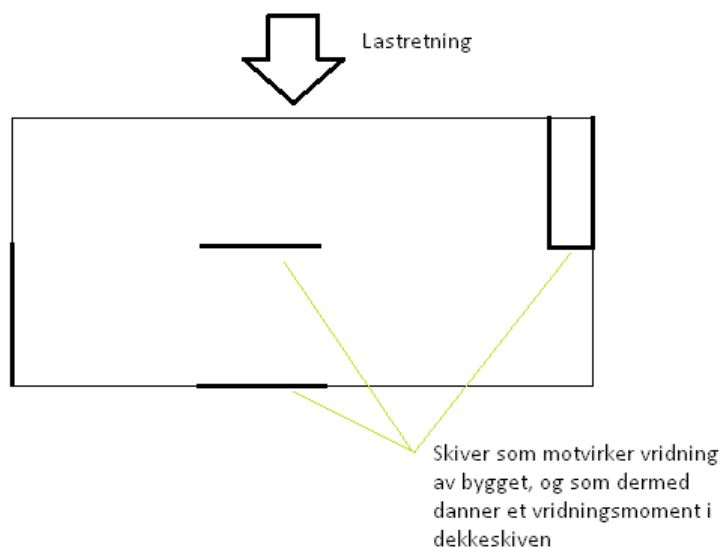
Figur B 8.14.
Anbefalte minimumskrefter i et typisk dekke.
Alle krefter i kN og kN/m.
Bruddgrensetilstand.

Figur 1.4 - Anbefalte minimumskrefter i et hulldekke (ref kilde [2])

T_1 er minimumskraften for tverrarmring, mens T_2 er minimumskraften for armering i endefuger og hjørnearmering. Det er vanlig å bruke samme dimensjon for hjørnearmering og armeringen i endefugene.

Når vi beregner selve hulldekket, må vi først finne moment og skjærkraft i det aktuelle snitt. Vi tegner moment- og skjærkraftdiagram med veggskivene som opplagerreaksjoner, og horisontallasta som ytre last. Skjærkraftdiagrammet tegnes på samme måte som for en bjelke. I momentdiagrammet må det i tillegg inkluderes et vridningmomentet fra veggskivene som ligger vinkelrett på lastretningen.

Dette er nødvendig for at momentdiagrammet skal bli i likevekt. I de fleste beregninger er det vanlig å betrakte dette vridningsmomentet som jevnt fordelt over alle spennene (ekvivalent momentlinjelast), men ideelt sett burde det vektas etter hvor store kreftene som danner vridningsmomentet er, og hvor de er plassert i forhold til hverandre. Særlig bygg med stor rotasjon av dekkeskiven krever en nøyaktig betraktning, og dataverktøy anbefales da til å beregne snittkreftene i dekkeskiven.



Figur 1.5 - Illustrasjon av hvordan veggskivene på tvers av lastretningen motvirker vridning av bygget

1.2.2 Lengdearmoring

Etter at man har funnet moment og skjærkraft kan man beregne hvor mye armering som trengs i endefugene. Vi legger da sammen momentstrekket, skjærstrekket og annen virkende strekk-kraft. Skjærstrekket finner man av skjær-friksjonshypotesen, der skjærkraften blir ansett som en friksjonskraft av normalkraften. Som nevnt i avsnitt 1.1 og godt illustrert i figur 1.2, blir skjærspenningen ansett som konstant i hele snittet, slik at vi kan regne med at alle endefugene i snittet tar opp like mye strekk-kraft. Lengdearmoringen beregnes typisk etter formelen:

$$A_s = \frac{M_f}{z \times f_{yd}} + \frac{V_f}{n \times \mu \times f_{yd}} + \frac{\text{Annet strekk}}{f_{yd}}$$

Der

z - momentarm

n - antall endefuger som opptar skjærstrekket

μ - friksjonskoeffisient

Denne formelen gjelder kun ved lastretning parallelt med hulldekkene.

Momentet tas kun med hvis det gir strekk i endefugen. Antall endefuger som tar opp momentstrekket kan i og for seg være flere enn 1. Men tatt i betraktning at dette må vurderes i forhold til stivhet og plassering er det mer hensiktsmessig å redusere momentet manuelt enn å legge til en variabel som deler momentet mellom endefugene. Poenget er at $\sum(z_i \times f_{yd} \times A_{sm,i})$ må være lik ytre moment M_f eller høyere.

1.2.3 Tverrarmring

Tverrarmringen finnes ved formelen:

$$A_s = \frac{V_f \times b}{z \times \mu \times f_{yd}} + \frac{\text{Annet strekk}}{f_{yd}}$$

Der

b - fugebredde

Denne formelen skjekkes for lastretning både parallelt og vinkelrett på hulldekkene, og man velger den største armeringen. Ved lastretning vinkelrett på hulldekkene kan det, hvis momentet gir strekk i snittet, legges til et momentbidrag:

$$\frac{M_f}{z \times f_{yd} \times j}$$

Der

J – antall enheter (fuger, elementer) som tar opp momentet

1.2.4 Kraftoverføring i veggskiver

Kraftoverføring mellom vegg og dekke må vies spesielt hensyn. Kraften kan delvis overføres i skjærfugen og som kantrykk/kantstrekk. Dette gjelder både når veggskiven er orientert parallelt og vinkelrett på hulldekkene. I betongelementboken er det gitt noen anbefalinger til forholdet mellom hvor mye som skal overføres via de ulike kraftoverføringene. Veggskivekraft som anbefales overført i skjærfugen er gitt ved:

$$N_{skjærstrekk} = F_v \frac{L_{veggskive}}{(L_{veggskive} + L_{overkant} + L_{underkant}) \times \mu}$$

Der

F_v - Veggskivekraften

$L_{veggskive}$ - lengden av veggskiven

$L_{\text{øvre}}$ - lengden av området som skal overføre kantrykk/strekk over

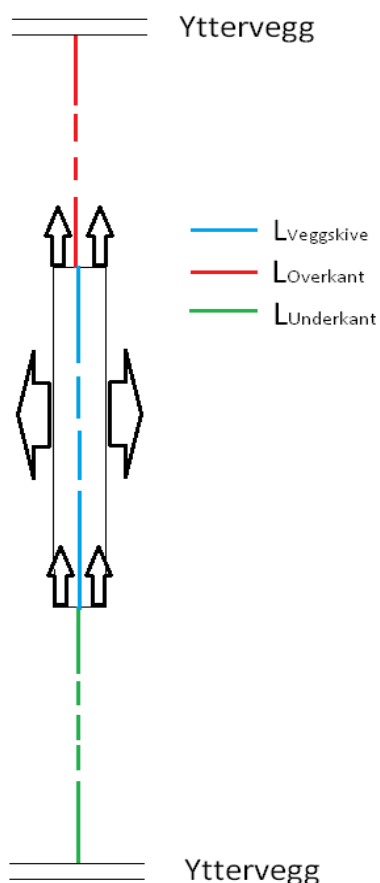
L_{nedre} - lengden av området som skal overføre kantrykk/strekk under

$L_{\text{øvre}}$ og L_{nedre} går altså fra enden av veggskiven helt til ytterveggen på hver kant.

Veggskivekraften som anbefales overført som kantrykk/strekk er gitt ved:

$$N_{kantrykk / strekk, overkant} = F_v \frac{L_{\text{øvre}}}{L_{veggskive} + L_{overkant} + L_{underkant}} \quad \text{og}$$

$$N_{kantrykk / strekk, underkant} = F_v \frac{L_{\text{nedre}}}{L_{veggskive} + L_{overkant} + L_{underkant}}$$



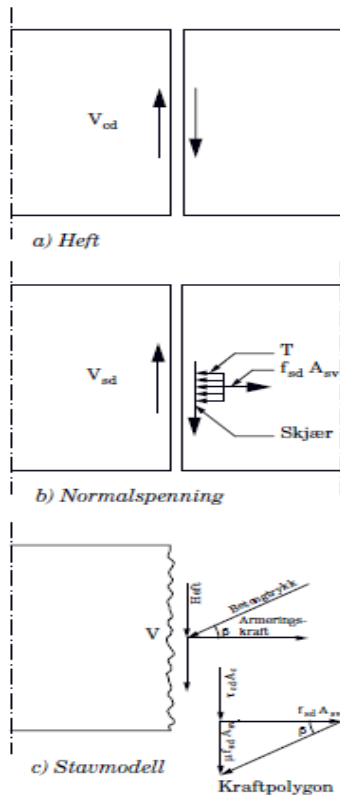
Figur 1.6 - Illustrasjon av hvordan veggskivekreftene kan fordeles med hensyn til anbefalte fordelingslengder. Som vist virker strekket i skjærfugen normalt på de andre overføringskreftene.

Figur 1.6 viser et eksempel på hvordan det er anbefalt å fordele lengdene. Hvis man f eks har mulighet til å fordele skjærstrekket på begge sider av veggskiven, kan det vurderes å gjøre $L_{veggskive}$ litt lengre i forhold til de andre, men dette må vurderes i hvert enkelt tilfelle.

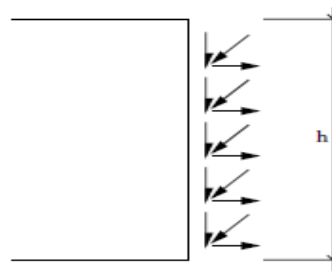
1.2.5 Skjærkontroll av fuger

Skjærkapasiteten baserer seg på stavmodell, hvor heftkapasitet og armeringskapasitet multiplisert med en faktor utgjør komponentene. Modellen går ut på at rissene er såpass tynne at det overføres skjær ved friksjon over hele tverrsnittets høyde. Det dannes et stavsystem som delvis beskrives av empiri. Vi

er ofte på sikker side når vi først finner armeringen ved skjær-friksjonshypotesen uten heftbidrag (fordi vi først antar at rissene er for store), og kontrollerer med denne teorien etterpå.



Figur B 16.4. Skjæroverføring i fuge.



Figur B 16.6. Tynne riss som kan overføre skjær.

Figur 1.7 - Bidrag som gir skjærkapasitet (stavmodeller) (ref kilde [2])

I kilde [5] NS-EN 1992-1-1 punkt 6.2.5 er skjærkapasiteten gitt ved følgende formel:

$$V_{Rdi} = c \times f_{ctd} \times A_i + \mu \times f_{yd} \times A_s + \mu \times N_{Ed} \leq 0.5 \times v \times f_{cd} \times A_i$$

Der

- c og μ er faktorer som tar hensyn til ruheten av fugen
- f_{ctd} er betongens dimensjonerende strekkfasthet
- A_i er produktet av fugens høyde og lengde
- f_{yd} er armeringens dimensjonerende flytespenning

- A_s er det totale armeringsarealet som krysser fugen
- N_{Ed} er ytre normalkraft gjennom (på tvers av) fugen. Negativ for strekk
- ν er fasthetsreduksjonsfaktor gitt ved $0.6 \cdot (1 - f_{ck}/250)$ i nasjonalt tillegg
- f_{ctd} er betongens dimensjonerende trykkfasthet

For fuger mellom prefabrikerte betongelementer med ru og glatt overflate er det gitt en øvre grense på 0.15Mpa i NS-EN 1992-1-1 punkt 10.9.3 (12). Dermed gjelder formelen ovenfor kun for andre typer fuger, eventuelt fortannede fuger. Formelen som gjelder i de aller fleste tilfeller er derfor:

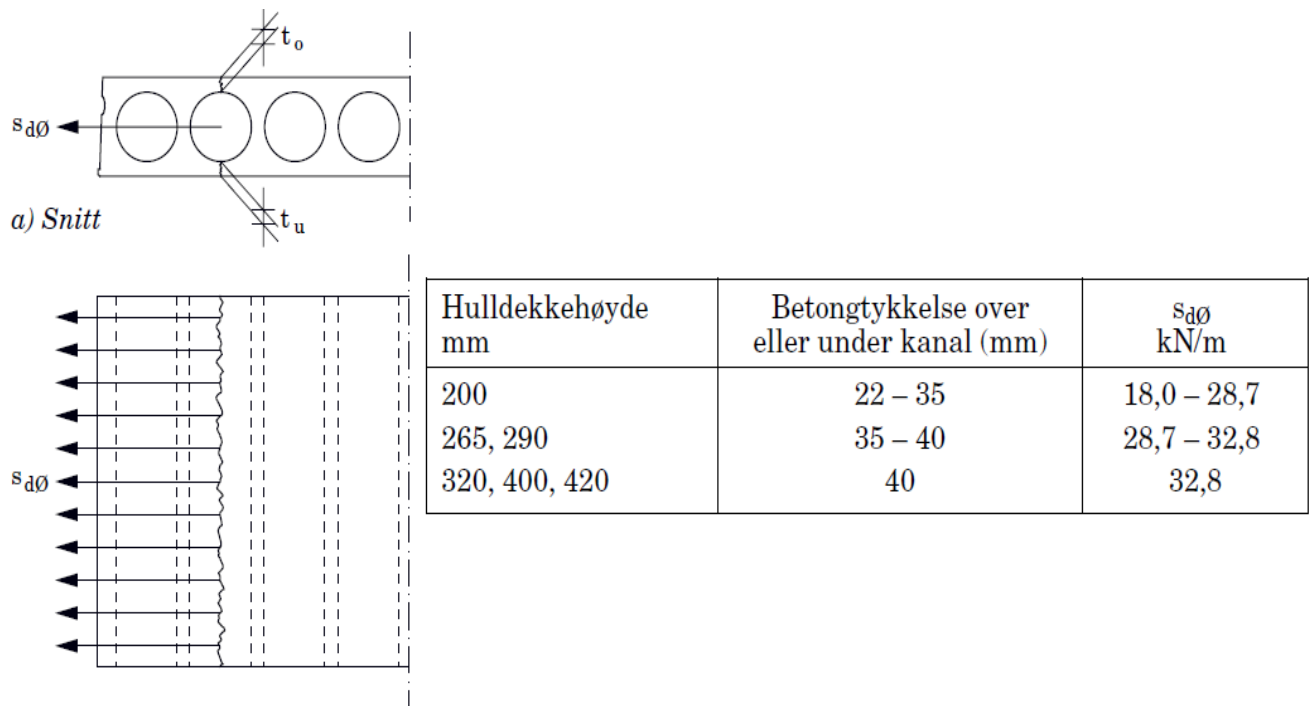
$$V_{Rdi} = c \times f_{ctd} \times A_i + \mu \times f_{yd} \times A_s + \mu \times N_{Ed} \leq 0.15 \times A_i$$

Det finnes veiledning for typiske valg av c og μ . N_{Ed} inkluderer kun ytre normalkraft, dvs horisontallast og veggskivekrefter (og ikke indre virkninger som for eksempel trykkresultant fra moment). I EC2 er det også gitt at ved utmattingslaster eller dynamiske laster skal heftfastheten halveres. Dette gjøres ved å anta store riss i fugen, dvs ekstrudert overflate. Da blir $c=0$ og $\mu=0.6$:

$$V_{Rdi} = 0.6 \times f_{yd} \times A_s + 0.6 \times N_{Ed} \leq 0.15 A_i$$

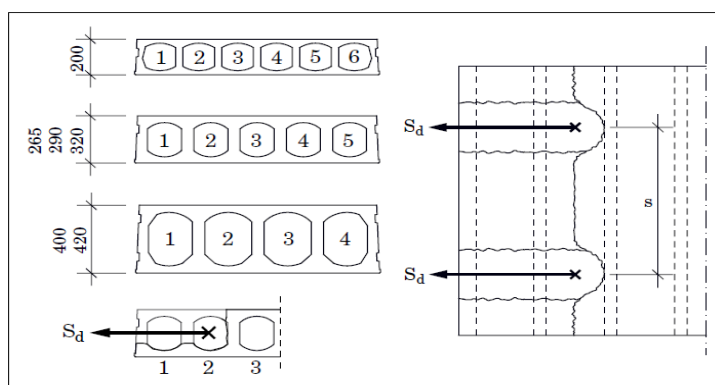
1.2.6 Strekk på tvers av hulldekkene (forankring i sidekant)

Forbindelsene skal overføre en viss strekk-kraft på tvers av hulldekkene. I denne retningen er skivene meget tynne og uarmerte, og derfor ofte det svake punkt. Det er flere kompliserte bruddkombinasjoner som kan forekomme på forskjellige steder på dekket. Derfor baserer dimensjoneringen av forankringen seg på forsøk og statistikk. I betongelementboken bind C er det gitt en tabell (basert på vanlige hulldekker av B45) for øvre grenselast.



Figur 1.8 - Øvre jevnt fordelt grenselast som funksjon av hulldekke-geometri (ref kide [3])

Når øvre grenselast fra figur 1.8 omgjøres til punktlaster (ved et minimumskrav for senteravstand), får vi følgende tabell for øvre forankringskraft som funksjon av kanalnummer det forankres fra (forankringskraften vil nesten alltid opptre som punktlaster):



Figur C 12.10. Horisontale punktlaster på sidekant. Illustrasjon til tabell C 12.4.

Tabell C 12.4. Forankringslengde og senteravstander for horisontale punktlaster på sidekant.

Hulldekke- høyde (mm)		Forankring i kanal nummer:					
		1	2	3	4	5	6
200	s (m)	0,60	0,80	1,20	1,60	2,00	2,40
	S_d (kN)	10,8–17,2	14,4–23,0	21,6–34,4	28,8–45,9	36,0–57,4	42,2–68,9
265	s (m)	0,48	0,96	1,44	1,92	2,40	
	S_d (kN)	13,8–15,7	27,6–31,4	41,3–47,2	55,1–63,0	68,9–78,7	
320	s (m)	0,60	1,20	1,80	2,40		
	S_d (kN)	19,7	39,4	59,0	78,7		

s = minste senteravstand for å oppnå $s_{d\emptyset}$

S_d = tilhørende maksimale punktlast = $s_{d\emptyset} \times s$

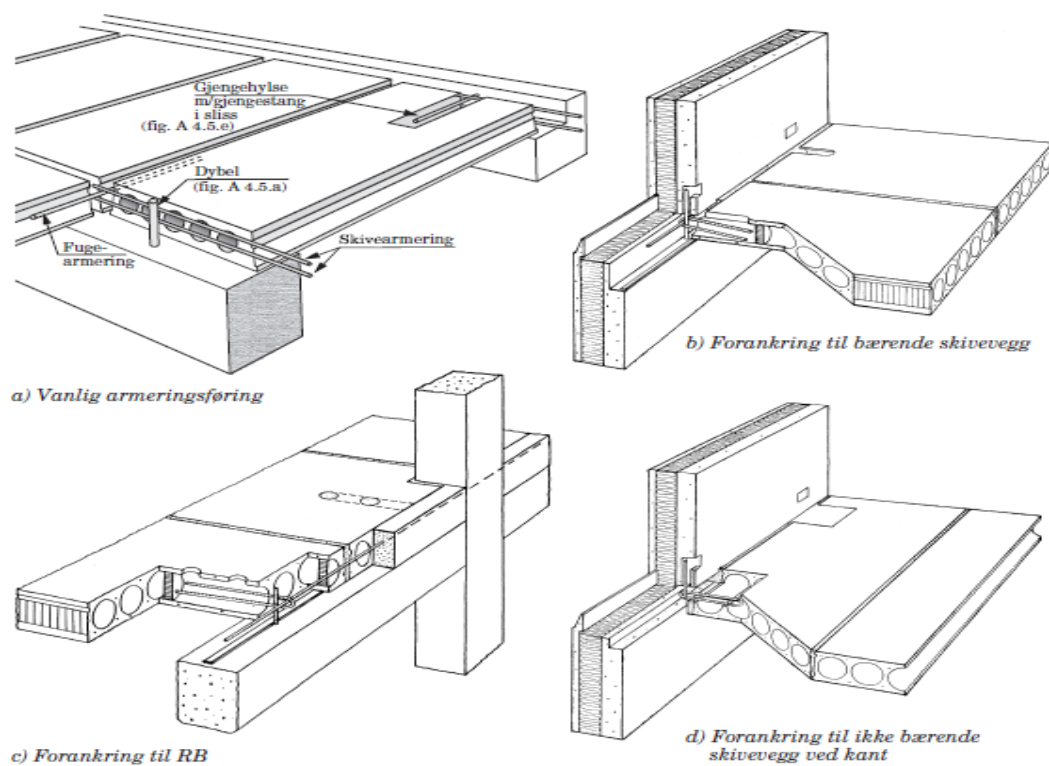
Figur 1.9 - minstekrav for senteravstand med tilhørende punktlast med hensyn til kanalnummeret det forankres fra (ref kilde [3])

1.2.7 Diverse

Andre forhold som må sjekkes, men som ikke er sett på her, vil være strekk-skjekk i selve elementet (at strekk-kraften ikke overgår forspennings-kraften), skjærkontroll for selve hulldekke, knekkskjekk for spesielt trykk-utsatte områder, og en skjekk av lokale forbindelser som søyle- og bjelkeforbindelser.

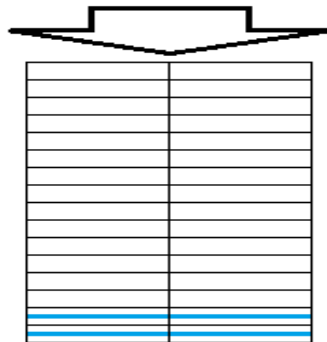
1.3 Løsninger

1.3.1 Skjæroverføring



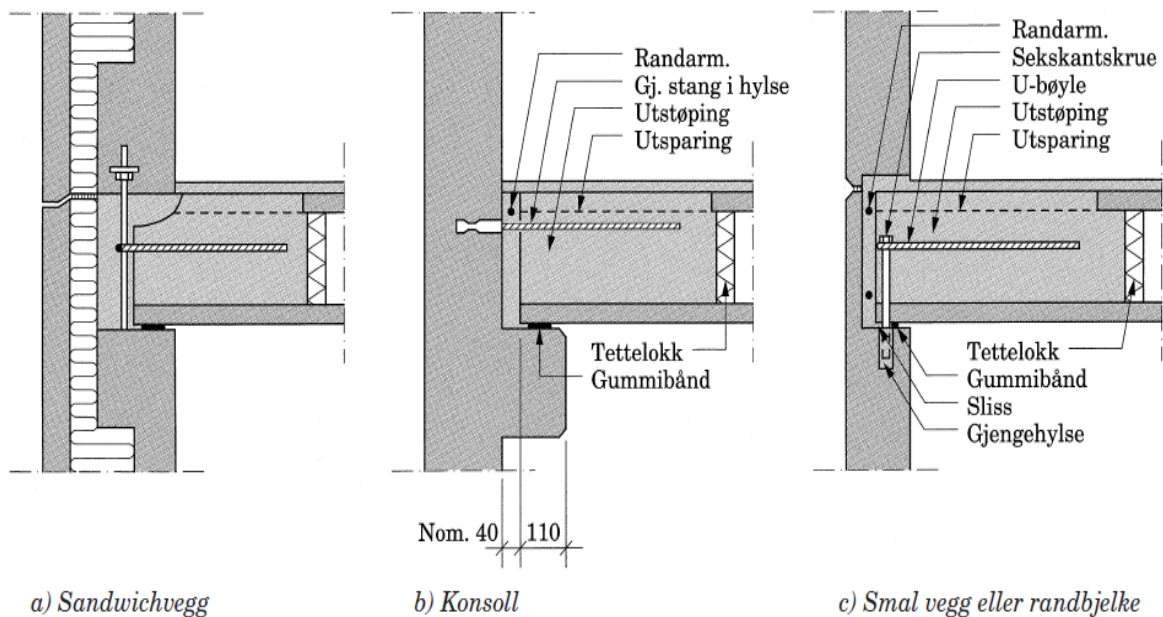
Figur 1.10 - Vanlig armeringsføring i fuger (ref kilde [1])

Figur 1.10 viser hvordan armeringen blir lagt i praksis i forskjellige retninger (Forøvrig er skivearmering kalt "lengdearmering" og fugearmering er kalt "tverrarmring" i denne oppgaven). Hullene det legges armering i, støpes igjen. Der selve hulldekket er utsatt for et for stort strekk (gjelder som oftest ved last vinkelrett på hulldekkene), blir ofte armering helt eller delvis lagt tvers gjennom hulldekket (gjennom ett eller flere hull), slik at denne tar opp strekket:

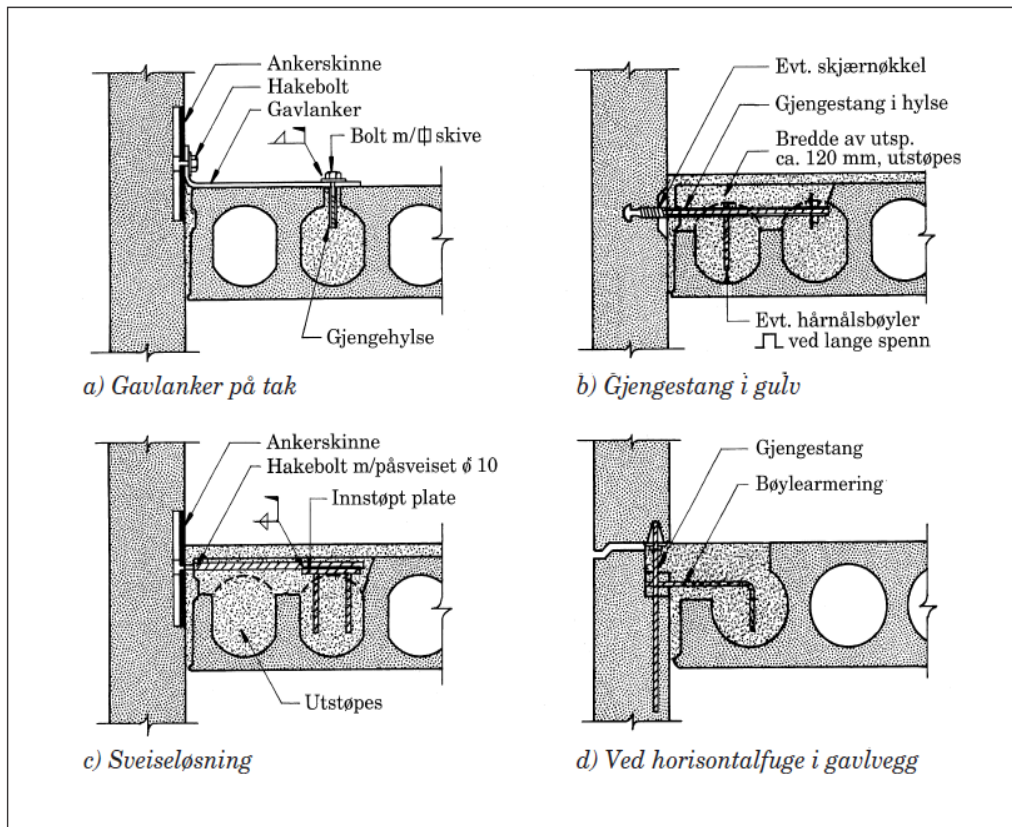


Figur 1.11 - Armeringsføring for å sikre at ikke selve hulldekket tar for mye strekk

1.3.2 Detaljer



Figur 1.12 - Forankringstyper til dekke-bærende konstruksjon (ref kilde [1])



Figur A 9.5.
Sidekantfester
ved normale
påkjenninger.

Figur 1.13 - Forankringstyper til sidekant (ref kilde [1])

Henviser til [1] betongelementboken bind A kapittel 9.1 for flere detaljer.

2 Brukerhåndbok

Denne brukerveiledningen forutsetter forståelse for hvordan den avstivende delen av hulldekker virker. For en dypere forståelse av avstivningen henvises det til kapittel 1. Litteraturstudie, og forøvrig til betongelementbøkene bind A,B,C og til dels H.

2.1 Forutsetninger og brukerkrav

Hensikten med denne brukerveiledningen er å beskrive kort hvordan programmet fungerer, og hvordan man bruker det. Programmet er et tiltak for å spare tid ved beregning av hulldekkeskiver. Det er laget i samarbeid med Spenncon AS, avdeling Trondheim, som har gitt endel veiledning og krav til hvordan de vil ha programmet. Det er forutsatt at de aktuelle kombinasjoner for horisontallast og veggskivekrefter er funnet på forhånd, enten ved bruk av annet program eller ved håndregning.

Noen spesifikke ønsker fra Spenncon var:

- Moment- og skjæradiagrammet skulle automatisk tegnes i excel, slik at de slapp å gjøre dette for hånd
- At programmet fant nødvendig dimensjonerende strekk/trykk samt fugearmering og forankring. Løsninger var ikke en nødvendighet, fordi dette ofte trenger en mer grundig vurdering, og de så for seg at dette var vanskelig å få til i et program. Dersom det viste seg å være mulig/nødvendig, kunne det imidlertid være aktuelt at programmet fant nødvendig armering i form av vanlig armeringsstål, slik at de fikk et eksempel å gå utifra.
- Med tanke på kraftinnføring i veggskiver skulle det lages en funksjon, slik at man fikk ut en anbefalt fordeling av skjærstrekk og kanttrykk/strekk.
- Momentarmen (z) skulle holdes åpen for manuell input.

-Det skulle være en funksjon som kontrollerte at ytre og indre krefter var i likevekt.

-Programmet kunne ellers utføre omtrent det samme som i hulldekke-eksemplene i bind C og H i betongelementboken.

Utfordringen har vært å finne et skjæringspunkt mellom effektivitet og funksjonalitet. Jo mindre man trenger å putte inn av variabler (dvs jo mer automatisert det er), jo mer effektivt blir det. Samtidig risikerer man å miste mange sentrale deler av beregningene. Ved beregning av hulldekkeskiver er det mange detaljer og småting som må tas hensyn til under prosjektering, og dette er ikke alltid like lett å inkludere i et regneark.

Pga det overnevnte, er det lagt mest vekt på den grunnleggende beregningen (dvs utregninger som utføres ofte, og som kan sees på som "slavearbeid" når det gjøres for hånd), og samtidig lagt til rette for å endre variablene manuelt. Det er også viktig at programmet er lett å bruke, og at det ikke avhenger for mye av funksjoner som krever noe mer enn grunnleggende excel. Programmet er forøvrig kompatibelt med "microsoft excel 2003" eller nyere, i tillegg til "open office" og lignende.

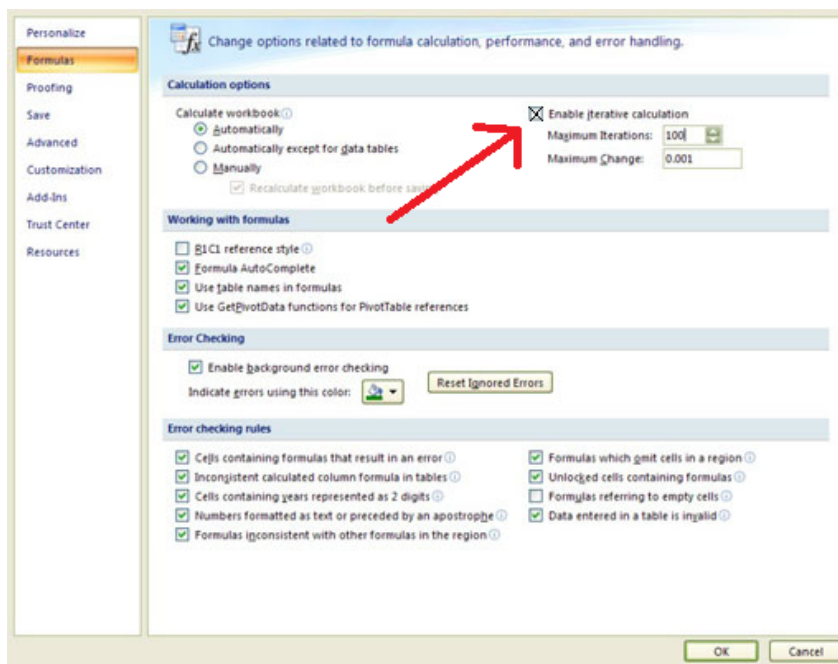
Dette kapittelet vil ta for seg punkt for punkt i programmet. Først sies det litt om hvordan programmet fungerer generelt, deretter gjennomgås de forskjellige postene i kronologisk rekkefølge. I kapittel 3 og 4 vil to mindre praktiske eksempler beregnes med programmet.

NB! Husk å skru på iterasjonsfunksjonen!

Det er nødvendig at muligheten for iterasjon skrues på før programmet tas i bruk. Dette for å unngå "circular reference" ved et punkt hvor det ikke var mulig å programmere det annerledes. Dette er celler som avhenger direkte eller indirekte av seg selv (det siste i dette tilfellet), fordi programmet ikke forstår hvor

beregningen skal begynne. I dette tilfellet avhenger linjemomentets fortegn av momentets fortegn ved motstående kant. Denne verdien er samtidig avhengig av linjemomentets størrelse. 100 iterasjoner fungerer fint, men man kan klare seg med færre om ønskelig. ”Maximum change” per iterasjon settes i utgangspunktet til 0.001, men kan også reguleres manuelt om det er ønskelig

Dette gjøres på excel options:



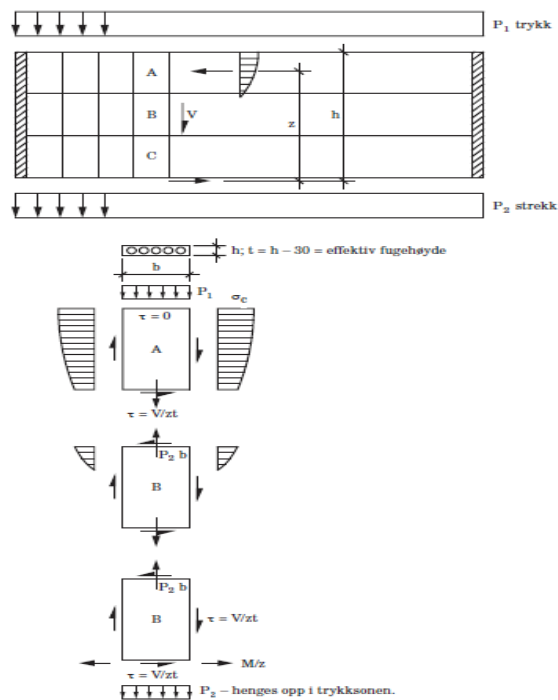
Figur 2.1 - Skjerm bilde fra excel options i excel 2010. Layouten kan variere litt fra versjon til versjon)

2.2 Generelt

Programmet er basert på input og output. Inputcellene er markert med gult, mens outputcellene er markert med grått. Det brukes generelt mye logiske funksjoner og kontrollstrukturer for å automatisere og manipulere regnearket til å gi oss den outputen vi ønsker. Hyppigst brukt er ”if”-funksjonen. Denne tester om et logisk uttrykk er sant eller usant, og cellen får to forskjellige utfall basert på om uttrykket er sant eller usant. Arket inneholder også pop-up bilder (hvis man

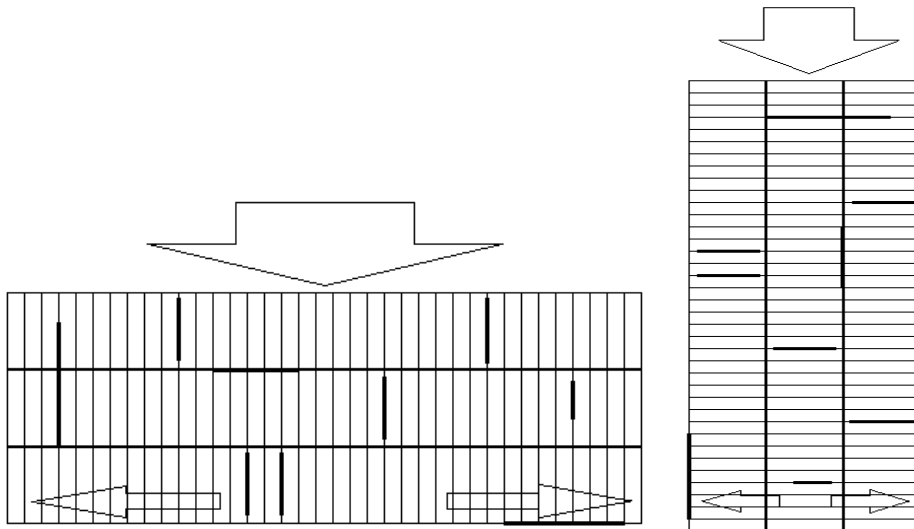
holder musepila over overskriften), slik at man kan se på nyttige tegninger underveis.

Hovedpunktene ved bruk av programmet er at man putter inn krefter og geometrisk informasjon, og får ut indre reaksjoner i dekkeskiven (skjær- og momentdiagram). Generelt er strekk positivt, og trykk negativt. Deretter må man manuelt velge ut ett moment og en skjærkraft for snittet som skal skjekkes. Man putter også inn momentarm for snittet, i tillegg til materialdata og geometrisk skivedata.



Figur 2.2 - Høy bjelketeori og indre reaksjoner i et hulldekke(ref kilde [2])

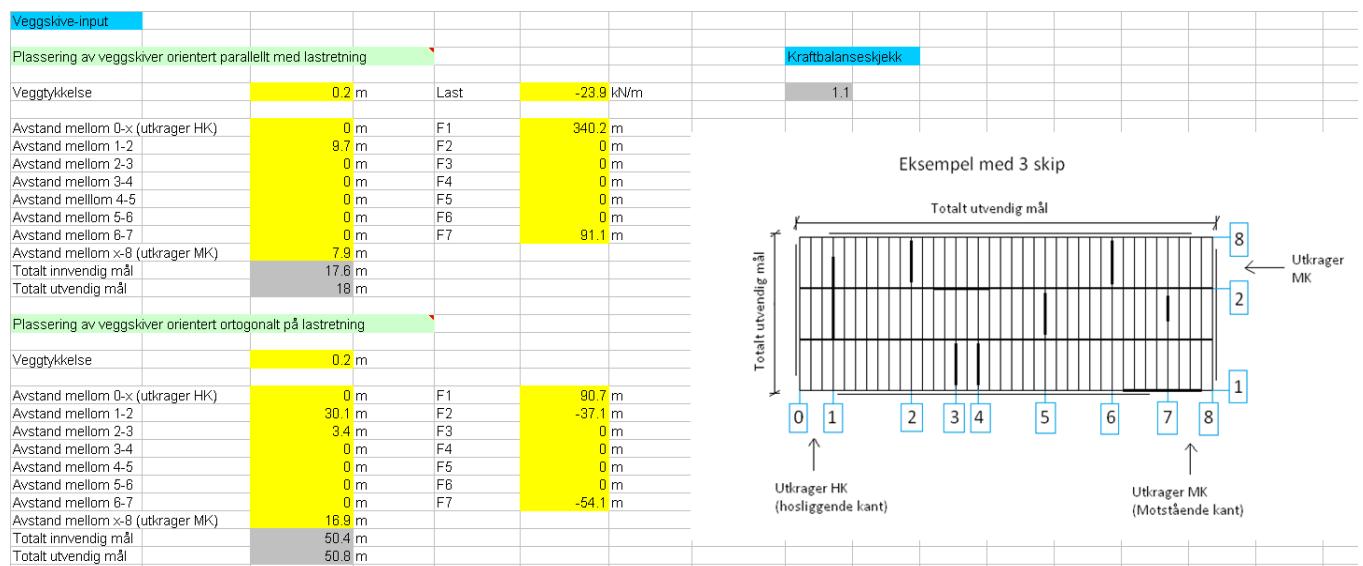
Så går man over til selve dimensjoneringen av snittet. Programmet forstår ikke om lastretningen virker parallelt eller på tvers av hulldekkene, slik at man må velge riktig kategori manuelt. Man finner armering i fuger og forbindelser relatert til hulldekket. En skjærkontroll følger tilslutt. Dette er en egen kategori, fordi skjærkapasiteten for snittet som skjekkes er uavhengig av lastretningen.



Figur 2.3 - Henholdsvis lastretning parallelt med hulldekkene (til venstre), og lastretning ortogonalt på hulldekkene (til høyre). Strekk-resultant fra moment vises også

2.3 Veggskive input og kraftbalanse

Programmet forutsetter at veggskivene er ferdig beregnet i f. eks. Ove Slettens V-skive.

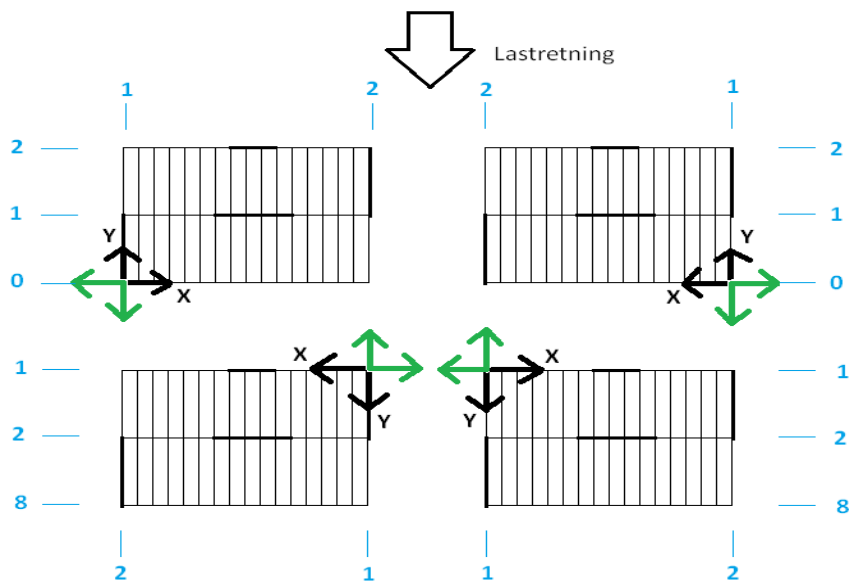


Figur 2.4 - Utdrag fra veggskive-input i regnearket

Jfr figur 2.4 angir man veggtykkelse og veggskivenes geometriske plassering. Veggtykkelsen utgjør avstanden fra ytterveggen og inn til der dekket begynner (eventuelt inn til første veggskivekraft, der man ikke har noen utkrager). Man angir avstand mellom veggskivene og lengden av eventuelle utkrager. Har man for eksempel ikke utkrager, lar man simpelthen disse være lik 0. Maksimalt antall veggskiver er 7. Har man mindre enn 7 er det eksempelvis fritt valg om man begynner midt i og kaller første veggskive for nr. 4 istedenfor nr. 1. Da må man imidlertid huske på å føre på veggskivekraft på F4 istedenfor F1. F1, F2, F3 osv. utgjør altså veggskivekreftene.

Legg merke til at formuleringen ”plassering av veggskiver orientert parallelt/ortogonalt på lastretning” ikke har noe å gjøre med hulldekkenes orientering i forhold til lastretning. Informasjon om dette inkluderes ikke i det hele tatt her. Det er først når man kommer til selve dimensjoneringen at man må ta et manuelt valg på hvordan hulldekkene er orientert i forhold til lastretning.

Forøvrig er programmet laget slik at det ikke spiller noen rolle hvor man legger lastretningene i forhold til hverandre (eksempelvis x-y der y-retningen utgjør ”veggskiver orientert parallelt med lastretning”, og x-retningen utgjør ”veggskiver orientert ortogonalt på lastretning”), eller hvor man plasserer origo. For å illustrere friheten i dette, kan man skissere alle mulighetene på denne måten:



Figur 2.5 - Valg av plassering av aksesystem

Det sorte aksesystemet på figur 2.5 symboliserer det mest logiske alternativet for origo i det aktuelle punktet, men det er ingenting i veien for å legge det slik det grønne alternative aksesystemet viser, eventuelt en kombinasjon av de to.

Man må imidlertid huske på å være konsistent på hvilken retning kraften virker i forhold til retningen man legger aksene. Pluss indikerer at kraften virker i samme retning som akseretningen, minus indikerer at kraften virker mot akseretningen.

Ellers er det lagt inn en "kraftbalanse-skjekk" til høyre for veggskive-inputen, som baserer seg på formelen.

$$\sum F_i - q \times (\text{totalt utvendig mål})$$

Denne skal helst være så liten som mulig, og aller helst 0kN. Dette er en kvalitetssjekk på om kreftene man har lagt inn stemmer. Det er ikke lagt inn noe toleranse her, i og med at tillatt verdi bør være en funksjon av hvor stort dekket er, og hvor store kreftene er. Det er derfor bedre å se på skjæradiagrammet

(og i noen grad også momentdiagrammet) at skjærkraften på enden er ca lik 0kN, og at det ikke ”svever” for mye. Feilmarginen i skjærdiagrammet blir det samme som tallet fra kraftbalanse-skjekken.

2.4 Materialparametre

Materialparametre				
Betong	fck	30	fcd	17
	α_{cc}	0.85		
	γ_c	1.5		
	fctk	1.8	fctd	1.02
	α_{ct}	0.85		
Stål	fyk	500	fyd	434.7826087
	γ_s	1.15		
Skjær-friksjonskoeffisient		0.6		

Figur 2.6 - Utdrag fra materialparametre i regnearket

Som man ser av figur 2.6 er mye holdt åpent, dvs at det er lagt til rette for å forandre materialene så mye som mulig for at brukeren skal ha valgmuligheten til å forandre på materialfaktorer. Outputene regnes ut som følger:

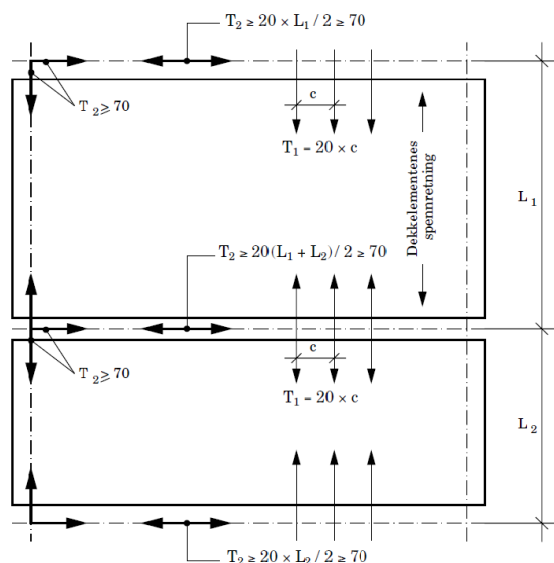
$$f_{cd} = f_{ck} \times \alpha_{cc} / \gamma_c \quad (\text{betongens trykkfasthet})$$

$$f_{ctd} = f_{ctk} \times \alpha_{ct} \quad (\text{betongens strekkfasthet})$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s \quad (\text{Armeringens strekkfasthet})$$

Disse parametrene trenger typisk ikke å bli skiftet mer enn en gang i prosjektet.

2.5 Minimumsarmering



Figur B 8.14.
Anbefalte minimumskrefter i et typisk dekke.
Alle krefter i kN og kN/m.
Bruddgrensetilstand.

Figur 2.7 - Anbefalte minimumskrefter i et hulldekke (ref kilde [2])

På figur 2.7 er

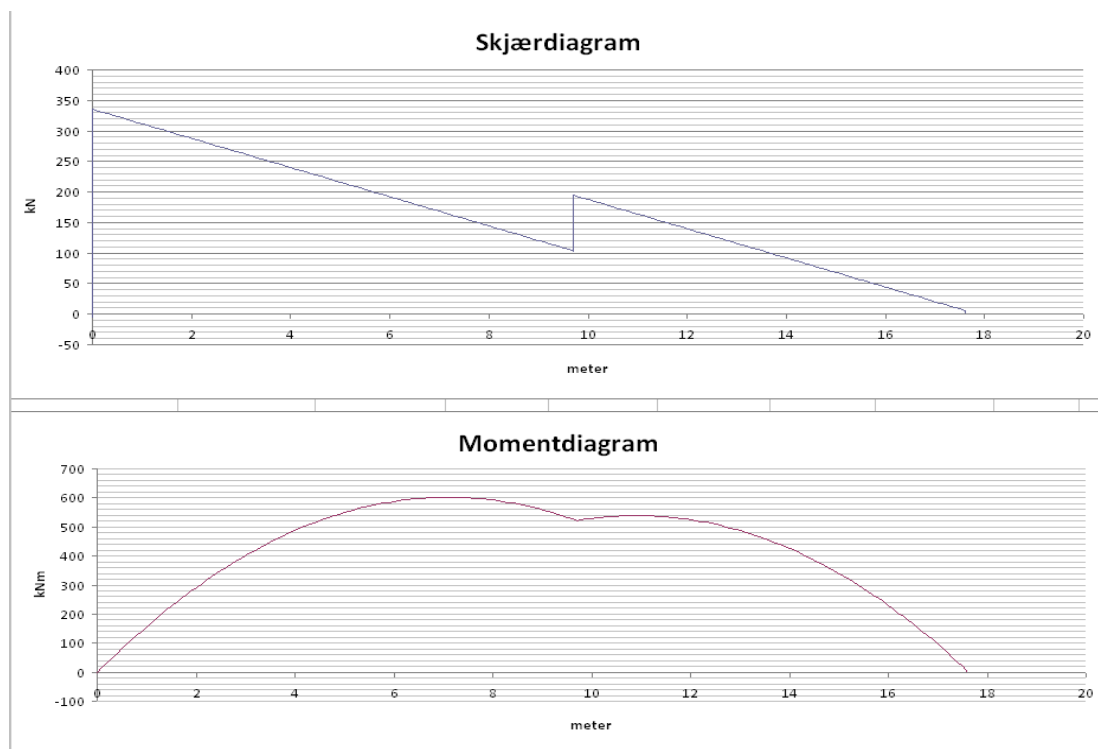
- T1 minimumskraften for tverrarmering/forankring til strekkbånd
- T2 minimumskraften for lengdearmering og hjørnearmering
- c senteravstand mellom tverrarmering

Minimumsarmering			
Tverrarmering			
c			1.2 m
T1			24 kN
Armeringsbehov			55.2 mm ²
Lengdearmering			
L1			10 m
L2			10 m
T2			200 kN
Armeringsbehov			460 mm ²
Hjørnearmering			
T2			70 kN
Armeringsbehov			161 mm ²

Figur 2.8 - Utdrag fra minimumsarmering i regnearket

På figur 2.8 er parametrene vist på figur 2.7 lagt inn. Vi klarer oss derfor med minimal input. En if-setning styrer at T₂ ikke går under 70kN.

2.6 Skjær- og momentdiagram virkemåte



Figur 2.9 - Utdrag fra skjær og momentdiagram i regnearket

Disse diagrammene er basert på at det regnes ut en skjærverdi og momentverdi i mange punkter med 0.1 meters intervaller. Totalt antall tilgjengelige punkter er ca 3000, dvs maksimalt mål per side av bygget er 300 meter. Tallene fra veggskive-inputen legges til grunn for disse beregningene.

Det blir for komplisert og lite hensiktsmessig å forklare hvordan kodene virker i detalj. Det vil derfor bare i hovedtrekk forklares hvordan strukturen er lagt opp.

2.6.1 Momentberegning

Beregningen av momentet baserer seg på:

$$M_x = -0.5 \times q \times l_x^2 + \sum_{i=1} F_i \times (l_x - l_i) + M_e \times l_x$$

Der

M_x - moment i snittet x

q - jevnt fordelt horisontallast

l_x - avstand fra hosliggende kant og inn til snittet x

l_i - avstand fra hosliggende kant og inn til aktuell veggskivekraft, dvs F_i

F_i - veggskivekraft

M_e - ekvivalent linjemoment

Beregningen er ordnet slik at leddene i sum-uttrykket faller bort dersom det er negativt (dvs at $l_i > l_x$). Det siste leddet veksler på å være positivt og negativt, avhengig av om momentet (uten linjemomentet) er positivt eller negativt ved motstående kant. Dersom ytre og indre krefter ikke er tilstrekkelig i likevekt, kan man få ganske rare resultater på momentdiagrammet (pga. linjemomentet). På denne måten er også momentdiagrammet en kvalitets sjekk vedrørende kontroll av kraftbalanse. Jo flere iterasjoner (som beskrevet på slutten av 2.1), jo strengere krav til kraftbalanse.

																		Linjemoment	-165.708 kNm/m																			
Moment-utregninger																				Moment																		
0	0	0	0	0	0	0	0	-863.67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.478	0	-0.478	0																
34.02	0	0	0	0	0	0	0	-874.56	34.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.0755	-16.5708	16.3737	0																
68.04	0	0	0	0	0	0	0	-865.45	68.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.912	-33.1416	32.96641	0																
102.06	0	0	0	0	0	0	0	-856.34	102.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2.9875	-49.7124	49.36011	0																
136.08	0	0	0	0	0	0	0	-847.23	136.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4.302	-66.2832	65.49482	0																
170.1	0	0	0	0	0	0	0	-838.12	170.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5.8555	-82.854	81.39052	0																
204.12	0	0	0	0	0	0	0	-829.01	204.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-7.648	-99.4248	97.04723	0																
238.14	0	0	0	0	0	0	0	-819.9	238.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-9.6795	-115.996	112.4649	0																
272.16	0	0	0	0	0	0	0	-810.79	272.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-11.95	-132.566	127.6436	0																
306.18	0	0	0	0	0	0	0	-801.68	306.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-14.4595	-149.137	142.5833	0																
340.2	0	0	0	0	0	0	0	-792.57	340.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-17.208	-165.708	157.284	0																

Figur 2.10 - Momentberegninger for den første meteren inn i dekket

2.6.2 Skjærkraftberegning

Beregningen av skjærkraft baserer seg på:

$$V_x = -q \times l_x + \sum F_i$$

Der

V_x - skjærkraft i snittet x

q - jevnt fordelt horisontallast

l_x - avstand fra kant og inn til snittet x

$\sum F_i$ - Summen av alle veggskivekrefter

På tilsvarende måte som for moment faller leddene i sum-uttrykket bort dersom $l_i > l_x$ for det aktuelle snittet. Det spesielle med skjærdiagrammet er at det er laget en tellemekanisme som gjør at man får to punkter for samme x-verdi akkurat der en veggskivekraft opptrer. På grunn av dette måtte skjærverdiene og de tilhørende verdier strekkes ca 7 celler mer nedover enn verdiene for moment (kan se dette helt i bunn av utregningen) fordi man med maksimalt 7 skiver er nødt til å ha 7 punkter ekstra.

Skjærutregninger																	Skjær					
340.2	0	0	0	0	0	0	335.42	-4.78	-4.78	-4.78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4.78	
340.2	0	0	0	0	0	0	333.03	333.03	0	0	0.1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	335.42
340.2	0	0	0	0	0	0	330.64	330.64	0	0	0.2	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	0.1	333.03
340.2	0	0	0	0	0	0	328.25	328.25	0	0	0.3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	330.64
340.2	0	0	0	0	0	0	325.86	325.86	0	0	0.4	1.5	1	1	1	1	1	1	1	1	0.3	328.25
340.2	0	0	0	0	0	0	323.47	323.47	0	0	0.5	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0.4	325.86
340.2	0	0	0	0	0	0	321.08	321.08	0	0	0.6	2.5	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	323.47
340.2	0	0	0	0	0	0	318.69	318.69	0	0	0.7	3	1	1	1	1	1	1	1	1	0.6	321.08
340.2	0	0	0	0	0	0	316.3	316.3	0	0	0.8	3.5	1	1	1	1	1	1	1	1	0.7	318.69
340.2	0	0	0	0	0	0	313.91	313.91	0	0	0.9	4	1	1	1	1	1	1	1	1	0.8	316.3
340.2	0	0	0	0	0	0	311.52	311.52	0	0	1	4.5	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9	313.91
340.2	0	0	0	0	0	0	309.13	309.13	0	0	1.1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	311.52

Figur 2.11 - Skjærberegninger for den første meteren inn i dekket

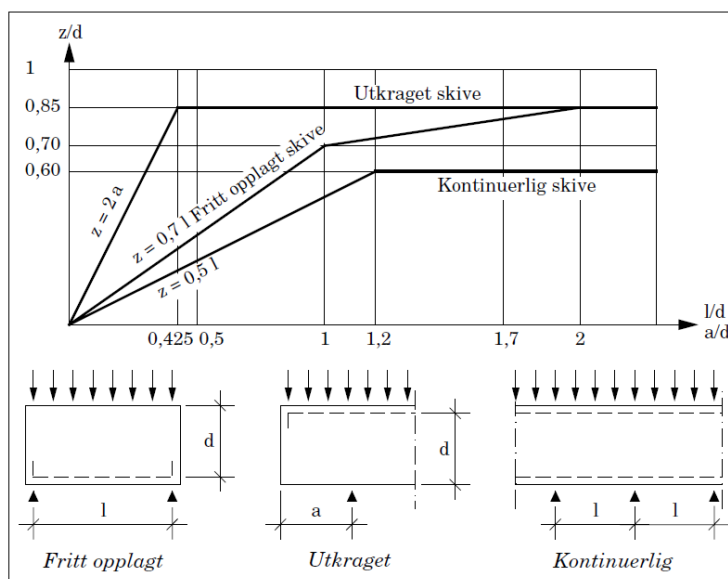
2.7 Generelle parametre

Generelle parametre			
Input som hyppig forandres på			
V _r - Skjær ved aktuelt snitt		58.5	kN
M _r - Moment ved aktuelt snitt (som gir strekk)			kNm
Z - Momentarm		6	m
Momentstrekk i snitt		0	kN
Skjærstrøm i snitt		9.75	kN/m
Input som sjeldent forandres på			
n - Antall endefuger		4	
b - elementbredde		1.2	m
fugehøyde		235	mm

Figur 2.12 - Utdrag fra generelle parametre i regnearket

Disse parametrene virker felles på flere av dimensjoneringskategoriene under. Det er delt opp i to avsnitt, dvs ”input som hyppig forandres på” (input som typisk må endres for hvert snitt som dimensjoneres) og ”input som sjeldent forandres på” (input som typisk ikke endres selv om man skjekker forskjellig snitt). Skjær og moment må påføres manuelt utifra diagrammene, noe Spenncon også ønsket (det kunne vært automatisert, men da hadde det samtidig ikke blitt så fleksibelt).

Bak ”Moment ved aktuelt snitt” er det ført på i parentes ”(som gir strekk)” fordi regnearket videre kun benytter dette momentet til å dimensjonere konstruksjonsdeler i strekk, dvs ingen trykk/knekningskontroll. Dersom dette utarbeides senere, kan denne kommentaren sløyfes. Vi får også momentstrekket (i kN) som output her, slik at denne enkelt kan legges til i ”annet strekk” i aktuelle fuger. Man får også skjærstrømmen direkte ut her. I og med at verdien av momentarmen (Z) er vanskelig å lage en algoritme for, uten å ta en vurdering av stivhet, er den valgt å holdes åpen, men følgende hjelpefigur er lagt ved som et pop-up-bilde:



Figur B 12.37.
Indre momentarm i skiver.

Figur 2.13 - Valg av momentarm som funksjon av opplagerbetingelse (ref kilde [2])

Det var også vanskelig å inkludere reglene for hakk og utsparinger i regnearket, men man har imidlertid mulighet til å inkludere diverse strekk-krefter under «annet strekk» i selve dimensjoneringen.

2.8 Forankringstabell

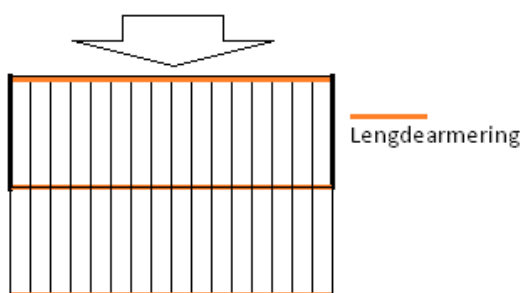
Det er lagt til en forankringstabell for bruk eller sammenlikning av kamstål og forskjellige gjenger. Denne tabellen tar for seg total kapasitet av forankringen, maksimal strekk-kraft basert på erfaring, samt forankringslengde. Finnes også i betongelementbøkene (ref kilde [3]).

2.9 Armering ved last parallelt med hulldekkene

Dersom lastretningen er parallell med hulldekkene, hopp til denne kategorien. Se figur 2.3.

2.9.1 Lengdearmering

Lengdearmeringen legges som strekkjern på følgende måte:



Figur 2.14 - lengdearmering

Skjærstrekk inngår i alle endefuger i snittet, og momentstrekk inngår i fugene der momentet gir strekk (nederste fugen på dette bildet). Formelen som brukes for å beregne lengdearmering i programmet er:

$$A_s = \frac{M_f}{z \times f_{yd}} + \frac{V_f}{n \times \mu \times f_{yd}} + \frac{\text{Annet strekk}}{f_{yd}}$$

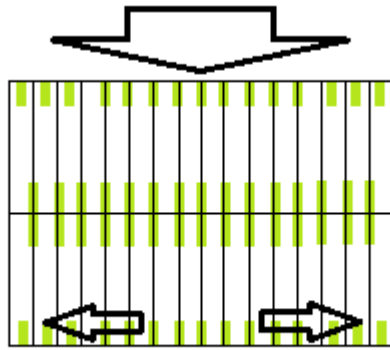
1. Lengdearmering					
Annen strekk-kraft			90 kN		
Armeringsbehov for fuge		278.555558	<	Minimumsarmering	
Dimensjonerende armeringsbehov		480 mm ²			
Tilsvarende dimensjonerende strekk-kraft		200 kN			
Diameter for jern valgt		10 mm			
Antall jern		6			

Figur 2.15 - Utdrag fra beregning av lengdearmering i regnearket

Her er skjær- og momentbidraget satt i "Generelle parametre" automatisk tatt med. Annen strekk-kraft inkluderer her alle andre påvirkninger som gir strekk i fugen, f eks vindsug. Pass på at benevningen er kN og ikke kN/m. En if-setning styrer armeringsbehovet slik at det aldri blir lavere enn minimumsarmering. En har også mulighet til å se hvor mange jern det blir (hvis denne løsningen velges) ved å putte inn diameteren på jernet. Formelen i "Antall jern" runder svaret alltid opp til nærmeste hele jern.

2.9.2 Tverrarmering

Eksempel på hvordan man legger tverrarmering ved dette lastbildet:



Figur 2.16 - Tverrarmering ved lastretning parallelt med hulldekkene

Tverrarmering innebærer all armering som legges på tvers av lengdearmering. Formel som brukes for å beregne tverrarmeringen i programmet er basert på kraft per fuge:

$$A_s = \frac{V_f \times b}{z \times \mu \times f_{yd}} + \frac{\text{Annet strekk}}{f_{yd}}$$

2. Tverrarmering			
Annen strekk-kraft per fuge (f eks torsjonslås, sug)		40	kN
Armeringsbehov		107.333333	> Minimumsarmering
Dimensjonerende armeringsbehov		107.333333	mm ²
Tilsvarende dimensjonerende strekk-kraft		48.6888887	kN
Diameter for jern valgt		10	mm
Antall jern		2	

Figur 2.17 - Utdrag fra tverrarmering i regnearket (ved lastretning parallelt med hulldekkene)

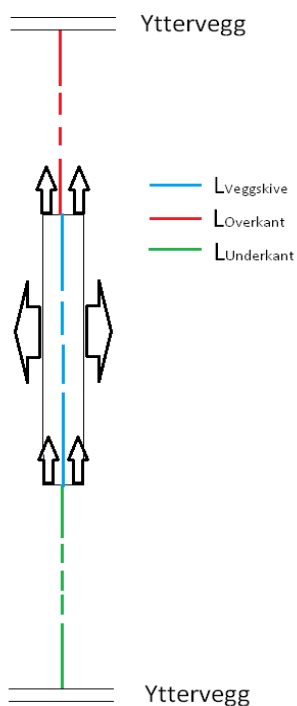
I "Annen strekk-kraft per fuge" angis (på figur 2.16) belastning per fuge i kN. Her er det også if-setninger som styrer beregningen på samme måte som for lengdearmeringen.

2.9.3 Kraftinnføring i veggskiver

3. Kraftinnføring				
Lskjærfuge		2.2 m		
Løvre		1.9 m		
Lnedre		1.9 m		
Veggskive-kraft		60 kN		
andel skjærfuge		22 kN		
andel kanttrykk/strekkøvre		19 kN		
andel kanttrykk/strekknedre		19 kN		
Annen kraft i tillegg til skjærstrekk		11 kN		
Annen kraft i tillegg til kanttrykk/strekkøvre		2.8 kN		
Annen kraft i tillegg til kanttrykk/strekknedre		3 kN		
Armeringsbehov skjærfuge		109.633333 mm ²	<=>	47.6666667 kN
Armeringsbehov kanttrykk/strekkøvre		50.14 mm ²	<=>	21.8 kN
Armeringsbehov kanttrykk/strekknedre		50.6 mm ²	<=>	22 kN

Figur 2.18 - Utdrag fra kraftinnføring i regnearket (ved lastretning parallelt med hulldekkene)

Det tas utgangspunkt i å fordele lengdene ($L_{\text{skjærfuge}}$, $L_{\text{øvre}}$, L_{nedre}) etter anbefalingene, illustrert ved følgende figur:



Figur 2.19 - Illustrasjon av hvordan veggskivekreftene kan fordeles med hensyn til anbefalte fordelingslengder. Som vist virker strekket i skjærfugen normalt på de andre overføringskreftene

Formlene som brukes for å beregne andel av veggskivekraften som går i skjærfuge og kantrykk/strekk er:

$$N_{skjærstrekk} = F_v \frac{L_{veggskive}}{(L_{veggskive} + L_{overkant} + L_{underkant}) \times \mu}$$

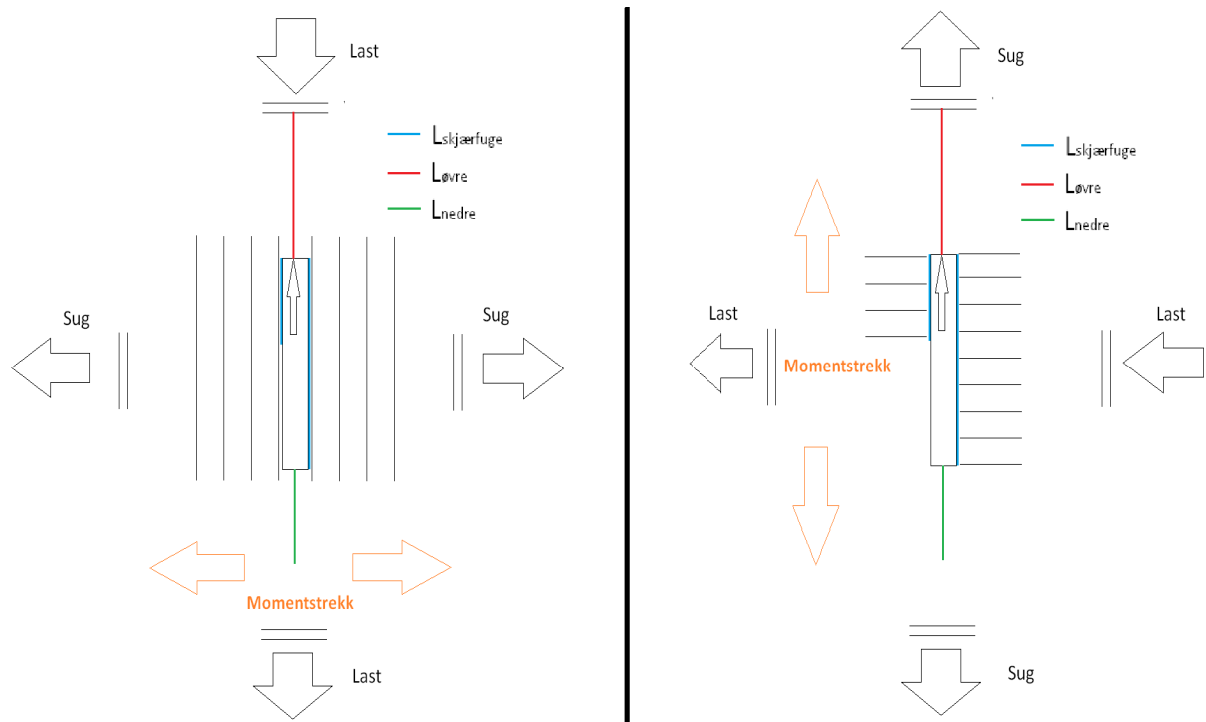
$$N_{kantrykk / strekk, overkant} = F_v \frac{L_{\text{\textit{øvre}}}}{L_{veggskive} + L_{overkant} + L_{underkant}}$$

$$N_{kantrykk / strekk, underkant} = F_v \frac{L_{\text{\textit{nedre}}}}{L_{veggskive} + L_{overkant} + L_{underkant}}$$

NB! I og med at programmet ikke forstår hva som er strekk og hva som er trykk, blir både strekk og trykk positivt her.

Lengdene kan også reguleres etter hva en selv ønsker (man er ikke fastlåst til alltid å bruke de anbefalte lengdene), ved å gjøre den ene lengden lenger i forhold til de andre, dersom det ønskes å fordele mer kraft et bestemt sted. Et eksempel på dette er der man har mulighet til å overføre skjær på begge sider av elementet.

Man har også mulighet til å legge til et ekstra strekk/trykk til den kraftinnførings-måten som måtte ønskes. Dette kan for eksempel være vindsug eller momentstrekk (momentstrekk inkluderes ikke automatisk her). Her må man imidlertid holde styr på retninger og hvordan kreftene virker. Når lasten som i dette tilfellet er orientert parallelt med hulldekkene har man to følgende alternativer:



Figur 2.20 - Alternative lastbilder for kraftinnføring ved lastretning parallelt med hulldekkene

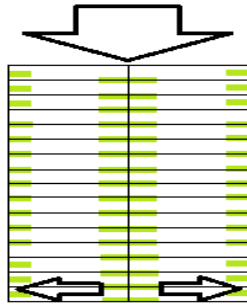
Etter at alle input er ordnet får man ut det totale armeringsbehovet for de tre kraftoverføringene. Til høyre for dette vises tilsvarende strekk-kraft som det dimensjoneres for, og er nyttig ved bruk av tabellverk.

2.10 Armering ved last vinkelrett på hulldekkene

Dersom lastretningen er vinkelrett på hulldekkene, hopp til denne kategorien. Se figur 2.3.

2.10.1 Tverrarmering

Eksempel på hvordan man legger tverrarmering ved dette lastbildet:



Figur 2.21 - Tverrarmering ved lastretning ortogonalt på hulldekkene

Tverrarmering innebærer all armering som legges på tvers av lengdearmering. Formel som brukes for å beregne tverrarmeringen i programmet er basert på kraft per fuge:

$$A_s = \frac{V_f \times b}{z \times \mu \times f_{yd}} + \frac{\text{Annet strekk}}{f_{yd}} + \frac{M_f}{z \times f_{yd} \times j}$$

(j er antall fuger/elementer som momentstrekket anses å fordele seg på)

1. Tverrarmering				
Annen strekk-kraft per fuge (f eks torsjonslås, sug)		6 kN		
Samtidig virkende momentstrekk		0 kN		NB! Momentstrekket i
Antall fuger/elementer som opptar moment-strekket		2		
Armeringsbehov		27.9914894	<	Minimumsarmering
Dimensjonerende behov		55.2 mm ²		
Tilsvarende strekk-kraft		24 kN		
Diameter for jern valgt		10 mm		
Antall jern		1		

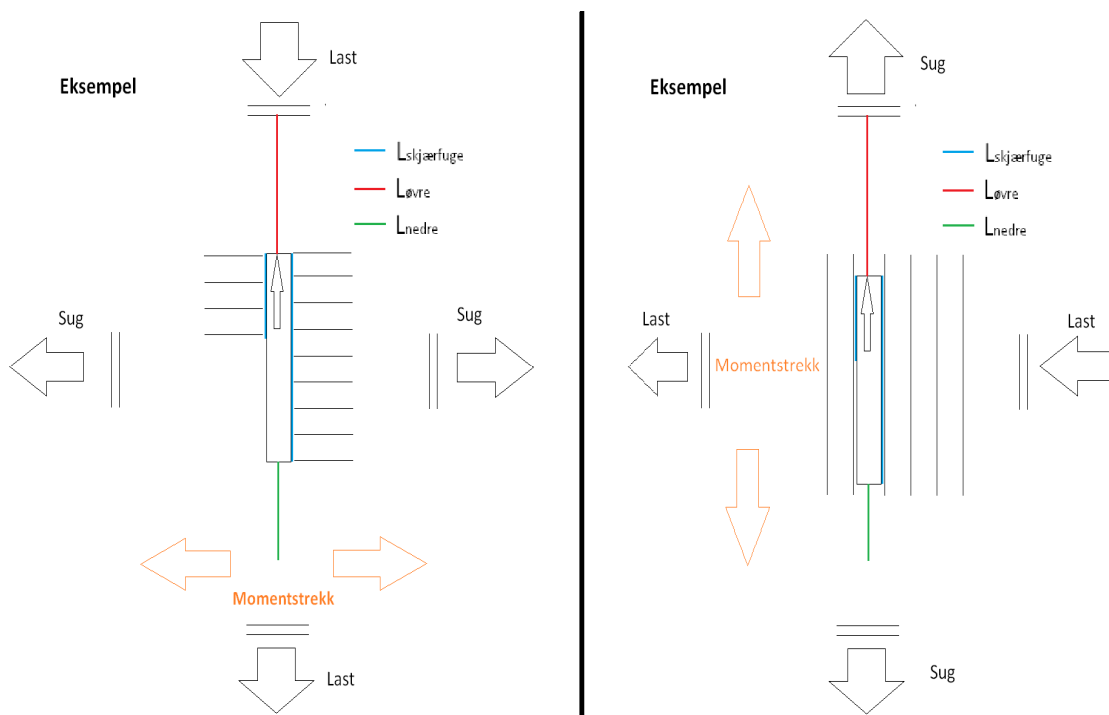
Figur 2.22 - Utdrag fra tverrarmering i regnearket (ved lastretning vinkelrett på hulldekkene)

Utdrag fra tverrarmering i regnearket. Her er momentstrekket (og selvfølgelig skjærkraften) automatisk inkludert. Momentet må derfor reguleres manuelt fra

”Generelle parametere”. Momentstrekking fordeles i utgangspunktet på fuger, men kan i visse tilfeller fordeles på elementer, f eks ved forankring til bærende vegg eller bjelke. Da endres ”antall fuger som opptar momentet-strekking” til ”antall elementer som opptar moment-strekking”. Regnemodellen forblir imidlertid identisk.

2.10.2 Kraftinnføring i veggskiver.

Både regnemethoden i regnearket og formlene som brukes for å beregne anbefalte andeler av kraftoverføring, er de samme som for lastretning parallelt med hulldekkene. Det som er annerledes er hvordan man legger til de ekstra ytre kreftene. Retningene må holdes under kontroll. Når lasten, som i dette tilfellet er orientert vinkelrett på hulldekkene, har man to følgende alternativer:



Figur 2.23 - Alternative lastbilder for kraftinnføring ved lastretning vinkelrett på hulldekkene

Ellers er metoden akkurat lik, se 2.9.3.

2.11 Skjærkontroll

Dette punktet er uavhengig av hvordan hulldekkene er orientert i forhold til lasten. Det eneste som teller her er om kapasiteten blir større eller mindre enn det man har puttet inn som skjærkraft og momentarm under ”Generelle parametre”. Formlen som brukes for normal skjærkontroll er:

$$V_{Rdi} = c \times f_{ctd} \times A_i + \mu \times f_{yd} \times A_s + \mu \times N_{Ed} \leq 0.15 \times A_i$$

(En if-setning styrer også her at kapasiteten aldri overstiger øvre grense)

og ved dynamisk eller utmattingslast:

$$V_{Rdi} = 0.6 \times f_{yd} \times A_s + 0.6 \times N_{Ed} \leq 0.15 A_i$$

I regnearket velges automatisk $c=0.6$ og $\mu=0.6$

Skjærkontroll for begge lastretninger			
Skjærstrøm		8.50715746 kN/m	
Ruhet c		0.03	
Ruhet μ		0.5	
A_s		85.2 mm ² /m	
N_{ed}		-30 kN	
Skjærkapasitet		14.5711092 kN/m	OK!!!
Skjærkapasitet ved utm.- eller dyn. last (c=0, $\mu=0.6$)		4.54153107 kN/m	IKKE OK!!!

Figur 2.24 - Utdrag fra skjærkontroll i regnearket

Det er viktig å presisere at det er skjærstrømmen man måler ting opp mot i regnearket, dvs kapasiteten er V_{Rdi}/Z . Når man beregner må man derfor kontrollere snittet med den største skjærstrøm i forhold til armeringsmengde.

A_s er armeringsareal som krysser fugen på tvers, N_{ed} er ytre normalkraft som virker normalt på fugen (negativ ved strekk). Ellers plukkes fugehøyde og z-

verdi fra "Generelle parametre" som input. Hvis kapasiteten holder, får man et "OK!!!", og hvis den ikke holder får man et "IKKE OK!!!".

2.12 Forankring i sidekant

Pga at dette ofte kan være et litt omfattende punkt, er det laget et eget avsnitt om det i regnearket. For valg av løsning for forankring i sidekant, må det først brukes tabellverk for å kontrollere selve hulldekket. Disse er lagt til i arket, men de finnes også i [3] betongelementboken bind C. De er basert på B45, og tar for seg øvre grenselast ved forskjellige vanlige dekker og hullstørrelser. Den øvre grenselasten omgjøres til punktlast for et gitt minstekrav for senteravstand. Man kan deretter bruke tabellen for å finne ut om senteravstanden overgår minstekravet som funksjon av kraften som skal overføres, og hvilket kanalnummer det skal forankres fra.

Disse tabellene brukes i hovedsak i forbindelse med kraftinnføring i veggskiver.

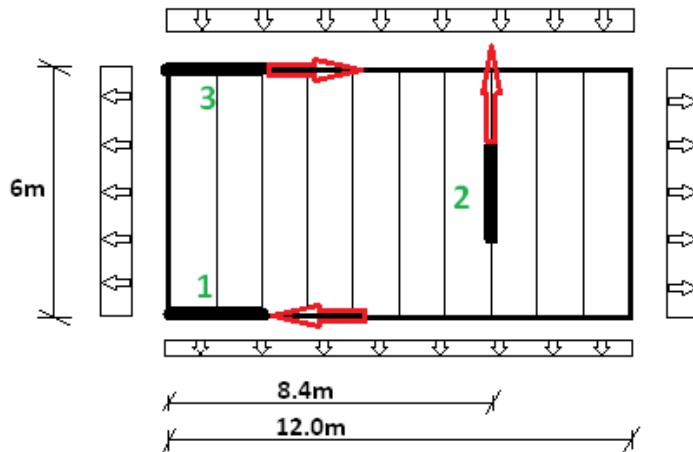
3 Eksempel 1

Vi vil nå ta for oss et eksempel for å teste regnearket for det som nå er gjennomgått i brukerveiledningen. Felles parametre for de last-tilfellene vi skal teste her, er materialparametre og minimumsarmering:

Materialparametre				
Betong	fck	45	fcd	25.5
	α_{cc}	0.85		
	γ_c	1.5		
	fctk	2.7	fctd	1.53
	α_{ct}	0.85		
Stål	fyk	500	fyd	434.7826087
	γ_s	1.15		
Skjær-friksjonskoeffisient		0.6		

Minimumsarmering				
Tverrsarmering				
c			1.2 m	
T1			24 kN	
Armeringsbehov			55.2 mm ²	
Lengdearmering				
L1			6 m	
L2			m	
T2			70 kN	
Armeringsbehov			161 mm ²	
Hjørnearmering				
T2			70 kN	
Armeringsbehov			161 mm ²	

3.1 Last parallelt med hulldekkene



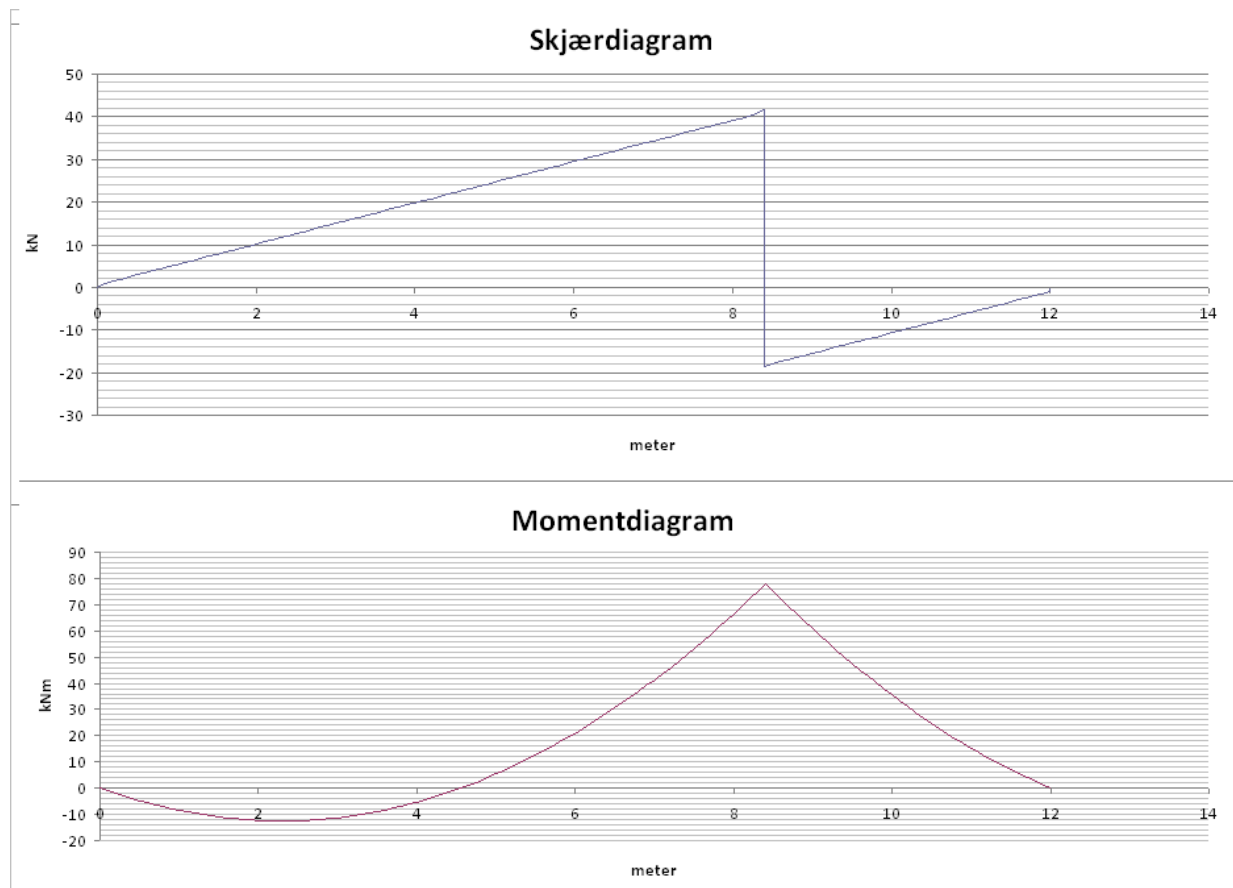
Den totale lasten er her 4.835kN/m, Hvorav 2.5kN/m virker nederst (som sug) og 2.334kN/m virker øverst på bildet (som trykk). Suget på siden er 5kN/m.

Veggskivekraft 1 er -24kN, veggskivekraft 2 er 60kN, veggskivekraft 3 er 24kN.

3.1.1 Veggskive-input

Veggskive-input				
Plassering av veggskiver orientert parallellt med lastretning				Kraftbalanse
Veggykkelse	0.2 m	Last	4.835 kN/m	-0.046
Avstand mellom 0-x (utkrager HK)	8.4 m	F1	-60 kN	
Avstand mellom 1-2	0 m	F2	0 kN	
Avstand mellom 2-3	0 m	F3	0 kN	
Avstand mellom 3-4	0 m	F4	0 kN	
Avstand mellom 4-5	0 m	F5	0 kN	
Avstand mellom 5-6	0 m	F6	0 kN	
Avstand mellom 6-7	0 m	F7	0 kN	
Avstand mellom x-8 (utkrager MK)	3.6 m			
Totalt innvendig mål	12 m			
Totalt utvendig mål	12.4 m			
Plassering av veggskiver orientert ortogonalt på lastretning				
Veggykkelse	0.2 m			
Avstand mellom 0-x (utkrager HK)	0 m	F1	24 kN	
Avstand mellom 1-2	6 m	F2	-24 kN	
Avstand mellom 2-3	0 m	F3	0 kN	
Avstand mellom 3-4	0 m	F4	0 kN	
Avstand mellom 4-5	0 m	F5	0 kN	
Avstand mellom 5-6	0 m	F6	0 kN	
Avstand mellom 6-7	0 m	F7	0 kN	
Avstand mellom x-8 (utkrager MK)	0 m			
Totalt innvendig mål	6 m			
Totalt utvendig mål	6.4 m			

3.1.2 Moment- og skjær diagram



3.1.3 Generelle parametre

Moment og skjærkraft vil byttes hele tiden. Vedrørende momentarm er hele dekkeskiven sett på som utkrager. $d=5.75$.

Venstre side av opplegg: $a=8.4 \Rightarrow a/d=8.4/5.75=1.46 \Rightarrow Z=0.85*d=4.89\text{m}$

Høyre side av opplegg: $a=3.6 \Rightarrow a/d=3.6/5.75=0.63 \Rightarrow Z=0.85*d=4.89\text{m}$

Den blir dermed konstant i alle snitt her.

Z (momentarm)		4.89 m
Momentstrekk i snitt		0 kN
Input som sjeldent forandres på		
Antall endefuger n		2
elementbredde		1.2 m
fugehøyde		235 mm

3.1.4 Lengdearmering

Vi tar først for oss den nederste fugen som får både maksimal skjærkraft og moment. Ved $x=8.4$ har vi $M_f=78\text{kN}$, $V_f=41.6\text{kN}$. Suget fra siden er 5kN/m , og lastbredde for fugen er 3m . Annet strekk vil da utgjøre $5*3=15\text{kN}$

1. Lengdearmering				NB! Momentstrekk og Skjær	
Annen strekk-kraft (f eks sug)		15	kN		
Armeringsbehov for fuger		150.92045	<	Minimumsarmering	
Dimensjonerende armeringsbehov		161	mm ²		
Tilsvarende dimensjonerende strekk-kraft		70	kN		
Diameter for jern valgt		12	mm		
Antall jern		2			

Vi ser at vi får minimumsarmering. Da vil dette også gjelde den øverste endefugen (som ikke får noe momentstrekk), og også alle andre punkter. Dermed legger vi minimumsarmering, 2Ø12 i endefugene. Dette vil også gjelde for hjørnearmering og i randstøp.

3.1.5 Tverrarmering

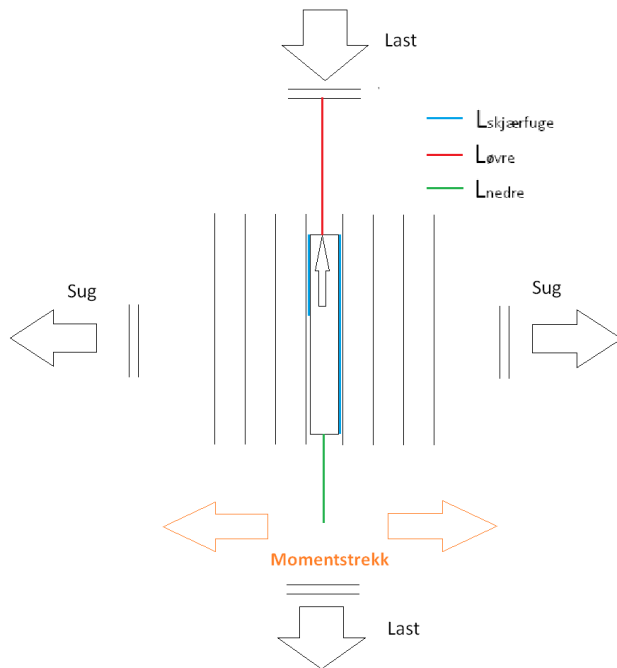
Suget på undersiden av bygget utgjør 2.5kN/m . Annet strekk per fuger utgjør da $2.5*1.2\text{m}=3\text{kN}$. Kontrollerer også her for maksimal skjærkraft, 41.6kN

2. Tverrarmering					
Annen strekk-kraft per fuger (f eks torsjonslås, sug)		3	kN		
Armeringsbehov		46.0329243	<	Minimumsarmering	
Dimensjonerende armeringsbehov		55.2	mm ²		
Tilsvarende dimensjonerende strekk-kraft		24	kN		
Diameter for jern valgt		10	mm		
Antall jern		1			

Vi får også her minimumsarmering, og kan bruke 1 gjengestang K4.6 M24 ($N_{\text{maks}}=45\text{kN}$) i hvert element på kanten, eventuelt 1Ø10 i fugen.

3.1.6 Kraftinnføring i veggskiver

Ser bare på den ene skiven som tar imot all translasjon (skive 2), fordi vi forventer at de to andre skivene tar større last ved det andre lastbildet som skal skjekkes. Vi har derfor kun dette lastbildet å ta hensyn til (bildet til venstre på popup-bildet):



Veggskiven står midt i bygget, og tar derfor ikke noe momentstrekk. Suget må imidlertid legges til på skjærstrekket, med lastbredde lik lengden av veggskiven (2.2m). Selve lasten legges også til på kantrykket/strekket over og under (trykk over og strekk under), med lastbredde lik elementbredde (1.2m).

Annen kraft i tillegg til skjærstrekk= $2.2\text{m} \cdot 5\text{kN/m} = 11\text{kN}$

Annen kraft i tillegg til kantrykk/strekk_{øvre}= $1.2\text{m} \cdot 2.335\text{kN/m} = 2.8\text{kN}$

Annen kraft i tillegg til kantrykk/strekk_{nedre}= $1.2\text{m} \cdot 2.5\text{kN/m} = 3\text{kN}$

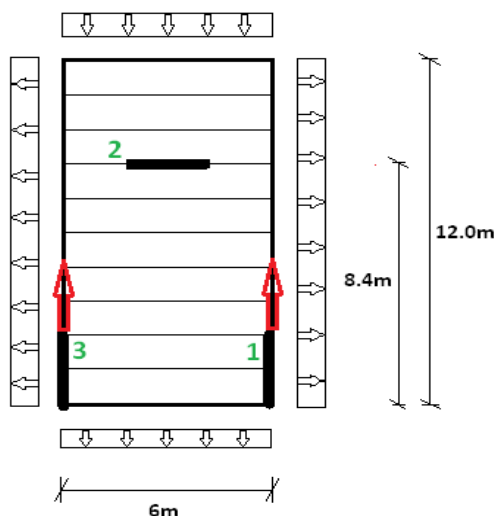
Bruker de anbefalte lengdene for kraftfordeling:

3. Kraftinnføring				
Lskjærfuge		2.2 m		
Løvre		1.9 m		
Lnedre		1.9 m		
Veggskive-kraft		60 kN		
andel skjærfuge		22 kN		
andel kanttrykk/strekk _{øvre}		19 kN		
andel kanttrykk/strekk _{nedre}		19 kN		
Annen kraft i tillegg til skjærstrekk		11 kN		
Annen kraft i tillegg til kanttrykk/strekk _{øvre}		2.8 kN		
Annen kraft i tillegg til kanttrykk/strekk _{nedre}		3 kN		
Armeringsbehov skjærfuge		109.633333 mm ²	<=>	47.6666667 kN
Armeringsbehov kanttrykk/strekk _{øvre}		50.14 mm ²	<=>	21.8 kN
Armeringsbehov kanttrykk/strekk _{nedre}		50.6 mm ²	<=>	22 kN

Vi ser på tabellen for kontroll av forankring i sidekant. Vi har mulighet til å fordele skjærstrekk på hver side av veggskiven. Ønsker å forankre fra kanal nr 1. Grenselasten er 28.7 kN/m. Kravet til senteravstand er 0.48m, og tilhørende maksimalt strekk er 13.8 kN. Stiller 4 meter til rådighet for skjæroverføringen. $47.67\text{kN}/4=11.92\text{ kN/m}$. Senteravstanden i dette tilfellet overgår kravet: $13.8/11.92=1.16\text{m}$.

Kan f eks velge en gjengestang K4.6 M16 med stålkapasitet 45kN på hver side av veggskiven. Total kapasitet blir da 90kN.

3.2 Last ortogonalt på hulldekkene



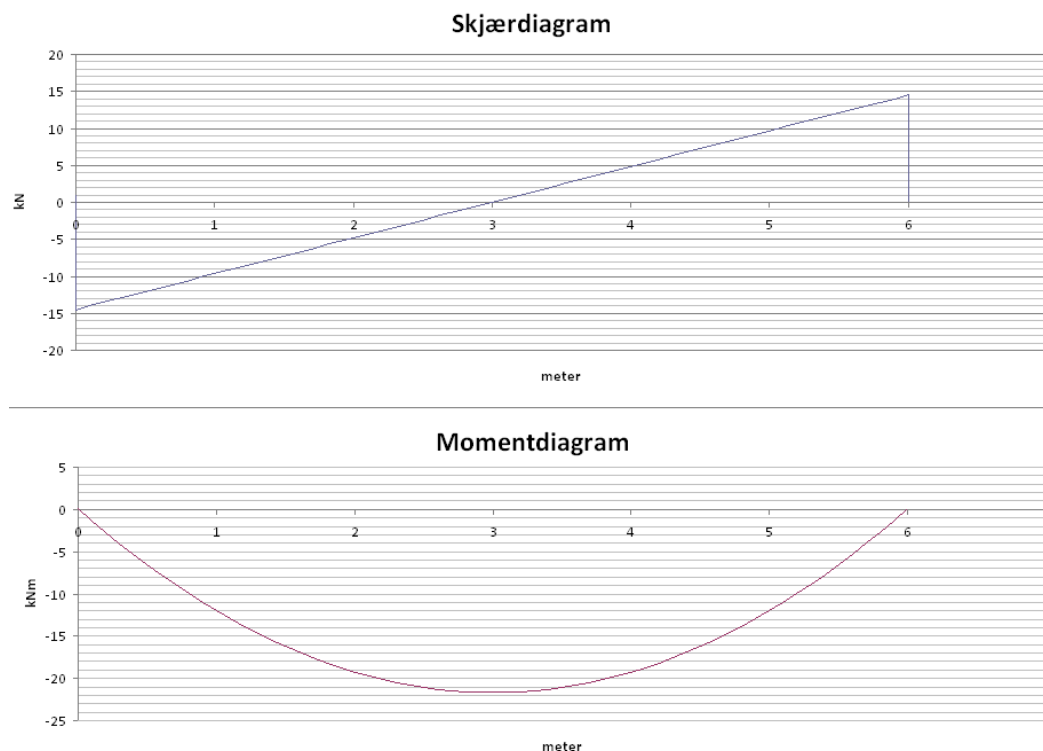
Lasten er fortsatt 4.835kN/m, og suget er 5kN/m.

Veggskivekraft1=Veggskivekraft3=14.5kN.

3.2.1 Veggskiveinput

Veggskive-input				
Plassering av veggskiver orientert parallelt med lastretning				Kraftbalanse
Veggtykkelse	0.2 m	Last	4.835 kN/m	0.004
Avstand mellom 0-x (utkrager HK)	0 m	F1	-15.47 kN	
Avstand mellom 1-2	6 m	F2	-15.47 kN	
Avstand mellom 2-3	0 m	F3	0 kN	
Avstand mellom 3-4	0 m	F4	0 kN	
Avstand mellom 4-5	0 m	F5	0 kN	
Avstand mellom 5-6	0 m	F6	0 kN	
Avstand mellom 6-7	0 m	F7	0 kN	
Avstand mellom x-8 (utkrager MK)	0 m			
Totalt innvendig mål	6 m			
Totalt utvendig mål	6.4 m			
Plassering av veggskiver orientert ortogonalt på lastretning				
Veggtykkelse	0.2 m			
Avstand mellom 0-x (utkrager HK)	8.4 m	F1	0 kN	
Avstand mellom 1-2	0 m	F2	0 kN	
Avstand mellom 2-3	0 m	F3	0 kN	
Avstand mellom 3-4	0 m	F4	0 kN	
Avstand mellom 4-5	0 m	F5	0 kN	
Avstand mellom 5-6	0 m	F6	0 kN	
Avstand mellom 6-7	0 m	F7	0 kN	
Avstand mellom x-8 (utkrager MK)	3.6 m			
Totalt innvendig mål	12 m			
Totalt utvendig mål	12.4 m			

3.2.2 Skjær- og momentdiagram



3.2.3 Generelle parametre

Skiven blir sett på som fritt opplagt. $l/d=6/11.75=0.51 \Rightarrow$

$Z=0.7*1=0.7*6=4.2\text{m}$. De andre parametrene er like som i 3.1.3.

3.2.4 Tverrarmering

Skjekker for maksimalt moment, 21.65kNm (Skjærkraft=0)

Antar at momentet fordeler seg på to fuger. Suget utgjør $5\text{kN/m} * 1.2\text{m} = 6\text{kN/fuge}$.

1. Tverrarmering					
Annen strekk-kraft per fuge (f eks torsjonslås, sug)		6	kN		
Samtidig virkende momentstrekk		4.60638298	kN		NB! Momentstrekket in
Antall fuger/elementer som opptar moment-strekket		2			
Armeringsbehov		19.0973404		<	Minimumsarmering
Dimensjonerende behov		55.2	mm ²		
Tilsvarende strekk-kraft		24	kN		
Diameter for jern valgt		10	mm		
Antall jern		1			

Vi får minimumsarmering. Vi sjekker forankringen til veggskivene etterpå, og vi får se om vi får en større påkjenning. Kontrollerer også de andre fugene for maksimal skjærkraft, 14.5kN

1. Tverrarmering					
Annen strekk-kraft per fuge (f eks torsjonslås, sug)		6	kN		
Samtidig virkende momentstrekk		0	kN		NB! Momentstrekket in
Antall fuger/elementer som opptar moment-strekket		2			
Armeringsbehov		27.9914894		<	Minimumsarmering
Dimensjonerende behov		55.2	mm ²		
Tilsvarende strekk-kraft		24	kN		
Diameter for jern valgt		10	mm		
Antall jern		1			

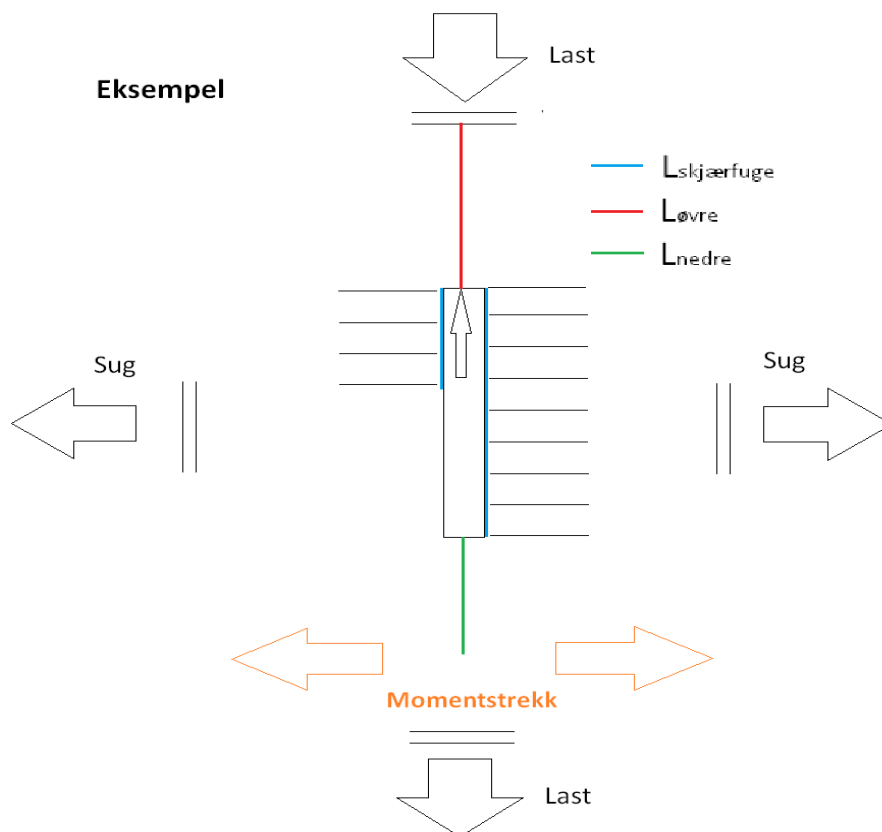
Velger 1Ø10 i hver fuge som ikke omfatter forankringen til veggskivene.

3.2.5 Kraftinnføring i veggskiver

(Ved last parallelt med hulldekkene fikk vi en litt større veggskivekraft, 24kN.

Vi kjører imidlertid først gjennom dette eksempelet med 15.47kN, deretter tar vi det dimensjonerende tilfellet for å få vist frem mest mulig av programmet)

Vi har her bare ett alternativ for lastbilde (bildet til venstre på popup-bildet):

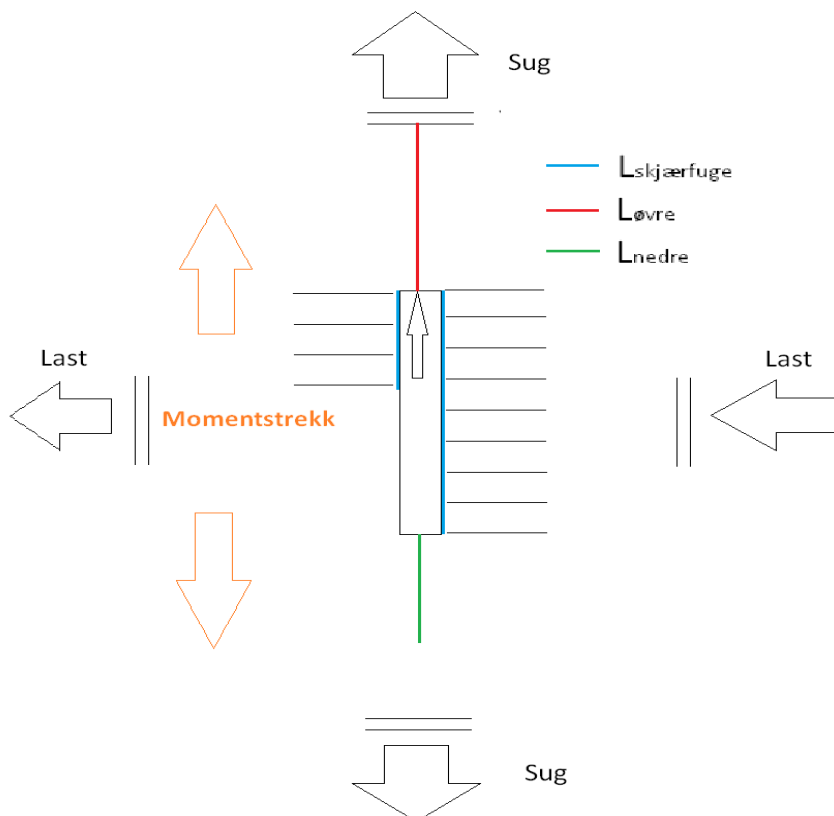


Fordeler alt i skjærfugen. Momentstrekket er 4.6kN fordelt på 1 element. Ønsker å være konservativ og si at begge elementene som overfører denne krafta (i og med at den totale krafta deles på 2 elementer etterpå). Momentstrekket blir da 9.2kN. Suget er $5\text{kN/m} \cdot 2.4\text{m} = 12\text{kN}$. Annet strekk utgjør dermed $9.2 + 4.6 = 21.2\text{kN}$

2. Kraftinnføring						
Lskjærfuge			2.4 m			
Løvre			0 m			
Lnedre			0 m			
Veggskive-kraft			15.47 kN			
andel skjærfuge			15.47 kN			
andel kanttrykk/strekkøvre			0 kN			NB! Her regnes både kanttrykk og kar
andel kanttrykk/strekknedre			0 kN			
Annen kraft i tillegg til skjærstrekk			21.2 kN			
Annen kraft i tillegg til kanttrykk/strekkøvre			kN			
Annen kraft i tillegg til kanttrykk/strekknedre			kN			
Armeringsbehov skjærfuge		108.061667	mm ²	<=>	46.9833333	kN
Armeringsbehov kanttrykk/strekkøvre		0	mm ²	<=>	0	kN
Armeringsbehov kanttrykk/strekknedre		0	mm ²	<=>	0	kN

2 elementer tar imot krafta. $46.98\text{kN}/2=23.5\text{kN}$. Kan derfor bruke 1Ø10 i hvert element som forankring.

Deretter ser vi på det reelle tilfellet med 24kN som veggskivekraft. Da virker lasta parallelt med hulldekkene, og vi må ta hensyn til dette lastbildet (bildet til høyre i popup-bildet):



Her er det kun sug på den ene veggskiven (2.5kN/m) som må tas hensyn til. Kraften blir $2.5*2.4\text{m}=6\text{kN}$.

3. Kraftinnføring			
Lskjærfuge		2.4	m
Løvre			m
Lnedre			m
Veggskive-kraft		24	kN
andel skjærfuge		24	kN
andel kanttrykk/strekk _{øvre}		0	kN
andel kanttrykk/strekk _{nedre}		0	kN
Annen kraft i tillegg til skjærstrekk		6	kN
Annen kraft i tillegg til kanttrykk/strekk _{øvre}			kN
Annen kraft i tillegg til kanttrykk/strekk _{nedre}			kN
Armeringsbehov skjærfuge		105.8	mm ²
Armeringsbehov kanttrykk/strekk _{øvre}		0	mm ²
Armeringsbehov kanttrykk/strekk _{nedre}		0	mm ²
		<=>	46 kN
		<=>	0 kN
		<=>	0 kN

NB! Her regnes både kanttrykk og

Svaret var ikke langt ifra. $46\text{kN}/2=23\text{kN}/\text{element}$. Velger samme løsning.

3.3 Skjærkontroll

Kontroll av fugene mellom hulldekkene:

Den største skjærkraften var 41.6kN , og vi får også den største skjærstrømmen fra denne kraften, dvs $41.6\text{kN}/4.89\text{m}=8.5\text{kN}/\text{m}$. Vi har minimumsarmering i begge endefuger $2\text{Ø}12$, dvs totalt areal er 452mm^2 . Suget er $-5\text{kN}/\text{m} \cdot 3 = -15\text{kN}$. (Vind regnes ikke som dynamisk last)

Skjærkontroll for begge lastretninger			
Skjærstrøm		8.50715746	kN/m
Ruhet c		0.03	
Ruhet μ		0.5	
A_s		452	mm ² /m
Ned		-15	kN
Skjærkapasitet		30.8792136	kN/m
Skjærkapasitet ved utm.- eller dyn. last (c=0, $\mu=0.6$)		24.1112563	kN/m
			OK!!!
			OK!!!

Kontroll av endefugene:

Vi har lagt 1Ø10 i hver fuge, 79mm²/1.2m, dvs 79*1.2=95mm²/m. Suget utgjør -2.5kN/m*1.2=-3kN.

Skjærkontroll for begge lastretninger				
Skjærstrøm			8.50715748 kN/m	
Ruhet c			0.03	
Ruhet μ			0.5	
As			95 mm ² /m	
Ned			-3 kN	
Skjærkapasitet			15.0095417 kN/m	OK!!!
Skjærkapasitet ved utm.- eller dyn. last (c=0,μ=0.6)			5.06765004 kN/m	IKKE OK!!!

Skjærkontrollen var OK.

4 Eksempel 2

I dette eksempelet gjennomgås kapittel 13.4 i Betongelementboken 2006 bind C - "fleretasjes bygg med hulldekker, beregningseksempel med skiveforbindelser". Eksempelen starter på side 272 i kilde [3].

4.1 Materialparametre og minimumsarmering

Materialparameterene tilsvarer betongkvalitet B45 og armeringstype B500C.

Materialparametre					
Betong	fck	45		fcd	25.5
	α_{cc}	0.85			
	γ_c	1.5			
	fctk	2.7		fctd	1.53
	α_{ct}	0.85			
Stål	fyk	500		fyd	434.7826087
	γ_s	1.15			
Skjær-friksjonskoeffisient		0.6			

Minimumsarmering blir

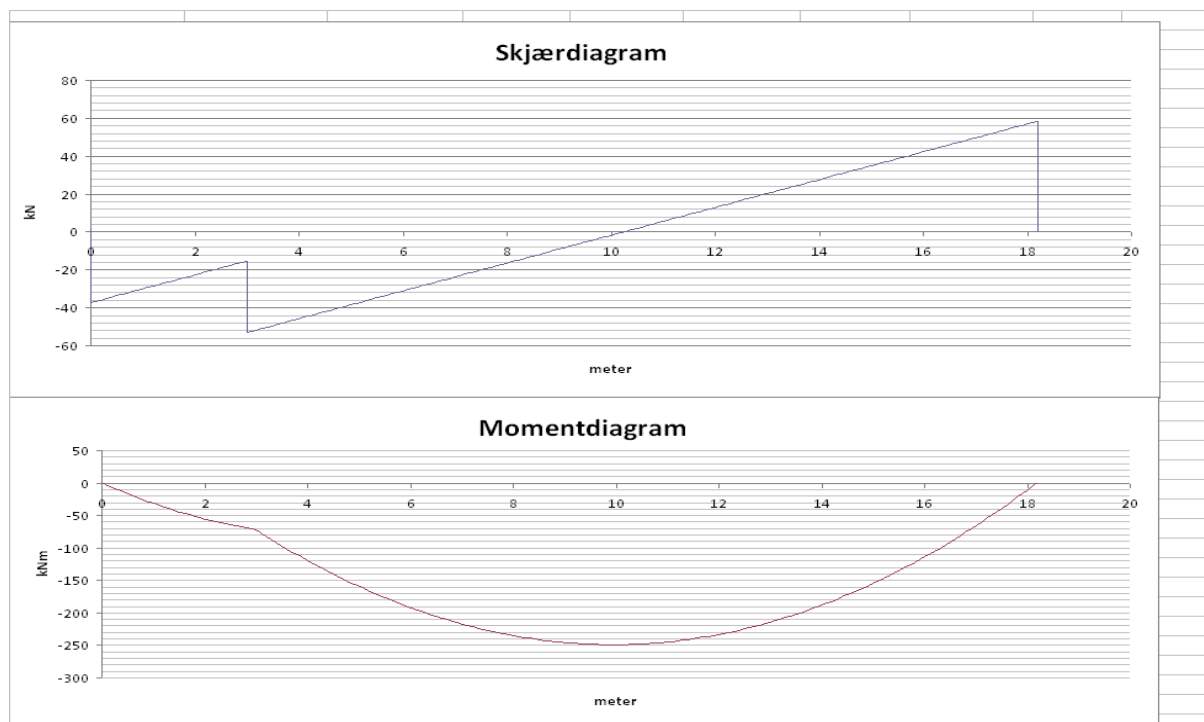
Minimumsarmering					
Tverrsarmering					
c			1.2	m	
T ₁			24	kN	
Armeringsbehov			55.2	mm ²	
Lengdearmering					
L ₁			9	m	
L ₂				m	
T ₂			90	kN	
Armeringsbehov			207	mm ²	
Hjørnearmering					
T ₂			70	kN	
Armeringsbehov			161	mm ²	

4.2 Last i y-retningen (parallelt med hulldekkene)

4.2.1 Veggskive-input og diagrammer

Veggskivekreftene måtte multipliseres med 0.97 for å oppnå en forsvarlig likevekt:

Veggskive-input				
Plassering av veggskiver orientert parallelt med lastretning				Kraftbalanse
Veggtykkelse	0.2 m	Last	7.34 kN/m	-0.376
Avstand mellom 0-x (utkrager HK)	0 m	F1	-38.8 kN	
Avstand mellom 1-2	3 m	F2	-37.8 kN	
Avstand mellom 2-3	15.2 m	F3	-60.3 kN	
Avstand mellom 3-4	0 m	F4	0 kN	
Avstand mellom 4-5	0 m	F5	0 kN	
Avstand mellom 5-6	0 m	F6	0 kN	
Avstand mellom 6-7	0 m	F7	0 kN	
Avstand mellom x-8 (utkrager MK)	0 m			
Totalt innvendig mål	18.2 m			
Totalt utvendig mål	18.6 m			
Plassering av veggskiver orientert ortogonalt på lastretning				
Veggtykkelse	0.2 m			
Avstand mellom 0-x (utkrager HK)	0 m	F1	2.2 kN	
Avstand mellom 1-2	18.2 m	F2	-2.2 kN	
Avstand mellom 2-3	0 m	F3	0 kN	
Avstand mellom 3-4	0 m	F4	0 kN	
Avstand mellom 4-5	0 m	F5	0 kN	
Avstand mellom 5-6	0 m	F6	0 kN	
Avstand mellom 6-7	0 m	F7	0 kN	
Avstand mellom x-8 (utkrager MK)	0 m			
Totalt innvendig mål	18.2 m			
Totalt utvendig mål	18.6 m			



Antall endefuger er 4 og $Z=10.5\text{m}$ mellom veggskive V og II, og antall endefuger er 2 og $Z=6\text{m}$ mellom IV og V.

4.2.2 Lengdearmring

Lengdearmring akse A:

Undersøker 4 steder. Ved maksimalt moment, ved veggskive V, akse 1 og 4.

Vindsuget er 21.2kN .

Ved maksimalt moment (moment= 248.8):

1. Lengdearmring				NB! Momentstrekk og S	
Annen strekk-kraft (f eks sug)		21.2	kN		
Armeringsbehov for fuge		103.259048	<	Minimumsarmering	
Dimensjonerende armeringsbehov		207	mm ²		
Tilsvarende dimensjonerende strekk-kraft		90	kN		
Diameter for jern valgt		12	mm		
Antall jern		2			

Ved veggskive V (skjærkraft= 53.1 (fordelt på 4 endefuger), skjærkraft= 15.3kN (fordelt på 2 endefuger), moment= 72.2kNm):

1. Lengdearmring				NB! Momentstrekk og S	
Annen strekk-kraft (f eks sug)		43.32	kN		
Armeringsbehov for fuge		150.5235	<	Minimumsarmering	
Dimensjonerende armeringsbehov		207	mm ²		
Tilsvarende dimensjonerende strekk-kraft		90	kN		
Diameter for jern valgt		12	mm		
Antall jern		2			

(Har her lagt inn skjærstrekket fra høyresiden av veggskiven til "Annen Strekk-kraft")

Ved akse 1 (skjærkraft= 37.3):

1. Lengdearmring			NBI Momentstrekk og S	
Annen strekk-kraft (f eks sug)		21.2	kN	
Armeringsbehov for fuge		120.251667	<	Minimumsarmering
Dimensjonerende armeringsbehov		207	mm ²	
Tilsvarende dimensjonerende strekk-kraft		90	kN	
Diameter for jern valgt		12	mm	
Antall jern		2		

Ved akse 4 (skjærkraft=58.5):

1. Lengdearmring			NBI Momentstrekk og S	
Annen strekk-kraft (f eks sug)		21.2	kN	
Armeringsbehov for fuge		104.8225	<	Minimumsarmering
Dimensjonerende armeringsbehov		207	mm ²	
Tilsvarende dimensjonerende strekk-kraft		90	kN	
Diameter for jern valgt		12	mm	
Antall jern		2		

Vi ser at vi får 2Ø12 i alle snitt langs akse A

Lengdearmring akse B:

Undersøker kun kritisk snitt, dvs akse 4. Vindsuget er 19.7kN langs akse B.

Ved akse 4 (skjærkraft=58.5):

1. Lengdearmring			NBI Momentstrekk og S	
Annen strekk-kraft (f eks sug)		19.7	kN	
Armeringsbehov for fuge		101.3725	<	Minimumsarmering
Dimensjonerende armeringsbehov		207	mm ²	
Tilsvarende dimensjonerende strekk-kraft		90	kN	
Diameter for jern valgt		12	mm	
Antall jern		2		

Lengdearmring akse C:

Undersøker kun kritisk snitt, dvs akse 4. Vindsuget er 29.4kN langs akse B.

Ved akse 4 (skjærkraft=58.5):

1. Lengdearmering				NB! Momentstrekk og	
Annen strekk-kraft (f eks sug)		29.4	kN		
Armeringsbehov for fuge		123.6825	<	Minimumsarmering	
Dimensjonerende armeringsbehov		207	mm ²		
Tilsvarende dimensjonerende strekk-kraft		90	kN		
Diameter for jern valgt		12	mm		
Antall jern		2			

4.2.3 Tverrarmering

Tverrarmering langs akse A og C.

Skjekker kun ved akse 1 (bruker skjær fra mitt eget diagram, men korrigerer det på samme måte for lastkombinasjoner som i boka, dvs $37.3\text{kN} \cdot 108 / 142 = 28.4\text{kN}$. Sug = $2.97 \cdot 1.05 / 1.5 = 2.1\text{kN/m}$). Inkluderer strekket som kommer pga den vridningsforhindrende forbindelsen som er 106.5kN/m . Annet strekk utgjør da $(2.1 + 106.5) \cdot 1.2 = 130.3$.

Generelle parametre			
Input som hyppig forandres på			
Vr - Skjær ved aktuelt snitt		28.4	kN
Mr - Moment ved aktuelt snitt (som gir strekk)			kNm
Z - Momentarm		6	m
Momentstrekk i snitt		0	kN
Skjærstrøm i snitt		4.73333333	kN/m
Input som sjeldent forandres på			
n - Antall endefuger		4	
b - elementbredde		1.2	m
fugehøyde		235	mm

2. Tverrarmering			
Annen strekk-kraft per fuge (f eks torsjonslås, sug)		130.3	kN
Armeringsbehov		321.463333	> Minimumsarmering
Dimensjonerende armeringsbehov		321.463333	mm ²
Tilsvarende dimensjonerende strekk-kraft		139.766667	kN
Diameter for jern valgt		12	mm
Antall jern		3	

2 M20 gjengestenger i hvert element er en forufltig løsning (som i eksempelet i kilde [3])

Tverrarmering langs akse B

Skjekker nok en gang akse 1 (største skjærstrøm)

2. Tverrarmering					
Annen strekk-kraft per fuge (f eks torsjonslås, sug)			2.97	kN	
Armeringsbehov			35.4276867	<	Minimumsarmering
Dimensjonerende armeringsbehov			55.2	mm ²	
Tilsvarende dimensjonerende strekk-kraft			24	kN	
Diameter for jern valgt			10	mm	
Antall jern			1		

110 i hver fuge som trekkes gjennom veggsliss der det er aktuelt.

4.2.4 Kraftinnføring i veggskiver

Kraftinnføring i skive II

Overfører alt i skjærfugen. Suget utgjør $4.37\text{kN/m} \cdot 9\text{m} = 39.33\text{kN}$

3. Kraftinnføring					
Lskjærfuge			9	m	
Lvre				m	
Lnedre				m	
Veggskive-kraft			62.2	kN	
andel skjærfuge			62.2	kN	
andel kanttrykk/strekkøvre			0	kN	NB! Her regnes både kanttrykk og
andel kanttrykk/strekknedre			0	kN	
Annen kraft i tillegg til skjærstrekk			39.3	kN	
Annen kraft i tillegg til kanttrykk/strekkøvre				kN	
Annen kraft i tillegg til kanttrykk/strekknedre				kN	
Armeringsbehov skjærfuge			328.823333	mm ²	<=> 142.966667 kN
Armeringsbehov kanttrykk/strekkøvre			0	mm ²	<=> 0 kN
Armeringsbehov kanttrykk/strekknedre			0	mm ²	<=> 0 kN

La oss si vi har 8.5m å fordele kraften på. Da har vi $143\text{kN}/8.5\text{m} = 16.8\text{kN/m}$ å fordele kraften på. Som i boka ønsker vi å forankre krafta i kanal nr 2, men vi gjør en forskjell ved at vi her benytter hulldekke med høyde 265 og $t=35\text{mm}$. Kravet for senteravstand er minst 0.96m. Tilhørende punktlast er da 27.6kN.

Senteravstand blir $27.6/16.8=1.64\text{m}$, og overgår minstekravet. Velger Ø10-bøyle med stålkapasitet 31kN. Bruker 7 slike med c/c avstand 1.2m.

Kraftinnføring i skive V

3. Kraftinnføring					
Lskjærfuge			8.8	m	
Løvre				m	
Lnedre				m	
Veggskive-kraft			39.3	kN	
andel skjærfuge			39.3	kN	
andel kanttrykk/strekk _{øvre}			0	kN	NB! Her regnes både kanttrykk og
andel kanttrykk/strekk _{nedre}			0	kN	
Annen kraft i tillegg til skjærstrekk				kN	
Annen kraft i tillegg til kanttrykk/strekk _{øvre}				kN	
Annen kraft i tillegg til kanttrykk/strekk _{nedre}				kN	
Armeringsbehov skjærfuge			150.65	mm ²	<=> 65.5 kN
Armeringsbehov kanttrykk/strekk _{øvre}			0	mm ²	<=> 0 kN
Armeringsbehov kanttrykk/strekk _{nedre}			0	mm ²	<=> 0 kN

$65.5\text{kN}/8.5\text{m}=7.7\text{kN/m}$. $27.6/7.7=3.6\text{m}$. Kan bruke 3 Ø10 bøyer med c/c 2.8m.

Kraftinnføring i skive IV

Her overføres hele kraften som kantstrekk. Vi kan også legge til sug i fugen på

$$2.97\text{kN/m} * 1.2\text{m} = 3.56\text{kN}$$

3. Kraftinnføring					
Lskjærfuge				m	
Løvre			8.8	m	
Lnedre				m	
Veggskive-kraft			40	kN	
andel skjærfuge			0	kN	
andel kanttrykk/strekk _{øvre}			40	kN	NB! Her regnes både kanttrykk og
andel kanttrykk/strekk _{nedre}			0	kN	
Annen kraft i tillegg til skjærstrekk				kN	
Annen kraft i tillegg til kanttrykk/strekk _{øvre}			3.6	kN	
Annen kraft i tillegg til kanttrykk/strekk _{nedre}				kN	
Armeringsbehov skjærfuge			0	mm ²	<=> 0 kN
Armeringsbehov kanttrykk/strekk _{øvre}			100.28	mm ²	<=> 43.6 kN
Armeringsbehov kanttrykk/strekk _{nedre}			0	mm ²	<=> 0 kN

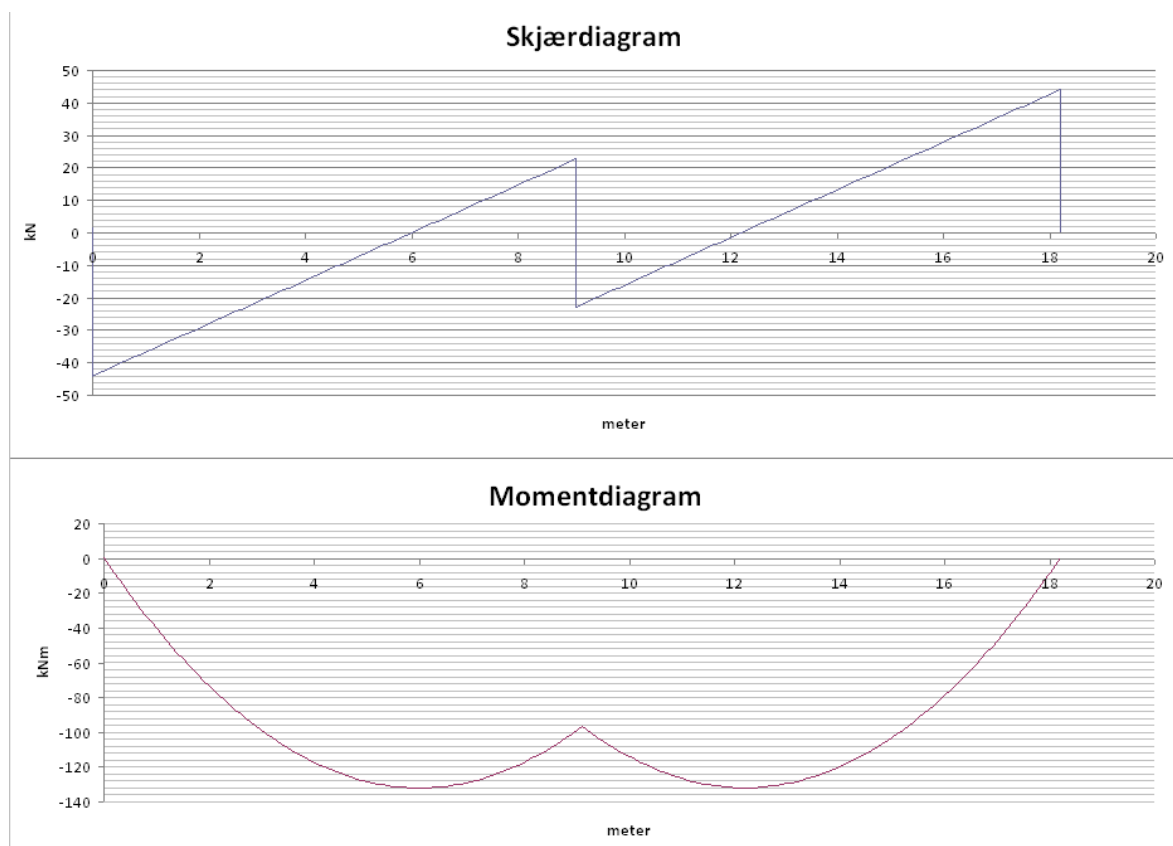
Kan overføre kraften med en K4.6 M16 gjengestang ($N_{maks}=45kN$) tvers gjennom søyla og inn i randstøpet. I randstøpet må det ligge tilsvarende mengde eller mer (minimumsarmering overgår). Inn til søyla i akse A må det også ligge en tilsvarende K4.6 M16 gjengestang.

4.3 Last i x-retningen (ortogonalt på hulldekkene)

4.3.1 Veggskive-input og diagrammer

Veggskivekreftene måtte multipliseres med 0.96 for å oppnå en forsvarlig likevekt):

Veggskive-input						
Plassering av veggskiver orientert parallellt med lastretning						Kraftbalanse
Veggykkelse	0.2 m	Last	7.34 kN/m			0.024 kN
Avstand mellom 0-x (utkrager HK)	0 m	F1	-45.5 kN			
Avstand mellom 1-2	9.1 m	F2	-45.5 kN			
Avstand mellom 2-3	9.1 m	F3	-45.5 kN			
Avstand mellom 3-4	0 m	F4	0 kN			
Avstand mellom 4-5	0 m	F5	0 kN			
Avstand mellom 5-6	0 m	F6	0 kN			
Avstand mellom 6-7	0 m	F7	0 kN			
Avstand mellom x-B (utkrager MK)	0 m					
Totalt innvendig mål	18.2 m					
Totalt utvendig mål	18.6 m					
Plassering av veggskiver orientert ortogonalt på lastretning						
Veggykkelse	0.2 m					
Avstand mellom 0-x (utkrager HK)	0 m	F1	0 kN			
Avstand mellom 1-2	0 m	F2	0 kN			
Avstand mellom 2-3	0 m	F3	0 kN			
Avstand mellom 3-4	0 m	F4	0 kN			
Avstand mellom 4-5	0 m	F5	0 kN			
Avstand mellom 5-6	0 m	F6	0 kN			
Avstand mellom 6-7	0 m	F7	0 kN			
Avstand mellom x-B (utkrager MK)	0 m					
Totalt innvendig mål	0 m					
Totalt utvendig mål	0.4 m					



$Z=5.4\text{m}$ (en mellomting mellom fritt opplagt og kontinuerlig skive):

4.3.2 Tverrarmering

Tverrarmering langs akse 4 (momentet på 132kNm regnes opptatt i 2 fuger, og ett element):

Kontrollerer fugen i akse 4 først:

Suget er $4.37\text{kN/m} \cdot 1.2\text{m} = 5.2\text{kN}$

1. Tverrarmering				
Annen strekk-kraft per fuge (f eks torsjonslås, sug)		5.2	kN	
Samtidig virkende momentstrekk		24.4444444	kN	NB! Momentstrekket
Antall fuger/elementer som opptar moment-strekket		2		
Armeringsbehov		40.0711111	<	Minimumsarmering
Dimensjonerende behov		55.2	mm ²	
Tilsvarende strekk-kraft		24	kN	
Diameter for jern valgt		10	mm	
Antall jern		1		

Deretter selve elementet:

1. Tverrarmering					
Annen strekk-kraft per fuger (f eks torsjonslås, sug)		5.2	kN		
Samtidig virkende momentstrekk		24.4444444	kN		NB! Momentstrekket i
Antall fuger/elementer som opptar moment-strekket		1			
Armeringsbehov		68.1822222	>		Minimumsarmering
Dimensjonerende behov		68.1822222	mm ²		
Tilsvarende strekk-kraft		29.6444444	kN		
Diameter for jern valgt		10	mm		
Antall jern		1			

En bør egentlig kontrollere selve elementet for strekk-kraften det tar opp.

Dersom det blir for mye strekk, kan det løses med å trekke armering gjennom kanalen av hulldekket, slik at denne i hovedsak tar strekk-kraften.

Tverrarmering i akse A og C (Skjærkraft=44kN, men korrigerer for at den vridningsforhindrende strekk-kraften er dominert slik at skjærkraft= $44 \cdot 108 / 142 = 33.5 \text{ kN}$. Sug=2.1kN, vridningsforhindrende strekk=106.5kN)

1. Tverrarmering					
Annen strekk-kraft per fuger (f eks torsjonslås, sug)		130.3	kN		
Samtidig virkende momentstrekk		0	kN		NB! Momentstrekket
Antall fuger/elementer som opptar moment-strekket		1			
Armeringsbehov		328.227037	>		Minimumsarmering
Dimensjonerende behov		328.227037	mm ²		
Tilsvarende strekk-kraft		142.707407	kN		
Diameter for jern valgt		12	mm		
Antall jern		3			

Vi ser vi får omtrent det samme som for last i y-retning. 2M20 gjengestenger legges i hvert element.

4.3.3 Kraftinnføring i veggskiver

Kraftinnføring skive I

Overfører hele kraften (47.3kN) i skjærfugen. Suget er $4.37 \text{ kN/m} \cdot 5.8 \text{ m} = 25.3 \text{ kN}$.

2. Kraftinnføring					
Lskjærfuge		5.8 m			
Løvre		0 m			
Lnedre		0 m			
Veggskive-kraft		47.3 kN			
andel skjærfuge		47.3 kN			
andel kanttrykk/strekkøvre		0 kN			NB! Her regnes både kanttrykk og
andel kanttrykk/strekknedre		0 kN			
Annen kraft i tillegg til skjærstrekk		25.3 kN			
Annen kraft i tillegg til kanttrykk/strekkøvre		kN			
Annen kraft i tillegg til kanttrykk/strekknedre		kN			
Armeringsbehov skjærfuge		239.506667 mm ²	<=>	104.133333 kN	
Armeringsbehov kanttrykk/strekkøvre		0 mm ²	<=>	0 kN	
Armeringsbehov kanttrykk/strekknedre		0 mm ²	<=>	0 kN	

Vi har 5 fuger å fordele dette strekket på. $104.1/5=20.8\text{kN}$. Vi ser at vi kommer under minimumskravet på 24kN/fuge . Kan velge 1 K4.6 M16 gjengehylse i hvert element.

Kraftinnføring skive II

Overfører hele kraften (47.3kN) i skjærfugen (på begge sider av fugen, $5.8\text{m}\cdot 2=11.6\text{m}$). Suget er $4.37\text{kN/m}\cdot 11.6\text{m}=50.7\text{kN}$. samtidig har vi et momentstrekk på $96.6\text{kNm}/5.4\text{m}=17.9\text{kN}$ som fordeler seg på 2 fuger, $17.9\text{kN}/2=9\text{kN}$. Vi ønsker lik armering over hele og smører derfor denne kraften over hele fordelingsområdet som består av 10 fuger. $9\text{kN}\cdot 10\text{fuger}=90\text{kN}$. Annet strekk utgjør dermed $50.7+90=140.7\text{kN}$.

2. Kraftinnføring					
Lskjærfuge		5.8 m			
Løvre		0 m			
Lnedre		0 m			
Veggskive-kraft		47.3 kN			
andel skjærfuge		47.3 kN			NB! Her regnes både kanttrykk og
andel kanttrykk/strekkøvre		0 kN			Alt annet strekk enn det som er
andel kanttrykk/strekknedre		0 kN			må legges manuelt til her. Hverl
					eller sug inkluderes automatisk h
Annen kraft i tillegg til skjærstrekk		140.7 kN			
Annen kraft i tillegg til kanttrykk/strekkøvre		kN			
Annen kraft i tillegg til kanttrykk/strekknedre		kN			
Armeringsbehov skjærfuge		504.926667 mm ²	<=>	219.533333 kN	
Armeringsbehov kanttrykk/strekkøvre		0 mm ²	<=>	0 kN	
Armeringsbehov kanttrykk/strekknedre		0 mm ²	<=>	0 kN	

Vi har 10 fuger å fordele strekket på. $219.5\text{kN}/10=21.9\text{ kN/fuge}$. Vi kommer under minimumskravet på 24kN/fuge . Benytter fortsatt $1\text{Ø}10$ i hver fuge.

Kraftinnføring VI

Overfører all kraft (47.3kN) i skjærfuge (2.8m) sug utgjør $6.57*2.8=18.4\text{kN}$

2. Kraftinnføring						
Lskjærfuge			2.8	m		
Løvre			0	m		
Lnedre			0	m		
Veggskive-kraft			47.3	kN		
andel skjærfuge			47.3	kN		NB! Her regnes både kanttrykk og Alt annet strekk enn det som er må legges manuelt til her. Hver eller sug inkluderes automatisk h
andel kanttrykk/strekk _{øvre}			0	kN		
andel kanttrykk/strekk _{nedre}			0	kN		
Annen kraft i tillegg til skjærstrekk			18.4	kN		
Annen kraft i tillegg til kanttrykk/strekk _{øvre}				kN		
Annen kraft i tillegg til kanttrykk/strekk _{nedre}				kN		
Armeringsbehov skjærfuge		223.638667	mm ²	<=>	97.2333333	kN
Armeringsbehov kanttrykk/strekk _{øvre}		0	mm ²	<=>	0	kN
Armeringsbehov kanttrykk/strekk _{nedre}		0	mm ²	<=>	0	kN

$97.2\text{kN}/2.5\text{fuger}=39\text{kN}$. Vi klarer oss med en K4.6 M16 gjengestang i hvert element, men løsningen i boka med 4 gjengestenger er bedre for å få kraften mer jevnt fordelt.

4.4 Skjærkontroll

Finner den største skjærstrømmen:

Med last i y-retning har vi to alternativer: $58.5\text{kN}/10.5\text{m}=5.57\text{kN/m}$ (akse4) eller $53.1\text{kN}/6\text{m}=8.85\text{kN/m}$.

Med last i x-retning har vi kun ett alternativ, dvs ved den største skjærkraften. $44\text{kN}/5.4\text{m}=8.14\text{kN/m}$.

Vi ser at alternativet fra last i y-retning blir dimensjonerende her. Denne skjærstrømmen intreffer også der vi har lagt inn minst armering for både lengdearmering og tverrarmring

Kontroll av fuger mellom elementer:

Vi har valgt 2Ø12 i alle endefuger. Total armering som krysser en fuge mellom elementer er 4Ø12, 452mm². Suget er $-2.97 \cdot 4.5 = -13.4 \text{ kN}$

Skjærkontroll for begge lastretninger				
Skjærstrøm			8.85 kN/m	
Ruhet c			0.03	
Ruhet μ			0.5	
A_s			452 mm ² /m	
Ned			-13.4 kN	
Skjærkapasitet			27.1621949 kN/m	OK!!!
Skjærkapasitet ved utm.- eller dyn. last (c=0, $\mu=0.6$)			19.6508339 kN/m	OK!!!

Kontroll av endefuger:

Vi har minst tverrarmering langs akse B. Dvs 1Ø10 som utgjør

79mm²*1.2m=95mm². Suget ugjør $-4.37 \cdot 1.2 = -5.2 \text{ kN}$

Skjærkontroll for begge lastretninger				
Skjærstrøm			8.85 kN/m	
Ruhet c			0.03	
Ruhet μ			0.5	
A_s			95 mm ² /m	
Ned			-5.2 kN	
Skjærkapasitet			14.2280957 kN/m	OK!!!
Skjærkapasitet ved utm.- eller dyn. last (c=0, $\mu=0.6$)			4.12991478 kN/m	IKKE OK!!!

Skjærkontrollen var OK, i og med at vinden ikke anses som hverken en dynamisk last, eller en utmattingslast.

4.5 Konklusjon

Løsningene mtp armering stemmer godt overens med eksempelet i kilde [3]. Vedrørende armeringsbehov og dimensjonerende kraft, fikk vi noen ørsmå forskjeller. Dette kan skyldes små avvik i momentdiagrammet som beskrevet nedenfor, eller det kan skyldes at det brukes forskjellige verdier for skjærfriksjonskoeffisient i eksempelet (pga den gamle skjærberegningen), mens det i regnearket brukes en konstant verdi, 0.6.

Vi fikk også noen små avvik i momentdiagrammet i forhold til eksempelet i bind C. Dette kan skyldes at det har blitt gjort et noe grovere overslag enn det som regnes ut i programmet (veggskivekreftene måtte gjøres litt mindre for å oppnå likevekt), eller at det har blitt brukt en annen metode for vridningsmomentet enn i regnearket (jevnt fordelt linjemoment).

Alt i alt kan vi konkludere med at regnearket kan brukes til de formålene det er ment til.

Kildeliste

[1] Betongelementboken 2006 Bind A

[2] Betongelementboken 2006 Bind B

[3] Betongelementboken 2006 Bind C

[4] Betongelementboken 2006 Bind H

[5] NS-EN 1992-1-1 Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner

Del 1-1: Allmenne regler for bygninger