



Sammendrag

Et kjent isolerende forskalingssystem ble undersøkt, med den hensyn å utvide bruksområdene som kjellervegg utsatt for jordtrykk, med fokus på besparende og gjennomførbare løsninger. Det ble gjort et arbeid med å utrede de laster som er typiske for eneboliger. Dette innebar blant annet å utrede hva slags jordtrykk som var aktuelt for en slik mur og størrelsen på dette. Videre ble også kriterier for en akseptabel løsning etablert. Et FEM-program ble brukt som modellering- og beregningsverktøy for oppgaven og åtte ulike løsninger ble forsøkt. Disse ble klassifisert etter kostnader og forskyvninger sett i forhold til en referansemur (uten spesielle modifiseringer). Resultatene viste en stor spredning i både kostnader og forskyvninger, men tre løsninger viste gode resultater hvorav én ble fremhevet som spesielt god.

Abstract

A popular Insulated Concrete Form (ICF)-system has been examined, with the aim of expanding its' application as a basement retaining wall, with a focus on cost effective and feasible solutions. A short study of common loads in single houses have been conducted. This resulted in finding out the type of soil pressure that should be applied on the wall and the magnitude of this load. Furthermore, a set of criteria for evaluating a solution have been established. A Finite Element Method software has been used as a modelling and calculation tool for the thesis, and eight different case studies have been investigated. These case studies were classified in terms of cost and deformations, after being compared to a reference wall (with no modifications). The results have been found to have a large spread in terms of both cost and deformations. Three solutions have been found to give promising results, whereas one solution has been highlighted as especially suited.

Innhold

Sammendrag.....	1
Abstract.....	1
Innhold	2
Figurer.....	5
Tabeller	7
Symboler.....	8
Forord.....	9
1. Innledning	10
1.1 Oppgavens formål	10
2. Thermomur-systemet.....	11
2.1 Innledning.....	11
2.2 Thermomur 350	12
2.3 Bruk av systemet i dag	14
2.3.1 Statisk modell.....	16
2.4 Dagens begrensinger	17
2.5 Alternativer	17
2.6 Fordeler	18
2.7 Konsekvenser.....	19
3. Teori.....	20

3.1	Fem-design.....	20
3.2	Elementmetoden	20
3.3	Krav til vegger utsatt for jordtrykk	22
3.4	Laster.....	24
3.4.1	Jordtrykk.....	24
3.4.2	Vertikale laster på vegg.....	28
3.4.3	Snølast	28
3.5	Praktiske begrensinger	29
4.	Metode	29
4.1	Fremgangsmåte for modellering.....	29
4.1.1	Bruk av Python	34
4.2	Modell.....	35
4.3	Kostnadsberegning.....	35
4.4	Bearbeidelse.....	36
4.5	Kort om de individuelle løsningene	37
4.5.1	Armering i vegg	37
4.5.2	Økning av betongkvalitet.....	37
4.5.3	Lettere masser	38
4.5.4	Utnyttelse av etasjeskiller.....	39
4.5.5	Utvendig støttevegg	40
4.5.6	Integrert søyle	40

4.5.7	Ved bruk av bunnplate	41
4.5.8	Økning av betongtykkelse	42
4.6	Feilkilder	42
5.	Vurdering av løsninger	43
5.1	Armering i vegg	43
5.2	Økning av betongkvalitet	44
5.3	Lettere masser.....	44
5.4	Utnyttelse av etasjeskiller	45
5.5	Utvendig støttevegg.....	45
5.6	Integrert søyle.....	46
5.7	Ved bruk av bunnplate.....	46
5.8	Økning av betongtykkelse	47
6.	Sammendrag & Konklusjon.....	48
7.	Videre arbeid.....	51
8.	Referanser	52
I.	Laster	53
II.	Kostnader.....	54
III.	Snølaster.....	55
IV.	Tabell, forskyvninger-kostnader.....	57
V.	Skrueavstander.....	57
VI.	Python-kode.....	58

Figurer

Figur 1 Thermomur under støp og etter. Eneboligen til høyre skal kles med panel.	11
Figur 2 "Sokrates Tårn", en rund Thermomur før og etter støp	11
Figur 3 Forskjellige tykkelser av Thermomur	12
Figur 4 Thermomurblokk, isolasjon i grått, plastbinder i helsvart og liggende armering i brunt med senteravstand.....	12
Figur 5 Thermomur 350 standardblokk med åpen ende	13
Figur 6 Fugleperspektiv av en blokk med liggende og stående armering plassert, vist med brunt.....	13
Figur 7 Eksempler på bruk av Thermomur, fylt svart vegg indikerer Thermomur. 14	
Figur 8 Standard oppbygning av en mur, med blokktyper.....	15
Figur 9 Statisk modell med antatt forskyvning.....	16
Figur 10 Eksempel på brudd i Thermomur og etterfølgende sanering.	19
Figur 11 Utvendig situasjon på foregående bilder.....	19
Figur 12 Illustrasjon av konstruksjon bygd opp av elementtypen "skive" med krefter og moment, og forskyvninger for én node	21
Figur 13 Illustrasjon av konstruksjon bygd opp av elementtypen "plate" med krefter og forskyvninger for én node.....	21
Figur 14 Illustrasjon av konstruksjon bygd opp av elementtypen "skall" med krefter og forskyvninger for én node.....	22
Figur 15 Vegg med maks forskyvning illustrert	23

Figur 16 Spenninger på et gitt stykke under terrenget	24
Figur 17 Stiplet linje viser bevegelsen som skal til for å mobilisere aktivt jordtrykk	25
Figur 18 Stiplet linje viser bevegelsen som skal til for å mobilisere passivt jordtrykk	26
Figur 19 Et tomt modellvindu.....	30
Figur 20 "Plane wall", første vindu.....	30
Figur 21 "Material settings"	31
Figur 22 Utrekking av vegg	32
Figur 23 Definerings av randbetingelser, med absolutte koordinater. Opplagere på standardmur.	32
Figur 24 Jordtrykket størrelse varierer med posisjon under terrengets overflate. Jevnt jordtrykk ikke vist. Merk at figuren som representerer lasten ikke skalerer med størrelsen på selve lasten, bare hvordan den er fordelt.	33
Figur 25 Eksempel på input og output-fil, sistnevnte importeres senere i FEM-design.....	34
Figur 26 Illustrasjon av modellert vegg.....	35
Figur 27 Standardblokk med liggende og stående armering.....	37
Figur 28 Skumglass og lettklinker	38
Figur 29 Kraftoverførende forankring mellom etasjeskiller, mur, og byggplater på bjelkelag.....	39
Figur 30 Utvendig støttevegg	40
Figur 31 To forskjellige typer integrerte søyler	40

Figur 32 Momentstiv forbindelse mot bunnplate	41
Figur 33 Tverrsnitt av standardblokk med økt tykkelse	42
Figur 34 Sammenheng mellom forskyvninger og kostnader. Rød linje indikerer toleransekrav PD, mens stiplet rød indikerer krav PC.	43
Figur 35 Fugleperspektiv: Eksempel på utvendig etterisolering av integrert søyle. Murens horisontale armering er ikke vist.....	46

Tabeller

Tabell 1 Toleransekrav til ferdige overflater	23
Tabell 2 Romvekter, friksjonsvinkler og jordtrykkskoeffisienter	53
Tabell 3 Laster med etasjeskiller av vanlig konstruksjonstre, 2 etasjer over belastet vegg	53
Tabell 4 Laster med første etasjeskiller av hulldekke, 2 etasjer over belastet vegg	54
Tabell 5 Kostnader for ulike materialer.....	54
Tabell 6 Antall kommuner som har en gitt $s_{k,0}$ (snølast på grunn)	55
Tabell 7 Antall personer som bor i en kommune med en gitt $s_{k,0}$	56
Tabell 8 Areal for kommuner med en gitt $s_{k,0}$	56
Tabell 9 Forskyvninger og kostnader for løsninger	57

Symboler

d	Forskyvning
d_x	Forksyvning i x-retning
d_y	Forksyvning i y-retning
d_z	Forksyvning i z-retning
d_{PC}	Krav til forskyvning, toleransekrav PC
d_{PD}	Krav til forskyvning, toleransekrav PD
h	høyde
r_x	Rotasjon om x-akse
r_y	Rotasjon om y-akse
r_z	Rotasjon om z-akse
F	Kraft
F_x	Kraft i x-retning
F_y	Kraft i y-retning
F_z	Kraft i z-retning
M_x	Moment om x-akse
M_y	Moment om y-akse
M_z	Moment om z-akse
σ_a	Aktiv jordtrykksspenning
σ_p	Passiv jordtrykksspenning
σ_0	Jordtrykksspenning i hviletilstand
γ	Romvekt
z	Dybde under terreng
K_a	Koeffisient, aktivt jordtrykk
K_p	Koeffisient, passivt jordtrykk
K_0	Koeffisient, jordtrykk i hviletilstand
q	Flatelast på grunn
c	Fyllmassens kohesjon
φ	Friksjonsvinkel
$\sigma_{current}$	Gjeldende spenninger
σ_{max}	Største opplevde spenninger
OCR	Overkonsolideringsratio

Forord

Denne oppgaven markerer siste side i et to år langt kapittel av mitt liv, med tittel «starte på utdanning i slutten av 20-åra». Selv om utdanningsløpet har gått fort, har det også vært et salig slit med deltids jobb ved siden av og pendling fra Fredrikstad til Ås.

Ideen bak denne oppgaven kom til under mitt tidligere arbeid med produktet som er undersøkt og dets begrensinger og mitt ønske om å utvide antall muligheter en har dersom man skal bygge i systemet. Mye av oppgaven ble til på veien både med tanke på de løsninger jeg prøvde ut og hvilke kriterier som bestemte om det jeg fant ut av var en suksess. Det har vært en bred reise i litteraturen fra hvilke toleransekrav som gjelder for vegger til forskjellen mellom ulike jordtrykkstyper og neon stikkveier innom diverse datablad fra SINTEF Byggforsk.

Jeg skal ærlig innrømme at det har vært en lang og tung periode hvor motivasjonen ikke alltid har vært tilstede, og jeg har ofte følt at jeg har vært på feil spor og trukket gale konklusjoner. Jeg vil derfor rette en takk til de som har hjulpet meg gjennom denne oppgaven:

- min samboer Sidsel.
- min veileder Themistoklis Tsalkatidis som har hjulpet meg meget under hele prosessen.
- Bengt Bøyesen, Eivind Olsen, og Svein Tore Larsen hos Jackon for god hjelp og tilgang på ressurser.

Ås, 10 Mai 2016

Jostein Häckert

1. Innledning

Det bygges i dag cirka 30 000 boliger i Norge, hvorav halvparten er eneboliger eller tilsvarende småhus. Dette behovet øker årlig og økningen er spesielt stor på tomannsboliger og rekkehus. Noe som gjør det nødvendig å utnytte arealer mer effektivt, for eksempel ved å bygge i skrått terreng.

Ofte er det også ønskelig å bygge med en fleksibel planløsning, dette tilsier at bygget må inneholde så få innvendige bærende vegger som mulig da disse ofte er dimensjonert etter sin plassering og er dermed vanskelig å plassere vilkårlig.

Disse faktorene kombinert gjør at det stilles større krav til en sterk og kostnadseffektiv grunnmur for å gi byggherren større frihet i valget av byggemåte for øvrig

Isolerte forskalingselementer har den fordel at de er raske å sette opp og sparer mye tid og tunge løft sammenlignet med andre systemer som tradisjonell forskaling eller blokker av lettklinker. De har den ulempen at det er begrenset hva som kan gjøres med selve elementet for å forbedre styrken da de som oftest er låst med tanke på betongtykkelse og har dermed kun plass til en gitt mengde armering i tillegg til betongens kapasitet, som riktignok kan økes ved å velge en høyere trykkfasthet. Det blir dermed per i dag den overordnede geometrien eller konfigurasjonen av vegger som bestemmer en gitt etasjes styrke mot blant annet jordtrykk.

1.1 Oppgavens formål

Problemstillingen til denne oppgaven vil derfor være å finne frem til løsninger som gjør at produktet Thermomur brukes i både flere situasjoner enn i dag, men også med færre restriksjoner.

Selv om denne oppgaven fokuserer på produktet Thermomur, vil alle løsningene i praksis ha like stor effekt på et annet lignende system, men effekten vil variere på tykkelsen av betongkjernen og overdekningen til armeringsjernene.

2. Thermomur-systemet

2.1 Innledning



Figur 1 Thermomur under støp og etter. Eneboligen til høyre skal kles med panel.

Thermomur er et forskaling- og isolasjonsystem, et såkalt ICF (Insulated Concrete Form)-system, laget av EPS (Ekspandert PolyStyren) beregnet for småhus og andre bygninger oppført i brannklasse 1, med maksimalt to etasjer over terreng[1].

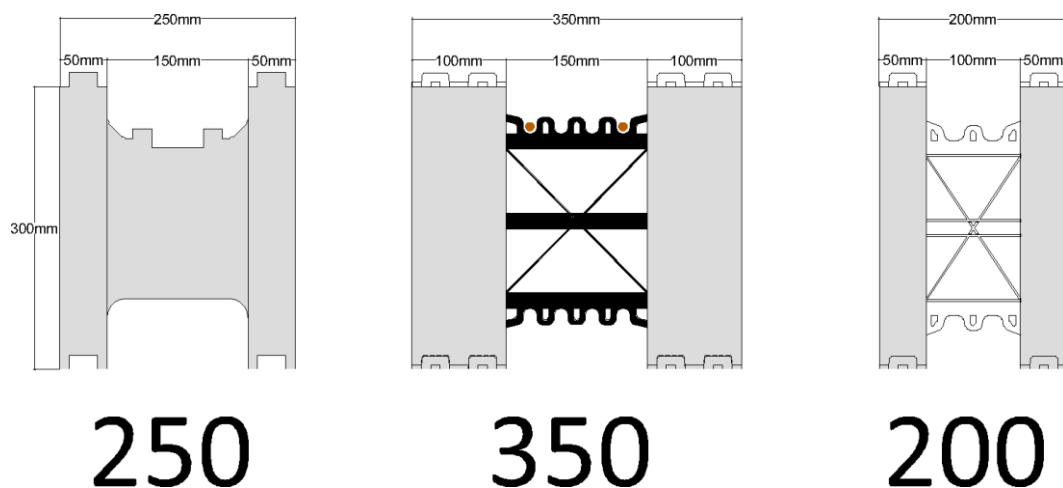
Denne typen system erstatter tradisjonell forskaling med etterisolering ved å kombinere disse to prosessene i en.



Figur 2 "Sokrates Tårn", en rund Thermomur før og etter støp

Thermomur-systemet produseres og selges i Skandinavia av Jackon AS, og produseres på fabrikker i Norge. Systemet ble opprinnelig introdusert i 1986 som et produkt for rask forskaling og isolering av småhus og mindre bygg[2].

Ideen bak systemet er å være tidsbesparende ved at en ferdig støpt mur både er bærende og ferdig isolert, sett opp imot en tradisjonell betong- eller lettklinkervegg. En annen fordel er at man oppnår en vegg uten kuldebroer.

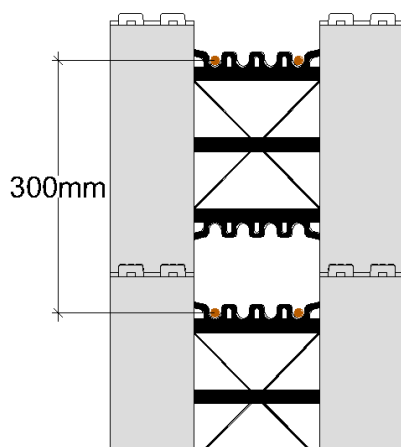


Figur 3 Forskjellige tykkelser av Thermomur

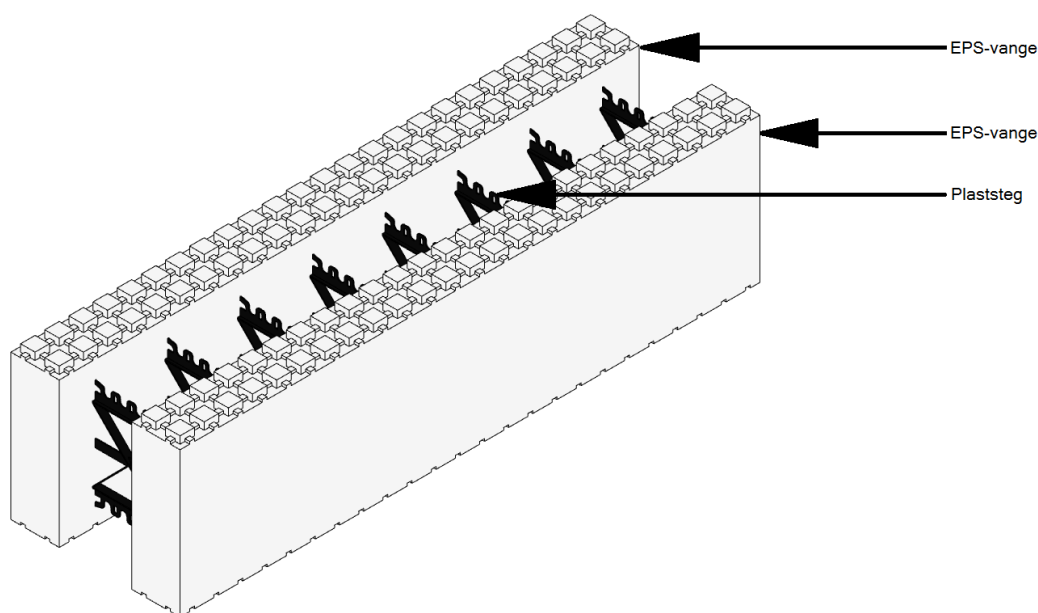
Thermomur kommer i tre forskjellige tykkelser, hver av disse tykkelsene er igjen inndelt i forskjellige blokk-typer, deriblant standardblokk, toppblokk, og halvblokk og disse igjen kommer i versjoner med åpen ende, tett ende og hjørner for enkelte av typene. Dette brede spekteret av blokker gjør at systemet trenger få tilpasninger for bruk i forskjellige konfigurasjoner, ved at man i liten grad trenger å kappe og modifisere blokkene unødvendig.

Det er den tykkeste versjonen, Thermomur 350, vi har valgt å se på i denne oppgaven da det er denne som hovedsakelig brukes i eneboliger i dag, grunnet isolasjonskrav. Heretter vil «Thermomur» være synonymt med «Thermomur 350».

2.2 Thermomur 350

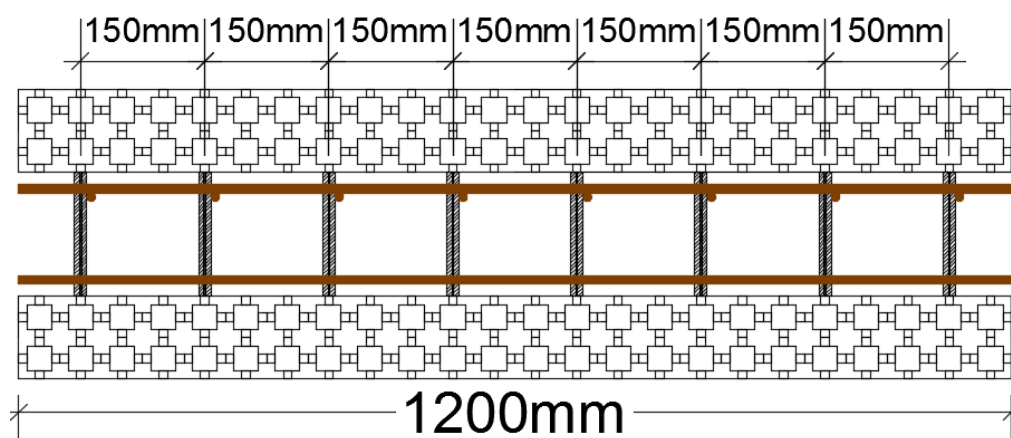


Figur 4 Thermomurblokk, isolasjon i grått, plastbinder i helsvart og liggende armering i brun med senteravstand



Figur 5 Thermomur 350 standardblokk med åpen ende

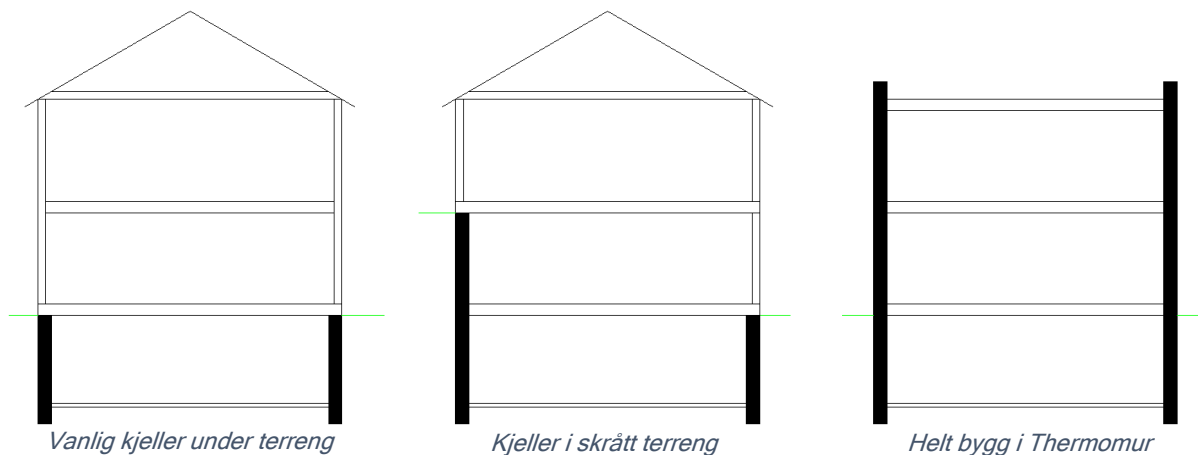
Thermomur-blokkene er bygd opp av to yttervanger av EPS med lik tykkelse forbundet med hverandre, denne forbindelsen er innstøpt hardplast-binder av PE (polyetylen) og er plassert med en senteravstand 150 mm i lengderetningen. Binderen fungerer også som opplegg for armering og sørger dermed for at armeringen blir plassert korrekt med tanke på overdekning og senteravstander. Den faste avstanden mellom binderne gjør at man ikke trenger måleverktøy for å få korrekte senteravstander (det samme gjelder for overdekninger) men dette gjør også selvsagt at man fort låser seg til faste senteravstander mellom jernene. Armeringen i denne oppgaven vil derfor ta utgangspunkt i at armeringen i muren må legges med senteravstander som går opp i 150 og 300 mm.



Figur 6 Fugleperspektiv av en blokk med liggende og stående armering plassert, vist med brunt.

2.3 Bruk av systemet i dag

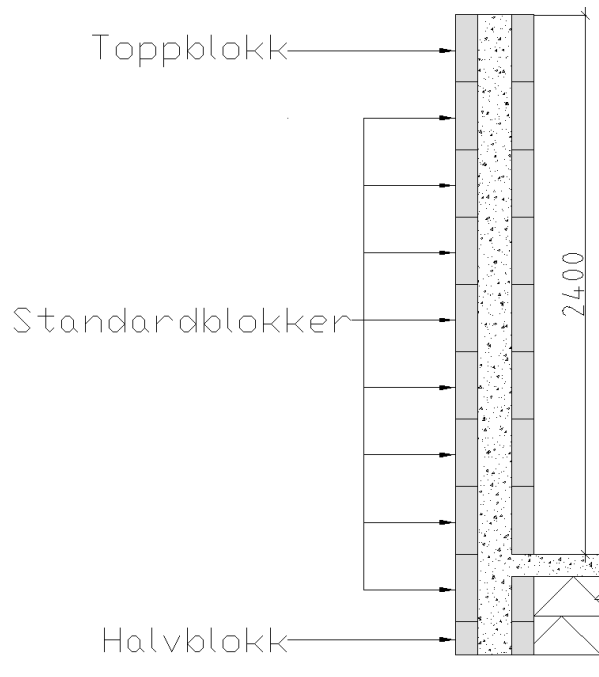
I dag brukes systemet hovedsakelig til eneboliger på to til tre etasjer, enten som kun tradisjonell grunnmur(kjeller), høy bakvegg, eller hele bærekonstruksjonen, både som ut- og innvendige bærevegger. Veldig ofte er muren brukt i skrått terreng, hvor man har en tilbakefylt bakvegg.



Figur 7 Eksempler på bruk av Thermomur, fylt svart vegg indikerer Thermomur

Som oftest brukes Thermomur som grunnmur eller kjeller, med en innvendig takhøyde på 2.4 meter. Muren bygges opp på byggeplass med en halvblokk til å starte med, etterfulgt av 8 standardblokker og en toppblokk som avslutning, denne oppbygningen gjør at man får en korrekt innvendig høyde mellom gulv og himling. Det tas hull i den indre isolasjonsvengen i høyde med gulvet før eller etter støp av veggen, slik at man oppnår en kobling mellom betongkjernen i veggen og gulvet.

Dette er nødvendig for at veggen skal ha horisontalt mothold mot kreftene fra terrenget utenfor.



Figur 8 Standard oppbygning av en mur, med blokktyper

Muren støpes i enten en eller to omganger. Ofte bygges starten av muren opp med to til tre skift som avsluttes i høyde med toppen av planlagt gulvhøyde, slik kan den halvferdige muren brukes som forskaling for betonggulvet, som dermed kan støpes samme dag. Dette gir igjen en mer stabil flate å jobbe på og et jevnt underlag for stilas eller stige som trengs for bygge ferdig muren. Ulempen med å støpe over flere dager er at knastene på toppen av blokkene må beskyttes slik at disse ikke tettes av betong, noe som gjør det vanskelig å fortsette å bygge muren.

Produsenten oppgir at man skal bruke betong av kvalitet «C20 M90», denne må være av spesielt god støpelighet (typisk 180 - 200 mm slump) grunnet murens smale tverrsnitt som gjøres ytterligere trangt av armering og plaststeg, en maksimal kornstørrelse på 16 mm og steinreduksjon på 25% er også anbefalt. Disse egenskapene er nødvendig for at blokkene skal bli korrekt fylt med betong, da blokkene ikke skal vibreres.

På grunn av mengden med betong som er nødvendig, blir denne så godt som alltid levert med betongbil, i motsetning til å bli blandet for hånd. Dette gjør selvsagt at

bygget må ha en opparbeidet vei før støp skjer, noe som gjør systemet uegnet i de tilfeller hvor logistikk ikke kan foregå med tunge kjøretøy (for eksempel hytter).

Etter støp skal muren etterbehandles utvendig og innvendig, der hvor overflaten er eksponert (det vil si over terreng/gulv) skal isolasjonen dekket med et brannsikkert sjikt.

Utvendig er det vanlig å legge på grunnmursplast rett på muren og pusse over terreng, men her kan man også legge på gipsplater og kledning av treverk.

Innvendig legges som oftest gips rett på muren, men enkelte entreprenører forer ut muren med 48 mm bindingsverk for å ha plass til trekkerør for elektro og vann.

2.3.1 Statisk modell

Som et resultat av forrige kapittel kan man anta at man vil få en slik statisk modell. Sammenlign med Figur 8.



Figur 9 Statisk modell med antatt forskyvning

I midlertidig vil jordtrykket være med på å presse bunnen av muren inn igjen, da en bevegelse mot jorden vil skape et passivt jordtrykk som er sterkere enn hviletrykket, dette blir beskrevet i kapittel 3.4.1. Toppen av muren vil heller ikke være helt fri til å forskyve seg eller rotere, da det kommer et dekket av noe slag oppe på denne. Vi velger allikevel å se bort i fra dette. For første er størrelsen på motholdet vanskelig å sette et fast tall som vil gjelde for en rekke tilfeller da vi ikke har kontroll på hvordan

etasjeskilleren er oppbygd og festet til muren. For det andre vil det være konservativt å anta at muren skal holde selv om dette motholdet skulle på et eller annet vis forsvinne.

2.4 Dagens begrensinger

Produsenten oppgir at dagens bruksområder på Thermomur er gitt av deres Teknisk Godkjenning fra SINTEF Byggforsk (TG 2156, 2016). Her er vilkårene for bruksområdene beskrevet over flere punkter, de viktigste er som følger:

- Punkt 4: «Thermomur 250, 350 og 350 Super kan benyttes til bærende vegger over og under terreng i bolighus med inntil to fulle etasjer over terreng.»
- Punkt 5: «Thermomur 250, 350 og 350 Super med vegg høyde inntil 2.7 m har tilstrekkelig lastkapasitet som yttervegg mot terreng, forutsatt bruksområde som angitt i pkt. 4 og utførelse som angitt i pkt. 7.»
- Punkt 7: «For bruksområde som angitt i pkt. 4 armeres vegg av Thermomur med horisontal armering av 2 stk. \varnothing 10 mm kamstål i skift nr. 1, 3, 5, 7 og 9 (øverste skift).»

Denne fordelingen av armering blir heretter kalt «standardarmering» eller «standardarmert».

En annen begrensning urelatert til styrke er at Thermomur kun er godkjent til bruk i brannklasse 1, dette kommer av at det ikke er tillatt med brennbar isolasjon innvendig i denne klassen. Det er derfor systemet hovedsakelig kun er brukt til småhus og ikke i boligblokker og andre bygg i brannklasse 2 og over. Men dette vil ikke bli diskutert i denne oppgaven.

2.5 Alternativer

I stedet for å bygge i Thermomur kan tilsvarende vegger settes opp i isolerte lettklinker-systemer. Disse er også ferdig isolerte fra produsentens side, men har den ulempen at selve veggen egenskaper, med tanke på styrke, ikke kan forbedres spesielt. Dette er grunnet mangelen på plass til ekstra armering samt at den

bærende delen av blokkene er preprodusert. Man får også flere uheldig store kuldebroer i en slik mur.

Et annet alternativ er fabrikkproduserte betongelementer eller ferdigisolerte sandwichelementer. Her har man fordelen at veggen blir produsert på fabrikk og dette eliminerer en hel del av feilkildene som kan oppstå på byggeplass, men dette skaper også flere separerte produksjonsledd (produksjon, utplassering, montering) og lengre transportvei. Begge skaper større kostnader for prosjektet, og førstnevnte introduserer en ny feilkilde som er at første produksjonsledd (fabrikken) er helt separert fra siste ledd (montasje) og dette kan skape et uheldig sluttresultat.

Eventuelt kan en kjellervegg settes opp i tradisjonell forskaling. Her får man en svært fleksibel løsning som kan produsere stort sett akkurat den vegg som er nødvendig, både med tanke på styrke og isolasjonsverdi. Ulempen er selvsagt at dette kan være en svært tidkrevende og komplisert løsning som må dimensjoneres for hvert enkelt prosjekt (enten dette er enkelt-bygg eller en serie på samme sted) og involverer flere arbeidsgrupper (forskalingssnekker, jernbinder, støper) på byggeplass med alt det innebærer av muligheter for forsinkelser i byggeprosessen hvis ikke en gruppe utfører arbeidet sitt på tiden.

2.6 Fordeler

Sett i sammenligning med de systemer som er nevnt i forrige kapittel har Thermomur en rekke fordeler som gjør dette systemet verdt å satse på.

På grunn av lav vekt, bygges en mur av Thermomur-blokker fort opp og man unngår tunge løft. Den bærende delen av muren, selve betongkjernen, blir støpt av betongbil, og man sparer på denne måten arbeidskrefter.

Med en U-verdi på $0.17 \text{ W/m}^2\text{K}$ er muren ferdig isolert med tanke på TEK10 og blokkene kan også fås i en passiv-versjon hvor hver vange har bedre isolasjonsevne per tykkelse, for å komme inn under eventuelle fremtidige krav om passiv standard. Kuldebroer er også fraværende i systemet, grunnet kontinuerlig isolasjon utvendig.

2.7 Konsekvenser



Figur 10 Eksempel på brudd i Thermomur og etterfølgende sanering.

Konsekvensene ved underdimensjonering kan være svært store. Figur 10 viser en mur som har tatt en altfor stor belastning, og følgende dette har med å rette opp muren igjen. Dette var et bygg hvor det først ble fylt inntil etter at den overliggende konstruksjonen var oppført, dermed ble det bestemt at det ville være billigere å rette opp muren enn å rive alt og bygge nytt. Kostnadene på opprettingen alene kom på nærmere en halv million, i tillegg til et vanskelig ansvarsforhold for skaden[3].



Figur 11 Utvendig situasjon på foregående bilder

3. Teori

3.1 Fem-design

«FEM-Design» er et elementmetodeprogram fra StruSoft brukt til design av konstruksjonselementer i tre, stål og betong, både som preproduserte og plassbygde/støpte elementer. Programmet har innebygd støtte for flere europeiske standarder og dermed også et svært stort material- og tverrsnittsbibliotek som sparer mye tid med hensyn på inntasting av materialegenskaper.

FEM-Design ble valgt som program til å beregne oppgaven grunnet de overnevnte egenskaper samt tidligere familiaritet med programmet.

Videre er det svært lett å endre de ikke-geometriske parametrene i design-fasen, slik som armeringsparametere (diameter, senteravstand, overdekning, retning og stål kvalitet). Dette vil være en fordel da denne oppgaven skal ta for seg en rekke løsninger på en gitt vegg[4].

3.2 Elementmetoden

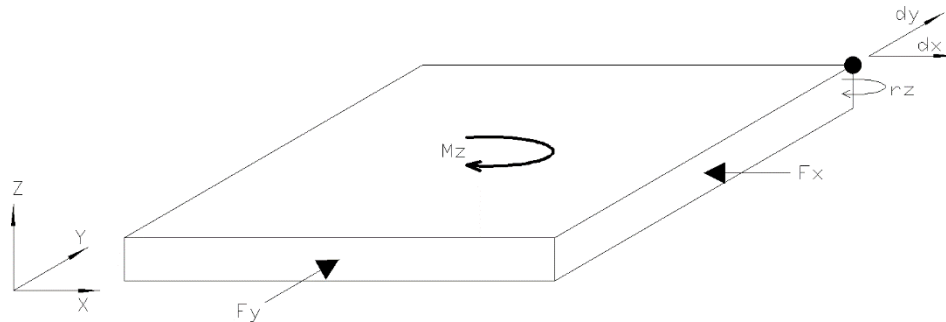
Elementmetoden består i å dele opp større komplekse problemer i mindre deler som kan uttrykkes ved matriser, dette er en utmerket metode å beregne med prosessorkraft da datamaskiner er velegnede til å beregne matriser.

Matrisenes innhold blir bestemt av hvordan konstruksjonen de representerer skal forholde seg til ytre påkjenninger, og størrelsen bestemmes av antallet frihetsgrader per node, dette gir opphavet til forskjellige elementer.

Konstruksjonen deles opp i noder eller knutepunkter, som igjen forbindes med elementer. En gitt elementtype kan oppta kun de krefter (eller momenter) den beregnet for.

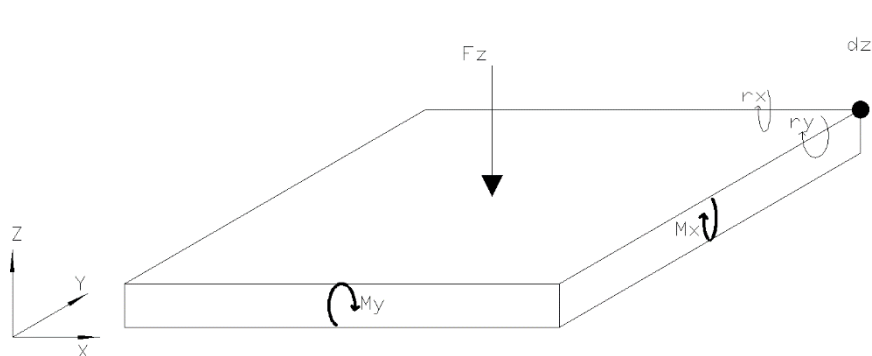
Som oftest blir vegger modellert som enten skiver eller plater avhengig av hvilken vei veggen skal ta krefter.

Skiver tar opp krefter i planets retning, og noder som bare er koblet til denne typen element vil bare forskyve seg planets retningene samt rotere i planet. I et bygg er denne elementtypen vanlig for å modellere for eksempel vindavstivende eller bærende vegger. I FEM-design brukes denne elementtypen til beregninger i modulen «Wall».



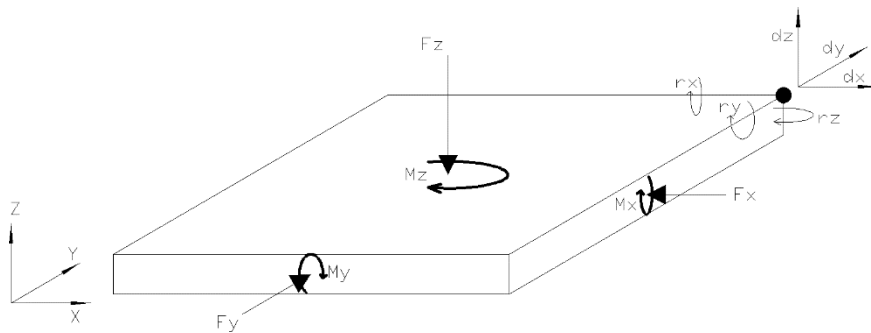
Figur 12 Illustrasjon av konstruksjon bygd opp av elementtypen "skive" med krefter og moment, og forskyvninger for én node

Plater tar opp krefter på tvers av planets retning, og noder som bare er koblet til denne typen element vil forskyve seg ut av planet og rotere om planets normal. I et bygg er denne elementtypen vanlig å bruke på vegger som skal overføre vindlaster til bakenforliggende konstruksjon eller dekker. I FEM-design brukes denne elementtypen til beregninger i modulen «Plate».



Figur 13 Illustrasjon av konstruksjon bygd opp av elementtypen "plate" med krefter og forskyvninger for én node

Kjellervegger må derimot ta krefter både i planet (laster fra etasjene over) og på planet (jordtrykk), derfor vil begge disse elementtypene komme til kort. Dermed må det velges en elementtype som kan ta påkjenninger i alle tre retninger. «Skall» er en slik elementtype.



Figur 14 Illustrasjon av konstruksjon bygd opp av elementtypen "skall" med krefter og forskyvninger for én node

Skallelementer er bygd opp slik at de tar både membrankrefter og bøye- og torsjonsmomenter i alle retninger samt skjærkrefter i retning med planets normal.

I FEM-design er det modulen «3D-structure» som bruker skall som beregningsgrunnlag på vegger.

3.3 Krav til vegger utsatt for jordtrykk

Vi må sette to krav til en vegg. Det første er et krav mot brudd, da hovedsakelig i betongen. Betongkjernen er såpass tynn at det vil bli et strekkbrudd i betong før andre bruddformer er aktuelt. Vi vil allikevel teste veggens for alle bruddformer, og det vil uansett være aktuelt å legge armering på begge sider av veggens.

Det andre kravet er et krav til deformasjon. Dette er både et estetisk krav, som går på veggens utseende fra innsiden, men også rent funksjonsmessig. Det vil for eksempel være svært vanskelig å bygge videre over en buet mur.

Fra NS 3491 kan vi finne kravet til denne deformasjonen. NS 3491 definerer forskjellige toleranseklasser for forskjellige flater. Gulv har for eksempel en høyere toleranse til skjevheter enn utvendige vegger. Det stilles ingen krav i noen standard om hvilke toleransekrav som skal benyttes på forskjellige sjikt i en konstruksjon, men det er naturlig å si at den ferdig støpte muren ikke kan være for skjev slik at oppretting blir umulig med innvendig og utvendig kledning. Til sist er det byggherren som bestemmer hvor rette overflatene i et bygg skal være[5].

Tabell 1 Toleransekrav til ferdige overflater

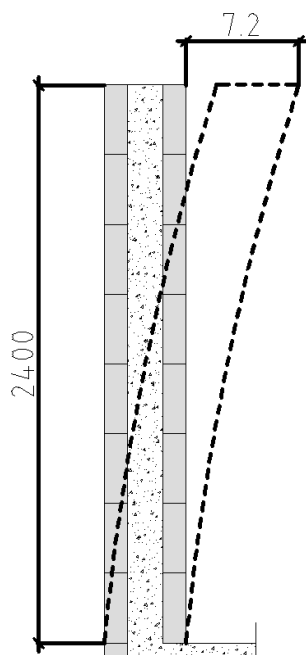
	Målelengde	PA	PB	PC	PD	PE
Helning/ loddavvik	> 5,0	5 mm	7,5 mm	15 mm	25 mm	40 mm
	2,0-5,0	1,0 ‰	1,5 ‰	3 ‰	5 ‰	8 ‰
	< 2,0	2 mm	3 mm	6 mm	10 mm	16 mm

Klassene PC og PD er normalkravet for henholdsvis utvendig og innvendig overflate. Tidligere har vi tenkt at etasjeskiller ikke skal ta laster, men denne vil jo selv ved bare tyngden og friksjonen mellom denne og toppen av muren. Det vil dermed være fornuftig å legge seg mellom disse kravene. Vi sier derfor at deformasjonene bør være mellom PC og PD kravet, men helst innenfor PC. Videre skal denne deformasjonen måles på stykket fra gulvet og til toppen av muren, for en 2.85 meter høy mur vil dette stykket bli 2.4 (se Figur 8). Kravet til forskjell i utbøying mellom toppen av muren og overgangen mellom gulv/vegg vil da være for toleranseklasse PC og PD.

$$d_{PC} = \min(0.003 * h, 15) \text{ mm} \quad (3.1)$$

$$d_{PD} = \min(0.005 * h, 25) \text{ mm} \quad (3.2)$$

For et målestykke på 2.4 meter vil dette bli henholdsvis 7.2 og 12 mm.



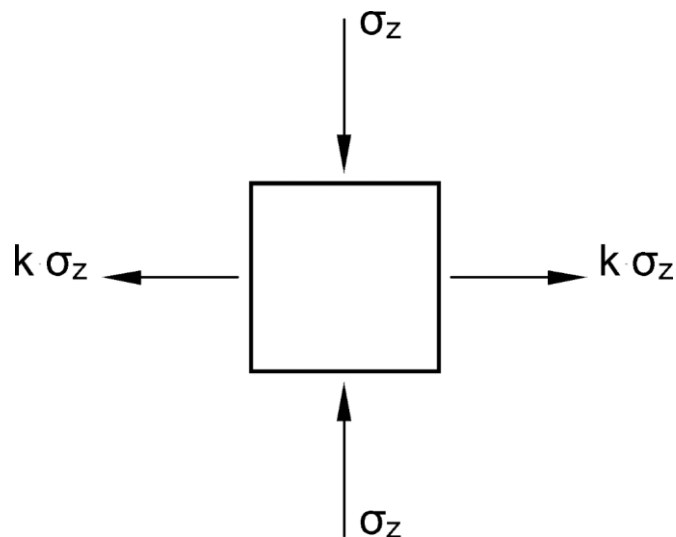
Figur 15 Vegg med maks forskyvning illustrert

3.4 Laster

I dette kapitlet vil det kort beskrives teorien bak hver enkelt av de forskjellige lastene som virker på muren.

3.4.1 Jordtrykk

Jordarter eksisterer i et sted mellom fast fjell og vann når det kommer til å fordele trykk ovenfra ut til sidekrefter. Denne egenskapen gjør at en andel av spenningen vertikalt på et gitt stykke terreng vil fordele seg ut som spenninger i de andre retningene. Det eksisterer dermed en faktor «K» som bestemmer hvor mye av det vertikale trykket som blir overført horisontalt[6].



Figur 16 Spenninger på et gitt stykke under terrenget

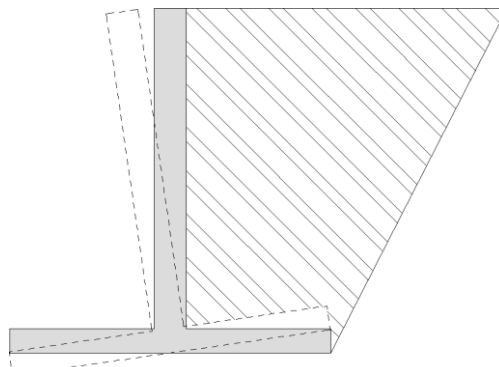
I denne oppgaven snakker vi hovedsakelig om å eksponere en side av denne kuben, dermed kan vi se bort ifra en av de horisontale komponent-parene da disse vil utlignes mot tilstøtende stykker. Vi vil derfor kun snakke om trykket mot muren som en funksjon av den påførte spenningen ovenfra, heretter kalt «jordtrykk».

I henhold til Eurokode 7, finnes det 3 former for jordtrykk som virker på vertikale vegger. Disse er aktivt, passivt og hviletrykk.

Aktivt jordtrykk oppstår der hvor veggene beveger seg vekk fra terrenget og har de laveste verdiene av de tre, man bruker denne metoden ved frittstående støttekonstruksjon hvor toppen av muren ikke er fastholdt, eller høye konstruksjoner med svak fastholding, for eksempel bakveggen i et småhus. Den horisontale komponenten til aktivt jordtrykk, i dybden z , er uttrykt ved formelen

$$\sigma_a(z) = K_a[\gamma \cdot z + q] - 2c\sqrt{K_a} \quad (3.3)$$

Hvor K_a er jordtrykkskoeffisienten for aktivt jordtrykk, γ er romvekten til massen, q er eventuell jevnt fordelt flatelast på fyllingen og c er grunnens kohesjon. Z er dybden som spenningen er gitt for. Som man ser av formelen får denne formen en reduksjon da konstruksjonen beveger seg vekk fra fyllingen og gir jorden rom til å endre volum.



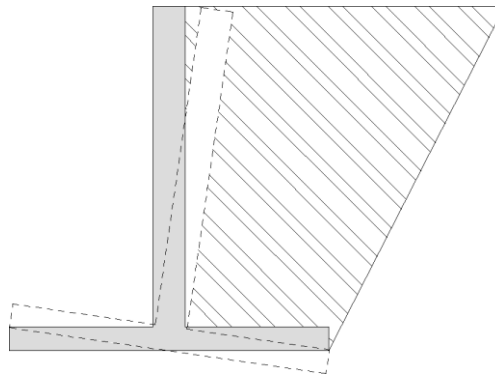
Figur 17 Stiplet linje viser bevegelsen som skal til for å mobilisere aktivt jordtrykk

Fult aktivt jordtrykk mobiliseres først ved en bevegelse på 0.4 - 0.5 % av veggens høyde, verdier mellom dette og hviletrykk kan finnes ved lineær interpolasjon.

Passivt jordtrykk oppstår der laster på muren, eller ustabile grunnforhold, får den til å bevege seg inn mot terrenget og jordtrykket forsterkes av jordens kohesjon. Denne formen for jordtrykk er ofte tilstede hvor man har en konstruksjon som er bygd oppe på selve fyllingen som muren holder tilbake. Det skal relativt mye større bevegelse i muren for å mobilisere passivt jordtrykk enn aktivt. Den passive formen er uttrykt ved formelen

$$\sigma_p(z) = K_p[\gamma \cdot z + q] + 2c\sqrt{K_p} \quad (3.4)$$

Man ser her at denne formen får en økning som skalerer med jordens kohesjon.



Figur 18 Stiplet linje viser bevegelsen som skal til for å mobilisere passivt jordtrykk

Passivt jordtrykk trenger mye større bevegelse for å bli fullstendig mobilisert, 7 - 25 % av veggens høyde for løs jord, verdier mellom dette og hviletrykk kan finnes med parabolisk interpolasjon.

Jordtrykk i hviletilstand oppstår der veggen ikke beveger seg nevneverdig mot eller fra fyllingen, denne er typisk for konstruksjoner hvor man er helt sikker på at fastholdingen i topp av veggen er tilstrekkelig til å hindre bevegelse i begge retninger i forhold til retningen på jordtrykket eller bevegelsen er svært liten. Eurokode 7 sier at hviletrykk kan brukes der bevegelsen av veggen er mindre enn $5 \cdot 10^{-4} \cdot h$, hvor h er høyden, for en vanlig vegg på 2.4 meter vil dette tilsvare 1.2 mm.

Dette blir formen vi skal velge å jobbe med i denne oppgaven. Grunnen til dette er som følger; gitt en vegg på 2.4 meter vil fullt aktivt jordtrykk oppnås først ved en bevegelse på 10 til 12 mm, dette er hva vi allerede har definert som en øvre grense på hva vi aksepterer av deformasjon på muren og vil dermed forhåpentligvis ikke bli oppnådd. For det andre vil aktivt jordtrykk gi lavere spenninger noe som igjen gir

lavere deformasjoner som kan føre til at man får en større spenning igjen. Som tidligere nevnt selv om vi regner toppen av muren som ikke fastholdt vil det i de fleste tilfeller være en viss fastholding fra byggets vindforankring, denne vil kanskje ikke være stiv nok til å ta laster nok til å regne som en fullstendig fastholding, men vil gi tilstrekkelig stivhet til å minske deformasjonen. Til sist vil det rett og slett være forsvarlig å velge en høyere verdi for en last vi ikke kan fastslå med sikkerhet.

Muren bør også kontrolleres for at det passive jordtrykket ikke mobiliseres, men i praksis vil dette kun være aktuelt for murer med bunnplate som vipper veggen utover.

Den horisontale komponenten til jordtrykk i hviletilstand er uttrykt ved formelen

$$\sigma_0(z) = K_0[\gamma \cdot z + q] \quad (3.5)$$

Romvekten γ tilhører fyllingsmassen og flatelasten q er lasten som virker på fyllingen, i vårt tilfelle vil dette være snølast. Spenningen er gitt ved dybde «z». Her er koeffisienten K_0 gitt ved

$$K_0 = 1 - \sin(\varphi) \cdot \sqrt{OCR} \quad (3.6)$$

Hvor vinkelen φ er massens friksjonsvinkel, denne vil ligge i området 20 til 45 grader for de arter vi skal bruke.

$$OCR = \frac{\sigma_{current}}{\sigma_{max}} \quad (3.7)$$

OCR er overkonsolideringsratioen, denne sier noe om forholdet mellom spenningen en jordart tidligere har vært utsatt for sammenlignet med spenningen den nå opplever, maksimalverdien vil dermed 1. For våre forsøk vil denne faktoren settes til 1, da vi skal regne trykket på muren som det høyeste mulig innenfor karakteriske verdier[7].

Det er gjort forsøk som viser at friksjonsvinkelen til dreispukk ligger i området 39-47 grader[8], det er derfor valgt å konservativt legge seg på en friksjonsvinkel på 40 grader for dreismassene.

3.4.2 Vertikale laster på vegg

Dette er de laster som kommer fra resten av konstruksjonen og omfatter egenvekter for konstruksjonen, brukslaster for overliggende etasjer og snølast på tak. Disse regnes ut ved hjelp av Eurokode 1. Det er valgt å beregne både linjelaster for dekker av betong og treverk, men senere ville bare en av disse bli valgt til sammenligningsgrunnlaget.

En oversikt over lastene og deres størrelse finnes i vedlegg I.

3.4.3 Snølast

Snølast har en indirekte virkning på muren ved at den vertikale lasten snøen påfører terrenget utenfor konstruksjonen blir overført som en horisontal last på samme måte som overliggende jordlaster.

Det velges her å bruke karakteristisk snølast på mark som grunnlag for hvordan snølasten påvirker det endelige jordtrykket, denne settes dermed inn som «q» i uttrykket for jordtrykk på muren.

Om denne oppgaven skal være samfunnsnyttig, vil det ikke være riktig å velge en lav snølast som kun er gjeldende for sørlige kystnære strøk, det vil heller ikke være riktig å velge en altfor høy snølast da dette gjør muren overdimensjonert for det meste av landet. En fornuftig snølast gjør de løsningene som beregnes kan brukes senere av de som skal bygge med slike systemer som oppgaven handler om.

Det ble gjort en kjapp undersøkelse på snølast i Norges kommuner i forhold til antall kommuner, innbyggertall og areal. På grunnlag av dette ble det bestemt at en snølast på 5 kN/m² var fornuftig å bruke. Grunnlaget for dette kan finnes i vedlegg III.

3.5 Praktiske begrensinger

Som tidligere nevnt er produktet ofte brukt av selvbyggere som vil gjøre en egeninnsats i byggeprosessen, det bør derfor legges vekt på at løsningene skal være så enkle å forstå som mulig. Systemet blir også brukt av profesjonelle, men her er det ikke alltid velvilje til å ta inn ekspertise dersom man for eksempel har kompliserte armeringsløsninger.

Det beste er selvsagt om bygget blir planlagt og prosjektert med systemets begrensinger i tankene og omliggende konstruksjon blir tilpasset deretter, men ofte er prosjekteringen mangelfull i byggverk i de lavere tiltaksklassene. Dermed blir løsninger påtenkt først når mesteparten av prosjektets rammer er satt.

Det vil derfor være fokus på løsninger som:

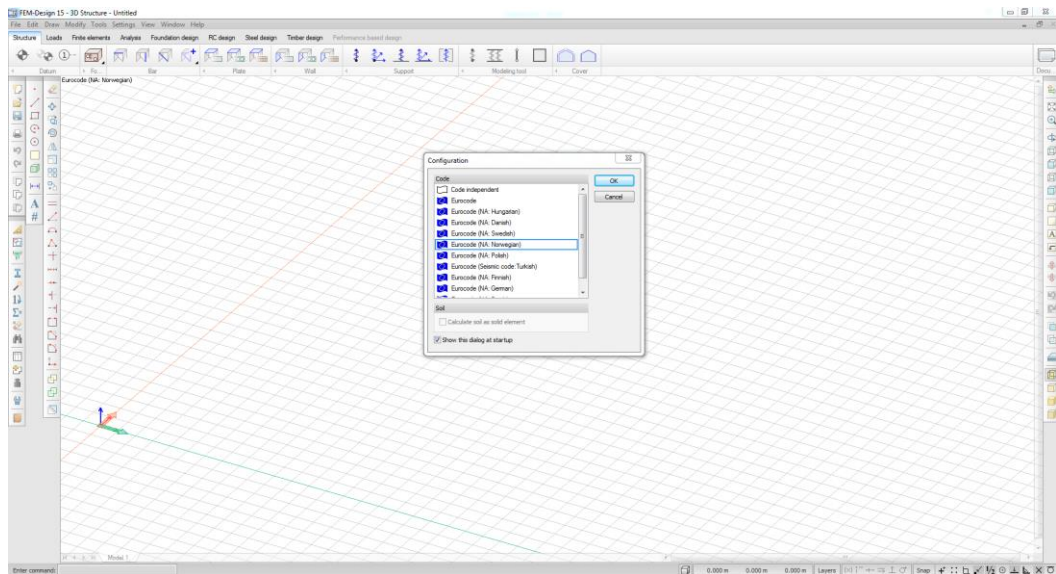
- kan gjennomføres uavhengig av resten av byggets utforming,
- er enkle å gjennomføre, uten å kreve ekspertise innen flere fagfelt
- er kostnadseffektive sett opp imot resultatet, både med hensyn på materialkostnader og arbeidstimer

4. Metode

4.1 Fremgangsmåte for modellering

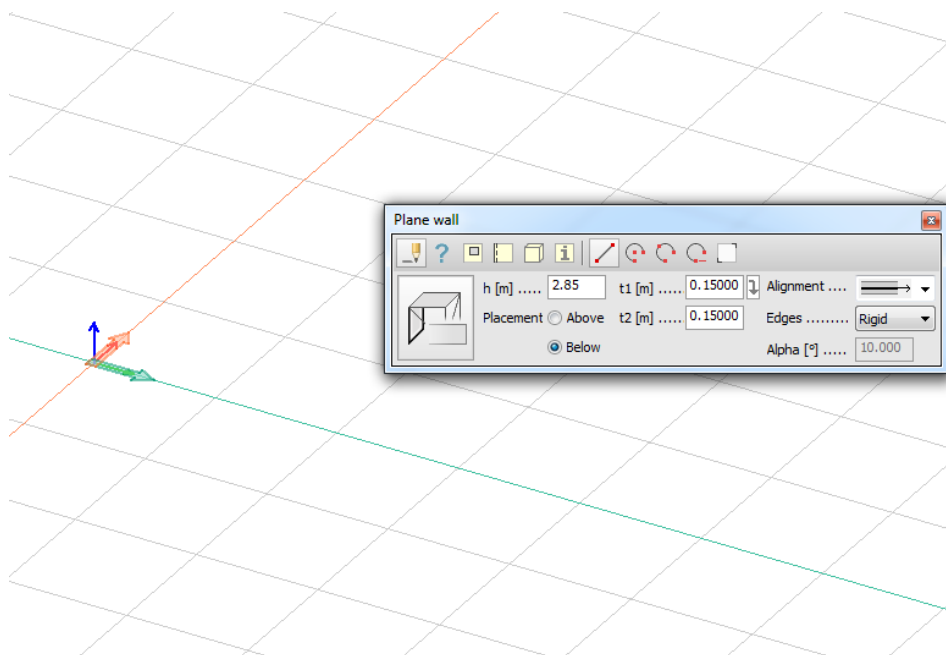
FEM-design åpner opp med en forespørsel om hvilken standard man skal bruke, med mulighet for nasjonale tillegg (NA, National Appendix) dersom dette eksisterer, vi velger «Eurocode (NA: Norwegian)», dette vil instruere programmet til å følge de retningslinjer som er gitt i valgte standard og eventuelt nasjonalt tillegg. Dette innebærer blant annet de forskjellige materialbenevnelsene, minstekrav til armering, og beregningsmetoder for kapasiteter.

Til vanlig ville det vært normalt å fastsette et akse- og etasjesystem før modelleringen begynte, men i dette tilfellet er det snakk om en såpass enkel konstruksjon som skal tegnes, at dette utelates for å spare tid på sikt mellom de mange modellene.



Figur 19 Et tomt modellvindu

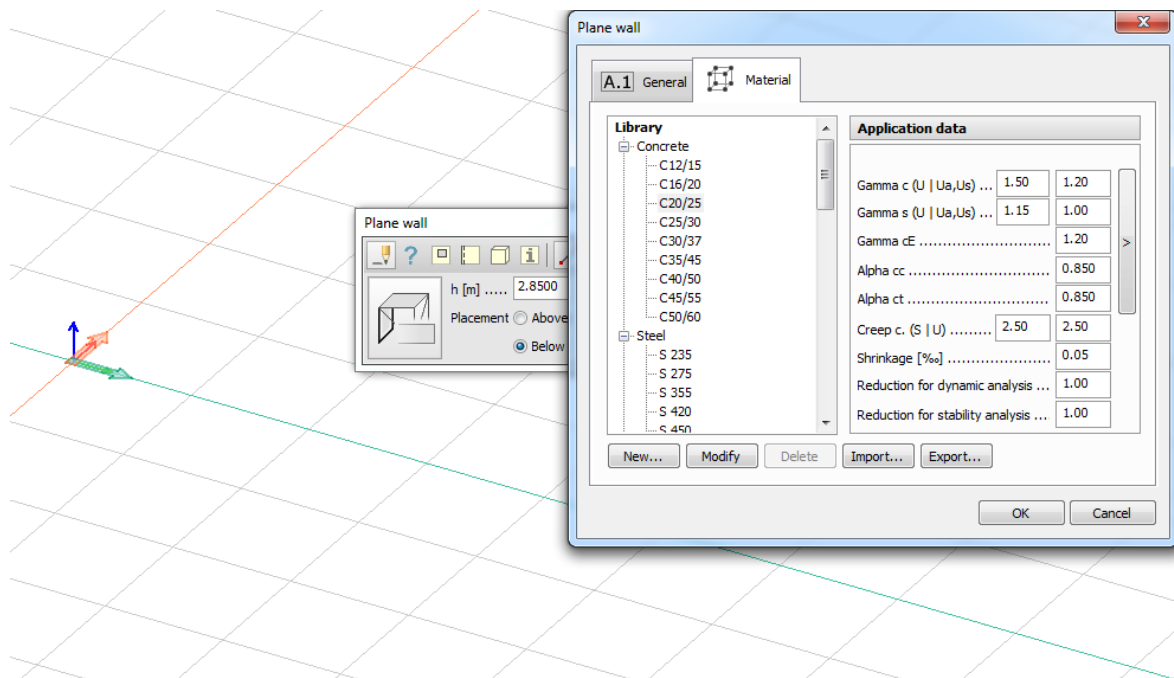
Vi skal teste geometrisk homogene vegger og velger derfor «Plane wall» fra fanen «Structure», hovedbruken av denne er å modellere armerte betongvegger.



Figur 20 "Plane wall", første vindu

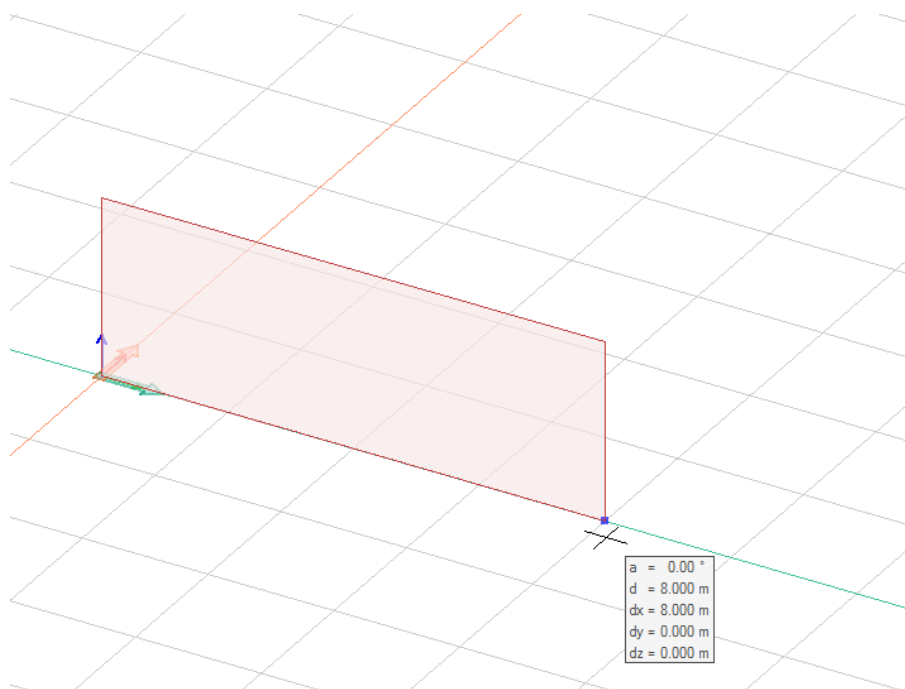
Ved å trykke på «Plane wall» kommer det opp et vindu hvor man skal oppgi grunnleggende geometriske data, her velger vi å skrive inn veggghøyden og tykkelsen på betongen, og om den resulterende veggen skal ligge over eller under

linjen vi senere skal definere. Videre skal vi definere egenskapene til hovedmaterialet som veggen er bygd opp av.



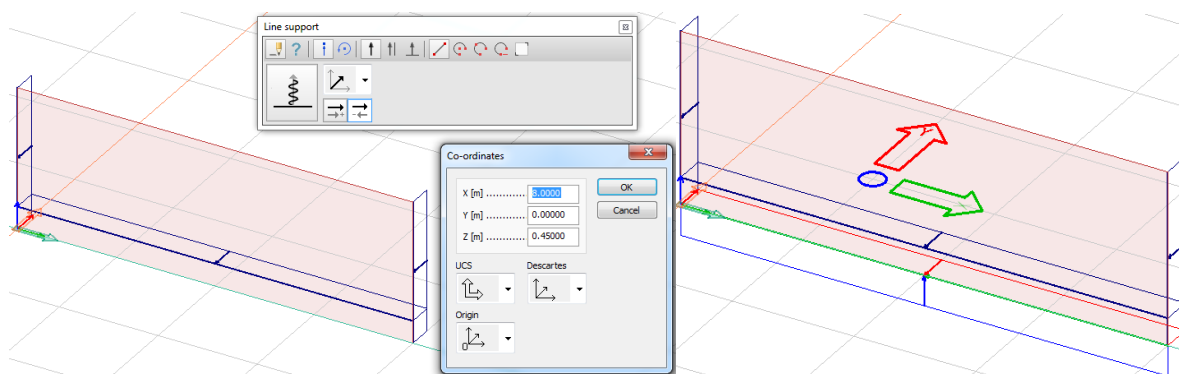
Figur 21 "Material settings"

Her velges materialet som veggen skal bestå av og dets egenskaper. Det meste i «Material settings» er predefinert i henhold til hva standarden sier om valgt material-kvalitet.



Figur 22 Utrekking av vegg

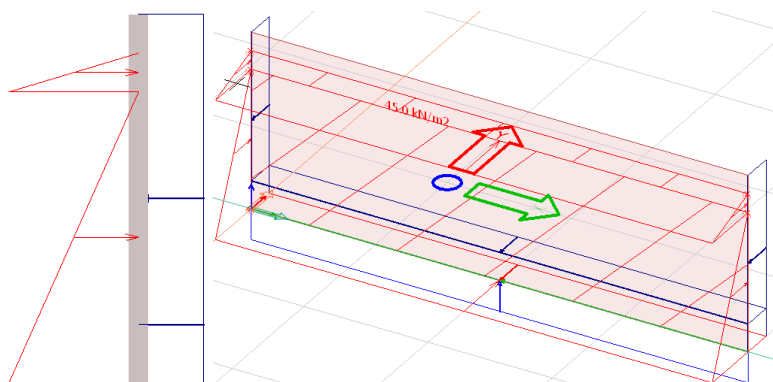
Veggen trekkes ut i ønsket lengde, man kan også velge å skrive inn absolutte eller relative koordinater.



Figur 23 Definerings av randbetingelser, med absolutte koordinater. Opplagere på standardmur.

På «Structure»-fanen defineres også veggens randbetingelser, dette vil i hovedsak for denne undersøkelsen være linjeopplager. Vi bestemmer fastholdingens retning og i de tilfellene hvor de er nødvendig, hva som er positiv retning. Bestemmelse av positiv retning er nødvendig i tilfeller hvor fastholdingen bare skal gjelde i en retning. For eksempel i bunnen av muren, som kun er hindret i å flytte seg mot fyllingen (antar dette, da større forflytning utover vil gi større mothold via passivt jordtrykk).

Det blir lagt på fastholdinger på sidekanter, underkant og i høyde med ferdig gulv innvendig.



Figur 24 Jordtrykket størrelse varierer med posisjon under terrengets overflate. Jevnt jordtrykk ikke vist. Merk at figuren som representerer lasten ikke skalerer med størrelsen på selve lasten, bare hvordan den er fordelt.

Laster påføres i «Loads»-fanen. Her er spesielt jordtrykket viktig å få riktig. Dette defineres som en triangel med størst utbredelse i bunnen av muren, men i FEM-design må man først sette ut lasten som en kube med lik last over hele, for deretter å bestemme hvilke hjørner av kuben som skal være 0. Jorden overfører også overliggende laster til muren, disse har en lik størrelse på hele murens høyde. Jeg har valgt å modellere det skrå og jevne jordtrykket som to forskjellige laster, dette for å lettere holde orden på de forskjellige lastene visuelt. Jordtrykkets skrått fordelte del modelleres også som to laster, da det er vanlig at størsteparten av oppfyllingen bak muren er drenerende masser (SINTEF TG 2156) med et lag matjord på toppen. Dette gir to forskjellige friksjonsvinkler og dermed to forskjellige fordelinger av lasten.

I denne oppgaven har jeg valgt å ta hensyn til følgende laster:

- Egenvekt, her trenger man ikke å spesifisere ny størrelse, kun om denne skal tas hensyn til eller ikke.
- Snølast, modelleres som en jevnt fordelt overført last.
- Jordtrykk, modelleres både som skrått fordelt og jevnt fordelt last
- Påførte laster, modelleres som en linjelast på hele veggens lengde

Jeg fant i midlertidig ut at, siden programmet ikke har noen gode muligheter til å endre de felles geometriske parameterne til en konstruksjon på en enkel måte

(f.eks. ved forlengelse av en vegg, følger ikke en linjelast fra etasjeskiller etter), ville denne fremgangsmåten være tungvint for modellering av flere vegger med ulike lengder og høyder. En prosess som var nødvendig i oppstartsfasen hvor en referansemur ikke var bestemt.

4.1.1 Bruk av Python

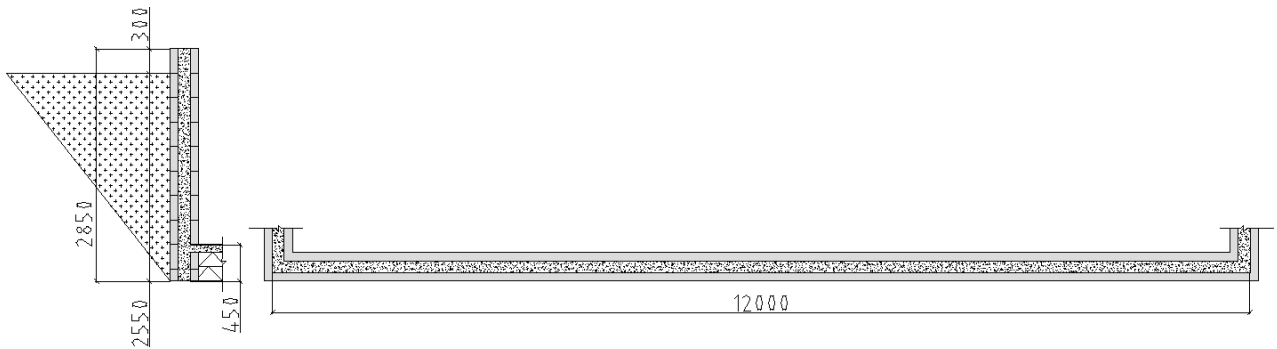
Jeg valgte derfor å bruke programmeringsspråket Python til å lage filer med ulike parametere som input for å korte ned denne delen av modelleringen.

<pre> 14 'Input' 15 16 veggH_eff = 2.4 #m, vegg høyde over ringmur 17 ringmur = 0.45 #m 18 oppf = 0.3 #m, invers oppfylingshøyde. oppfylling fra topp av muren 19 lengde = 6 #m 20 snolast = 5 #kN/m3 21 masse_vinkel = 40 #grader 22 jord_tykk = 0.3 #m 23 masse_vekt = 19 #kN/m3 24 linje_brudd = 87.1 #kN/m, med faktorer 25 linje_bruk = 69.9 #kN/m 26 27 masse_f = 1 - sin(radians(masse_vinkel)) 28 jord_f = 1 - sin(radians(30)) 29 veggH = ringmur + veggH_eff 30 oppf_h0 = veggH - oppf 31 oppf_h1 = veggH - oppf - jord_tykk 32 sno1 = snolast * masse_f 33 jordtrykk1 = masse_vekt * jord_tykk * jord_f 34 jordtrykk2 = masse_vekt * jord_tykk 35 jordtrykk1_1 = masse_vekt * jord_tykk 36 jordtrykk2 = masse_vekt * masse_f * oppf_h1 </pre>	<pre> <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?> <!--(C) Strusoft 2012, http://www.strusoft.com--> <database struxml_version="01.00.000" source_software="FEM-design 12.01.006" start_t <entities> <slab guid="dfde071b-b27a-4fd1-be2e-2b16345b3783" last_change="2016-1 <slab_part guid="38738ec9-37b4-4687-b180-453cb619749c" last_ <contour> <edge type="line"> <point x="0" y="0" z="0"/> <point x="6" y="0" z="0"/> <normal x="0" y="1" z="0"/> </edge> <edge type="line"> <point x="6" y="0" z="0"/> <point x="6" y="0" z="2.85"/> <normal x="1" y="0" z="0"/> </edge> <edge type="line"> <point x="6" y="0" z="2.85"/> <point x="0" y="0" z="2.85"/> <normal x="0" y="1" z="0"/> </edge> <edge type="line"> <point x="0" y="0" z="2.85"/> <point x="0" y="0" z="0"/> <normal x="-1" y="0" z="0"/> </edge> </contour> <thickness x="6" y="0" z="0" val="0.15"/> <thickness x="0" y="0" z="0" val="0.15"/> <local_pos x="5" y="0" z="1.425"/> <local_x x="1" y="0" z="0"/> <local_y x="0" y="0" z="1"/> </end> </pre>
---	---

Figur 25 Eksempel på input og output-fil, sistnevnte importeret senere i FEM-design

FEM-design har muligheten til å ta inn informasjon om geometri, randbetingelser, laster og lastkombinasjoner via en «struXML»-fil. Denne filtypen gjøres lett om til en parametrisk fil med variable verdier. Jeg lot dermed Spyder (programmet Python-koden ble skrevet i), ta seg av omregning av jordtrykkskoeffisienter og omregning vertikale laster til horisontale laster påført veggen. Koden kan finnes i vedlegg VI.

4.2 Modell



Figur 26 Illustrasjon av modellert vegg

Det ble forsøkt med en rekke forskjellige dimensjoner på muren før det ble fastsatt at man skulle dimensjonere en totalt 12 meter lang og 2.85 meter høy mur, med oppfylling opp til 30 cm fra toppen av muren, med gulvet 45 cm fra bunnen. Typisk vil oppfyllingen på en mur avsluttes på en slik måte, da dette er anbefalt avstand til kledningen som vil komme på veggen over, samt at det gir et minimum med areal som må pusses senere, en noe tidkrevende jobb. Dette er både dimensjoner som er realistiske, med tanke på et ekte bygg, men også en som lar de forskjellige løsningene få prøvd seg til det ytterste.

Dette kan da kalles vår referansemur, eller bare en mal.

4.3 Kostnadsberegning

Kostnader som ble beregnet for hver løsning var:

- Arbeidstimer
- Armeringsjern, i kilo
- Betong, både mengde og kvalitet
- Blokker
- Andre ekstra materialer

Alle kostnader ble sett på som utførende part sine utgifter, det vil si før påslag. Det ble tatt i bruk en kostnadsdatabase som produsenten av blokksystemet ga sin tilgang til, dette viste seg å være nyttig, spesielt for å anta timesforbruk for stabling av blokker. Referansemuren med minstearmering ble grunnlaget for

kostnadsberegningen for alle løsningene, og kostnaden som blir oppgitt senere er da utgiftene over denne grunnkostnaden. En oversikt over kostnader per enhet kan finnes i vedlegg II.

4.4 Bearbeidelse

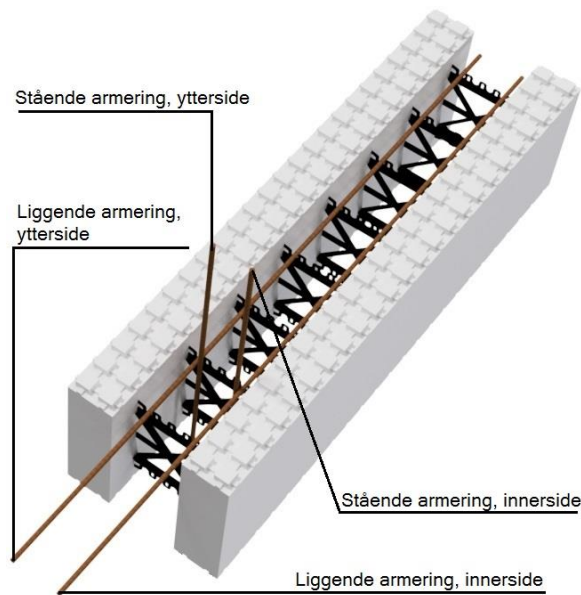
Etter å ha satt opp parameterne for beregning ble muren kalkulert først med minstearmering, som beskrevet i kapittel 2.3 (dette holdt selvsagt ikke), og en av de planlagte løsningene som enten holdt eller ikke, deretter ble det lagt til eller fjernet armering til utnyttelsen var rundt 95-99 %.

Kostnader ved hver enkelt løsning ble beregnet som en differanse mot en standardarmert (som beskrevet i TG 2156) mur. Det ble regnet med økte kostnader for betong, armering, arbeidstimer og eventuelle materialer til de forskjellige løsningene, kostnadene ble hentet fra en kostnadsdatabase på nett[9].

Det ble forsøkt med rekke løsninger som blir kort beskrevet i neste kapittel.

4.5 Kort om de individuelle løsningene

4.5.1 Armering i vegg



Figur 27 Standardblokk med liggende og stående armering

Thermomur-blokkene armeres med stående og liggende armering. Hovedsakelig med 10 mm jern, men dersom nødvendig senteravstand blir mindre enn 300 mm horisontalt eller 150 mm vertikalt undersøkes det om 12 mm holder. Man kan tenke seg det slik at den vertikale armeringen overfører krefter til motholdet i kolbingen med gulvet, på en uendelig lang mur vil mesteparten av kreftene gå hit da dette er den korteste veien for disse. De horisontale jernene vil overføre krefter til støtteveggene og en større andel av krefter vil bli tatt opp her jo kortere vegg er.

4.5.2 Økning av betongkvalitet

Muren forsøkes forsterket ved å øke betongkvaliteten fra C20, dette øker betongens trykk- og strekkfasthet noe som vil minke mengden armering. Det som vil bestemme om dette er en god løsning er om differansen i kostnad ved å øke betongkvalitet vil være mindre enn den sparte armeringen. Det har blitt valgt å se på kvalitetene C30 og C40 som er vanlig å finne på de fleste betongverk.

4.5.3 Lettere masser



Figur 28 Skumglass og lettklinker

Drensmassene som fylles inntil muren byttes ut mot lettere kunstig fremstilte masser. Dette er masser som ofte blir brukt i vegbygging som fyllmasser eller fundamentering der man sliter med vanskelige grunnforhold eller ikke har muligheten til å grave dypt i terrenget av forskjellige årsaker.

Slike masser kan for eksempel være skumglass av gjenvunne glassprodukter, disse har en lav vekt, høy friksjonsvinkel og har den egenskapen at de isolerer svært godt sammenlignet med vanlig jord eller drenspukk. Produktet fremstilles ved at glass males opp til et fint pulver og varmes opp til det ekspanderer til 5-6 ganger sitt opprinnelige volum, etter dette knuses den solide massen ned til fraksjoner på 10 til 60 mm.

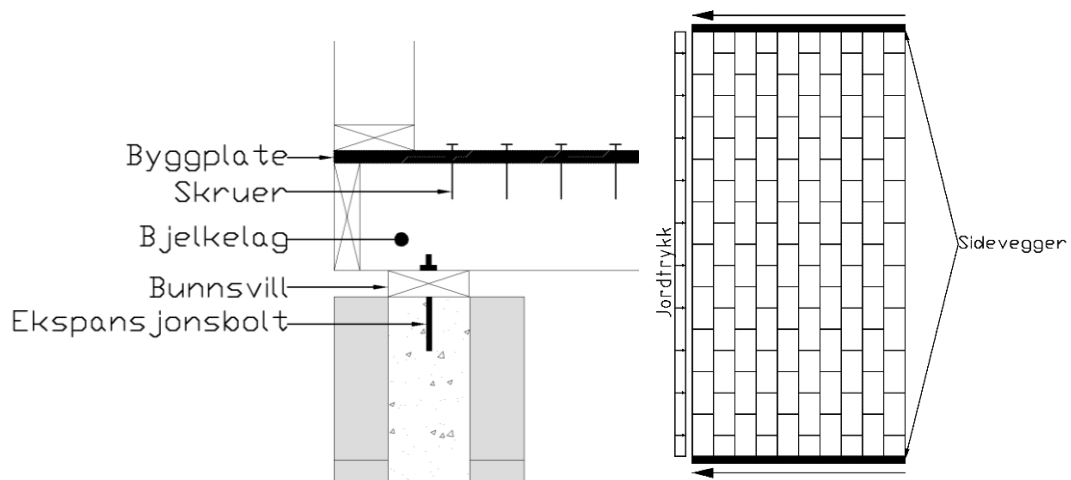
Et annet alternativ er lettklinker av brent leire. Dette er samme prosess som ved produksjon av lettklinkerblokker, ved at leire tørkes og brennes ved høy varme til de ekspanderer, men det ferdige produktet består av større fraksjoner.

Man kan også bruke sekker av oppmalt gjenvunnet plastisolasjon (EPS og XPS), dette er et alternativ som ikke er undersøkt i detalj da informasjon om friksjonsvinkler og romvekt ikke er tilgjengelig.

Alle tre produkter har lave transportkostnader, både grunnet vekt og produksjonsfasiliteter i Norge.

4.5.4 Utnyttelse av etasjeskiller

Thermomuren forankres fast i etasjeskilleren. Dersom dette er en «tung» etasjeskiller av f.eks. lecaplank, plasstøpt betong eller hulldekker, skal denne armeres fast i muren. Ved en etasjeskiller av treverk vil denne måtte boltes fast gjennom bunnsvillen, slik at skjærkrefter kan tas opp av bjelkelaget og ganglaget over. Skjærkreftene føres ut til sidene, og dermed sideveggene, av bygningsplatene på trebjelkene i etasjeskilleren. En enkel illustrasjon av dette kan sees i Figur 29.

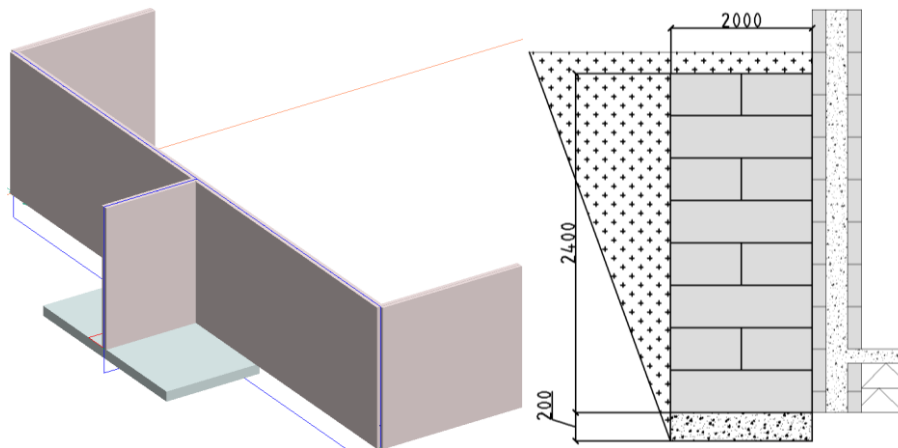


Figur 29 Kraftoverførende forankring mellom etasjeskiller, mur, og byggplater på bjelkelag.

Denne koblingen kan gjerne være momentstiv men det er ikke nødvendig for å få en tilstrekkelig lav deformasjon.

En rask beregning av nødvendig senteravstand mellom skruer i gulvet ble beregnet ved hjelp av tabellverk fra Byggforsk[10][11] og kan finnes i vedlegg V.

4.5.5 Utvendig støttevegg

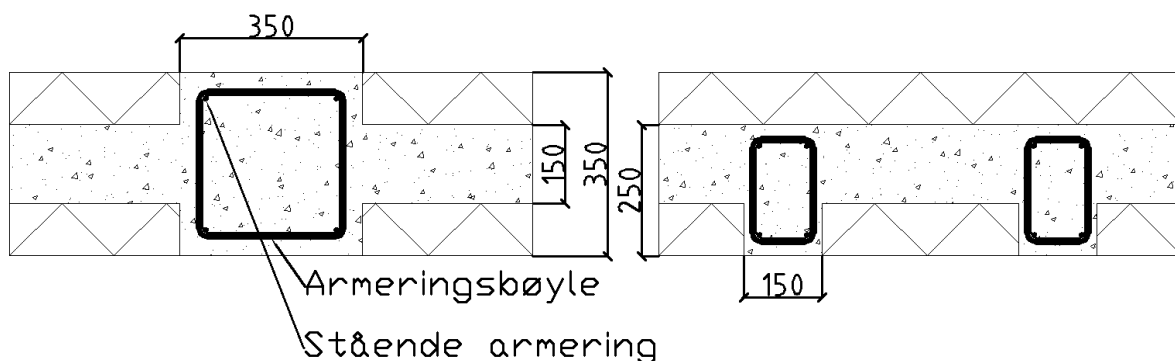


Figur 30 Utvendig støttevegg

Produktet brukes til å bygge opp en kort vegg utvendig, hvor det senere skal fylles igjen, som er armert sammen med en bunnplate. Denne holder da støtteveggen nede ved hjelp av jordtrykket som virker vertikalt på bunnplaten, støtteveggen holder igjen veggene fra å forskyve seg vekk fra fyllingen. Bunnplaten må være bred nok til at det vertikale trykket på denne blir nok til å nøytralisere det horisontale jordtrykket på den utsatte vegg.

4.5.6 Integreert søyle

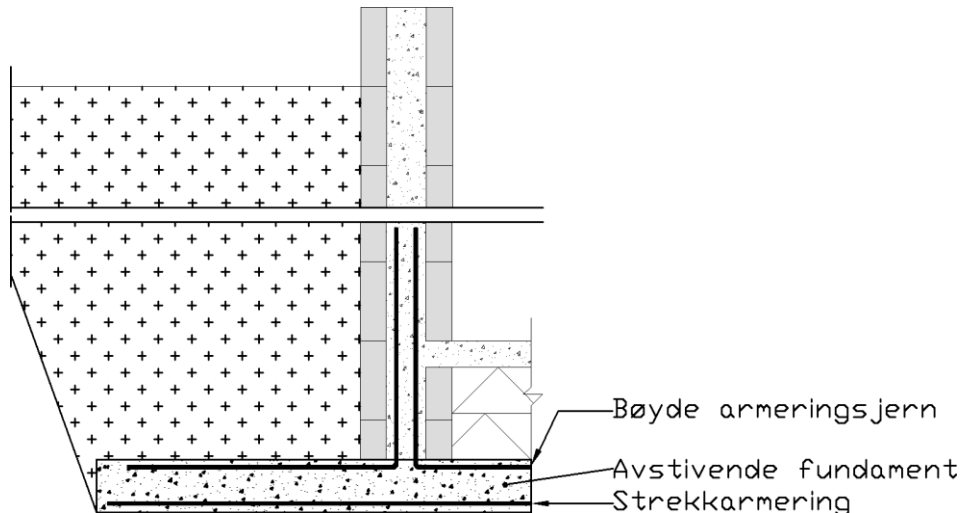
Betongtykkelsen økes en liten seksjon av veggene, ved at isolasjonen fjernes fra blokkene og det forskales på tradisjonelt vis. Søylerne armeres med stående armering og bøylearmering.



Figur 31 To forskjellige typer integrerte søyler

Dette kan enten gjennomføres som en massiv søyle på midten av muren, eller som flere mindre seksjoner på «varm» side. Førstnevnte har den fordelen at det er minst jobb og man får det bredeste søyletverrsnittet på denne måten. Den sistnevnte skaper derimot ingen store kuldebroer og kan være lettere å forskale

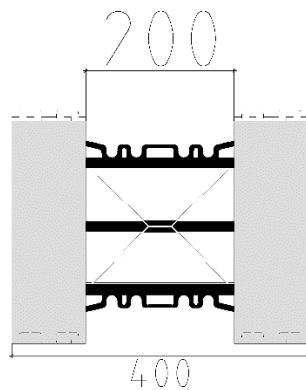
4.5.7 Ved bruk av bunnplate



Figur 32 Momentstiv forbindelse mot bunnplate

Et bredt fundament av armert betong sørger for at rotasjonen i bunnen av muren blir null. Fundamentet må støpes i hele veggens lengde for å gi en momentstiv forbindelse hele veien. Videre må denne armeres momentstivt i forbindelsen med muren, i tillegg til å tåle trykk og strekkrefter som muren over overfører fra overliggende konstruksjon. Dette kan være en god løsning hvor man sliter med høye vertikale laster i forhold til grunnens kapasitet og allikevel må fundamentene bredere enn betongkjernen i muren.

4.5.8 Økning av betongtykkelse



Figur 33 Tverrsnitt av standardblokk med økt tykkelse

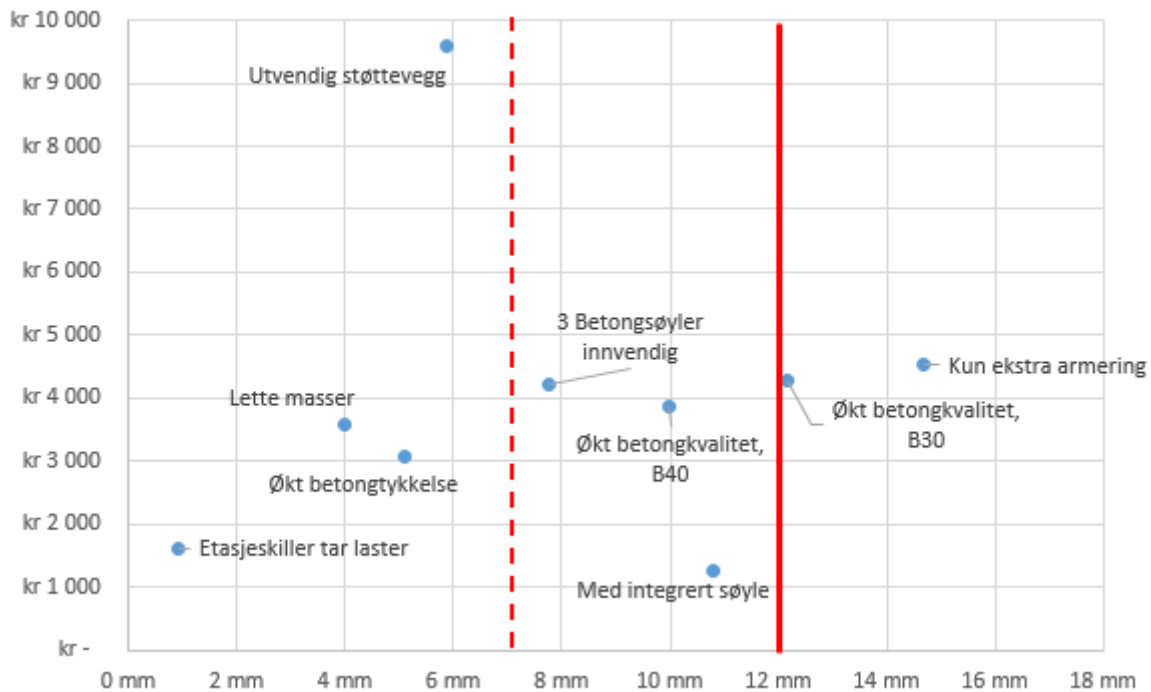
Mye av grunnen til murens begrensninger er grunnet den tynne betongkjernen, dette gir en mindre indre momentarm for armeringen og lavere momentkapasitet for betongen alene. Det foreslås derfor å øke betongkjernen med 50 mm. I praksis vil dette bety at produsenten bygger om verktøyet som lager blokkene, noe som kan være en betydelig investering. I teorien kan man sage opp blokkene på langs ved å kappe plaststegene på tvers og forskale rundt blokkene slik at disse holder seg sammen under støp, plaststegene vil forankres inne i betongen og holde isolasjonsvangene på plass på denne måten. I kostnadsvurderingen er det antatt at blokkene kommer med ferdig økt tverrsnitt og dermed blir den ekstra kostnaden kun for betong og transport.

4.6 Feilkilder

Selv om det har blitt undersøkt en rekke forskjellige dimensjoner og andre geometriske parametere, kan det hende at enkelte løsninger er mer økonomiske gitt for eksempel andre høyder, da både oppfyllingshøyder og vegg høyder. Videre kan det tenkes at hvis man kombinerer løsninger som har utfyllende fordeler og ulemper kan disse løsningene sammen bli billigere å gjennomføre enn en annen enkelt-løsning.

5. Vurdering av løsninger

Her blir hver løsnings fordeler og ulemper diskutert, en tabell som inneholder dataene for punktdiagrammet under er å finne i vedlegg IV.



Figur 34 Sammenheng mellom forskyvninger og kostnader. Rød linje indikerer toleransekrav PD, mens stiplet rød indikerer krav PC.

5.1 Armering i vegg

Sammenlignet med en standardarmert mur var forskyvningene noe lavere, men ikke innenfor de kravende vi har stilt tidligere. Selve gjennomføringen av løsningen er enkel da muren allerede skal armeres og for de horisontale jernene medfører det da bare å legge i jern i hvert skift i stedet for annenhver. Vertikale jern er en smule mer komplisert, da disse må stikkes ned i muren før støp, men de allerede plasserte horisontale jernene og plastbinderne er med på å holde de i posisjon.

Mengden armering i muren kan medføre vanskeligheter under støp da disse vil gjøre komplett fylling av muren til en utfordring uten å vibrere betongen. Dette kan igjen løses ved å velge betong med høyere synk.

På vår 12 meter lange mur gikk det med 281 kilo armeringsjern sammenlignet med 106 dersom denne hadde vært standardarmert.

5.2 Økning av betongkvalitet

Muren ble modellert med fasthetsklasse C30 og C40 i stedet for C20. Dette medførte noe lavere deformasjoner og mengden armering ble redusert til sammenligning med den beskrevet i forrige løsning. Selve løsningen medfører ingen ekstra kostnader i gjennomføring utenom selve prisforskjellen for økt betongkvalitet.

Sammenlignet med kun økt armeringsmengde er løsningen(e) noe billigere og gir markant lavere deformasjoner, men de er fortsatt ikke innenfor toleransekrav PC som var på 7.2 mm, selv ved økning til fasthetsklasse C40.

Betongen kan også være vanskeligere å få støpt dersom man ikke klarer å overholde kravet til slump.

5.3 Lettere masser

Utskiftning av friksjonsmassene bak muren med lettere, fremstilte materialer, har flere fordeler. For det første er det svært lav usikkerhet på både massenes vekt og friksjonsvinkel sammenlignet med masser fra et pukkverk. Dette gjør at man kan bruke lavere sikkerhetsfaktorer og være mindre konservativ med lastenes størrelse.

Videre kreves det ikke noen spesiell opplæring eller erfaring for å legge ut lette masser sammenlignet med tradisjonelle friksjonsmasser som drenspukk. Man må selvsagt påse at massene er tilgjengelig lokalt eller bestille de fra egnet utsalgssted da ikke alle forhandlere har det lagerført.

Sett opp imot andre løsninger gir lette masser lave forskyvninger og medfører ikke spesielt høye kostnader. Sistnevnte er et produkt av at materialene har billige råvarer og lave transportkostnader da disse produseres i Norge.

Denne løsningen har også vist seg å skalere bra med både høyden og lengden på muren.

5.4 Utnyttelse av etasjeskiller

Lastoverføring til etasjeskilleren, som blir plassert på muren, har den fordelen at den kommer til å ta litt krefter uansett da bygget må forankres mot vindlaster dermed blir det ikke en mye større jobb å øke antallet forankringer for også å ta opp jordtrykkskrefter. Forskyvningene blir betydelig mye lavere da momentene i murens reduseres dramatisk på grunn av kortere vei til fastholding.

Ulempene med løsningen er at utførende av muren ikke utfører arbeidet med å gjøre etasjeskilleren stiv nok. Dette er selvsagt ikke et problem hvis byggets ansvarlige prosjekterende beskriver løsningen, men hvis hver enkelt faggruppe dimensjonerer sitt eget område, kan dette by på problemer.

Videre krever løsningen at utsparinger i bjelkelaget holdes vekk fra den utsatte veggen, det vil si at man må ta hensyn når man planlegger åpninger for eksempel til trapper. Dette er grunnet at skjærspenningene blir svært store nærme ytterveggene som skal stive av bygget og ta ned spenningene.

Disse ulempene gjelder bare de bygg hvor etasjeskiller bygges i treverk og ikke de der det er snakk om tyngre konstruksjoner som hulldekker, lettklinkerplank eller plasstøpte betongdekker. Disse har tilstrekkelig stivhet til at nevnte ulemper forsvinner.

5.5 Utvendig støttevegg

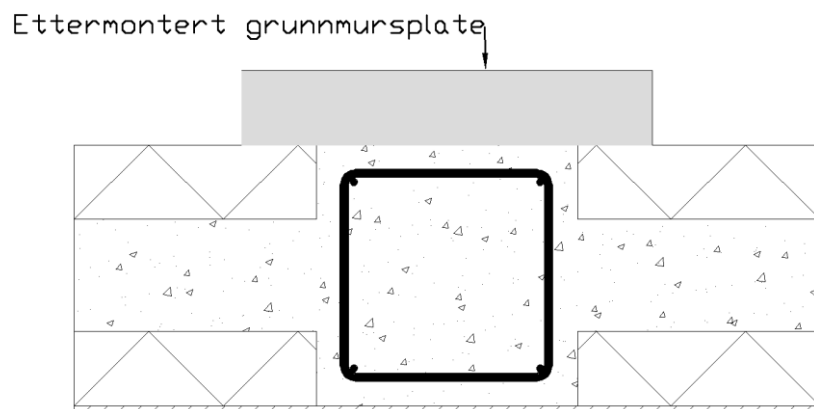
På overflaten er det ikke særlig forskjellig fra en innvendig støttevegg, men det er flere viktige forskjeller.

Selv om man skulle tro at kostnadene ble relativt like bare man flytter en innvendig støttevegg ut, må man også ta hensyn til at veggen skal armeres fast inn en bunnplate slik at denne ikke bare løftes når veggen forskyves innover. Her går det med både arbeidstimer, betong og armering. Videre må det være utgravd tilstrekkelig plass til både vegg og bunnplate til denne.

Analysen av denne løsningen blir da at selv om den gir akseptable forskyvninger, er den mye dyrere enn løsninger som gir tilsvarende resultater.

5.6 Integrert søyle

Integrerte søyler gir lave kostnader og akseptable deformasjoner, men har en betydelig ulempe; svekket u-verdi. Ved beregninger av en massiv søyle på midten av en 12 meter lang mur viser det seg at Thermomur 350 går fra en u-verdi på 0.17[1] til 0.33ⁱ W/m²K (gjennomsnittlig over hele muren) i tillegg til en betydelig kuldebro hvor søylen er plassert, denne vil være kilde til fukt og kondens på innerveggen. Dette problemet kan bøtes på ved å legge på en kuldebrobryter på utsiden i form av en 10 cm isolasjonsplate (f.eks. EPS eller murplate i steinull) over søylens eksponerte utside, se. Dette vil midlertidig ødelegge noe av veggens inntrykk og kan gjøre etterbehandlingen av muren (påføring av puss og festing av grunnmursplast) vanskeligere, men det kan også snus til et arkitektonisk utrykk ved gjentatte søyler bortover en lengre mur for å bryte opp denne i mindre stykker. Eventuelt kan disse søylene også brukes til å ta større punktlaster fra konstruksjonen over, men dette har ikke blitt beregnet i denne oppgaven.



Figur 35 Fugleperspektiv: Eksempel på utvendig etterisolering av integrert søyle. Murens horisontale armering er ikke vist.

5.7 Ved bruk av bunnplate

En momentstiv forbindelse i bunnen av muren ga ikke spesielt lavere utbøyinger sammenlignet med kun ekstra armering som beskrevet i 5.1, da kostnadene i tillegg øker såpass må dette sies å være en mindre god løsning.

ⁱ Uten å ta hensyn til den isolerende effekten til grunnen utenfor muren

Forklaringen på at utbøyingene blir såpass lave er at mye av momentet allerede er eliminert i den opprinnelige muren ved kombinasjonen av fastholding ved gulvet og bunnen av muren.

Bra løsning dersom muren allikevel trenger en bredere fundament på grunn av dårlige grunnforhold, men ikke som eneste løsning mot utbøyinger. Hadde den momentstive forbindelsen vært i gulvhøyde ville man sett bedre verdier, men dette er ikke lett å gjennomføre.

Videre kan løsningen forårsake passivt jordtrykk ved at bunnen av muren beveger seg tilbake mot fyllingen, noe som øker behovet for armering for å motstå økte spenninger.

5.8 Økning av betongtykkelse

Økning av betongtykkelse er på papiret under snittet kostbart sammenlignet med de løsningene som gir forskyvning under kravet. Men skal denne løsningen masseproduseres må produsenten gjøre om selve verktøyet for å produsere blokkene i tillegg til å gjøre om alle tekniske løsninger produsert med hensyn på en tynnere betongtykkelse, dagens blokker kan selvsagt modifieres på byggeplass med en vanlig håndsag eller egnet elektroverktøy, men dette igjen koster arbeidstimer. Videre vil dette selvsagt gjøre veggene tykkere og alt det medfører med plassering av vinduer og dører i veggens dybde. Transportkostnader vil øke og håndteringen av tykkere blokker vil også være vanskeligere for håndverkere/transportarbeidere.

En fordel med tykkere betongkjerne vil være at overdekningen forbedres, noe som kan være et problem dersom muren står i sterkt korrosivt miljø.

6. Sammendrag & Konklusjon

Denne oppgaven har tatt for seg et populært forskalingssystem med mange fordeler og noen ulemper, med den intensjon til å forbedre systemet ved å utvide et av bruksområdene.

Produktet som har blitt undersøkt er et populært ICF-system (Insulated Concrete Form) som ofte er brukt som kjellervegger, eller hele bæresystem, i vanlige bolighus, garasjeanlegg og lignende. Det er et mye brukt system grunnet lave kostnader forbundet med oppføring og prosjektering. På grunn av betongkjernens relativt smale tverrsnitt, har innvendige støttevegger vært nødvendig ved høye oppfyllingshøyder, både for å hindre brudd i betongen og sjenerende utbøyinger. Dette igjen er med på å legge lenker på romutformingen i en etasje. Ikke bare er det en sjanse for at en mur vil ha utilstrekkelig kapasitet til slik at det blir brudd i betongen, men muren kan mangle stivhet slik at den får sjenerende utbøyinger. Det har også vært et mål å finne enkle økonomiske løsninger. Dette har dermed vært oppgavens problemstilling: hvilken løsning, som er både gjennomførbar og tilfredsstillende, er mest økonomisk.

Programmet FEM-Design ble brukt til å modellere de forskjellige løsningene med hjelp av Python til preprosessering, som innebar geometrisk oppsett av muren og utregning av laster. En rekke modeller med varierende geometriske parametere ble vurdert, før en endelig mur på 12 meter ble bestemt til å være en basismodell som dannet et sammenligningsgrunnlag mellom de forskjellige løsningene. Hvis en løsning i seg selv ikke var tilstrekkelig til å hindre brudd i betongen, ble modellen armert ekstra til denne holdt. Alle modellerte løsninger holdt, med tanke på brudd, etter å ha blitt armert tilstrekkelig.

Hver løsning ble vurdert med tanke på deformasjoner, kostnader og gjennomførbarhet, samt sikkerheten i at løsningen blir gjennomført som planlagt.

Et alternativ som ga gode resultater var å bruke etasjeskilleren til å ta opp laster, denne tar uansett opp noe laster via vindavstivningen som er forankret i betongkjernen. Løsningen ga svært lave deformasjoner, dette er da grunnet at

momentene blir lavere på grunn av avstanden til nærmeste fastholding blir mindre i øvre del av muren. Denne løsningen gjør at det ikke trengs å modifisere muren i seg selv utenom å bolte eller armere fast etasjeskilleren i betongen, noe som allerede blir gjort til en viss grad. Det er derimot begrenset hvor mye krefter en etasjeskiller kan ta opp, spesielt hvis denne er av tre. Løsningen er valgt bort grunnet avhengigheten av et kontinuerlig bjelkelag og plassering av eventuelle utsparinger til trapper etc. må være nøye plassert slik at de ikke forringer den skjæroverførende kapasiteten til bjelkelaget eller dekket. Løsningen er fremdeles brukende der trapp er plassert midt i bygget, vekk fra den utsatte muren. Etasjeskillerens retning bør også ligge normalt på retningen til veggen for å ha tilstrekkelig skjærstyrke til å motstå jordtrykket.

Økt betongtykkelse ga gode resultater med tanke på forskyvninger og kostnader. En økt tykkelse vil også medføre bedre brannisolerende egenskaper, vertikal styrke og bedre overdekning for armeringen, sistnevnte er en begrensning for slike systemer hvor armeringen legges i ferdige spor noe som medfører en fast overdekning. Løsningen er i midlertidig ikke praktisk gjennomførbar uten at produsenten endrer blokksystemet. Det er selvsagt mulig å modifisere blokkene ute på byggeplass for å få en tykkere betongkjerne, men dette er tidkrevende da hver og en blokk må kappes, deretter må kjernens bredde kontrolleres ofte under bygging slik at muren holder seg jevn og rett. Med dette faller mange av fordelene (enkelt, tidsbesparende) med systemet bort.

Jeg har valgt å trekke den konklusjonen at det å velge lettere masser i stedet for tradisjonelle drenerende masser, det vil si pukk, er den beste løsningen. Dette baserer jeg på kombinasjonen av lave deformasjoner som er godt innenfor grensen til hva som er akseptabelt, lave kostnader både i innkjøp, transport og gjennomføring og en høy sikkerhet på at tiltaket blir som planlagt. Slike masser har både lav egenvekt og høy friksjonsvinkel noe som gjør at trykket på muren blir lavere fra selve massene, men også eventuelle laster over fyllingen føres nedover i stedet for ut til siden inn i muren.

Videre kan disse massene være gjenbruksprodukter som er laget fra resirkulert glass, noe som gir løsningen et miljøvennlig preg, disse produseres også i Norge som både hjelper til å holde transportkostnader nede og hindrer unødvendig utslipp av CO₂.

En annen miljøgevinst fra løsningen vil være kjellerveggens økte isolasjonsevne, sammenlignet med tradisjonelle drenerende masser, noe som selvsagt er med på å redusere byggets totale oppvarming- og dermed energibehov, samt en god sikkerhet mot fukt i kjelleren.

7. Videre arbeid

Som det er nevnt i denne oppgaven er det gjort flere antagelser på sikker side der man ikke har hatt nøyaktige verdier og dette har påvirket resultatet til å være mer konservativt. Dette ligger i oppgavens brede natur, for å sikre at resultatet skal være gjeldende for mange situasjoner. Derfor vil en del av de videre arbeidet være å modellere flere murer med andre kombinasjoner av laster for konstruksjonen over og snølaster på mark, for å se om enkelte løsninger lønner seg med andre forutsetninger. En annen idé vil være å se om kostnadsbildet forandrer seg dersom man bruker systemet i flere etasjer over terreng.

Videre vil det være interessant å gjøre målinger på ferdig støpte murer eller enda bedre å følge en mur gjennom hele prosessen fra prosjektering til bruk og sammenligne prosjektert og faktisk utbøying.

Alternativt kan det utføres eksperimenter i kontrollerte omgivelser for et begrenset antall laster, dette kan være interessant for å undersøke bidraget til isolasjonsvangene. Disse har temmelig lav strekkfasthet, men på trykksiden kan de ha et, om veldig minimalt, bidrag.

Kostnadsanalysen kan også bli bedre, spesielt med tanke på timeforbruk på de løsningene som tidligere ikke har blitt brukt i virkeligheten. Her er det stor usikkerhet, og de antatte verdiene for timebruken her kan være veldig langt fra sannheten. Både med tanke på hvilken tid det å utføre selve arbeidet, men det vil også være en opplæringsperiode involvert for de som skal utføre løsningen.

8. Referanser

1. SINTEF Byggforsk. «TG 2156 Jackon Thermomur.» 2016.
2. Jackon. «Milliarder av Plastkuler.» 2006.
3. Mail- og telefonkorrespondanse med Eivind Olsen, Jackon
4. Strusoft. <http://www.strusoft.com/products/fem-design>. (data uthentet mars 2016).
5. SINTEF Byggforsk. «520.008 Toleranser. Anbefalte toleransekrav til ferdig overflate.» Byggdetaljdatablad, 2009.
6. Norsk Standard. «Eurocode 7: Geoteknisk Prosjektering.» 2008.
7. Statens Vegvesen. «Håndbok 016.» 2009.
8. X. Y. Liu et al. «Experimental study of the lower and upper angles of repose of granular materials in rotating drums.» Powder Technology, 2005.
9. Wikells Byggberäkningar. <http://sektionsfakta.wikells.se/> (data uthentet april 2016).
10. SINTEF Byggforsk. «520.238 Skivekonstruksjoner av tre.» Byggdetaljdatablad, 2011.
11. SINTEF Byggforsk. «520.241 Vindforankring og vindavstivning av småhus av tre.» Byggdetaljdatablad, 2011.
12. Weber. «Leca Lett Fyllmasse.» Brosjyre, 2010.
13. Norsk Glassgjenvinning AS. «Teknisk brosjyre: Glasopor skumglass 10-60.»
14. Norsk Standard. «NS 3491-3 Prosjektering av konstruksjoner - Dimensjonerende laster - Del 3: Snølaster.» 1990.
15. SINTEF Byggforsk. «471.041 Snølast på tak. Dimensjonerende laster.» Byggdetaljdatablad, 2003.
16. Norsk Standard. «Eurocode 1: Laster på konstruksjoner.» 2008.

I. Laster

Fyllmassers egenskaper

Tabell 2 Romvekter, friksjonsvinkler og jordtrykkskoeffisienter

	Dim. Frik.vinkel(ϕ) [Grader]	Dim. tyngdetetthet [kN/m ³]	Jordtrykkskoeffisient
			Hviletilstand
Jord/leire	30	20	0.500
Pukk, drenert	40	19	0.357
Lettklinker, fyllmasse[12]	40.5	5,5	0.351
Skumglass[13]	45	3,5	0.293

Påførte laster

Tabell 3 Laster med etasjeskiller av vanlig konstruksjonstre, 2 etasjer over belastet vegg

Last	Karakteristisk [kN/m ²]	Last-bredde [m]	Last-faktor	Brudd-last [kN/m]	Bruks-last [kN/m]
Snølast	5.0	6	1.5·0.8	36.0	24
Egenvekt, tak	1.1	6	1.2	7.9	6.6
Brukslast, 1 etasje	2.0	6	1.05	12.6	12
Brukslast, 2 etasje	2.0	6	1.05	12.6	12
Egenvekt, etasjeskiller, mellom kjeller & 1 etg.	1.0	6	1.2	7.2	6.0
Egenvekt, etasjeskiller, mellom 1 & 2 etg.	1.0	6	1.2	7.2	6.0
Egenvekt, vegg, 1 etg.	0.6	2.5	1.2	1.8	1.5
Egenvekt, vegg, 2 etg.	0.6	2.5	1.2	1.8	1.5
Sum				87.1	69.6

Tabell 4 Laster med første etasjeskiller av hulldekke, 2 etasjer over belastet vegg

Last	Karakteristisk [kN/m ²]	Lastbredde [m]	Lastfaktor	Bruddlast [kN/m]	Brukslast [kN/m]
Snølast	5.0	6	1.5·0.8	36.0	24
Egenvekt, tak	1.1	6	1.2	7.9	6.6
Brukslast, 1 etasje	2.0	6	1.05	12.6	12
Brukslast, 2 etasje	2.0	6	1.05	12.6	12
Egenvekt, etasjeskiller, mellom kjeller & 1 etg.	6.7	6	1.2	48.2	40.2
Egenvekt, etasjeskiller, mellom 1 & 2 etg.	1.0	6	1.2	7.2	6.0
Egenvekt, vegg, 1 etg.	0.6	2.5	1.2	1.8	1.5
Egenvekt, vegg, 2 etg.	0.6	2.5	1.2	1.8	1.5
Sum				128.1	103.8

II. Kostnader

Tabell 5 Kostnader for ulike materialer

Artikkel	Kostnad/enhet	Kommentar
Betong, B20	1271 kr/m ³	
Betong, B30	1396 kr/m ³	
Betong, B40	1594 kr/m ³	
Armering	26 kr/kg	
Glasopor	+150 kr/m ³	Ekstra kostnad ved utskiftning av pukk
Arbeidstimer	200 kr/time	
Thermomur-blokker	1000 kr/m ²	Inkluderer materialkostnader og arbeidstimer for oppføring.

Kostnader er tatt fra kostnads-databasen «Wikells» med tilgang fra Jackon

III.Snølaster

Per i dag kan man finne snølaster for 425 kommuner i Norge[15], hvor enkelte av disse også er oppdelt i forskjellige områder med varierende påkjenning. Dette gir en svært stor mengde tilfeller å regne på. Selv om man videre kan korte ned antallet tilfeller ved å gruppere sammen kommuner etter den karakteristiske minstelasten på mark uten å ta hensyn til høydeforskjeller (da mesteparten av befolkningen uansett bor under 150 m.o.h., som er høydegrensen for ekstra snølast avhengig av høyde over havet), ender man opp med upraktisk mange tilfeller. Det vil derfor være praktisk å begrense seg til et øvre tak på snølast som dekker en betydelig del av landet. En undersøkelse av fordelingen av snølaster gruppert på antall kommuner, personer og areal per kommune viser at med et tak på 5 kN/m², dekker man størstedelen av landet.

Antall kommuner som har en gitt $s_{k,0}$ (snølast på grunn)

Tabell 6 Antall kommuner som har en gitt $s_{k,0}$ (snølast på grunn)

$s_{k,0}$	Kommuner			
	antall	kumulativ	%	kumulativ
1,5	31	31	7,3 %	7,3 %
2	14	45	3,3 %	10,6 %
2,5	40	85	9,4 %	20,0 %
3	52	137	12,2 %	32,2 %
3,5	47	184	11,1 %	43,3 %
4	85	269	20,0 %	63,3 %
4,5	108	377	25,4 %	88,7 %
5	34	411	8,0 %	96,7 %
5,5	7	418	1,6 %	98,4 %
6	3	421	0,7 %	99,1 %
6,5	0	421	0,0 %	99,1 %
7	0	421	0,0 %	99,1 %
7,5	3	424	0,7 %	99,8 %
8	1	425	0,2 %	100,0 %
8,5	0	425	0,0 %	100,0 %
9	0	425	0,0 %	100,0 %
Sum	425			

Tabell 7 Antall personer som bor i en kommune med en gitt $s_{k,0}$

$s_{k,0}$	Befolkning			
	personer	kumulativ	%	kumulativ
1,5	503 715	503 715	9,8 %	9,8 %
2	392 801	896 516	7,6 %	17,4 %
2,5	299 451	1 195 967	5,8 %	23,2 %
3	413 409	1 609 376	8,0 %	31,2 %
3,5	1 614 230	3 223 606	31,3 %	62,4 %
4	963 086	4 186 692	18,6 %	81,1 %
4,5	712 161	4 898 853	13,8 %	94,8 %
5	157 350	5 056 203	3,0 %	97,9 %
5,5	19 503	5 075 706	0,4 %	98,3 %
6	85 468	5 161 174	1,7 %	99,9 %
6,5	-	5 161 174	0,0 %	99,9 %
7	-	5 161 174	0,0 %	99,9 %
7,5	3 883	5 165 057	0,1 %	100,0 %
8	475	5 165 532	0,0 %	100,0 %
8,5	-	5 165 532	0,0 %	100,0 %
9	-	5 165 532	0,0 %	100,0 %
Sum	5165532			

Tabell 8 Areal for kommuner med en gitt $s_{k,0}$

$s_{k,0}$	Areal			
	Areal	kumulativ	%	kumulativ
1,5	4 882	4 882	1,5 %	1,5 %
2	6 140	11 021	1,9 %	3,4 %
2,5	20 909	31 930	6,5 %	9,9 %
3	23 081	55 011	7,2 %	17,1 %
3,5	30 855	85 866	9,6 %	26,7 %
4	81 672	167 539	25,4 %	52,0 %
4,5	94 104	261 643	29,2 %	81,2 %
5	41 100	302 743	12,8 %	94,0 %
5,5	7 499	310 242	2,3 %	96,3 %
6	4 171	314 413	1,3 %	97,6 %
6,5	-	314 413	0,0 %	97,6 %
7	-	314 413	0,0 %	97,6 %
7,5	6 111	320 525	1,9 %	99,5 %
8	1 585	322 109	0,5 %	100,0 %
8,5	-	322 109	0,0 %	100,0 %
9	-	322 109	0,0 %	100,0 %
Sum	322 109			

IV. Tabell, forskyvninger-kostnader

Tabell 9 Forskyvninger og kostnader for løsninger

Løsning	Forskyvning	kostnad
Referansemur	17,08 mm	-
Kun ekstra armering	14,69 mm	4 550,00
Økt betongkvalitet, B30	12,15 mm	4 281,25
Økt betongkvalitet, B40	9,98 mm	3 866,99
Lette masser	4,00 mm	3 582,00
Etasjeskiller tar laster	0,90 mm	1 600,00
Utvendig støttevegg	5,89 mm	9 594,71
Med integrert søyle	10,81 mm	1 250,06
3 Betongsøyler innvendig	7,77 mm	4 221,01
Økt betongtykkelse	5,08 mm	3 083,41
Bunnplate	14,29 mm	16 234,80

V. Skrueavstander

Dette vedlegget er ment som en kort kontroll at en etasjeskiller i tre kan ta opp de krefter som blir påført fra en tilfylt vegg. Det er ikke ment som en dimensjonering av etasjeskilleren, bare en kontroll at kreftene er innenfor det denne kan klare.

Fra beregninger har vi at etasjeskilleren må ta opp 7.77 kN/m (noe mindre ute ved sideveggene) og overføre denne lasten ut til de avstivende sideveggene.

Fra muren til bunnsvilla på etasjeskilleren blir da lasten $7.77\text{kN/m} \cdot 0.6\text{m} = 4.662$ per bolt, hvis vi antar at det står en ekspansjonsbolt mellom hver bjelke.

I henhold til datablad 520.241 «Vindforankring og vindavstivning av småhus av tre» har en vanlig 12 mm ekspansjonsbolt en horisontal kapasitet på 4 kN, dette gjør at vi må bruke litt mer enn 1 per mellomrom, helt nøyaktig $4.662 / 4 = 1.2$ stk.

Videre skal denne lasten tas opp fra bjelkene til byggplatene som senere blir underlaget for gulvet. Her må avstanden mellom festemidlene kontrolleres. Midt på huset er denne avstanden temmelig ubetydelig stor, men ute ved sideveggene kan det bli nødvendig å skru fast platene ganske ofte.

Hvis vi ser på vår referansemur på 12 meter, betyr dette at hver sidevegg må ta opp $12\text{m} \cdot 7.77\text{kN/m} / 2 = 46.62$ kN.

Ser vi i datablad 520.238 «Skivekonstruksjoner av tre» finner vi at dimensjonerende lastkapistet per skrue blir $0.65 \cdot 963 \text{ N} / 1.3 = 481 \text{ N}$.

Dette gjør det nødvendig med $46620 / 481 = 97$ skruer per sidevegg.

Gjør vi en forsiktig antagelse og sier at hver sidevegg er 6 meter, blir avstanden mellom hver skrue $6000 \text{ mm} / 97 = 62 \text{ mm}$

Videre må selvsagt disse skruene kontrolleres for kantavstander, men dette bør ikke være noe problem da kraftvirkningen er med bjelkenes lengderetning.

VI. Python-kode

Følgende kode kan importeres i en Python-kompilator (i denne oppgaven er Spyder brukt) for å lage struXML-filer for importering i FEM-Design

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Created on Tue Feb 09 13:51:18 2016

@author: Jostein
"""
'''
En kode for hurtig å lage modeller via struxml
'''

from math import sin, radians
#import math.radians as rad

'Input'

veggH_eff = 2.4      #m, vegg høyde over ringmur
ringmur = 0.45      #m
oppf = 0.3          #m, invers oppfyllingshøyde. oppfylling fra topp av muren
lengde = 12         #m
snolast = 5         #kN/m3
masse_vinkel = 45   #grader
jord_tykk = 0.3     #m
masse_vekt = 3.5    #kN/m3
linje_brudd = 87.1  #kN/m, med faktorer
linje_bruk = 69.9   #kN/m

masse_f = 1 - sin(radians(masse_vinkel))
jord_f = 1 - sin(radians(30))
```

```

veggH = ringmur + veggH_eff
oppf_h0 = veggH - oppf
oppf_h1 = veggH - oppf - jord_tykk
sno2 = snolast * masse_f
sno1 = snolast * jord_f
jordtrykk1 = masse_vekt * jord_tykk * jord_f
jordtrykk1_i = masse_vekt * jord_tykk
jordtrykk2 = masse_vekt * masse_f * oppf_h1

```

```

g = raw_input("Skriv inn dokumentnavn: ")
file =
open('C:\Users\Jostein\Dropbox\Skole\Masteroppgave\Modeller\struxml\Vegg' + g
+ '.struxml', "w")
file.write(
'"<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!--(c) StruSoft 2012, http://www.strusoft.com-->
<database struxml_version="01.00.000" source_software="FEM-Design
12.01.006" start_time="1970-01-01T00:00:00.000" end_time="2016-02-
11T13:30:56.000" guid="8c3b6ea3-2fe7-40f1-847d-fc4758f0a0cb"
convertid="00000000-0000-0000-0000-000000000000" standard="EC"
country="N" xmlns="urn:strusoft">
  <entities>
    <slab guid="dfde071b-b27a-4fd1-be2e-2b16345b3783"
last_change="2016-02-04T15:54:45.000" action="added" type="wall">
      <slab_part guid="38738ec9-37b4-4687-b180-453cb619749c"
last_change="2016-02-11T12:30:21.000" action="added" name="W.1.1"
complex_material="13acf490-6025-45ca-8a6c-9ace5c31e4ac"
alignment="center" align_offset="0" ortho_alfa="0" ortho_ratio="1">
        <contour>
          <edge type="line">
            <point x="0" y="0" z="0"></point>
            <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="0"></point>
            <normal x="0" y="1" z="0"></normal>
          </edge>
          <edge type="line">
            <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="0"></point>
            <point x="" + str(lengde) + "" y="0" z="" +
str(veggH) + ""></point>
            <normal x="1" y="0" z="0"></normal>
          </edge>
          <edge type="line">
            <point x="" + str(lengde) + "" y="0" z="" +
str(veggH) + ""></point>
            <point x="0" y="0" z="" + str(veggH) +
""></point>
            <normal x="0" y="-1" z="0"></normal>

```

```

        </edge>
        <edge type="line">
            <point x="0" y="0" z="" + str(veggH) +
""></point>
            <point x="0" y="0" z="0"></point>
            <normal x="-1" y="0" z="0"></normal>
        </edge>
    </contour>
    <thickness x="" + str(lengde) + "" y="0" z="0"
val="0.15"></thickness>
    <thickness x="0" y="0" z="0" val="0.15"></thickness>
    <local_pos x="5" y="0" z="1.425"></local_pos>
    <local_x x="1" y="0" z="0"></local_x>
    <local_y x="0" y="0" z="1"></local_y>
    <end></end>
</slab_part>
<end></end>
</slab>
<loads>
    <line_load load_type="force" load_case="a627db49-9546-
46f2-b4c3-26a23df3efe2" guid="b73e60a4-c574-444a-b3a0-8f95d10b5e63"
last_change="2016-03-02T10:42:07.000" action="added" load_dir="constant"
load_projection="false">
        <edge type="line">
            <point x="0" y="0" z="" + str(veggH) +
""></point>
            <point x="" + str(lengde) + "" y="0" z="" +
str(veggH) + ""></point>
            <normal x="0" y="1" z="0"></normal>
        </edge>
        <direction x="0" y="0" z="-1"></direction>
        <normal x="0" y="0" z="1"></normal>
        <load x="0" y="0" z="" + str(veggH) + "" val="" +
str(linje_brudd) + ""></load>
        <load x="8" y="0" z="" + str(veggH) + "" val="" +
str(linje_brudd) + ""></load>
    </line_load>
    <line_load load_type="force" load_case="db8a7414-305b-
4cfc-a557-4d2431a7df72" guid="c30d827b-9bf6-4022-8b2d-b43380d86c55"
last_change="2016-03-02T10:42:45.000" action="added" load_dir="constant"
load_projection="false">
        <edge type="line">
            <point x="0" y="0" z="" + str(veggH) +
""></point>
            <point x="" + str(lengde) + "" y="0" z="" +
str(veggH) + ""></point>
            <normal x="0" y="1" z="0"></normal>
        </edge>

```

```

        <direction x="0" y="0" z="-1"></direction>
        <normal x="0" y="0" z="1"></normal>
        <load x="0" y="0" z="" + str(veggH) + "" val="" +
str(linje_bruk) + ""></load>
        <load x="" + str(lengde) + "" y="0" z="" + str(veggH) +
"" val="" + str(linje_bruk) + ""></load>
    </line_load>
    <surface_load load_case="46a534f0-0125-4249-bb96-
5aa6ae890584" guid="bdd701b0-0ba7-4da5-bc14-b3ce5b966ef7"
last_change="2016-02-04T15:50:26.000" action="added" load_dir="constant"
load_projection="false" load_type="force">
        <region>
            <contour>
                <edge type="line">
                    <point x="0" y="0" z="" +
str(oppf_h0) + ""></point>
                    <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="" + str(oppf_h0) + ""></point>
                    <normal x="0" y="1"
z="0"></normal>
                </edge>
                <edge type="line">
                    <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="" + str(oppf_h0) + ""></point>
                    <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="" + str(oppf_h1) + ""></point>
                    <normal x="-1" y="0"
z="0"></normal>
                </edge>
                <edge type="line">
                    <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="" + str(oppf_h1) + ""></point>
                    <point x="0" y="0" z="" +
str(oppf_h1) + ""></point>
                    <normal x="0" y="-1"
z="0"></normal>
                </edge>
                <edge type="line">
                    <point x="0" y="0" z="" +
str(oppf_h1) + ""></point>
                    <point x="0" y="0" z="" +
str(oppf_h0) + ""></point>
                    <normal x="1" y="0"
z="0"></normal>
                </edge>
            </contour>
        </region>
    </surface_load>
</direction x="0" y="1" z="0"></direction>

```

```

        <load x="0" y="0" z="" + str(oppf_h0) + "" val="" +
str(sno1) + ""></load>
        </surface_load>
        <surface_load load_case="46a534f0-0125-4249-bb96-
5aa6ae890584" guid="65cc2437-c76f-4c0a-b20b-13c1bb20e98d"
last_change="2016-02-04T15:50:31.000" action="added" load_dir="constant"
load_projection="false" load_type="force">
        <region>
                <contour>
                        <edge type="line">
                                <point x="0" y="0" z="" +
str(oppf_h1) + ""></point>
                                <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="" + str(oppf_h1) + ""></point>
                                <normal x="0" y="1"
z="0"></normal>
                        </edge>
                        <edge type="line">
                                <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="" + str(oppf_h1) + ""></point>
                                <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="0"></point>
                                <normal x="-1" y="0"
z="0"></normal>
                        </edge>
                        <edge type="line">
                                <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="0"></point>
                                <point x="0" y="0" z="0"></point>
                                <normal x="0" y="-1"
z="0"></normal>
                        </edge>
                        <edge type="line">
                                <point x="0" y="0" z="0"></point>
                                <point x="0" y="0" z="" +
str(oppf_h1) + ""></point>
                                <normal x="1" y="0"
z="0"></normal>
                        </edge>
                </contour>
        </region>
        <direction x="0" y="1" z="0"></direction>
        <load x="0" y="0" z="" + str(oppf_h1) + "" val="" +
str(sno2) + ""></load>
        </surface_load>
        <surface_load load_case="58d0ade7-096a-4b6c-a0a2-
b16a32ebc2bd" guid="4034f427-6c41-4169-8106-3f9eb11de5ec"

```



```

last_change="2016-02-04T15:52:09.000" action="added" load_dir="constant"
load_projection="false" load_type="force">
  <region>
    <contour>
      <edge type="line">
        <point x="0" y="0" z="" +
str(oppf_h0) + ""></point>
        <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="" + str(oppf_h0) + ""></point>
        <normal x="0" y="1"
z="0"></normal>
      </edge>
      <edge type="line">
        <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="" + str(oppf_h0) + ""></point>
        <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="" + str(oppf_h1) + ""></point>
        <normal x="-1" y="0"
z="0"></normal>
      </edge>
      <edge type="line">
        <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="" + str(oppf_h1) + ""></point>
        <point x="0" y="0" z="" +
str(oppf_h1) + ""></point>
        <normal x="0" y="-1"
z="0"></normal>
      </edge>
      <edge type="line">
        <point x="0" y="0" z="" +
str(oppf_h1) + ""></point>
        <point x="0" y="0" z="" +
str(oppf_h0) + ""></point>
        <normal x="1" y="0"
z="0"></normal>
      </edge>
    </contour>
  </region>
  <direction x="0" y="1" z="0"></direction>
  <load x="0" y="0" z="" + str(oppf_h0) + ""
val="0"></load>
  <load x="0" y="0" z="" + str(oppf_h1) + "" val="" +
str(jordtrykk1) + ""></load>
  <load x="" + str(lengde) + "" y="0" z="" + str(oppf_h1) +
"" val="" + str(jordtrykk1) + ""></load>
</surface_load>
<surface_load load_case="58d0ade7-096a-4b6c-a0a2-
b16a32ebc2bd" guid="1a1d70ab-3389-4a25-8466-5bf433cb8d2b"

```

```

last_change="2016-02-04T15:53:12.000" action="added" load_dir="constant"
load_projection="false" load_type="force">
    <region>
        <contour>
            <edge type="line">
                <point x="0" y="0" z="" +
str(oppf_h1) + ""></point>
                <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="" + str(oppf_h1) + ""></point>
                <normal x="0" y="1"
z="0"></normal>
            </edge>
            <edge type="line">
                <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="" + str(oppf_h1) + ""></point>
                <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="0"></point>
                <normal x="-1" y="0"
z="0"></normal>
            </edge>
            <edge type="line">
                <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="0"></point>
                <point x="0" y="0" z="0"></point>
                <normal x="0" y="-1"
z="0"></normal>
            </edge>
            <edge type="line">
                <point x="0" y="0" z="0"></point>
                <point x="0" y="0" z="" +
str(oppf_h1) + ""></point>
                <normal x="1" y="0"
z="0"></normal>
            </edge>
        </contour>
    </region>
    <direction x="0" y="1" z="0"></direction>
    <load x="0" y="0" z="" + str(oppf_h1) + ""
val="0"></load>
    <load x="0" y="0" z="0" val="" + str(jordtrykk2) +
""></load>
    <load x="" + str(lengde) + "" y="0" z="0" val="" +
str(jordtrykk2) + ""></load>
</surface_load>
<surface_load load_case="58d0ade7-096a-4b6c-a0a2-
b16a32ebc2bd" guid="c8de792b-11fa-45fb-893c-7856ad9d31ab"
last_change="2016-02-04T15:53:30.000" action="added" load_dir="constant"
load_projection="false" load_type="force">

```

```

        <region>
          <contour>
            <edge type="line">
              <point x="0" y="0" z="" +
str(oppf_h1) + ""></point>
              <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="" + str(oppf_h1) + ""></point>
              <normal x="0" y="1"
z="0"></normal>
            </edge>
            <edge type="line">
              <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="" + str(oppf_h1) + ""></point>
              <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="0"></point>
              <normal x="-1" y="0"
z="0"></normal>
            </edge>
            <edge type="line">
              <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="0"></point>
              <point x="0" y="0" z="0"></point>
              <normal x="0" y="-1"
z="0"></normal>
            </edge>
            <edge type="line">
              <point x="0" y="0" z="0"></point>
              <point x="0" y="0" z="" +
str(oppf_h1) + ""></point>
              <normal x="1" y="0"
z="0"></normal>
            </edge>
          </contour>
        </region>
        <direction x="0" y="1" z="0"></direction>
        <load x="0" y="0" z="" + str(oppf_h1) + "" val="" +
str(jordtrykk1_i) + ""></load>
        </surface_load>
        <load_case type="static" duration_class="medium-term"
guid="46a534f0-0125-4249-bb96-5aa6ae890584" last_change="2016-02-
04T15:44:23.000" action="added" name="Snølast"></load_case>
        <load_case type="dead_load" duration_class="permanent"
guid="758e90bc-74d0-4cbe-8d5e-7c10355f787e" last_change="2016-02-
01T18:47:29.000" action="added" name="Egenvekt"></load_case>
        <load_case type="static" duration_class="permanent"
guid="a627db49-9546-46f2-b4c3-26a23df3efe2" last_change="2016-02-
02T10:32:23.000" action="added" name="Påførte laster(brudd)"></load_case>

```

```

        <load_case type="static" duration_class="permanent"
guid="58d0ade7-096a-4b6c-a0a2-b16a32ebc2bd" last_change="2016-02-
04T15:44:23.000" action="added" name="Jordtrykk"></load_case>
        <load_case type="static" duration_class="permanent" guid="db8a7414-
305b-4cfc-a557-4d2431a7df72" last_change="2016-03-02T10:42:19.000"
action="added" name="Påførte laster(bruk)"></load_case>
        <load_combination guid="fd29ee7a-f411-4c75-a6e2-
65f8a7685deb" last_change="2016-02-04T15:56:21.000" action="added"
name="Fullt Jordtrykk" type="ultimate_ordinary">
                <load_case guid="758e90bc-74d0-4cbe-8d5e-
7c10355f787e" gamma="1.2"></load_case>
                <load_case guid="58d0ade7-096a-4b6c-a0a2-
b16a32ebc2bd" gamma="1.2"></load_case>
                <load_case guid="a627db49-9546-46f2-b4c3-26a23df3efe2"
gamma="1"></load_case>
                <load_case guid="46a534f0-0125-4249-bb96-
5aa6ae890584" gamma="1.5"></load_case>
        </load_combination>
        <load_combination guid="797a9e0e-a079-45b3-a896-
e002d0ad3c02" last_change="2016-02-04T15:57:18.000" action="added"
name="Brukslast" type="serviceability">
                <load_case guid="46a534f0-0125-4249-bb96-
5aa6ae890584" gamma="1"></load_case>
                <load_case guid="58d0ade7-096a-4b6c-a0a2-
b16a32ebc2bd" gamma="1"></load_case>
                <load_case guid="758e90bc-74d0-4cbe-8d5e-
7c10355f787e" gamma="1"></load_case>
                <load_case guid="db8a7414-305b-4cfc-a557-4d2431a7df72"
gamma="1"></load_case>
        </load_combination>
</loads>
<supports>
        <line_support moving_local="true" guid="20d349dd-de9f-
4ed7-b28f-24ee8e8a2b45" last_change="2016-02-04T15:47:53.000"
action="added" name="S">
                <directed>
                        <direction x="0" y="-1" z="0"></direction>
                        <mov neg="10000000" pos="10000000"></mov>
                        <rot neg="0" pos="0"></rot>
                </directed>
                <edge type="line">
                        <point x="0" y="0" z="" + str(veggH) +
""></point>
                        <point x="0" y="0" z="0"></point>
                        <normal x="-1" y="0" z="0"></normal>
                </edge>
                <normal x="1" y="0" z="0"></normal>
        </line_support>

```

```

        <line_support moving_local="true" guid="5628a6c5-96f4-
4e67-8c30-b98a920d016d" last_change="2016-02-04T15:48:00.000"
action="added" name="S">
        <directed>
            <direction x="0" y="-1" z="0"></direction>
            <mov neg="10000000" pos="10000000"></mov>
            <rot neg="0" pos="0"></rot>
        </directed>
        <edge type="line">
            <point x="" + str(lengde) + "" y="0" z="" +
str(veggH) + ""></point>
            <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="0"></point>
            <normal x="-1" y="0" z="0"></normal>
        </edge>
        <normal x="1" y="0" z="0"></normal>
    </line_support>
    <line_support moving_local="true" guid="cdb02f34-1cce-41e2-
a1f4-21cb62607e2f" last_change="2016-02-04T15:49:43.000" action="added"
name="S">
        <directed>
            <direction x="0" y="-1" z="0"></direction>
            <mov neg="10000000" pos="10000000"></mov>
            <rot neg="0" pos="0"></rot>
        </directed>
        <edge type="line">
            <point x="0" y="0" z="" + str(ringmur) +
""></point>
            <point x="" + str(lengde) + "" y="0" z="" +
str(ringmur) + ""></point>
            <normal x="0" y="1" z="0"></normal>
        </edge>
        <normal x="0" y="0" z="1"></normal>
    </line_support>
    <line_support moving_local="true" guid="e992866e-4678-
4f51-9b13-65f38ad53af4" last_change="2016-02-11T13:30:56.000"
action="added" name="S">
        <group>
            <local_x x="0" y="0" z="1"></local_x>
            <local_y x="0" y="-1" z="0"></local_y>
            <mov_x neg="10000000" pos="0"></mov_x>
            <rot_x neg="0" pos="0"></rot_x>
            <mov_y neg="0" pos="10000000"></mov_y>
            <rot_y neg="0" pos="0"></rot_y>
            <mov_z neg="10000000"
pos="10000000"></mov_z>
            <rot_z neg="0" pos="0"></rot_z>
        </group>

```

```

        <edge type="line">
            <point x="" + str(lengde) + "" y="0"
z="0"></point>
            <point x="0" y="0" z="0"></point>
            <normal x="0" y="-1" z="0"></normal>
        </edge>
        <normal x="0" y="0" z="1"></normal>
    </line_support>
</supports>
</entities>
<materials>
    <material guid="13acf490-6025-45ca-8a6c-9ace5c31e4ac"
last_change="2016-02-29T14:07:39.000" action="added" standard="EC"
country="N" name="C20/25">
        <concrete mass="2.54842" E_0="30000000" E_1="30000000"
E_2="30000000" nu_0="0.2" nu_1="0.2" nu_2="0.2" alfa_0="0.00001"
alfa_1="0.00001" alfa_2="0.00001" G_0="12500000" G_1="12500000"
G_2="12500000" Fck="20" Fctk="1.5" Fctm="2.2" Ecm="30000"
gammaC_0="1.5" gammaC_1="1.2" gammaCE="1.2" gammaS_0="1.15"
gammaS_1="1" alfaCc="0.85" alfaCt="0.85" Fcd_0="11.333333333333333"
Fcd_1="14.166666666666667" Fctd_0="0.85" Fctd_1="1.0625" Ecd_0="20000"
Ecd_1="25000" Epsc3="0.00175" Epsc3="0.0035" environment="0" creep="2.5"
creep_sls="2.5" shrinkage="0.5" nu="0.2" alfa="0.00001"></concrete>
    </material>
</materials>
<end></end>
</database>")
file.close

```

```

file =
open('C:\Users\Jostein\Dropbox\Skole\Masteroppgave\Modeller\struxml\Vegg' + g
+ '.txt', "w")
file.write("Effektiv vegghøyde:      "" + str(veggH_eff) + ""
Ringmur:          "" + str(ringmur) + ""
Total vegghøyde:  "" + str(veggH) + ""
Invers oppfylling: "" + str(oppf) + ""
Total oppfyllingshøyde: "" + str(oppf_h0) + ""
Effektiv oppfyllingshøyde: "" + str(oppf_h0-ringmur) + ""
Vegg lengde:      "" + str(lengde) + ""
Snølast på mark:  "" + str(sno1) + ""
Bruddvinkel, oppfyllingsmasse: "" + str(masse_vinkel) + ""
Tykkelse, topplag: "" + str(jord_tykk) + ""
Vekt, oppfyllingsmasse: "" + str(masse_vekt) + ""
Jordtrykkskoeffisient: "" + str(masse_f) + ""
Jordtrykkskoeffisient, topplag: "" + str(jord_f) + ""
Snølast, trykk på mur: "" + str(sno1) + ""
Snølast, trykk på mur: "" + str(sno2) + ""
Jordtrykk, øverste del: "" + str(jordtrykk1 ) + ""

```

```
Jordtrykk, overført:      "" + str(jordtrykk1_i) + ""  
Jordtrykk, nederste del: "" + str(jordtrykk2) + ""  
Påført last, brudd:     "" + str(linje_brudd) + ""  
Påført last, bruk:      "" + str(linje_bruk)  
file.close()  
print 'lagret'
```



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no