



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2018 30 stp

Fakultet for realfag og teknologi (REALTEK)

Tormod Aurlien

Analyse av høye bygninger i krysslaminert massivtre med vertikal forspenning.

Analysis on tall cross laminated timber buildings
with vertical post-tensioning.

Synne Lofthus Rooth

Byggeteknikk og Arkitektur

Fakultet for realfag og teknologi (REALTEK)

FORORD

Med denne masteroppgaven fullfører jeg det fem-årige masterstudiet innen Byggeteknikk og Arkitektur ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet. Jeg startet så vidt med arbeidet til denne oppgaven høstsemesteret 2017, og vårsemesteret 2018 satte arbeidet inn for fullt. Det har vært utfordrende å skrive om et prinsipp som er såpass lite brukt og forsket på tidligere. Underveis har jeg lært mye nytt, og funnet mer enn jeg i starten hadde forventet. Med andre ord har dette vært utfordrende, men også givende arbeid.

Jeg ønsker i denne sammenheng å takke min veileder, Einar Nathan, for å introdusere meg for temaet, og for all oppfølging jeg har fått underveis.

Vil også gjerne takke mine medstudenter, med spesiell takk til Caroline Myhrvold, Jonas Stafsberg, Trym Hauge Nilsen og Helene Bjølgerud, for god motivasjon, godt selskap og ikke minst med hjelp til både stort og smått. I tillegg vil jeg gi en takk til mine foreldre, Eva Lofthus og Øivind Rooth, for all støtte de har gitt i gjennom mine fem år i Ås.

Til slutt vil jeg takke samboeren min, Hans Martin Helgesen, som har støttet meg under hele oppgaven, vært en god diskusjonspartner, og ikke minst for de uttalelige gangene han har lest igjennom oppgaven.

Ås, mai 2018

Rooth, Synne Lofthus

SAMMENDRAG

Dagens hensyn til miljø og krav til utslipp har gjort massivtre til ett mer ettertraktet byggemateriale. Dette gjør at det bygges flere høyhus i tre. Tidligere undersøkelser viser at flere av disse høyhusene opplever høyere svingninger under dynamisk vindlast enn tilsvarende bygninger i stål og betong. Dette reduserer komforten som oppleves av brukerne. Hvordan disse bevegelsene er avgjøres av de dynamiske egenskapene til bygget. Øking av modalmasse minker akselerasjonen, og det har vært vanlig å benytte betong i de øverste etasjene for å tilføre masse til konstruksjonen.

En annen, relativt ny, løsning er å benytte spennarmering i massivtre, dette blir kalt forspent massivtre. Spennarmeringen føres igjennom utsparingskanaler igjennom senteret av den midtre lamellen langs veggens høyde.

Denne oppgaven fokuserer på hvilke effekter bruken vertikal forspenning har på de dynamiske og statiske egenskapene til bygget under vindlast. Dette blir analysert ved å modellere eksempelbygget, Palisaden, i Autodesk Robot. Bygget er blitt modellert både med og uten forspenning, for å analysere forskjellen til de dynamiske og statiske egenskapene.

Resultatene tyder på at en forspenningskraft per spennstag på 150 kN vil kraftig redusere akselerasjonen i toppen av bygget. Det ble observert nesten 30 % reduksjon i akselerasjon, fra $0,0385 \text{ m/s}^2$ til $0,0200 \text{ m/s}^2$ under vind inn fra langsiden av bygget. Sammenliknet med kravene gitt i ISO 10138:2007 gikk bygget fra henholdsvis 70,85 % utnyttelse til 50,10 %. Ved vind inn fra kortsiden gikk bygget akselerasjonen fra $0,0167 \text{ m/s}^2$ til $0,0085 \text{ m/s}^2$, det vil si 49 % reduksjon.

For de statiske egenskapene ble det kalkulert liten forskjell i deformasjonene. Det ble derimot høyere platekrefter og platemomenter. De høye platemomentene oppsto rundt forankringen av spennarmeringen, mens de høye platekreftene ble observert i hjørnene til bygget. I veggene ble det ikke observert noen store krefter eller momenter. For begge modeller var alle de beregnede spenningene innenfor kravene.

ABSTRACT

Today's focus on environmental construction has made cross-laminated timber (CLT) an attractive construction material, making high-rise timber buildings more common. However, previous research has found the light-weight frame of CLT-structures to oscillate under dynamic wind loads, causing discomfort to inhabitants. These oscillations are a result of poor dynamic properties in the building. One solution to this has been to add concrete slabs in the top levels to counteract the effect of the wind.

Another, more recent, solution has been the use of pre-stressed CLT, where steel tendons are placed through the centre of the middle lamella along the height of the wall. This thesis aims at researching this concept further by using finite element analysis. In this work, the focus has been on the effects that pre-stressed CLT walls have on the dynamic and static properties of a structure.

An example building, Palisaden, has been modelled in Autodesk Robot, with its actual, existing CLT walls, as well as a variation introducing pre-stressed steel tendons through the walls' centre. The pre-stressed model was applied a prestressing force of 150 kN.

The results from the dynamic analysis show that the acceleration at the top of the building was reduced by nearly 30 %, from 0,0385 m/s² to 0,0200 m/s² under wind load on the building's long side. Compared to the requirements in ISO 10137:2007, these results equal a 70,85 % and 50,1 % utilisation, respectively. With wind load on the short side, the acceleration was reduced from 0,0167 m/s² to 0,0085 m/s², or a 49 % reduction.

In the static analysis there were minor differences between the results in the two models. The pre-stressed model experienced a slight increase in deformation and plate stresses, especially around the anchor of the tendons or corners of the building. All values were lower than the design criteria.

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD.....	I
SAMMENDRAG.....	III
ABSTRACT.....	V
INNHOLDSFORTEGNELSE.....	VII
FIGURLISTE.....	IX
TABELLISTE.....	XI
1 INNLEDNING.....	1
1.1 BAKGRUNN.....	1
1.2 PROBLEMSTILLING OG MÅLSETTING.....	2
1.2.1 PROBLEMSTILLING.....	2
1.2.2 AVGRENSINGER.....	2
2 INNLEDENDE TEORI.....	3
2.1 HISTORISK BAKGRUNN.....	3
2.2 MASSIVTRE.....	4
2.3 KONSTRUKSJONER MED FORSPENNING.....	5
2.4 TIDLIGERE UNDERSØKELSER.....	8
3 DESIGN GRUNNLAG OG STANDARDER.....	10
3.1 DIMENSJONERING AV MASSIVTRE.....	10
3.2 ELEMENTMETODEN.....	11
3.3 LASTFORUTSETNINGER.....	13
3.3.1 EGENVEKT, NYTTELAST OG SNØLAST.....	13
3.3.2 SPENNARMERING.....	14
3.3.3 STATISK BEREGNING VINDLAST.....	15
3.3.4 DYNAMISK BEREGNING VINDLAST.....	16
3.4 LASTKOMBINASJONER.....	19
3.5 RELEVANTE KRAV OG DIMENSJONERINGSREGLER.....	20
4 DYNAMIKK.....	23
4.1 DEMPET VIBRASJON.....	23
4.1.1 DEMPET FRI VIBRASJON.....	23
4.1.2 DEMPET TVUNGEN VIBRASJON.....	25
4.2 EN-FRIHETSGRADSYSTEMER.....	26
4.3 FLERFRIHETSGRADSYSTEMER.....	27
5 MODELLERING OG BEREGNING.....	30
5.1 BEREGNINGS- OG MODELLERINGSVERKTØY.....	30

5.2	BESKRIVELSE AV PALISADEN	31
5.3	BESKRIVELSE AV MODELL	32
5.4	BEREGNINGER.....	34
5.4.1	ELEMENTENE OG STIVHETSMATRISEN.....	34
5.4.2	LASTER.....	37
5.4.3	MODALANALYSE.....	38
5.5	MODELLERING	41
5.5.1	MOMENTFRIGJØRINGER.....	41
5.5.2	MESHING.....	42
5.5.3	FORSPENNING	43
6	RESULTATER	45
6.1	RESULTATER FRA STATISK ANALYSE – TABELLER	46
6.2	RESULTATER FRA STATISK ANALYSE – FIGURER.....	48
6.2.1	PLATEKREFTER.....	49
6.2.2	PLATEMOMENTER.....	52
6.2.3	SKJÆRKREFTER	55
6.2.4	DEFORMASJONER.....	57
6.3	RESULTATER FRA BEREGNINGER AV KRAV.....	60
6.4	RESULTATER FRA DYNAMISKE BEREGNINGER.....	61
6.4.1	UTEN FORSPENNING.....	61
6.4.2	MED FORSPENNING PÅ 150 kN.....	62
6.4.3	EFFEKTER AV ULIKE FORSPENNINGSLASTER	63
7	DISKUSJON OG KONKLUSJON.....	66
7.1	DISKUSJON	66
7.1.1	STATISKE BEREGNINGER.....	66
7.1.2	DYNAMISKE BEREGNINGER.....	68
7.2	KONKLUSJON.....	69
7.3	METODEN – VURDERING AV FEILKILDER	69
7.4	VIDERE ARBEID	70
	REFERANSER	72
	VEDLEGG	74
	VEDLEGG A	75
	VEDLEGG B	92
	VEDLEGG C	94
	VEDLEGG D	104

FIGURLISTE

FIGUR 1: CLT med 90° vridning.	4
FIGUR 2: Den generelle kraftretningen og platekrefter, -momenter, og -spenninger (Stora Enso, 2015).....	4
FIGUR 3: CLT-element med strekkstag igjennom midt-lamellen, sentrert midt i elementet....	6
FIGUR 4: Evalueringskurve for vindindusert akselerasjon etter Tillegg D i ISO 10137:2007.	22
FIGUR 5: Vibrasjoner for dempingsrate på 4% og 10%.	24
FIGUR 6: Overdempet, Kritisk dempet og underdempet situasjon.	25
FIGUR 7: En-frihetsgradsystem (SDOF).....	26
FIGUR 8: Flerfrihetsgradsystem (MDOF).....	27
FIGUR 9: Palisaden prosjektert i Autodesk Robot	31
FIGUR 10: Palisaden med elementfordeling hentet fra (Mørch, 2014).....	32
FIGUR 11: Palisaden prosjektert i Revit med enkelte tilpasninger.	33
FIGUR 12: Nodene brukt ved beregning.	39
FIGUR 13: Svingeform ved vind inn fra langsiden.	40
FIGUR 14: Svingeform ved vind inn fra kortsiden.....	40
FIGUR 15: Lineære frigjøringer på kortsiden av bygget.	41
FIGUR 16: Illustrasjon av elementstørrelser brukt i meshingen ved statiske beregninger.....	42
FIGUR 17: Modell med forspenning, de røde prikkene representerer hvor det er lagt stag....	44
FIGUR 18: Forklaring på retningene for platekrefter, platemomenter og skjærkrefter (Autodesk Robot, 2015).	45
FIGUR 19: Forklaring på retningene for deformasjoner og rotasjoner (Autodesk Robot, 2015).	45
FIGUR 20: Platekrefter i x-planet i x-retning for modell uten forspenning.	49
FIGUR 21: Platekrefter i x-planet i x-retning for modell med forspenning på 150 kN.....	49
FIGUR 22: Platekrefter i y-planet i y-retning for modell uten forspenning.	50
FIGUR 23: Platekrefter i y-planet i y-retning for modell med forspenning på 150 kN.....	50
FIGUR 24: Platekrefter i x-planet i y-retning, eller i y-planet i x-retning, for modell uten forspenning.....	51
FIGUR 25: Platekrefter i x-planet i y-retning, eller i y-planet i x-retning, for modell med forspenning på 150 kN.	51
FIGUR 26: Moment om y-planet for modell uten forspenning.	52
FIGUR 27: Moment om y-planet for modell med forspenning på 150 kN.....	52
FIGUR 28: Moment om x-planet for modell uten forspenning.	53
FIGUR 29: Moment om x-planet for modell med forspenning på 150 kN.....	53
FIGUR 30: Momenter i x- og y-planet for modell uten forspenning.....	54
FIGUR 31: Momenter i x- og y-planet for modell med forspenning på 150 kN.	54
FIGUR 32: Skjærkrefter i x-planet for modell uten forspenning.	55
FIGUR 33: Skjærkrefter i x-planet for modell med forspenning på 150 kN.	55
FIGUR 34: Skjærkrefter i y-planet for modell uten forspenning.	56
FIGUR 35: Skjærkrefter i y-planet for modell med forspenning på 150 kN.	56
FIGUR 36: Deformasjoner i x- retning for modell uten forspenning.	57

FIGUR 37: Deformasjoner i x-retning for modell med forspenning på 150 kN.....	57
FIGUR 38: Deformasjoner i y-retning for modell uten forspenning.	58
FIGUR 39: Deformasjon i y-retning for modell med forspenning på 150 kN.....	58
FIGUR 40: Deformasjon i z-retning for modell uten forspenning.....	59
FIGUR 41: Deformasjon i z-retning for modell med forspenning.....	59
FIGUR 42: Forspenningslast mot akselerasjon for dynamisk analyse av vind inn fra langsiden.	63
FIGUR 43: Forspenningslast mot utnyttelse for dynamisk analyse av vind inn fra langsiden.	64
FIGUR 44: Forspenningslast mot akselerasjon for dynamisk analyse av vind inn fra kortsiden.	65
FIGUR 45: Forspenningslast mot utnyttelse for dynamisk analyse av vind inn fra kortsiden.	65
FIGUR 46: Platemoment og deformasjon i takplate ved forspenning på 150 kN.	67
FIGUR 47: Illustrasjon av hvor platekreftene i gulvet oppstår.	67

TABELLISTE

TABELL 1: Formfaktoren etter Tabell 5.2 i NS-EN 1991-1-3, hvor α er takvinkelen.....	14
TABELL 2: Ytre dimensjoner for modell og for konstruksjon.	32
TABELL 3: Mekaniske egenskaper ved ut-av-plan belastning etter ETA-12/0281, alle verdier gitt i N/mm^2	35
TABELL 4: Beregnede verdier for aktuelle CLT-elementer.	36
TABELL 5: Beregnede verdier for laster.	37
TABELL 6: Lastkombinasjoner.....	38
TABELL 7: Materialeegenskaper for spennarmeringen (Johansen, 2017).	43
TABELL 8: Estimert areal for fordeling av forspenningslasten på gulv/tak.	43
TABELL 9: Globale ekstremer, reaksjonskreftene.....	46
TABELL 10: Globale ekstremer, forskyvninger.....	46
TABELL 11: Globale ekstremer, moment i plater.....	47
TABELL 12: Verifisering av platespenninger nedbøyning for gulvelementer i modell uten forspenning.....	60
TABELL 13: Verifisering av platespenninger nedbøyning for gulvelementer i modell med forspenning på 150 kN.	60
TABELL 14: Egenfrekvensen for modell uten forspenning.....	61
TABELL 15: Resultater fra modalanalyse for modell uten forspenning.	61
TABELL 16: Utnyttelse av akselerasjon for modell uten forspenning på toppen av bygget. .	61
TABELL 17: Egenfrekvensen for modell uten forspenning.....	62
TABELL 18: Resultater fra modalanalyse for modell med forspenning.	62
TABELL 19: Utnyttelse av akselerasjon for modell med forspenning på toppen av bygget. .	62
TABELL 20: Toppakselerasjon og utnyttelse ved ulike forspenningslaster for analyse av vind inn fra langsiden.	63
TABELL 21: Toppakselerasjon og utnyttelse ved ulike forspenningslaster for analyse av vind inn fra kortsiden.	64

1 INNLEDNING

1.1 BAKGRUNN

Trevirke er betraktet som et miljøvennlig materiale. Det er fornybart og vil ha liten innvirkning på miljøet så lenge det kommer fra skog som er forvaltet på en bærekraftig måte, og i Norge blir all trelast sertifisert etter internasjonale standarder for bærekraftig skogbruk. Bruk av tre som byggemateriale har vist minsket karbondioksid utslipp til atmosfæren ettersom trevirket lagrer dette. Det er også et materiale som er lett å gjenvinne og gjenbruke. Dette gjør trematerialet til et godt byggemateriale med verdifulle miljømessige aspekter (Treindustrien, 2009).

Elementer av massivtre gir muligheten for raskere og enklere montering sammenlignet med stål og betong. I tillegg kreves færre arbeidere på byggeplass og det vil produseres mindre avfall. Dette gjør at byggeprosessen også blir mer kostnads-effektiv (Stauder, 2013). Derimot vil prosjekteringstiden øke ved bruk av massivtre i mer originale bygg, siden det enda er manglende kunnskap og erfaring rundt det å bygge med massivtre (Treteknisk, 2006a).

Massivtre lar seg lett kombinere med andre byggematerialer, som for eksempel stål, betong, glass og stein. Elementene kan enkelt formes etter behov, noe som gjør det til et tilpasningsdyktig byggemateriale (Treteknisk, 2006a).

Høye massivtrebygninger opplever store svingninger fra vindlaster grunnet sin lette vekt. Dette har gjort at mange av de høye trebaserte konstruksjonene som bygges i dag oppleves som mindre komfortable for brukerne enn høye bygg av for eksempel stål og betong (Feldmann et al., 2016). Ved å øke massen kan disse egenskapene forbedres. En løsning som benyttes er å montere betongdekker i de øverste etasjene. Andre type løsninger testet og undersøkt, blant annet bruk av spennarmering kombinasjon med tre.

1.2 PROBLEMSTILLING OG MÅLSETTING

1.2.1 PROBLEMSTILLING

Hovedmål

- Analysere effekten på dynamiske og statiske egenskaper på høye bygninger i massivtre ved bruk av vertikal forspenning.

Delmål

- Analysere statiske krefter ved å sammenlikne reaksjonskrefter, deformasjoner, platemomenter og platekrefter mellom eksempelbygg (Palisaden) med og uten vertikal forspenning.
- Analysere dynamiske egenskaper ved å sammenlikne resultater fra modalanalyse og dynamiske beregninger for vindlast mellom eksempelbygg med og uten vertikal forspenning.
- Analysere effekten på de dynamiske egenskapene ved ulike størrelser på forspenningslasten.
- Foreta en vurdering av forbedringspotensialet ved bruk av spennarmering i eksempelbygget, Palisaden.

1.2.2 AVGRENSINGER

Denne oppgaven analyserer hvilket forbedringspotensial et massivtrebygg med forspenning har i forhold til et uten forspenning. De samme forutsetningene blir derfor gjort ved begge tilfellene, og forenklinger som blir påført begge bygg vil ikke påvirke forskjellen.

- Det er ikke tatt i betraktning skjevstillingslaster. Noen skjevstillinger vil komme automatisk grunnet små unøyaktigheter ved modellering, men hovedårsaken til horisontal deformasjon er vindlastene.
- Det er sett bort fra effekter fra kryp og svinn fra forspenningslasten, og det er ikke regnet inn ekstra laster som skal gjøre opp for initial kryp og svinn ved oppspenning.
- I beregningene og analysen er det kun sett på dynamiske responser fra vind som dynamisk last. Under jordskjelv vil man forvente en annen respons, og resultatene kan ikke overføres til å gjelde for jordskjelvberegninger.

2 INNLEDENDE TEORI

2.1 HISTORISK BAKGRUNN

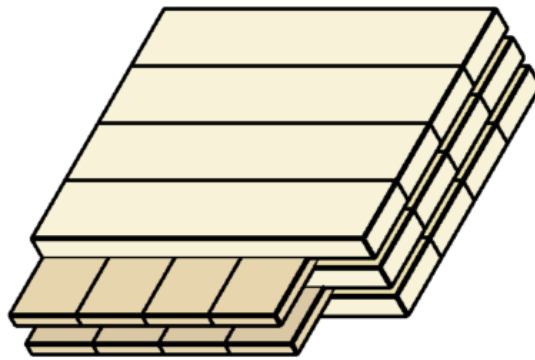
Historisk sett var tre og stein de mest brukte byggematerialene frem til den industrielle revolusjonen. Deretter kom stål og betong mer inn i bildet, med blant annet muligheten til armerte betongelementer. Dette førte til at stål og armert betong var dominerende i byggverk hvor det var behov for ingeniørberegninger, mens tre fortsatte å ha en viktig rolle i boligbygg, landbruksbygninger og andre mindre bygninger. Etter at bearbeidede treprodukter, som limtre og massivtre, gjorde sitt inntog på markedet har tre igjen blitt et mer relevant materiale, også i større konstruksjoner. Tre er en del av den norske tradisjonen, og de fleste bolighus bygges i tre. En viktig del av den norske kulturarven er blant annet som for eksempel: stavkirker. Disse eldre trekonstruksjonene viser at med riktig kunnskap, vedlikehold og rutiner så er tre et materiale som kan brukes langsiktig (Bell, 2017).

Ved utbedring av jernbanenettet i USA på 1800-tallet ble det bygd et stort antall trebruer, men på 1900-tallet begynte de fleste landene å bygge med stål. Nord-Amerika og Canada fortsatte derimot med trebruer, og det ble brukt mye massivtre av formen plater på høykant som var føyd sammen ved hjelp av skruer eller spikre. På 1970-tallet i Canada forbedret de denne løsningen ved å føye sammen platene med spennstål tredd igjennom forborede hull. I den tidligere løsningen ble det brukt lim i mellom lamellene, men den nyere metoden ble det ikke brukt lim, og friksjonen imellom lamellene etablerte bæreevne på tvers av den generelle kraftretningen (Bell, 2017).

Det dominerende produktet innenfor massivtre er det som går under samlebetegnelsen krysslaminert massivtre, heretter kalt CLT. Denne typen massivtre ble utviklet for å kunne nyttiggjøre trelasten som sagbrukene hadde til overs og ikke fikk omsatt. Denne utviklingen startet på tidlig 1990-tallet i Tyskland og Østerrike. Løsningen ble modernisert midt på 90-tallet, og dette produseres fortsatt i store deler av Europa (Bell, 2017).

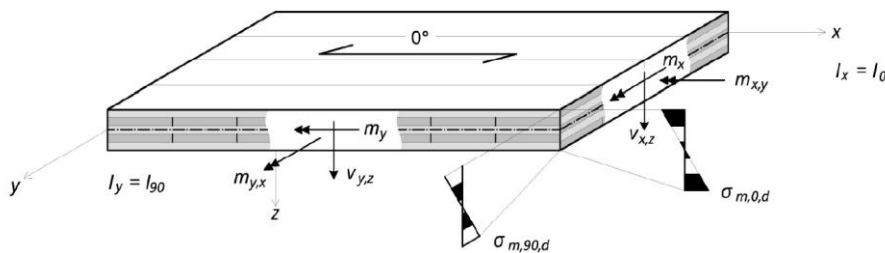
2.2 MASSIVTRE

I CLT ligger lamellesjiktene over hverandre med en vridning, vanligvis på 45° eller 90° . Dette er illustrert i FIGUR 1. De ytterste bordene har fiberretningen i den generelle kraftretningen, og har stor betydning for den totale bøyestivheten og styrken til elementene. De indre bordene ligger med fiberretningen på tvers av den generelle kraftretningen, og har ikke samme betydning for den totale bøyestivheten og styrken. Vanligvis består yttersjiktene av trekvalitet C24 eller bedre og innersjiktene av trekvaliteten C14 eller C18. Sjiktene er symmetriske med tanke på tykkelse og fasthetsklasse rundt midtlamellen (Treteknisk, 2006b). Platedimensjonene kan være på opptil 3m brede og 18m lange. Tykkelsen varierer fra 50mm til 500mm (Bell, 2017).



FIGUR 1: CLT med 90° vridning.

Ved å øke kvaliteten på innersjiktene forventes det kun få prosenter bedring i den totale styrken og stivheten til elementet. Dette kan derimot bidra til å forbedre andre egenskaper, som for eksempel økt brannmotstand og for å få en toveis plate (Treteknisk, 2006b). Ved å legge platene 90° på hverandre oppnås det mekanisk styrke i begge retningene av platen. Dette gjør at platene vil virke avstivende (Stauder, 2013).



FIGUR 2: Den generelle kraftretningen og platekrefter, -momenter, og -spenninger (Stora Enso, 2015).

Ettersom tre er et anisotrop materiale forventes det ulike dimensjonsendringer i de ulike retningene ved fuktendringer. I CLT vil de krysslagte lagene motstå disse endringene, som gir en dimensjonsstabil plate. Dimensjonsendringen i elementet forventes dermed til å være 0,01% øking i lengderetning pr % øking fuktendring og 0,025 % øking i tverretningen per % økning fuktendring (Treteknisk, 2006b).

Det oppstår også deformasjoner grunnet laster, spesielt i områder hvor det forekommer store konsentrerte trykkklaster. Skjærdeformasjonen er avhengig av lamellene i tverretningen. Bredden på lamellene bør være 4 ganger tykkelsen, og økende forhold vil minske skjærdeformasjonene (Treteknisk, 2006b).

2.3 KONSTRUKSJONER MED FORSPENNING

Forspenning er en form for hybrid konstruksjon, hvor spennarmeringen av stål benyttes i samarbeid med andre materialer som tre og betong.

Det er forskjellig oppfattelse av betydningen til terminologien brukt for spennarmering. I denne oppgaven disse benyttet slik de er definert av Sørensen (2013).

Forspenning er begrepet for når det blir påført en trykkspenning i konstruksjonen, ved bruk spennarmering, med en størrelse og fordeling slik at den virker mot de ytre lastene i en viss grad. Etteroppspenning og føroppspenning er metoder som benyttes for å oppnå forspenning. I betongkonstruksjoner er det vanligst å benytte føroppspenning. Dette blir utført på fabrikk og vil spare mye tid på byggeplass (Sørensen, 2013). Ved tre kan det kun brukes etteroppspenning, hvor spennarmeringen legges i utsparingskanaler i trevirket.

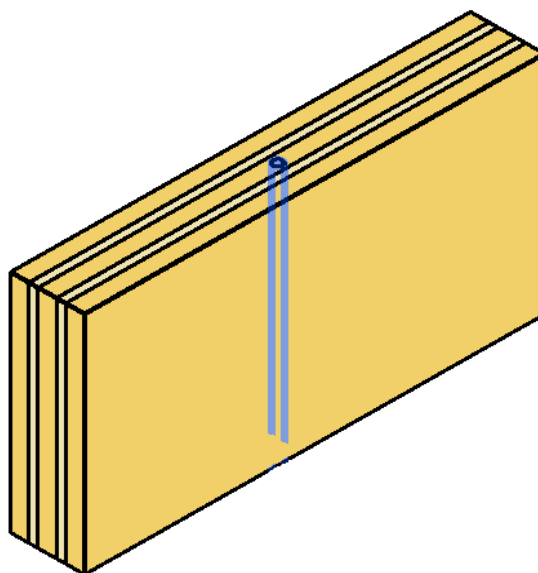
Ved føroppspenning settes stålet i spenn ved at den ene enden låses og den andre enden festes til en jekk som påfører forspenningslasten. Deretter støpes betongen rundt, i direkte kontakt med stålet, og det vil oppstå heft mellom stålet og betongen. Etter at betongen har herdet og oppnådd ønskelig fasthet kappes spennarmeringen mellom endeforankringene og formen (Sørensen, 2013).

Ved etteroppspenning tres spennarmeringen gjennom en utsparingskanal, og armeringen spennes opp med jekk i den ene enden, med konstruksjonen som mothold i andre enden. Grunnet noe tap, forårsaket av friksjon mellom utsparingsløp og armering eller fra glidning ved låsing, må jekkraften økes i forhold til effektiv forspenning. Etter at armeringen er oppspent, injiseres rørene med injiseringsmørtel, som gir en heftforbindelse. Denne metoden brukes ofte ved plasstøpte betongkonstruksjoner. Dette kan også utføres uten

injiseringsmørtel, hvor utsparingskanalene, ofte av plastrør med ferdig monterte spenntau, er fylt med fettmasse. Dette gir lav friksjon ved oppspenning og beskytter mot korrosjon (Sørensen, 2013).

Bruk av spennarmering med stål har vært blant de vanligste metodene ved spenningslaminerte bruer, hvor det er tredekkene som blir spennarmert. Dette er bruer hvor trelamellene stables opp for hele bruas bredde, og med jevne mellomrom trekkes stålstenger gjennom forborede hull, lamellene holdes sammen av store trykkspenninger og skaper en ortotrop plate. Dette gir mye bedre bæreevne enn ved kun enkeltstående bjelker (Bell, 2017).

Ved forspenning i CLT implementeres stålet midt i platens bredde for å skape momentresistente forbindelser mellom CLT-elementene og fundamentet. Dette er utviklet, og videre testet, ved Universitetet i Canterbury siden 2005. I utgangspunktet var systemet utviklet for laminert finér trelast (LVL), som er et materiale bestående av flere lag trefinér med korn i samme retning. Metoden er blitt antatt at vil fungere for alle typer trebaserte materialer, og blir vanligere å bruke i sammen med CLT. Ved å bruke forspenning i kombinasjon med dempende forbindelser får konstruksjonen svært gode dynamiske egenskaper (Moroder et al., 2018).



FIGUR 3: CLT-element med strekkstag igjennom midt-lamellen, sentrert midt i elementet.

Eksempelbygninger med bruk av vertikal forspenning

Rådhuset til Kaikoura, New Zealand, ble blant annet bygget ved bruk av CLT og LVL med spennarmering. I Kaikoura ble LVL brukt der det var forventet høyest spenninger. Spennarmeringen er trukket gjennom det indre av veggen og festet til fundamentet. Dette gir veggene en mulighet til å gyngende rundt spennarmeringen under dynamiske laster. Forbindelsene i dette bygget har blitt spesielt prosjektert slik at gulvet ikke skal gyngende med veggene, og hindre at hele konstruksjoner gyngende med veggene. Ytterveggene er også av CLT, og disse er ment for å ta opp vindkrefter, og bidrar ikke til videre avstiving av bygget. Etter at dette bygget var nybygget ble det utsatt for et jordskjelv og fikk ingen nevneverdige skader (Chapman, 2014).

NMIT Arts & Media Building er det første bygget av tre hvor det ble benyttet forspenning. Det ble bygget av LVL-skjærvegger, med spennarmering gjennom senteret av veggen, i kombinasjon med bjelker og søyler. Dette bygget har også stålplater mellom panelene for å bidra til økt momentresistans og de fungerer som energidempere under jordskjelv. Veggene er frie til å gyngende, og forspenningslasten er kalkulert til å være større enn resistansen fra dempesystemene slik at veggene senterer seg igjen hvis bygget blir utsatt jordskjelv (Devereux et al., 2011).

2.4 TIDLIGERE UNDERSØKELSER

Forsøksprogrammet PRESSS (Precast Seismic Structural Systems) er ett program som testet prefabrikkerte betongsystemer. I dette programmet var det to hovedmål (Priestley et al., 1999):

- Utvikle rasjonelle design anbefalinger slik at flere ville velge å benytte prefabrikkert betong, også i jordskjelvutsatte områder.
- Utvikle nye materialer, ny teknologi og nye konsepter for prefabrikkerte betongkonstruksjoner som vil være godt egnet i jordskjelvutsatte områder.

Hovedsakelig finnes det to typer forbindelser i denne typen konstruksjoner, stive og duktile. De stive forbindelsene har som hensikt å få systemet til å tilsvare en monolittisk, eller ensartet, konstruksjon, og dermed bli designet ved hjelp av eksisterende standarder. Ved bruk av duktile forbindelser er derimot forbindelsene svakere enn elementene. Forbindelsene skal absorbere den påførte energien gradvis under deformasjon, og ved brudd vil dette være ett forvarsel om at kreftene påført konstruksjonen er høye. Dette vil gi et forvarsel før bærende elementer går i brudd, og kan gi tid til evakuering av bygget og dermed hindre personskader. Dette kan også bidra til å hindre skade på bæresystemet, ved at forbindelsene tar opp kreftene og ryker først. Ved litt strategisk plassering av forbindelsen kan disse byttes ut etter et eventuelt jordskjelv (Priestley, 1991).

Moore (2000) gjorde en undersøkelse av et 12. etasjers rammekonstruksjon med massivtredekker. Sammenliknet med bruk av betongdekker ble egenvekten lavere, og dette gjorde positivt utslag på jordskjelvberegningene, og vind ble dominerende lastsituasjon. Dette må undersøkes videre med tanke på andre faktorer, som brannmotstand, og effekten av gjentakende jordskjelv (Moore, 2000).

Det er tidligere skrevet oppgaver på kombinerings av ulike materialer. Shafighi (2017) undersøkte optimale løsninger ved jordskjelvdesign. Det å kombinere ulike typer materialer er en av metodene brukt ved optimalisering. Shafighi konkluderer blant annet med at ved å bytte ut betongdekker med CLT-dekker kan jordskjelvlastene reduseres med to tredjedeler. Det ble også observert at høye trebygninger fikk større deformasjoner ved jordskjelv (Shafighi, 2017).

Palisaden har vært temaet under tidligere masteroppgaver. Mørch (2014) utførte en teoretisk analyse av forbindelsene brukt i Palisaden og bekreftet viktigheten av å ha to retninger i forbindelsene for å oppnå optimal stivhet i konstruksjonen (Mørch, 2014). Urtegård (2014)

brukte GNSS-teknologi til å måle bevegelser i Palisaden. Det ble ikke registrert store deformasjoner, og ble konkludert med å være mest støy. Dette tyder på at Palisaden er veldig stivt, og har lav egenfrekvens (Urtegård, 2014).

Ellis and Bougard (2001) utførte dynamiske tester og evaluerte stivheten til en seksetasjes rammekonstruksjon av tre. Disse testene ble utført under konstruering av bygget. De benyttet to målemetoder: måling med laser, for å finne de naturlige frekvensene, og en tvungen vibrasjonstest, hvor de fant alle de grunnleggende svingeformene til bygget. De fant frekvenser i toppen av bygget fra lasertesten til å være 2,36 Hz og 3,15 Hz (Ellis and Bougard, 2001).

Tidligere er det også blitt utført forskning på bevegelser som konsekvens av vindlaster i høye trekonstruksjoner. Juveli (2016) undersøkte ulike løsninger for horisontal avstivning for å minke disse effektene og øke komforten i høye trekonstruksjoner. I oppgaven konkluderes det med at større masse plassert mot toppen av bygget ga økt stivhet (Juvelli, 2016).

En teoretisk og eksperimentell undersøkelse på forspente CLT-dekker til brukonstruksjoner ble utført av Sigrist and Lehmann (2012). Hensikten med undersøkelsen var å forbedre ytelsen ved større punktlaster og sykliske laster. Det ble benyttet en forspenningskraft på 100kN. Resultatet viste at forspenningslasten vil øke og minke med 5% under belastning og ved fjerning av belastning. Det er ikke forventet noe tap i forspenningslast ettersom CLT omtrent ikke sveller og krymper, men det er vist tidligere at i langtidsperspektiver må de etterstrammes jevnlig for å opprettholde forspenningskraften (Sigrist and Lehmann, 2012).

Moroder et al. (2018) utførte en test for å se effekten ved bruk av dempere i kombinasjon med forspent CLT. Rapporten presenterer resultatene fra en kvasi-statisk syklisk test av CLT med forspenning i horisontal og vertikal retning på 150 kN, og under lastpåføring i to retninger. Spennarmeringen føres i midten av veggen, som går over to etasjer. Spennarmeringen i gulvet ligger også midt i elementene. Denne undersøkelsen viste at forspente forbindelser mellom panelene kan bli sett på som rigide. Friksjonen skapt mellom bunnen og vegg grunnet høye krefter bidro også positivt ved å hindre glidninger (Moroder et al., 2018).

3 DESIGN GRUNNLAG OG STANDARDER

Standarder benyttet ved beregninger i denne oppgaven

- NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner.
- NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2008: Allmenne laster – Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger.
NS-EN 1991-1-3:2003+NA:2008: Allmenne laster – Snølaster.
- NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009: Allmenne laster – Vindlaster.
- NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008: Prosjektering av betongkonstruksjoner.
NS-EN 1995-1-1:2004+A1:2008+NA:2010: Prosjektering av trekonstruksjoner.
- NS-EN 338:2016: Fasthetsklasser.
ISO-10137:2007: Bases for design of structures - Serviceability of buildings and walkways against vibrations.

3.1 DIMENSJONERING AV MASSIVTRE

De vanligste metodene for å beregne styrken til elementene er ved kompositteori, skjæranalogi-metoden eller γ -metoden. Kompositteorien ser på styrken og stivheten til hvert sjikt, og benyttes der det er ett stort forhold mellom spennvidden og elementtykkelsen, ca. $L/t \geq 25$. Skjæranalogi-metoden er den mest nøyaktige og tar hensyn til forskjell i elastisitetsmodul og skjærmodul i sjiktene. Det å se på krysslagte elementer som mekaniske sammensatte lameller (γ -metoden) gir nøyaktige resultater ved fritttopplagte bjelker med parabolformet lastfordeling (Treteknisk, 2006b).

Ved analysing av større platekonstruksjoner er det vanlig å bruke elementmetoden ved analysing, og platene deles opp i mindre elementer. Elementmetoden er forklart i kapittel 3.2.

γ -metoden

γ -metoden brukes til å beregne de fleksible egenskapene til CLT. For hvert plan blir skjærstivheten beskrevet av γ_i , som sier noe om hvor stivt forbundet platene er, det vil si at helt stive forbindelser har $\gamma = 1$ og ingen forbindelse vil ha $\gamma = 0$ (Cheng, 2015).

Ved bruk av γ -metoden til modellering av CLT blir det tatt noen antagelser: det er kun lagene langs med fiberen som bærer lastene; de transversale lagene blir brukt som mekaniske fester med lik stivhet for å få med deformasjoner forårsaket av rulleskjæret (Cheng, 2015).

Deretter bestemmes I_{eff} med en modifisering ved γ , og kan brukes til å finne $(GA)_{eff}$ og $(EI)_{eff}$ (Cheng, 2015).

$$I_{eff} = \sum \left(\frac{bt_i^3}{12} + \gamma_i bt_i a_i^2 \right) \quad (1)$$

Hvor

- γ_i faktor som beskriver hvor stivt forbundet platene er.
- a_i er distanse fra nøytralaksen til senter av lamellen.
- bt_i er tverrsnittsarealet til lamelle, i , hvor b er tverrsnittsbredden og t_i er lamelletykkelsen.

3.2 ELEMENTMETODEN

Elementmetoden brukes av ingeniører for å utlede to viktige egenskaper, konstruksjonens styrke og stivhet. Stivheten beskriver bruksegenskapene til bygget, og styrken er viktig i forhold til sikkerhet. For en del konstruksjoner vil det være tilfredsstillende å bruke lineær teori, mens stabilitet og knekking må behandles gjennom ikke-lineær teori (Bell, 2011).

Lineær teori er konstruksjoner bestående av søyler og bjelker. De viktigste forutsetningene er:

- Forskyvningene er små sammenliknet med dimensjonene.
- Likevektslikningen tar utgangspunkt i ikke deformert geometri.
- Hookes lov gjelder, det vil si at det er en lineær sammenheng mellom tøyning og spenning.
- Plane tverrsnitt forblir plane.
- Ser bort fra enkelte spenningskomponenter.

Disse forutsetningene gjør at responsen er direkte proporsjonal med påkjenningen. Responsen er de indre kreftene og forskyvningene som oppstår fra en påkjenning, de ytre kreftene. Dette gir en stivhetsmatrise som er uavhengig av størrelsen til deformasjonene.

Ved 2. ordens teori så blir det ikke tatt utgangspunkt i ikke deformert geometri i likevektslikningen, denne blir dermed basert på den deformerte konstruksjonen (Bell, 2011).

Programvare bruker i dag vanligvis FEM-analyse (Finite Element Method) til beregninger (Lunde, 2010). Det baserer seg på at elementet blir delt opp i mindre elementer, mellom noder. Deretter blir forskyvninger beregnet for hver node. FEM-analyse brukes ved likevektsanalyser, eigenverdianalyse og tidsavhengige analyser. Likevektsanalyse er

tidsuavhengige analyser som er typisk for å finne forskyvnings- og spenningsfordelingen når en last blir påført en konstruksjon. Eigenverdianalyse brukes ved stabilitetsanalyse for å finne egenfrekvenser, svingeformer og knekkformer. Tidsavhengige analyser er de overnevnte analysene, med tidsbetraktning.

Ved statisk analyse er noen viktige forutsetninger at: lastene er kvasi-statiske, det vil si at de blir påført slik at akselerasjonen og farten til massene/elementene i konstruksjonen kan settes lik null. Det kan ses bort i fra tidsavhengige faktorer som treghetseffekter og dempninger. Den deles inn i lineær og ikke-lineær (Lunde, 2010).

Ved lineær statisk analyse blir det gir formel 2 stivhetsrelasjonen.

$$\mathbf{K}_0 \mathbf{u} = \mathbf{F} \quad (2)$$

Hvor

- \mathbf{F} er lastvektoren.
- \mathbf{K}_0 er stivheten ved initialbetingelsene.
- \mathbf{u} er forskyvningsvektoren som representerer deformasjonene.

Formel 2 vil gi resultater for opplager krefter, indre krefter og spenning og reaksjonskrefter i nodene. Dette er en overslagsberegning for enklere konstruksjoner, ved mer komplekse konstruksjoner bør mer avanserte metoder benyttes.

Det finnes 3 typer ikke-lineariteter; strukturell, materialbasert og geometrisk. Strukturell ikke-linearitet er når enkelte elementer i konstruksjonen blir gitt ikke-lineære egenskaper. Dette er typisk ved bygningselementer som kun skal ta strekk eller trykk. Eksempler er kabler, ikke-lineære ledd og liknende. Materialbasert ikke-linearitet er når enkelte elementer i konstruksjonen har materialer med ikke-lineære egenskaper. Eksempler på dette er ikke-lineær spennings- og tøyingsrelasjon (elasto-plastisitet), plastiske egenskaper, bilinearitet og liknende. Dette kan benyttes ved optimalisering av forbindelser. Geometrisk ikke-linearitet er ikke-linearitet i hele konstruksjonen, og betraktes i 2. ordens teori.

Ikke-lineær analyse gir formelen:

$$(\mathbf{K}_0 + \mathbf{K}_\sigma + \mathbf{K}_N) \cdot \mathbf{u} = \mathbf{F}(t) - \mathbf{f}(t, \mathbf{u}) \quad (3)$$

Hvor

- $\mathbf{F}(t)$ er lastvektoren avhengig av tid
- $\mathbf{f}(t, \mathbf{u})$ er lastvektor i ubalansert tilstand avhengig av tid

- \mathbf{u} er forskyvningsvektoren
- \mathbf{K}_0 er initial stivhetsmatrise avhengig av \mathbf{u}
- \mathbf{K}_σ er spenningsmatrisen
- \mathbf{K}_N er matrisen for andre komponenter som avhenger av \mathbf{u}

Forskyvningene deles inn i små og store forskyvninger. Små forskyvninger baserer seg på en forenkling hvor forskyvningene av nodene er såpass små at de kan ses bort i fra. Dermed ses det bort fra endringen av lengden som kommer av deformasjon i elementet.

Ved større forskyvninger blir det tatt hensyn til forskyvninger i nodene. Dette gir en geometrisk endring av hele konstruksjonen, det vil si at ved en liten forskyvning i en node, for eksempel ved opplageren vil hele konstruksjonen bli endret. Når dette skjer i flere elementer gjennom konstruksjonen vil det oppstå en endring i hele konstruksjonen som kan ha stor påvirkning på styrkeegenskapene (Lunde, 2010).

3.3 LASTFORUTSETNINGER

3.3.1 EGENVEKT, NYTTTELAST OG SNØLAST

Egenvekt

Egenvekten beregnes i henhold til NS-EN 1990 kapittel 4.1.2. Volumet av CLT-elementene regnes ut og ganges med densitet og tyngdeakselerasjon. Der det er lagt inn stag regnes vekten for disse ved samme metoder.

$$G = V \cdot \rho \cdot g \quad (4)$$

Ofte vil det legges til en dødlast til konstruksjonsdeler hvor det forventes å ha andre tilleggselementer, slik som taktekking på taket eller klimavegg på yttervegger.

Nyttelast

I Tabell NA 6.1 i NS-EN 1991-1-1 så går boligbygg inn under kategori A. Nyttelast for gulv hentes fra Tabell NA 6.2. Nyttelasten for taket hentes ut som karakteristisk flatelast, q_k , i Tabell 6.10.

Gulv – 2,0 kN/m²

Tak – 0,4 kN/m²

Antatt nyttelast for

Yttervegger – 0,1 kN/m²

Snølast

Karakteristisk snølast er regnet ut ved hjelp av formelen 5.2 i NS-EN 1991-1-3, gitt i formel 5.

$$s = \mu_i C_e C_t s_k \quad (5)$$

Der μ_i er snølastens formfaktor hentet fra Tabell 5.2 i NS-EN 1991-1-3.

TABELL 1: Formfaktoren etter Tabell 5.2 i NS-EN 1991-1-3, hvor α er takvinkelen.

Formfaktor	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$
μ_1	0,8
μ_2	$0,9 + 0,8\alpha/30$

C_e er eksponeringskoeffisienten hentet fra Tabell 5.1 i NS-EN 1991-1-3, antar normal topografi, og kan forvente $C_e = 1,0$.

C_t er den termiske koeffisienten som skal tas hensyn til dersom det er høy varmegjennomgang i taket. For tilfeller der varmegjennomgangen, som i dette prosjektet, er mindre enn $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ gjelder $C_t = 1,0$.

s_k er karakteristisk verdi for snølast på mark hentet fra Tabell NA.4.1(901) i NS-EN 1991-1-3. Det er hentet ut karakteristisk verdi i Ås lik $3,5 \text{ kN/m}^2$.

3.3.2 SPENNARMERING

Kapittel 5.10.2 i NS-EN 1992 beskriver beregning for største spennkraft.

$$P_{max} = A_p \cdot \sigma_{p,max} \quad (6)$$

Hvor

- A_p er spennarmeringens tverrsnittareal.
- $\sigma_{p,max}$ er største spenningen påført spennkabelen, gitt i formel 7.

$$\sigma_{p,max} = \min(0,8 \cdot f_{pk}; 0,9 \cdot f_{p0,1k}) \quad (7)$$

3.3.3 STATISK BEREGNING VINDLAST

Beregninger er gjort i henhold til NS-EN 1991-1-4. Det er brukt en åtte trinns teknikk for å finne Vindkasthastighetstrykk $q_p(z)$. $q_p(z)$ er gitt av formel 4.8 i NS-EN 1991-1-4, vist i formel 8. Formfaktoren for det utvendige trykket, c_{pe} , bestemmes deretter etter kapittel 7 i NS-EN 1991-14.

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad (8)$$

Hvor

- $I_v(z)$ er turbulensintensitet er hentet fra formel 4.7 i kapittel 4.4 i NS-EN 1991-1-4.
- ρ er luftdensiteten 1.25 kg/m³ hentet fra NA 4.5 i NS-EN 1991-1-4.
- $v_m(z)$ er stedsvindhastigheten hentet fra formel 4.3 i kapittel 4.3.1 i NS-EN 1991-1-4, vist i formel 9.

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \quad (9)$$

Hvor

- $c_r(z)$, terrengruheten, bestemmes etter formel 4.4 i kapittel 4.3.2 i NS-ENs 1991-1-4.

$$c_r(z) = \begin{cases} k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) & \text{for } z_{min} \leq z \leq z_{max} \\ c_r(z_{min}) & \text{for } z \leq z_{min} \end{cases} \quad (10)$$

Hvor

- k_r er terrengruhetsfaktoren og bestemmes etter formel 4.5 i kapittel 4.3.2 i NS-EN 1991-1-4.

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} \quad (11)$$

Deretter bestemmes vindtrykket etter formel 12, hentet fra formel 5.1 i NS-EN 1991-1-4.

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (12)$$

3.3.4 DYNAMISK BEREGNING VINDLAST

Ved å bruke vind bestemmes de dynamiske egenskapene. Dette beregnes av FEM-programmet i henhold til teorien beskrevet i kapittel 4.

Toppverdien for akselerasjonen til bygget vil avhenge av en rekke egenskaper fra vindberegningene. Dette er forklart i NS-EN 1991-1-4, med Tillegg B, C og F. Tillegg C gir 5% avvik, dette er nevnt i avsnitt 6.3 i NS-EN 1991-1-4, og er den som benyttes i denne oppgaven. Dette benyttes så videre i beregninger for å finne akselerasjonen i hver etasje etter formel 13.

For å finne akselerasjonen til de ulike etasjene må multipliseres standardavviket ($\sigma_{a,x}(y, z)$) for toppfarten med toppfaktoren (k_p), i henhold til C.4 (3) i NS-EN 1991-1-4.

$$\text{Akselerasjon} = \sigma_{a,x}(y, z) \cdot k_p \quad (13)$$

referansehøyde, z_s , blir benyttet ved beregning istedenfor høyden til bygget, z . Dette er forklart i Figur 6.1 i NS-EN 1991-1-4. k_p er forklart i formel 18.

$$z_s = 0,6 \cdot z \quad (14)$$

Svingeformen som benyttes fra den modale analysen illustrerer responsen fra de påførte lastene. Disse lastene representeres av formfaktoren c_f som er summen av formfaktorene for sone E og D i det globale systemet.

$$c_f = c_D + c_E \quad (15)$$

Gjennomsnittlig vindkaststørrelse representeres gjennom turbulenslengdeskalaen $L_s(z_s)$, og for $z_{max}(= 200m) > z_s \geq z_{min}(= 5m)$ slik som i dette tilfellet beregnes etter formel 16.

$$L_s(z_s) = L_t \left(\frac{z_s}{z_t} \right)^\alpha \quad (16)$$

Hvor

- L_t er referanselengdeskalaen lik 300m
- z_s er referansehøyden lik 200m
- $\alpha = 0.67 + 0,05 \ln(z_0)$, hvor z_0 er ruhetslengden lik 0.3m

Deretter bestemmes bakgrunnsfaktoren, B^2 , i henhold til formel C.1 i NS-EN 1991-1-4. Denne tar hensyn til mangel på full korrelasjon av trykket på konstruksjonsoverflaten.

$$B^2 = \frac{1}{\left(1 + \frac{3}{2} \left(\left(\frac{b}{L(z_s)} \right)^2 + \left(\frac{h}{L(z_s)} \right)^2 + \left(\frac{bh}{L(z_s)^2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}}\right)} \quad (17)$$

Hvor

- b og h er bredde og høyde til bygget.

Toppfaktoren k_p definerer forholdet mellom standardavviket og maksimumsverdien av den fluktuerende delen av responsen, og er gitt av formelen B.4 i NS-EN 1991-1-4.

$$k_p = \max \left(\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}} \right); 3 \quad (18)$$

Hvor

- v er oppkryssingsfrekvensen bestemt av formel B.5 i NS-EN 1991-1-4.
- T er midlingstiden for stedsvindshastigheten lik 600s.

Resonansfaktoren, R^2 , tar hensyn til resonans mellom turbulens og den aktuelle vibrasjonsfrekvensen til bygget. Dette bestemmes av formel C.2 i NS-EN 1991-1-4.

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2\delta} S_L(z_s, n_{1,x}) K_S(n_{1,x}) \quad (19)$$

Hvor

- $n_{1,x}$ er den første egenfrekvensen for mode som tilhører gjeldende lastsituasjon.
- δ er summen av logaritmisk dekrement gitt fra demping forklart i formel 24 etter formel F.15 i NS-EN 1991-1-4.
- K_S er størrelsesreduskjonsfunksjonen gitt av formel 20 hentet fra C.3 i NS-EN 1991-1-4
- S_L er den dimensjonsløse spektrale tetthetsfunksjonen for vind, gitt av formel 21 hentet fra B.1 (2) i NS-EN 1991-1-4.

$$K_S(n) = \frac{1}{1 + \left((G_y \theta_y)^2 + (G_z \theta_z)^2 + \left(\left(\frac{2}{\pi} \right) G_y \theta_y G_z \theta_z \right)^2 \right)^{0,5}} \quad (20)$$

Hvor

- $G_y = 1/2$ og $G_z = 3/8$, dette er konstanter som avhenger av svingeformen, verdiene er hentet fra Tabell C.1 MERKNAD 1 i NS-EN 1991-1-4.
- θ_y og θ_z beregnes etter formel 23 hentet fra C.2 (5) i NS-EN 1991-1-4.

$$S_{L,s}(z_s, n) = 6,8 \cdot \frac{f_{L,s}(z_s, n)}{(1 + 10,2 f_{L,s}(z_s, n))^{\frac{5}{3}}} \quad (21)$$

Hvor

- $f_{L,s}(z_s, n)$ er en dimensjonsløs frekvens basert på $n = n_{1,x}$ gitt etter formel 22, hentet fra B.1 (2) i NS-EN 1991-1-4.

$$f_{L,s}(z_s, n) = n \cdot \frac{L(z_s)}{v_m(z_s)} \quad (22)$$

$$\left(\phi_y = \frac{c_y \cdot b \cdot n}{v_m(z_s)}, \phi_z = \frac{c_z \cdot h \cdot n}{v_m(z_s)} \right) \quad (23)$$

Hvor

- Konstantene c_y og c_z er begge lik 11.5.
- $v_m(z_s)$ er middelvindshastigheten beregnet etter formel 9, i forhold til referanse høyden z_s .
- $n = n_{1,x}$.

Det totale logaritmiske dekrementet er summen av logaritmisk dekrement for konstruksjonens demping, δ_s bestemt med utgangspunkt i armerte betongkonstruksjoner ($\delta_s = 0.10$) fra tabell F.2 NS-EN 1991-1-4, og aerodynamisk demping for egensvingeformen, δ_a gitt i formel 25, og demping grunnet spesielle innretninger, δ_d .

$$\delta = \delta_s + \delta_a \quad (24)$$

$$\delta_a = (c_f \rho b v_m(z_s)) / (2n_1 m_e) \quad (25)$$

μ_{ref} , referansemassen per arealenhet, beregnes etter formel F.17 i NS-EN 1991-1-4. Den settes lik den ekvivalente massen per arealenhet av opprissarealet for rektangulære tverrsnitt, μ_e som er gitt i formel 26.

$$\mu_e = \frac{\int_0^h \int_0^b \mu(y,z) \cdot \phi_1^2(y,z) dy dz}{\int_0^h \int_0^b \phi_1^2(y,z) dy dz} \quad (26)$$

Hvor

- $\mu(y, z)$ er konstruksjonens masse per arealenhet.
- $\phi_1(y, z)$ er svingeformen.

Deretter bestemmes standardavviket etter (C.4) i NS-EN 1991-1-4.

$$\sigma_{a,x}(y,z) = c_f \cdot \rho \cdot I_v(z_s) \cdot v_m(z_s)^2 \cdot R \left(\frac{K_y K_z \emptyset(y,z)}{\mu_{ref} \emptyset_{max}} \right) \quad (27)$$

Hvor

- \emptyset_{max} er svingeformen ved høyest amplitude, hentet fra modal analysen, normalisert til å være lik 1.
- $\emptyset(y,z)$ er svingeformen, hentet fra modalanalysen.
- $K_y = 1$ og $K_z = 3/2$ hentet fra Tabell C.1 MERKNAD 1 i NS-EN 1991-1-4.
- $I_v(z_s)$ er turbulensintensiteten beregnet ved høyden z_s over bakken.

3.4 LASTKOMBINASJONER

Lastkombinasjoner er beregnet for bruksgrensetilstander i henhold til NS-EN 1990.

Bygget er beregnet for en karakteristisk lastkombinasjon som inneholder alle permanente laster og nyttelast, vindlast og snølast.

Ofte forekommende kombinasjon er gitt i kapittel 6.5.3 i NS-EN 1990.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} "P" + \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (28)$$

Hvor

- $G_{k,j}$ er egenlaster.
- P er permanente laster, inklusiv forspenningslast.
- $Q_{k,1}$ er dominerende variabel last.
- $Q_{k,i}$ er øvrige variable laster.
- $\psi_{0,i}$ er kombinasjonsfaktor for variable laster hentet fra Tabell A1.1 i Tillegg A1 i NS-EN 1990.

Dette gir seks lastkombinasjoner. Tre i x-retning og tre i y-retning, i hver retning er det en kombinasjon med vind som dominerende last, en med snø som dominerende last og en med nyttelasten som dominerende last.

Ψ -faktorer for innendørs boareal i henhold til Tabell NA.A1.1 i NS-EN 1990.

$$\Psi_0 = 0,7, \Psi_1 = 0,5, \Psi_2 = 0,3$$

Ved bruddgrense regnes det med dimensjonerende laster, disse kan finnes gjennom formel 30, 31 og 32. Dermed blir lastkombinasjonen beregnet ved formel 29.

$$\sum_{j \geq 1} G_{d,j} + P + \Psi_{1,1} Q_{d,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{d,i} \quad (29)$$

$$G_d = \gamma_{G,i,sup} G_{k,i,sup} \quad (30)$$

$$Q_{d,1} = \gamma_{Q,1} \Psi_{1,1} Q_{k,1} \quad (31)$$

$$Q_{d,i} = \sum \gamma_{Q,i} \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (32)$$

Anbefalte verdier for γ -verdiene gis etter merknad 1, tabell NA.A2.4(A), NS-EN 1990. Hvor $\gamma_{G,j,sup} = 1,2$ og $\gamma_{,1} = \gamma_{Q,i} = 1,50$.

3.5 RELEVANTE KRAV OG DIMENSJONERINGSREGLER

Bøyestivhet

Bøyestivheten er beregnet etter (Wallner-Novak et al., 2014).

$$\frac{M_{0,d}}{W_{0,net}} = \frac{k_{mod} k_{sys} f_{m,k}}{\gamma_M} \quad (33)$$

$$\frac{M_{90,d}}{W_{90,net}} = \frac{k_{mod} k_{sys} f_{m,k}}{\gamma_M} \quad (34)$$

Hvor

- $M_{0,d}$ er momentet i kraftretningen og $M_{90,d}$ er momentet normalt på den generelle kraftretningen.
- $W_{0,net}$ er tverrsnittsmodulen i den generelle kraftretningen og $W_{90,net}$ er tverrsnittsmodulen normalt på den generelle kraftretningen.
- k_{mod} er fasthetsfaktor for lastvarighet og klimaklasse Tabell 3.1 i NS-EN 1995-1-1, i denne oppgaven ble det benyttet k_{mod} for limtre under permanent lastvarighet og i klimaklasse 1, $k_{mod} = 0,6$.
- k_{sys} er faktor for systemfasthet normalt lik 1.
- γ_M er materialfaktoren, som er lik 1,25 for limtre Tabell 2.3 i NS-EN 1995-1-1.

Krav til skjærspenninger

For CLT kan kravet til skjær beregnes via formel 35 for skjær i planet til den generelle kraftretningen og formel 36 for skjær i planet normalt til den generelle kraftretningen (Wallner-Novak et al., 2014).

$$\frac{V_{0,d} \cdot S_{0,R,net}}{I_{0,net} \cdot b} \leq \frac{k_{mod} f_{v,Rk}}{\gamma_M} \quad (35)$$

$$\frac{V_{90,d} \cdot S_{90,R,net}}{I_{90,net} \cdot b} \leq \frac{k_{mod} f_{v,Rk}}{\gamma_M} \quad (36)$$

Hvor

- V er største skjærkraft.
- b bredden på tverrsnittet.
- $I_{0,net}$ er det effektive treghetsmomentet langs med den generelle kraftretningen og $I_{90,net}$ er det effektive treghetsmomentet i tverretningen.
- $S_{0,R,net}$ er effektivt statisk moment i den generelle kraftretningen og $S_{90,R,net}$ er effektivt statisk moment i tverretningen.

Trykk normalt på fiberretningen

Dimensjoneringskravet til trykk normalt på fiberretningen er gitt av formel 6.3 i NS-EN 1995.

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} \quad (37)$$

Hvor

- A_{ef} er det effektive kontaktarealet for trykk normalt på fiberretningen.
- $k_{c,90}$ er en faktor som tar hensyn til lastkonfigurasjonen, dette er for konstruksjonstre beskrevet i punkt 4 i kapittel 6.1.5 i NS-EN 1995. For CLT er det foreslått en verdi for samme faktor for CLT ($k_{90,CLT}$) lik 1,9 for opplager litt unna kanten og 1,4 for opplager i hjørner ved kanten (Wallner-Novak et al., 2014).
- $F_{c,90,d}$ er dimensjonerende trykkraft normalt på fiberretningen.
- $f_{c,90,d}$ er dimensjonerende trykkfastheten på tvers av fiberen.

Nedbøyning

Krav til nedbøyning hentes fra kapittel 7.2, Tabell 7.2 i NS-EN 1995-1-1, og er ett krav for bruksgrensetilstand. Kravet for netto nedbøyning, $w_{net,fin}$, for bjelke på to opplegg er det kravet som blir brukt som krav i denne oppgaven.

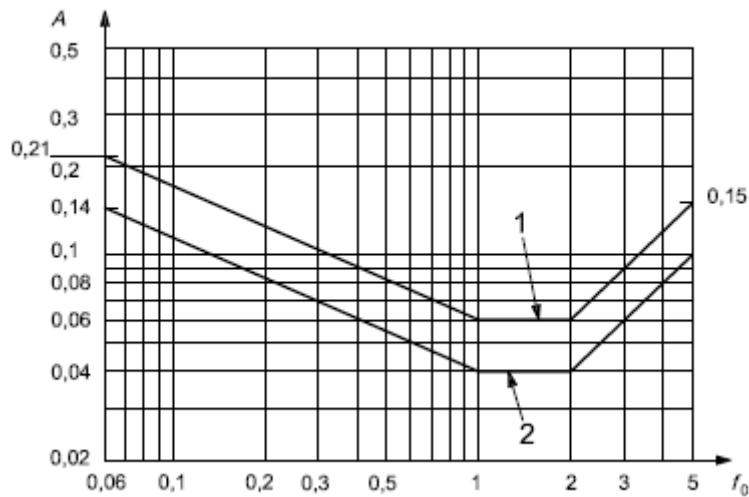
$$w_{net,fin} = \frac{l}{250} \text{ til } \frac{l}{350} \quad (38)$$

Hvor

- l er den aktuelle lengden.

Akselerasjon

Standarden ISO 10137 legger grunnlaget ved krav til vibrasjoner. Tillegg D gir en veiledning til menneskelig respons til bevegelses forårsaket av vinden. Veiledende krav kan hentes fra Figure D.1 i ISO 10137. Kravene brukt for denne oppgaven er for bolig, benevnt i figuren med 2.



FIGUR 4: Evalueringsskurve for vindindusert akselerasjon etter Tillegg D i ISO 10137:2007.

I figuren er akselerasjon gitt med benevning m/s^2 langs y-aksen, og egenfrekvensen f_0 langs x-aksen. 1 og 2 viser til respektive krav til kontorer og boliger.

4 DYNAMIKK

Tvungen vibrasjon oppstår når en last forårsaker vibrasjoner over en gitt tid, slik som vindkraften vil gjøre i denne oppgaven. For å kunne analysere hvordan konstruksjonen oppfører seg under dynamiske krefter utføres en modalanalyse. Dynamisk analyse er gjort i henhold til (Autodesk Robot, 2017).

4.1 DEMPET VIBRASJON

I teorien er alle konstruksjoner noe dempet. Derfor trekkes det her fram teorien rundt dempet vibrasjon som er relevant for den dynamiske analysen.

4.1.1 DEMPET FRI VIBRASJON

Bevegelseslikningen ved fri vibrasjon er gitt i formel 39. Normalisering med hensyn på massen gir formel 40, innsetting av funksjoner for naturlig frekvens og dempingsraten gir formel 41.

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = 0 \quad (39)$$

$$\ddot{u}(t) + \frac{c}{m}\dot{u}(t) + \frac{k}{m}u(t) = 0 \quad (40)$$

$$\ddot{u}(t) + 2\xi\omega_n\dot{u}(t) + \omega_n^2u(t) = 0 \quad (41)$$

Hvor

- ξ er dempingsraten gitt av formel 42.
- ω_n er naturlig frekvens.

$$\xi = \frac{c}{2m\omega_n} = \frac{c}{c_{cr}} \quad (42)$$

Hvor

- c_{cr} er den kritiske dempingskoeffisienten gitt i formel 43.

$$c_{cr} = 2m\omega_n = 2\sqrt{km} = \frac{2k}{\omega_n} \quad (43)$$

Deretter antas det at $u = e^{\lambda t}$, dette er samme antagelsen som for udempet frie vibrasjoner. Dette gir fart og akselerasjon lik $\dot{u} = \lambda e^{\lambda t}$ og $\ddot{u} = \lambda^2 e^{\lambda t}$. Dette settes inn i formel 39 og gir formel 44. Denne formelen stemmer når betingelsene gitt i formel 45 oppfylles. Løsningen til formel 45 er gitt av formel 46, som forenkles til formel 47.

$$(\lambda^2 + 2\xi\omega_n\lambda + \omega_n^2)e^{\lambda t} = 0 \quad (44)$$

$$\lambda^2 + 2\xi\omega_n\lambda + \omega_n^2 = 0 \quad (45)$$

$$\lambda_{1,2} = -\omega_n(-\xi \pm i\sqrt{1 - \xi^2}) \quad (46)$$

$$\lambda_{1,2} = -\omega_n(-\xi \pm i\omega_D) \quad (47)$$

Hvor

- ω_D er dempet naturlig frekvens, gitt av formel 48.

$$\omega_D = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2} \quad (48)$$

Når dempingsraten er lik null, slik den er ved ett udempet system, så vil den naturlige frekvensen og den dempede frekvensen være lik og funksjonen for deformasjonene kan finnes slik som vist i formel 49.

$$u(t) = e^{-\xi\omega_n t} (A \cos \omega_D t + B \sin \omega_D t) \quad (49)$$

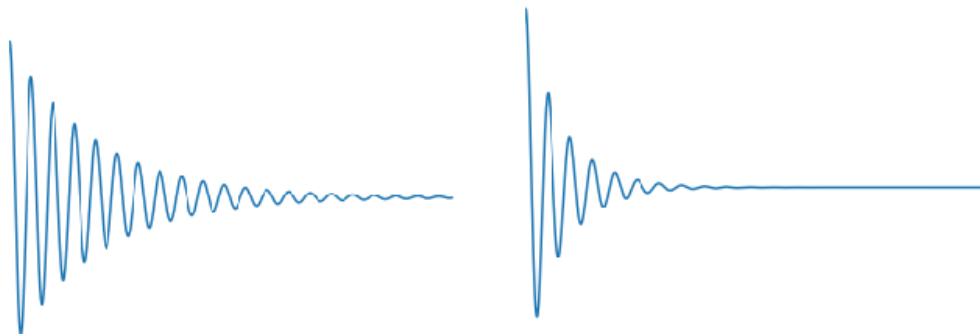
$$A = u(0) \quad (50)$$

$$B = \frac{\dot{u}(0) + \omega_n \xi u(0)}{\omega_D} \quad (51)$$

Får formel 52 ved innsetting av initialbetingelsene gitt i formel 50 og 51 i formel 49.

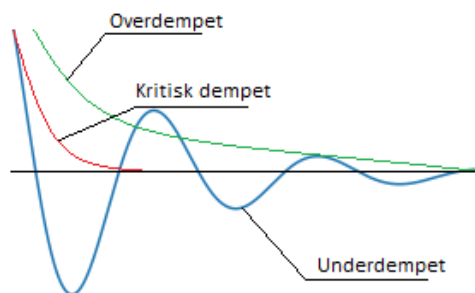
$$u(t) = e^{-\omega_n \xi t} \left(u(0) \cos \omega_D t + \frac{\dot{u}(0) + \omega_n \xi u(0)}{\omega_D} \sin \omega_D t \right) \quad (52)$$

Effekten fra dempingsraten er illustrert i FIGUR 5.



FIGUR 5: Vibrasjoner for dempingsrate på 4% og 10%.

For bygninger er det underdempet situasjon som oppstår, det vil si at $\xi < 1$, og det forventes vibrasjoner i systemet. FIGUR 6 illustrerer underdempet sammen med kritisk dempet ($\xi = 1$) og overdempet ($\xi > 1$).



FIGUR 6: Overdempet, Kritisk dempet og underdempet situasjon.

4.1.2 DEMPET TVUNGEN VIBRASJON

Bevegelseslikningen ved tvungen vibrasjon hvor en kraft er påført systemer er gitt gjennom formel 53.

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = p(t) \quad (53)$$

Kreftene som virker er resistansen fra bygget sin stivhet (k) og demping (c), og i tillegg bidraget fra massen som er gitt av Newtons andre lov. Bevegelseslikningen gitt i formel 53 under initialbetingelser $u = u(0)$ og $\dot{u} = \dot{u}(0)$ gir formel 54.

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = p_0 \sin \omega t \quad (54)$$

Hvor

- ω er frekvensen
- p_0 er initialkraften

Ved å normalisere likningen med hensyn til massen, m , gir det formel 55, som gir den komplementære løsningen i formel 61, og den partikulære løsningen i formel 56. Deretter deriveres likningene med hensyn på t .

$$\ddot{u} + 2\xi\dot{u} + \omega_n^2 u = \frac{p_0}{m} \sin \omega t \quad (55)$$

$$u_p = C \cos \omega t + D \sin \omega t \quad (56)$$

$$\dot{u}_p = -\omega_D C \sin \omega t + \omega_D D \cos \omega t \quad (57)$$

$$\ddot{u}_p = -\omega_D^2 C \cos \omega t \quad (58)$$

Innsetting i bevegelseslikningen med initialbetingelser gir gitte formler for C og D.

$$C = \frac{p_0}{k} \left(\frac{2\xi\beta_n}{(1-\beta_n^2)^2 + (2\xi\beta_n)^2} \right) \quad (59)$$

$$D = \frac{p_0}{k} \left(\frac{1-\beta_n^2}{(1-\beta_n^2)^2 + (2\xi\beta_n)^2} \right) \quad (60)$$

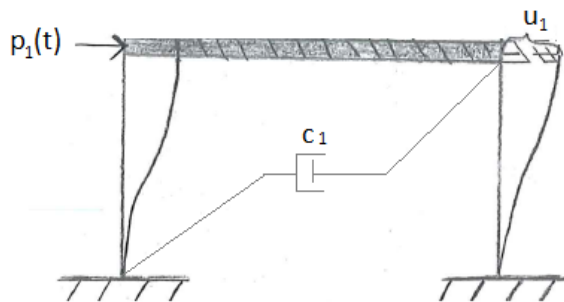
$$u_c = e^{-\xi\omega_n t} (A \cos \omega_D t + B \sin \omega_D t) \quad (61)$$

Den fulle løsningen gis som summen av den transiente løsningen og den stabile.

$$u(t) = e^{-\xi\omega_n t} (A \cos \omega_D t + B \sin \omega_D t) + C \cos \omega t + D \sin \omega t \quad (62)$$

4.2 EN-FRIHETSGRADSYSTEMER

Innenfor ganske strenge designbetingelser er det mulig å utføre beregninger basert på en-frihetsgradsystemer (SDOF – single degree of freedom). Det forutsettes at små forskyvninger forblir små og at massen er samlet i ett punkt, når rammen utsettes for laster. Systemet har kun en frihetsgrad for forskyvningen, horisontal forskyvning av bjelken, dette er vist i FIGUR 7.



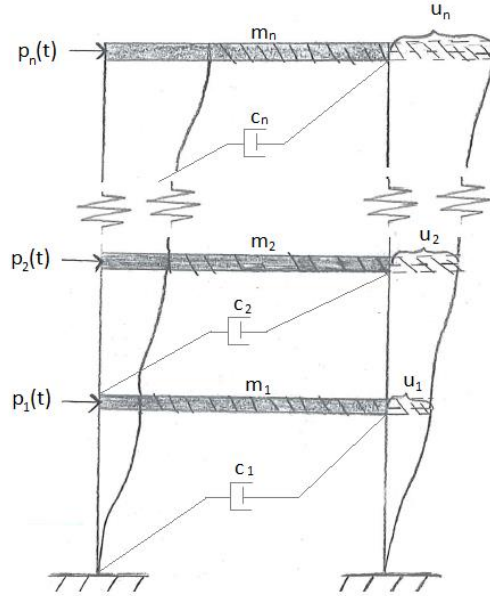
FIGUR 7: En-frihetsgradsystem (SDOF).

Massen, m , er samlet i bjelkens midtpunkt og utsettes dermed for den samme bevegelsen. Det vil ikke være noen vertikal forskyvning i systemet. Legg merke til at det ikke er slik i virkeligheten, massen vil være fordelt over hele bjelkens bredde, og alle delene av konstruksjonen vil ikke forskyves like mye. Men det er vist at dette ikke er avgjørende for resultatene og er dermed en god forenkling (Øystad-Larsen, 2010).

En-frihetsgradsystemer kan beskrives gjennom bevegelseslikningen formel 54. Et en-frihetsgradsystem kan løses uten bruk av modale koordinater, systemet vil kun ha en svingform.

4.3 FLERFRIHETSGRADSYSTEMER

FIGUR 8 illustrerer ett flerfrihetsgradsystem. Det karakteriseres ved at systemet har flere enn en frihetsgrad. Det er dermed mer komplekst å beregne.



FIGUR 8: Flerfrihetsgradsystem (MDOF).

Systemet i FIGUR 8 kan beskrives av bevegelseslikningen, hvor f_D beskriver dempingen og f_S er bidraget fra konstruksjonen sin stivhet.

$$\begin{bmatrix} m_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & m_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \vdots \\ \ddot{u}_n \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} f_{D1} \\ \vdots \\ f_{Dn} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} f_{S1} \\ \vdots \\ f_{Sn} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} p_1(t) \\ \vdots \\ p_n(t) \end{Bmatrix} \quad (63)$$

Stivhetsmatrise bestemmes ved å se på relasjonen mellom etasjene og stivhetene til etasjene, og hvordan disse påvirker hverandre. Dempingsmatrisen kan hentes ut ved samme prinsippet. Ved å anta et system som er lineært, udempet og under fri vibrasjon kan forskyvningsvektoren $u(t)$, formel 64, skrives som et produkt av vektoren som beskriver svingeformene Φ , gitt i formel 74, og de modale koordinatene $q(t)$, gitt i formel 65. Modal analyse baserer seg på å finne et nytt koordinatsystem, med nye koordinater (modale koordinater), hvor systemet har en simplere form som er enklere å forstå og dermed enklere å beregne.

$$u(t) = \sum_{i=1}^n u_i(t) = \sum_{i=1}^n \phi_i q_i(t) = \Phi q(t) \quad (64)$$

Svingeformvektoren er konstant, mens de modale koordinatene varierer med tid.

$$q_n(t) = A_n \cos(\omega_n t) + B_i \sin(\omega_n t) \quad (65)$$

Dette gir løsningene for forskyvninger, fart og akselerasjon i formel 66, 67 og 68, og innsetting i bevegelseslikningen i formel 54, gir eigenverdiproblemet.

$$\mathbf{u}(t) = \phi_n [A_n \cos(\omega_n t) + B_n \sin(\omega_n t)] \quad (66)$$

$$\dot{\mathbf{u}}(t) = \phi_n \omega_n [-A_n \sin(\omega_n t) + B_n \cos(\omega_n t)] \quad (67)$$

$$\ddot{\mathbf{u}}(t) = -\phi_n \omega_n^2 [A_n \sin(\omega_n t) + B_n \cos(\omega_n t)] \quad (68)$$

$$m\phi_i \ddot{q}_i(t) + k\phi_i q_i(t) = 0 \quad (69)$$

Dette introduserer den trivielle løsningen som antyder at systemet står i ro $q_i(t) = 0$, men det som ønskes å analysere er et system under vibrasjon. Derfor introduseres eigenverdiproblemet formel 70, og matrise A trekkes ut, som beskrives i formel 71. Deretter, ved å løse for determinanten, kan eigenverdiene til systemet bestemmes.

$$[\mathbf{k} - \omega_n^2 \mathbf{m}] \phi_n = \mathbf{0} \quad (70)$$

$$[A] = [K] - \omega^2 [M] \quad (71)$$

Hvor

- [K] er stivhetsmatrisen
- [M] er massematrisen, og er en diagonalmatrise.
- $\lambda = \omega^2$

$$\det([K] - \lambda[M]) = 0 \quad (72)$$

$$[A] \cdot \{\phi\} = 0 \text{ hvis } \det([A]) = 0 \quad (73)$$

Eigenvektorene kan brukes til å finne den sirkulære frekvensen og dermed løse for modalvektoren som vist i formel 73. Kombinering av disse gir modalmatrisen vist i formel 74.

$$\Phi = [\phi_n] = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \cdots & \phi_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{n1} & \cdots & \phi_{nn} \end{bmatrix} \quad (74)$$

Eigenverdiene kan bli presentert i spektralmatrisen gitt i formel 75.

$$\Omega^2 = \begin{bmatrix} \omega_1^2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \omega_n^2 \end{bmatrix} \quad (75)$$

Alle faktorene kan bli beskrevet av en likning ved å kombinere spektralmatrisen og modalvektoren, denne likningen er gitt i formel 76.

$$\mathbf{k}\Phi = \mathbf{m}\Phi\Omega^2 \quad (76)$$

Formel 76 kan uttrykkes ettersom lineære kombinasjoner av naturlige svingeformer kan uttrykkes gjennom forskyvninger av frihetsgradene. Dette er utredet i formlene under.

Når $\omega_n \neq \omega_r$

$$\phi_n^T \mathbf{k} \phi_r = 0 \quad (77)$$

$$\phi_n^T \mathbf{m} \phi_r = 0 \quad (78)$$

Et dempet lineært elastisk system med n-antall frihetsgrader kan uttrykkes gjennom formel 70 og 83.

$$\Phi^T \mathbf{m} \Phi \ddot{\mathbf{q}}(t) + \Phi^T \mathbf{c} \Phi \dot{\mathbf{q}}(t) + \Phi^T \mathbf{k} \Phi \mathbf{q}(t) = -\Phi^T \mathbf{m} \ddot{u}_g(t) \quad (79)$$

$$\mathbf{M} = \Phi^T \mathbf{m} \Phi \quad (80)$$

$$\mathbf{C} = \Phi^T \mathbf{c} \Phi \quad (81)$$

$$\mathbf{K} = \Phi^T \mathbf{k} \Phi \quad (82)$$

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{q}}(t) + \mathbf{C} \dot{\mathbf{q}}(t) + \mathbf{K} \mathbf{q}(t) = -\Phi^T \mathbf{m} \ddot{u}_g(t) \quad (83)$$

\mathbf{M} og \mathbf{K} er diagonale modale masse og stivhetsmatriser. \mathbf{C} er den modale dempings matrisen, og er diagonal grunnet store usikkerheter rundt dempingen i ett system (Øystad-Larsen, 2010).

I dataprogrammer er det vanlig å normalisere svingeformene slik at M_n har enhetsverdier, slik som vist i formel 84 til 87.

$$M_n = \phi_n^T \mathbf{m} \phi_n = 1 \quad (84)$$

$$\Phi^T \mathbf{m} \Phi = \mathbf{I} \quad (85)$$

$$K_n = \phi_n^T \mathbf{k} \phi_n = \omega_n^2 M_n = \omega_n^2 \quad (86)$$

$$\mathbf{K} = \Phi^T \mathbf{k} \Phi = \mathbf{\Omega}^2 \quad (87)$$

5 MODELLERING OG BEREGNING

5.1 BEREGNINGS- OG MODELLERINGSVERKTØY

Autodesk Revit

Autodesk Revit (Revit) er et program som benyttes til bygningsinformasjonsmodellering (BIM). Det har gode 3D-funksjoner og mange muligheter for å tilpasses etter bruk. Nye objekter kan enkelt bygges, og tilegne disse nye egenskaper, noe som gjør Revit veldig allsidig.

I denne oppgaven ble programmet brukt til å prosjektere planløsningen til Palisaden for å gi riktige input-verdier til beregningsprogrammet.

Autodesk Robot

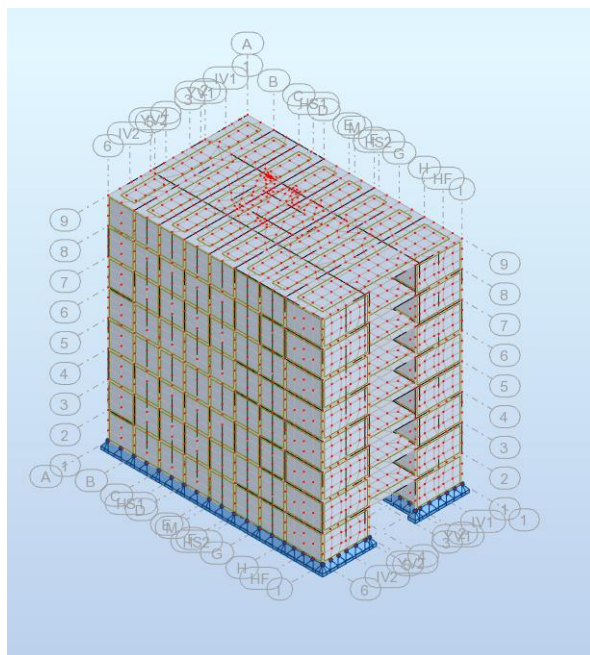
Autodesk Robot (Robot) er et beregningsprogram som baserer seg på elementmetoden, og bruker dermed noder og elementer for å analysere mekaniske egenskaper i konstruksjoner.

Robot er et program mye brukt i byggebransjen, det er ett fleksibelt program som er enkelt å bruke. Det har mange funksjoner som gjør beregninger lettere, og i tillegg er det veldig visuelt og har 3D-funksjoner.

Programmet har mange innebygde funksjoner, og er i stand til å utføre en komplett vind-simulering hvor den tar data fra det aktuelle området og simulerer bygget over en viss tid. Det er implementert med standarder og kan utføre beregninger automatisk, eksempler på dette er automatisk oppretting av lastkombinasjoner. I denne oppgaven er lastberegninger gjort manuelt, med unntak av egenlasten. Lastkombinasjonene er også lagt inn manuelt for å redusere antall kombinasjoner som blir analysert.

Robot kan utføre en modal analyse for å beregne dynamiske egenskaper. Det kan velges mellom blant annet jordskjelvsanalyse, en generell modalanalyse for å finne masser, eigenverdier, eller modal analyse for harmoniske svingninger eller liknende.

Ved dimensjonering av konstruksjoner ligger det også et verifiseringssystem inne. Det sjekker elementene opp mot den aktuelle standarden, og kan dimensjonere elementene slik at de oppfyller kravene.



FIGUR 9: Palisaden prosjektert i Autodesk Robot

5.2 BESKRIVELSE AV PALISADEN

Høsten 2013 ble de to første studentboligene av seks planlagte, kalt Palisaden, i massivtre ferdigstilt i Ås. De resterende fire var innflyttingsklare høsten 2014. Designet på disse seks byggene er det samme, men de to første hadde flere etasjer enn de neste fire. Det er designet til disse to første som er benyttet i denne oppgaven.

Byggene har åtte etasjer, og de var på ett tidspunkt Norges Høyeste trehus med massivtreelementer som bæresystem. Høyer-Finseth AS sto for detaljprosjektet og Veidekke var totalentreprenør. Selve massivtreelementene ble levert av Mayr-Melnhof Kaufmann i Østerrike (Mørch, 2014).

Plantegningen er vist i FIGUR 11. Bygget har bærende yttervegger, unntatt en åpning på kortveggene som er for terrasser og nødutganger. Heissjakten og alle innervegger er også bærende. Hele bæresystemet består av CLT, og er dette er en del av bakgrunnen til hvorfor akkurat dette bygget ble valgt som eksempelbygg.

5.3 BESKRIVELSE AV MODELL

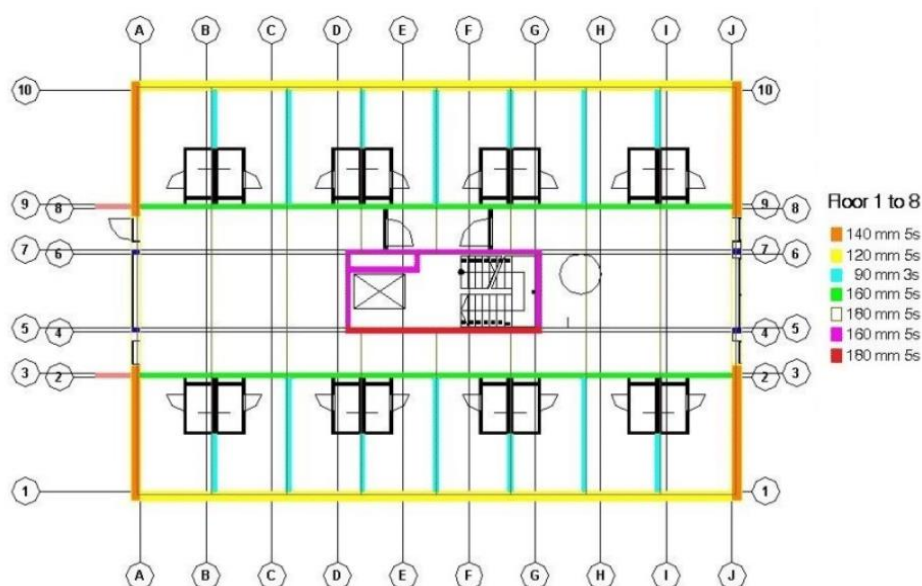
Modellen tar utgangspunkt i de originale plantegningene til Palisaden, men det er gjort noen forenklinger. Vinduer, dører og rørsystemer danner utsparinger i veggene som ikke inkluderes i modellen. Det er sett bort i fra de korte veggene som danner en sjakt for tekniske installasjoner i heissjakten. Det er tatt utgangspunkt i de samme antagelsene som i masteroppgaven til Mørch (2014), vist i FIGUR 10. Modellen varierer fra modellen ved at heissjakten er forenklet, og i gulvene og taket er det brukt BSP 180 7s istedenfor BSP 180 5s.

Originale dimensjoner og dimensjoner brukt ved prosjektering i Robot er oppført i TABELL 2. Detaljer for med dimensjoner for modellen brukt i Robot ligger i FIGUR 11. Etasjehøyden i Robot er 2,86 m, dette er det samme som senteravstand mellom dekkene i konstruksjonen.

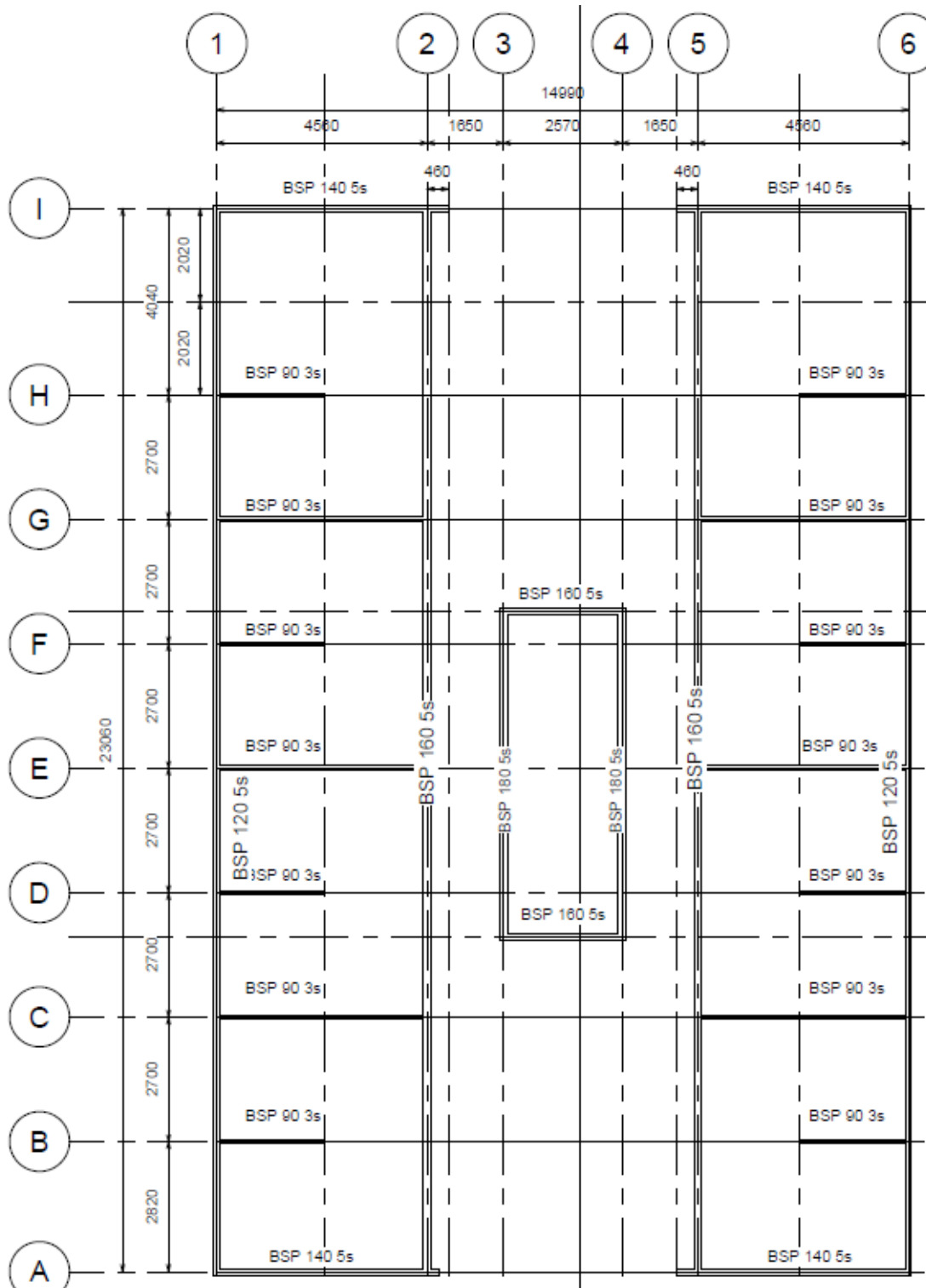
TABELL 2: Ytre dimensjoner for modell og for konstruksjon.

	Konstruksjon	Modell
Høyde [m]	22,97	22,88
Bredde [m]	15,13	14,99
Lengde [m]	23,20	23,06

Det er i utgangspunktet modellert to modeller, én med og én uten forspenning. Begge er modellert som plattformbygg, hvor dekkene legges oppå veggene før dette repeteres for etasjene over. Forspenningen er forankret på oversiden av taket.



FIGUR 10: Palisaden med elementfordeling hentet fra (Mørch, 2014).



FIGUR 11: Palisaden prosjektert i Revit med enkelte tilpasninger.

5.4 BEREGNINGER

5.4.1 ELEMENTENE OG STIVHETSMATRISEN

Alle elementene består av CLT. Det er tatt utgangspunkt i formlene benyttet i Stora Enso (2015). De mekaniske egenskapene er hentet fra ETA-12/0281. Disse er vist i TABELL 7. Det er antatt at elementene ikke er limt på enden, dette betyr at retningen til panelet er parallelt med fiberretningen til de ytre lamellene. Elementene fungerer som enveisplater og overfører krefter i den generelle kraftretningen, og platens lokale x-akse ligger langs den generelle kraftretningen.

Stivhetsmatrisen til CLT brukes ved beregning og styrkeberegninger av materialet. Formel 88 gir stivhetsmatrisen slik den er gitt av Stora Enso (Stora Enso, 2015).

$$\begin{pmatrix} m_x \\ m_y \\ m_{xy} \\ v_x \\ v_y \\ n_x \\ n_y \\ n_{xy} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & D_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & D_{33} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & D_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & D_{55} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & D_{66} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & D_{77} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & D_{88} \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} k_x \\ k_y \\ k_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \\ \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{pmatrix} \quad (88)$$

Verdiene utenfor diagonalen er delvis forbundet med stivheten ut av planet, og kan ses bort fra. Resten er lik 0, grunnet ortotropien og de gjenværende er såpass små at de kan rundes ned til null. Dette gir en lett håndterlig stivhetsmatrise. Poissons rate forenkles til å være lik 0 (Stora Enso, 2015).

Verdiene i formel 89, 90 og 91 representerer elementets bøyestivhet.

$$D_{11} = E_{0,mean} \cdot I_{0,net} \quad (89)$$

$$D_{22} = E_{0,mean} \cdot I_{90,net} \quad (90)$$

$$D_{33} = K_{twist} \cdot G_{0,mean} \cdot \frac{bd^3}{12} \quad (91)$$

Hvor

- $E_{0,mean}$ er elastisitetsmodulen i fiberretningen.
- $I_{0,net}$ er treghetsmomentet i fiberretningen.
- $I_{90,net}$ er treghetsmomentet i fiberretningen.
- K_{twist} er en reduksjonsfaktor for motstand mot torsjon, og settes lik 0,65 (Stora Enso, 2015).

Formlene 92 og 93 representerer verdiene for elementets skjærstivhet.

$$D_{44} = k_x \cdot \sum G_{i,x} t_i \quad (92)$$

$$D_{55} = k_y \cdot \sum G_{i,y} t_i \quad (93)$$

Hvor

- k_x og k_y er korreksjonskoeffisienter for skjær, og hentes fra tabellen i kapittel 5 i (Stora Enso, 2016).
- t_i er tykkelsen til lamelle, i .
- $G_{i,x}$ er skjærmodulen til lamelle i , og i den generelle kraftretningen.
- $G_{i,y}$ er skjærmodulen til lamelle i , normalt på den generelle kraftretningen.

Formlene 94, 95 og 96 representerer elementets aksiale stivhet.

$$D_{66} = \sum_{i=1}^n h_{i,0,net} \cdot E_{0,mean} \quad (94)$$

$$D_{77} = \sum_{j,j=1}^n h_{j,j,90,net} \cdot E_{90,mean} \quad (95)$$

$$D_{88} = K_{shear} \cdot G_{0,mean} \cdot d \quad (96)$$

Hvor

- $h_{i,0,net}$ og $h_{j,90,net}$ er høyden lamellen.
- $K_{skjær}$ er en reduksjonskoeffisient. Stora Enso (2015) anbefaler at denne settes lik 0,7.

TABELL 3: Mekaniske egenskaper ved ut-av-plan belastning etter ETA-12/0281, alle verdier gitt i N/mm^2 .

Elastisitetsmodul parallelt med fiberretningen	$E_{0,mean}$	11600
Elastisitetsmodul tvers på fiberretningen	$E_{90,mean}$	370
Skjær modul parallelt med fiberretningen	$G_{90,mean}$	690
Rulleskjær, på tvers av fiberretningen	$G_{9090,mean}$	50
Bøyestivhet parallelt til fiberretningen	$f_{m,k}$	26,4
Strekkfasthet på tvers av fiberretningen	$f_{t,90,k}$	0,12
Trykkfasthet normalt på fiberretningen	$f_{c,90,k}$	2,5
Trykkfasthet parallelt med fiberretningen	$f_{c,0,k}$	21,0
Skjærstivhet parallelt til fiberen	$f_{v,090,k}$	4,0
Rulleskjærstivhet på tvers av fiberen	$f_{v,k}$	0,8

TABELL 4: Beregnede verdier for aktuelle CLT-elementer.

	D_{11}	D_{22}	D_{33}	D_{44}	D_{55}	D_{66}	D_{77}	D_{88}
CLT 90 3s	679	26	27	6692	17254	696000	348000	43470
CLT 120 5s	1469	201	65	10182	4930	928000	464000	57960
CLT 140 5s	2451	201	103	12709	4434	1160000	464000	67620
CLT 160 5s	3526	433	153	17638	4704	1392000	464000	77280
CLT 180 5s	4733	905	218	16216	6589	1392000	696000	86940
CLT 180 7s	4454	1183	218	17417	8295	1392000	696000	86940

Hvert element blir definert som ett ortogonalt element i Robot, hvor verdiene i TABELL 4 brukes til å definere nye elementer i programmet.

5.4.2 LASTER

Lastberegninger og lastforutsetninger ble gjort som beskrevet i kapittel 3. TABELL 5 gir de beregnede verdiene for laster.

TABELL 5: Beregnet verdier for laster.

Permanente laster		
Egenvekt	Beregnet i Robot	
Forspenning	150 kN pr spennkabel	
Variable laster		
Nyttelast, Gulv	-2	kN/m^2
Nyttelast, tak	-0,4	kN/m^2
Nyttelaster, yttervegg	-0,1	kN/m^2
Snølaster	-1,4	kN/m^2
Vind inn fra langsiden av bygget		
Vind, tak	0,49	kN/m^2
Vind, kortside	0,64/-0,64	kN/m^2
Vind, langside, D	0,55	kN/m^2
Vind, langside, E	0,36	kN/m^2
Vind inn fra kortsiden av bygget		
Vind, tak	0,29	kN/m^2
Vind, langside	-0,79/0,79	kN/m^2
Vind, kortside, D	0,36	kN/m^2
Vind, kortside, E	0,22	kN/m^2

Ved vindbelastning er det brukt de dimensjonene som gjelder for Palisaden og ikke modellen brukt i Robot. Dimensjonene er oppført i TABELL 2.

Lastene har blitt påført som en flatelast på de respektive CLT-elementene disse virker på. Deretter er det lagd lastkombinasjoner slik som beskrevet i kapittel 3.4. Lastkombinasjonene benyttet i denne oppgaven er vist i TABELL 6.

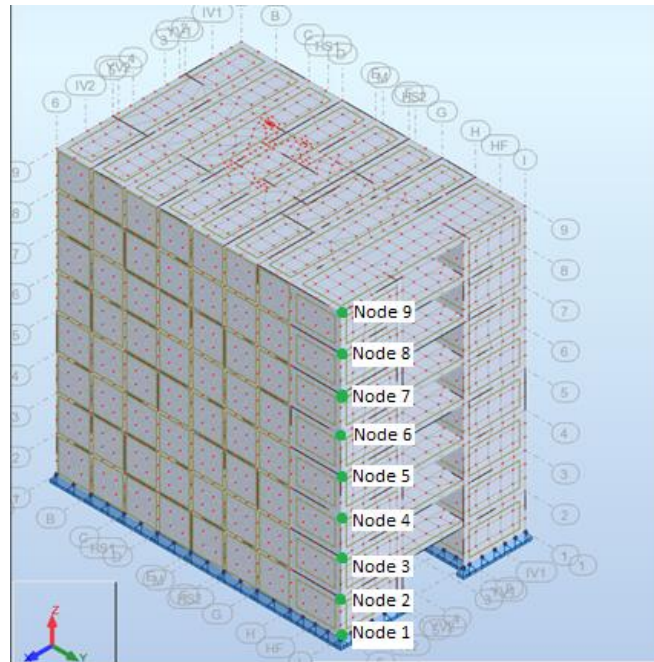
TABELL 6: Lastkombinasjoner

Navn	Lastfaktor 1,5 · 0,5	Dimensjonerende variabel last	Lastfaktor 1,5 · 0,3	Annen variabel last
KOMB 1	0,75	Nyttelast	0,45	Snølast + Vind inn fra langside
KOMB 2	0,75	Snølast	0,45	Nyttelast + Vind inn fra langside
KOMB 3	0,75	Vind inn fra langside	0,45	Nyttelast + Snølast
KOMB 4	0,75	Nyttelast	0,45	Nyttelast + Vind inn fra kortsida
KOMB 5	0,75	Snølast	0,45	Nyttelast + Vind inn fra kortsida
KOMB 6	0,75	Vind inn fra kortsida	0,45	Nyttelast + Snølast

Forspenningen er lagt til som en permanent last. Lastkombinasjonene er kalkulert etter kapittel 3.4.

5.4.3 MODALANALYSE

Før modalanalysen ble kjørt måtte det vurderes hvilke lastsituasjoner som skulle benyttes i den modale massen i tillegg til egenvekten. For modellen uten forspenning ble egenvekt og nyttelast konvertert til modale masser, mens for modellen med forspenning ble egenvekt, nyttelast og forspenningslaster konvertert til modale masser. De modale massene legges inn etter formel 26 slik som forklart etter formel 30, og nyttelasten inkluderes som øvrige variabel last, ettersom vind vil være dimensjonerende ut fra beregningene. Derfor inkluderes 30% av nyttelasten som modal masse, og etter formel 29 inkluderes hele egenvekten og hele forspenningslasten. Snølasten er sett bort fra i den modale analysen.

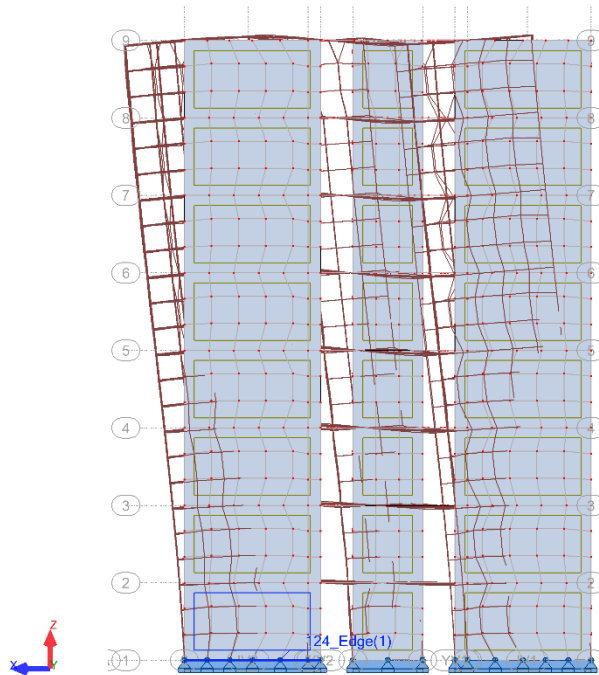


FIGUR 12: Nodene brukt ved beregning.

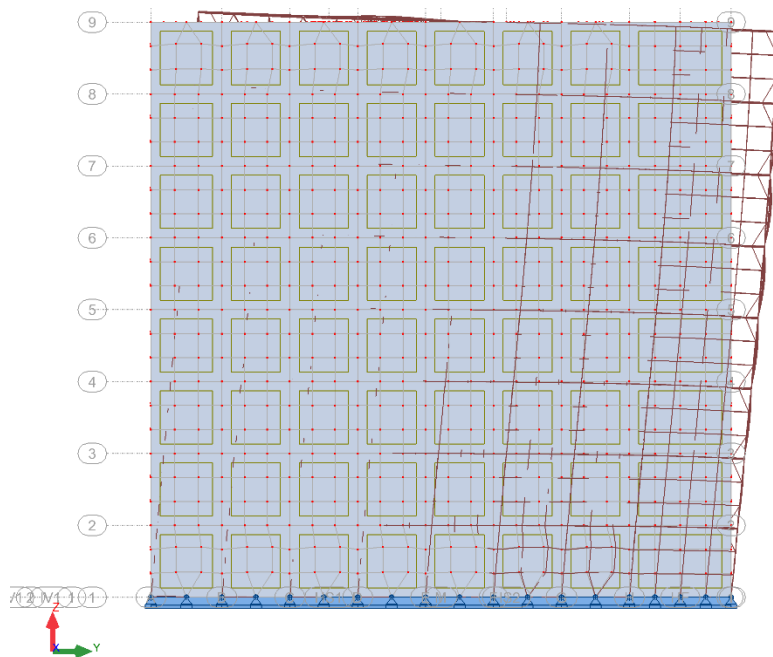
Modalanalysen utføres i Robot, og derfra hentes koordinatene til nodene som ses på, visualisert i FIGUR 12. Modalanalysen gir følgende verdier:

- Egenfrekvens
- Periode
- Relativ masse I x-, y- og z-retning
- Gjeldende nåværende masse i x-, y- og z-retning
- Total masse i x-, y- og z-retning
- Modal masse i x-, y- og z-retning
- Eigenverdiene i x-, y- og z-retning

Dette utføres for svingeformene som viser reaksjonen for de respektive kreftene påført; vind inn mot kortsiden, og vind inn mot langsiden. Disse svingeformene er vist i FIGUR 13 og FIGUR 14.



FIGUR 13: Svingeform ved vind inn fra langsiden.



FIGUR 14: Svingeform ved vind inn fra kortsiden.

Deretter benyttes formelverket beskrevet i kapittel 3.3.4 til å beregne toppakselerasjonen. Dette gir byggets utnyttelsesgrad i forhold til ISO 10137:2007.

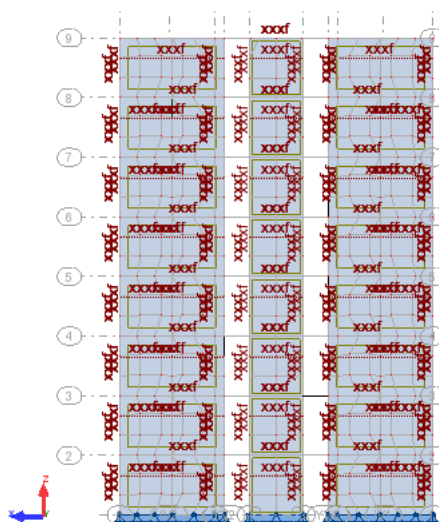
5.5 MODELLERING

5.5.1 MOMENTFRIGJØRINGER

Det er leddet forbindelse mellom elementene og mellom fundamentet og veggene. Leddede forbindelser er karakterisert for forbindelser uten moment overføring eller fri rotasjon. Denne antagelsen er gjort på bakgrunn av vanlige forbindelser i trekonstruksjoner. Bell (2017) skriver blant annet om at forbindelser i massivtre vil oftest overføre krefter i kraftretningen, og det vil dermed være små momentarmer. Derfor er det normalt å modellere disse forbindelsene som momentfrie ledd (Bell, 2017).

For å få samme effekten mellom elementene utføres lineære frigjøringer mellom elementene. Dette er vist i FIGUR 15. Elementene frigjøres for momentoverføringer seg imellom, men aksiale krefter overføres.

Spennarmeringen er lagt inn som strekkstaver, dette betyr at stagene kun tar opp strekkrefter. De er dermed frigjort for både moment og trykkrefter. Disse må beregnes på gjennom en ikke-lineær analyse.



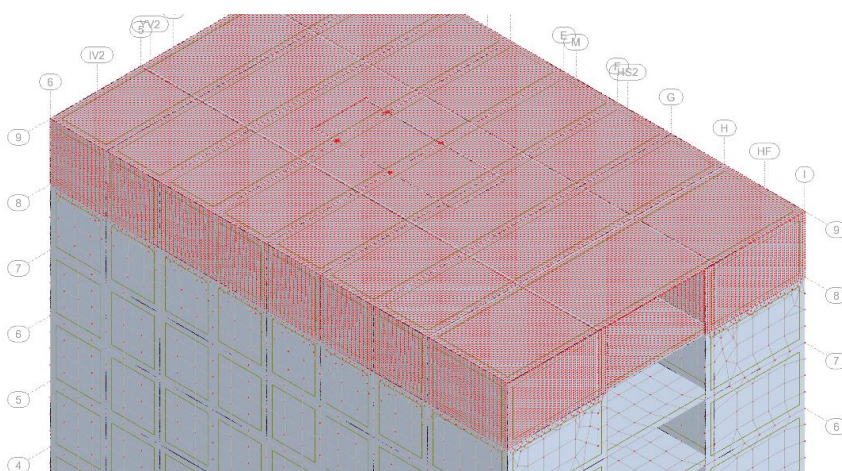
FIGUR 15: Lineære frigjøringer på kortsiden av bygget.

5.5.2 MESHING

Alle elementene er delt opp i mindre elementer gjennom meshing. Dette er for å skape noder og elementer til elementmetoden. Mindre elementer gir en mer nøyaktig utregning, men en lengre beregningstid, større elementer gir lavere beregningstid. Programmet har også en automatisk meshing som velger ulike former etter behov. Den er stilt inn på å bruke Coons metode, som fordeler 3D-flater over firkantete og trekantete overflater med samme antallet oppdelinger på begge kanter av den valgte overflaten. Det er denne metoden som har vist seg å være mest gunstig å bruke i forbindelse med modellen.

Programmet er satt til å prioritere å lage firkanter i rektangulære konturer. I modellen uten forspenning er denne veldig tydelig og symmetrisk, men ved forspenning vil meshen bli mindre symmetrisk, og kan også være med på å forårsake noen advarsler ved beregning. Dette vil til en viss grad påvirke hvordan kreftene beveger seg i platene, og mer nøyaktige resultater vil kunne forventes ved å redusere størrelsen på elementene i meshen, og dermed få en mer symmetrisk mesh. Dette vil derimot, som nevnt tidligere, drastisk øke behovet for beregningskapasitet.

For å få nøyaktige illustrasjoner og verdier for krefter og momenter rundt forankringen av forspenningen på toppen av bygget ble det tilpasset en modell for dette formålet. Modellen ble gitt ulike elementstørrelser for ulike deler av konstruksjonen. For etasjene 1 til 7 ble det benyttet elementstørrelse på 0,8 m, og øverste etasjen og taket ble det benyttet elementstørrelse på 0,1 m. Mens for modellen som ble brukt til å finne resultater fra modalanalysen ble det benyttet elementstørrelse på 0,8 m for hele konstruksjonen. Dette er illustrert i FIGUR 16.



FIGUR 16: Illustrasjon av elementstørrelser brukt i meshingen ved statiske beregninger.

5.5.3 FORSPENNING

For å oppnå forspenning er det trukket noen stag igjennom midtre delen av veggen, som fører forspenningslasten. Modellen med forspenning er illustrert i

FIGUR 17.

Forspenningslasten ble sjekket i henhold til kapittel 3.3.2. Stålet brukt er samme typen som er mye brukt i spennarmerte betongbruer, «1860-stål», har stål kvalitet Y1860S7. Egenskapene til stålet er gitt i TABELL 7. I modellen er det ikke brukt ett spesielt stål, og hensikten med stengene i modellen er å bli påført en forspenningslast. Stålkvaliteten er brukt for å vite ca. hvor mye spennarmeringen kan belastet og gi grunnlag for intervallet til forspenningslaster brukt under analysen.

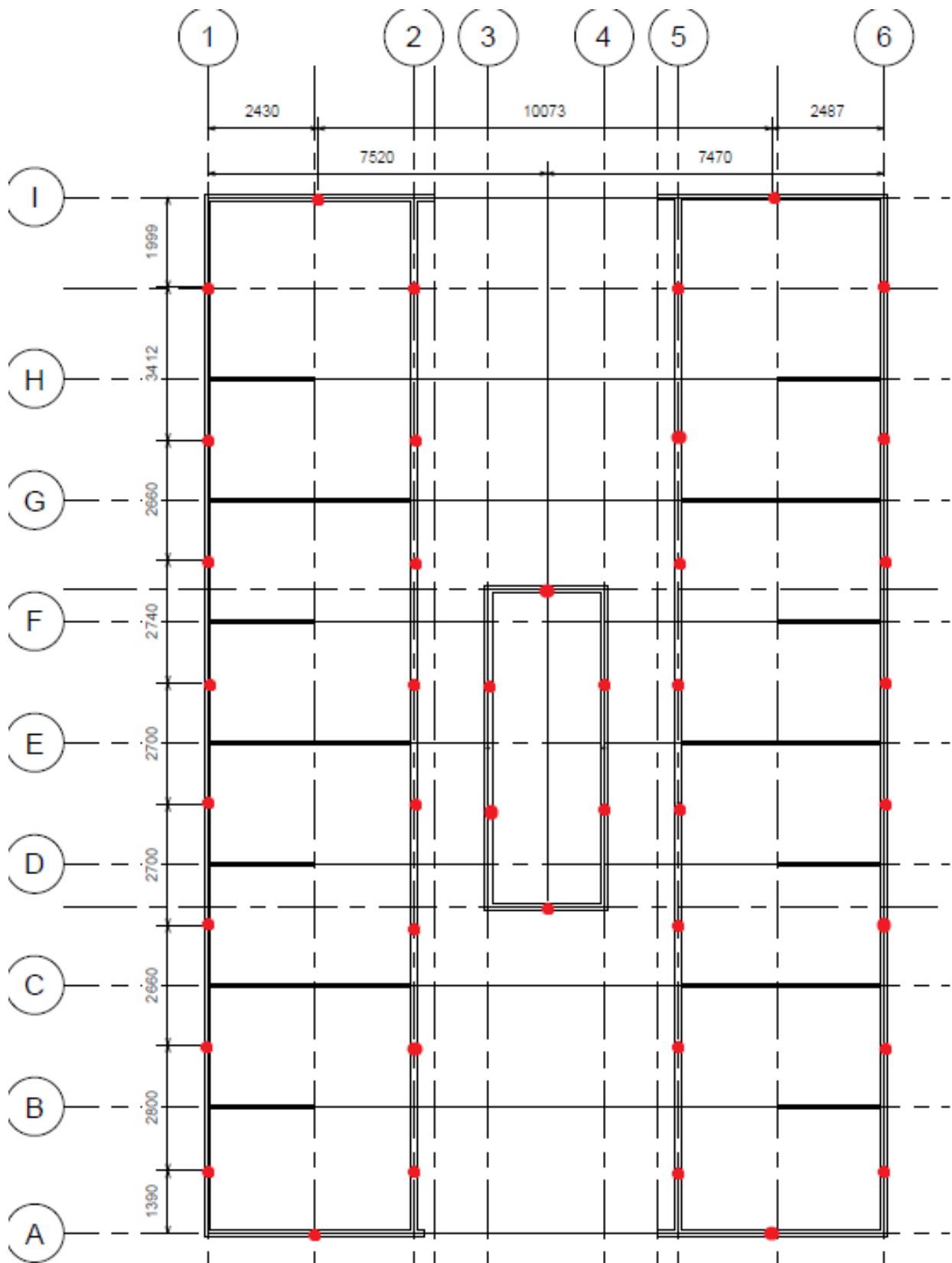
TABELL 7: Materialeegenskaper for spennarmeringen (Johansen, 2017).

Tau per kabel		12
Tverrsnittsareal på kabel	A_p	1800 mm^2
Karakteristisk strekkfasthet	f_{pk}	1860 MPa
Karakteristisk strekkfasthet 0.1%-grense	$f_{p0,1k}$	1640 MPa
Materialfaktor for ULS	γ_s	1,15
Materialfaktor SLS	γ_s	1,0
Dimensjonerende strekkfasthet	f_{pd}	1391 MPa
Elastisitetsmodul for spenntau	E_p	195000 MPa
Relaksjonsklasse		2

Ved en forspenningslast på 150 kN ble det beregnet estimert areal som er nødvendig for å klare å fordele punktlasten og hindre brudd normalt på fiberen i gulvene. Dette er vist i TABELL 8.

TABELL 8: Estimert areal for fordeling av forspenningslasten på gulv/tak.

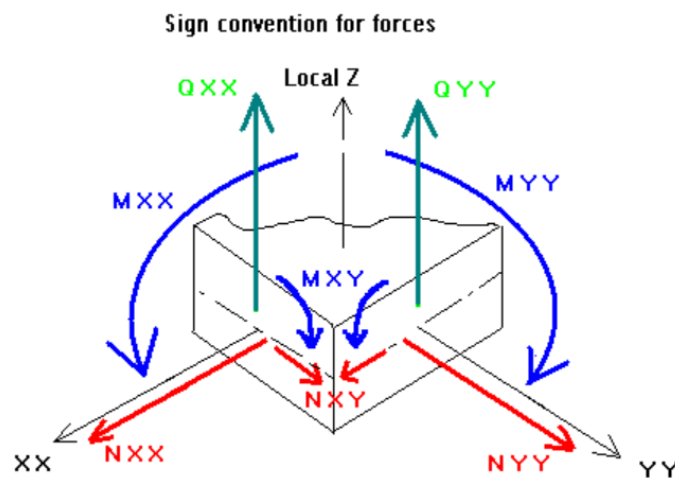
Areal	49107,143	mm^2
Lastbredde	272,817	mm



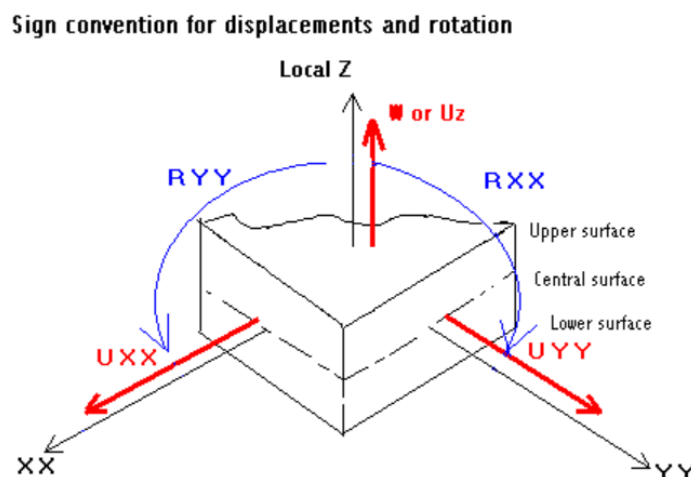
FIGUR 17: Modell med forspenning, de røde prikkene representerer hvor det er lagt stag.

6 RESULTATER

De statiske resultatene blir representert i to formater, hvor deformasjon, forskyvninger og platemomentene blir presentert i en tabell, med verdiene for de globale ekstremene. Platemomentene, skjærkrefter og deformasjonene blir presentert i figurer som er fargekodet for å vise hvor kreftene er og hvor størrelsen på disse. Deretter er gulvene i modellen sjekket opp mot kravene fra kapittel 3.5, mens det blir kontrollert for deformasjonene i x- og y-retning for veggen. I modellen er den lokale x-retningen for platene lagt i den generelle kraftretningen.



FIGUR 18: Forklaring på retningene for platemomentene og skjærkrefter (Autodesk Robot, 2015).



FIGUR 19: Forklaring på retningene for deformasjoner og rotasjoner (Autodesk Robot, 2015).

De dynamiske resultatene blir presentert i form av håndberegninger utført i henhold til kapittel 3.3.4 og av beregninger utført av Robot i henhold til kapittel 4.

6.1 RESULTATER FRA STATISK ANALYSE – TABELLER

Resultatene i dette kapittelet viser størrelsen på de globale ekstremene, deres lokasjon, og hvilken lastsituasjon den tilhører til henholdsvis reaksjonskrefter, deformasjoner og platemomenter. Det er en tydelig økning i reaksjonskrefter og platemomenter. Det er ikke en like betydelig økning i deformasjonene.

TABELL 9: Globale ekstremere, reaksjonskreftene.

	Modell uten forspenning			Modell med forspenning på 150kN		
	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
MAX [kN]	11,961	42,286	94,694	26,774	108,799	153,584
Node	X: 0,0	X: 4,56	X: 4,56	X: 6,21	X: 4,56	X: 3,54
Koordinat	Y: 23,06	Y: 9,69	Y: 0,0	Y: 14,13	Y: 9,69	Y: 0,0
[m]	Z: 0,0	Z: 0,0	Z: 0,0	Z: 0,0	Z: 0,0	Z: 0,0
Case	Komb. 4	Komb. 1	Komb. 1	Komb. 4	Komb. 1	Komb. 1
MIN [kN]	-22,431	-48,158	-5,819	-29,978	-97,496	-169,585
Node	X: 14,99	X: 4,56	X: 12,64	X: 14,99	X: 4,56	X: 4,56
Koordinat	Y: 23,06	Y: 9,57	Y: 19,02	Y: 23,06	Y: 9,57	Y: 6,87
[m]	Z: 0,0	Z: 0,0	Z: 0,0	Z: 0,0	Z: 0,0	Z: 0,0
Case	Komb. 3	Komb. 1	Komb. 3	Komb. 3	Komb. 1	Komb. 6

TABELL 10: Globale ekstremere, forskyvninger.

	Modell uten forspenning			Modell med forspenning på 150kN		
	UX	UY	UZ	UX	UY	UZ
MAX [mm]	4,81949	0,26501	0,08688	4,915	0,304	0
Node	X: 3,78	X: 10,43	X: 12,64	X: 2,21	X: 4,56	X: 0,0
Koordinat	Y: 23,06	Y: 0,10	Y: 19,02	Y: 23,06	Y: 0,10	Y: 2,12
[m]	Z: 22,88	Z: 22,88	Z: 1,43	Z: 22,88	Z: 22,88	Z: 0,0
Case	Komb. 3	Komb. 6	Komb. 3	Komb. 3	Komb. 6	Komb. 1
MIN	-0,266	-0,1938	-2,0827	-0,204	-0,361	-4,916
Node	X: 6,21	X: 14,99	X: 6,45	X: 6,21	X: 12,64	X: 4,56
Koordinat	Y: 10,60	Y: 0,0	Y: 19,02	Y: 10,60	Y: 19,02	Y: 14,97
[m]	Z: 21,30	Z: 5,00	Z: 22,88	Z: 21,20	Z: 22,29	Z: 22,78
Case	Komb. 4	Komb. 1	Komb. 1	Komb. 4	Komb. 3	Komb. 1

TABELL 11: Globale ekstremer, moment i plater.

	Modell uten forspenning			Modell med forspenning på 150 kN		
	MXX	MYY	MXZ	MXX	MYY	MXZ
MAX [kNm/m]	3,809	2,618	0,507	4,923	3,704	0,695
Node	X: 6,31	X: 14,99	X: 6,21	X: 14,89	X: 14,99	X: 2,61
Koordinat	Y: 7,07	Y: 5,52	Y: 7,07	Y: 1,42	Y: 19,02	Y: 0,0
[m]	Z: 20,02	Z: 2,86	Z: 20,02	Z: 22,88	Z: 2,86	Z: 22,88
Case	Komb. 3	Komb. 1	Komb. 4	Komb. 1	Komb. 1	Komb. 1
MIN [kNm/m]	-2,859	-1,564	-0,374	-14,339	-6,726	-0,696
Node	X: 8,68	X: 6,21	X: 9,49	X: 7,50	X: 10,43	X: 12,38
Koordinat	Y: 7,07	Y: 7,17	Y: 0,0	Y: 14,13	Y: 1,41	Y: 0,0
[m]	Z: 20,02	Z: 20,02	Z: 5,72	Z: 22,88	Z: 22,88	Z: 22,88
Case	Vind inn fra langside	Komb. 3	Komb. 1	Komb. 6	Komb. 1	Komb. 4

6.2 RESULTATER FRA STATISK ANALYSE – FIGURER

Resultater for platekreftene viser at modellen med forspenning opplever betydelig høyere platekrefter i alle retninger i forhold til modell uten forspenning. Det ble observert i modellen at de største platekreftene oppstår i hjørnene av modellen.

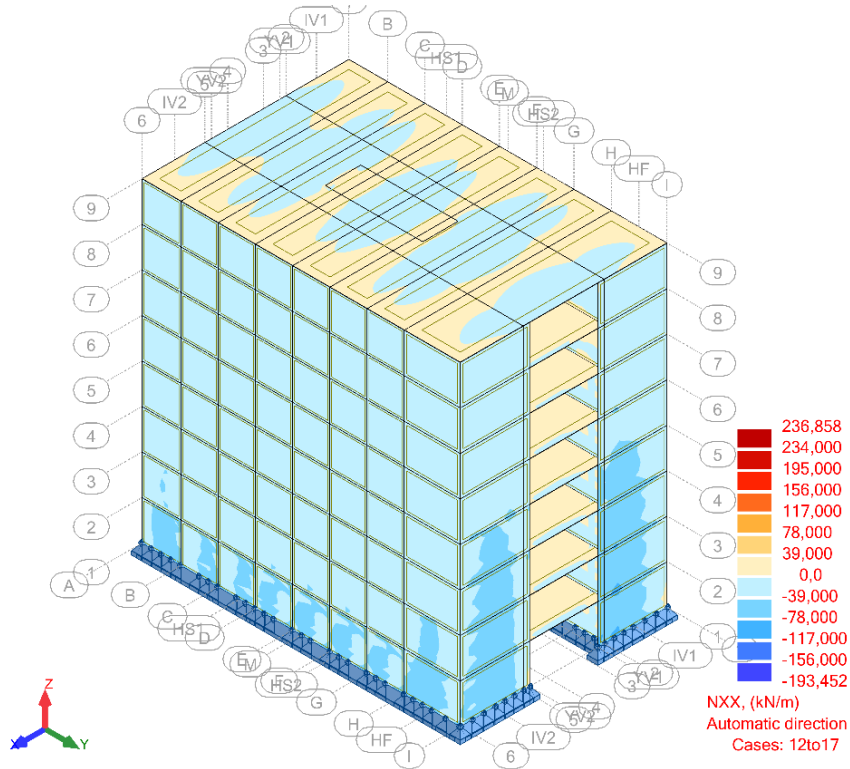
Resultatene for platemomentene viser også en økning i moment i MXX og MYY og en ubetydelig økning i MXY fra modell uten forspenning til modell med forspenning. Fra figuren kan det observeres at de største momentene oppstår ved forankringen til spennarmeringen og heissjakten på takelementet.

Resultatene for skjærkreftene viser også en betraktelig økning fra modell uten forspenning til modell med forspenning. De største kreftene observert oppstår punktvis i modellen.

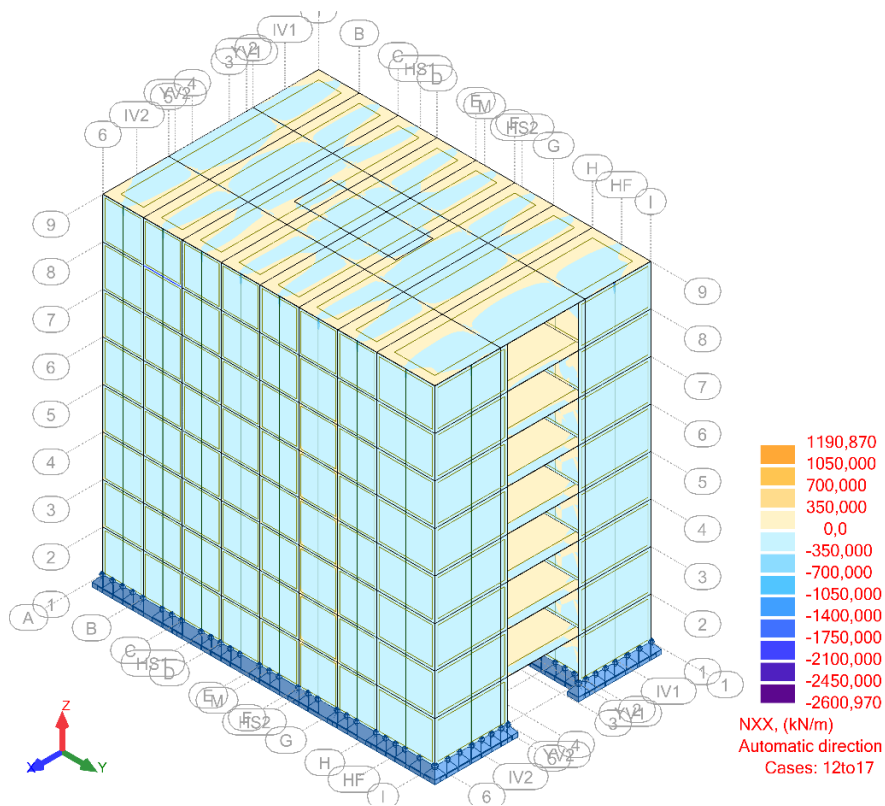
Resultatene for deformasjonene i konstruksjonen viser derimot ikke en like betraktelig økning av de største observerte deformasjonene, men en litt større spredning av deformasjoner gjennom bygget ved modell med forspenning. Lokasjonen av deformasjonen viser samme mønster med og uten forspenning.

Felles for resultatene for platekrefter, platemomenter og skjærkrefter er at de største verdiene er observert i taket eller dekkene.

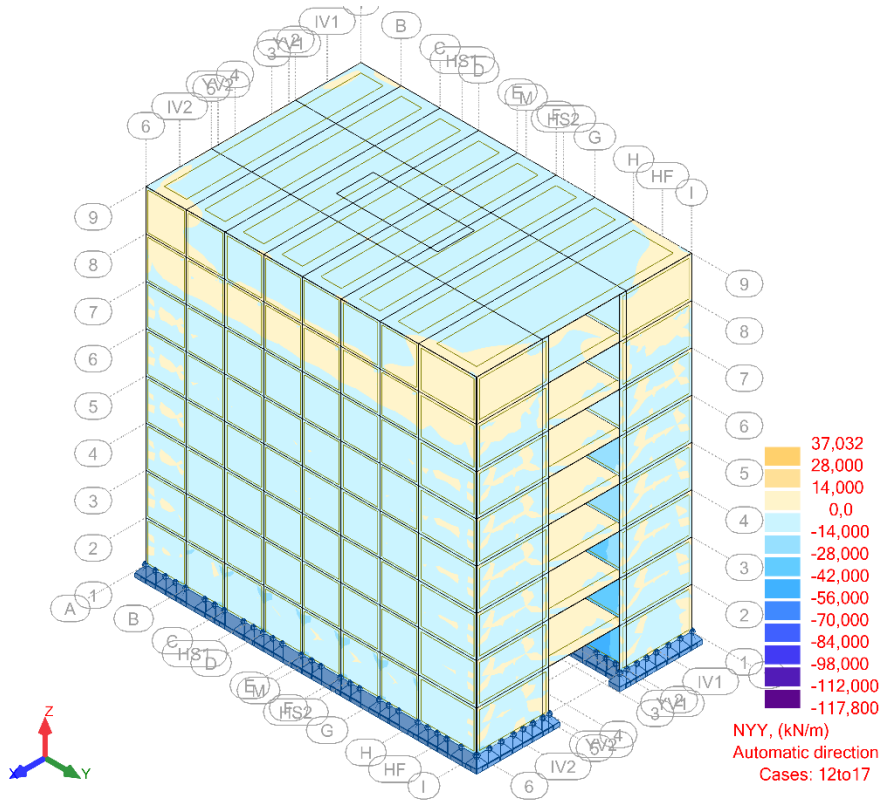
6.2.1 PLATEKREFTER



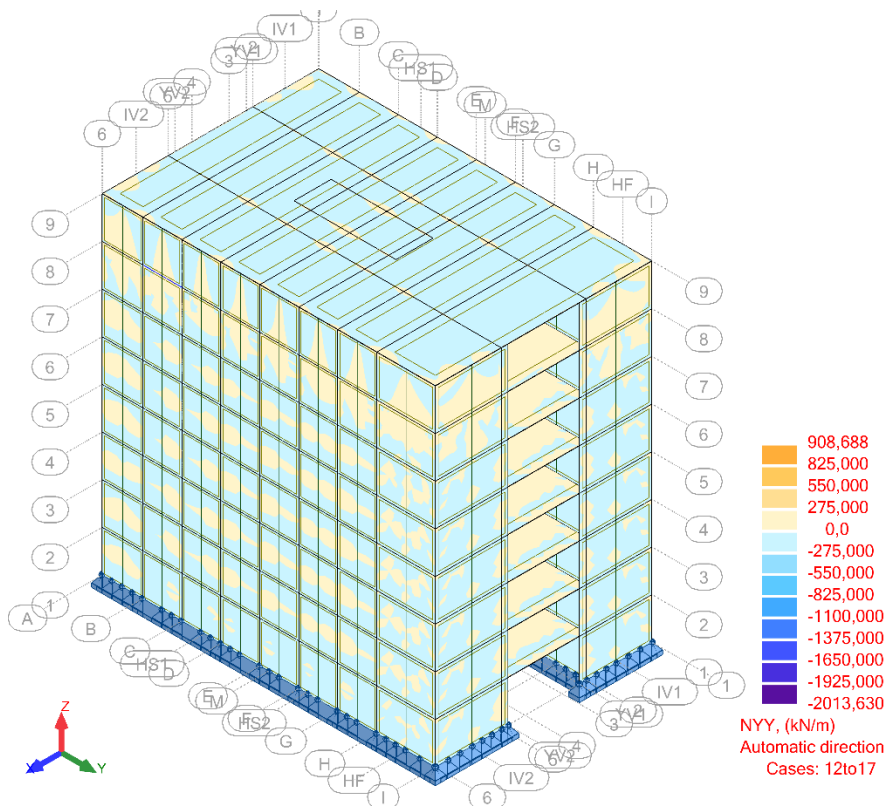
FIGUR 20: Platekrefter i x-planet i x-retning for modell uten forspenning.



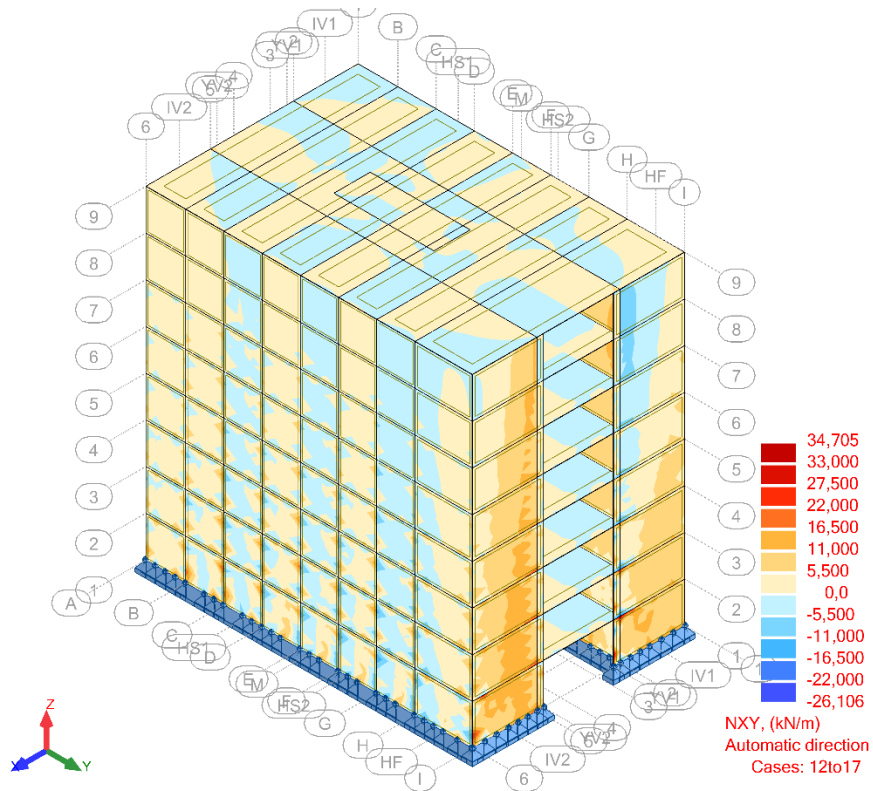
FIGUR 21: Platekrefter i x-planet i x-retning for modell med forspenning på 150 kN.



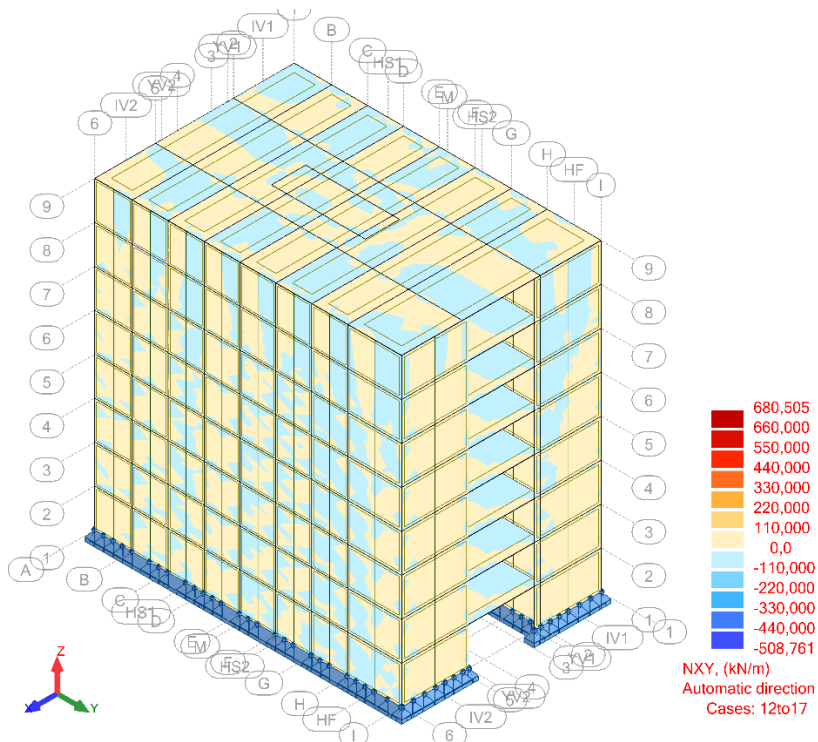
FIGUR 22: Platekrefter i y-planet i y-retning for modell uten forspenning.



FIGUR 23: Platekrefter i y-planet i y-retning for modell med forspenning på 150 kN.

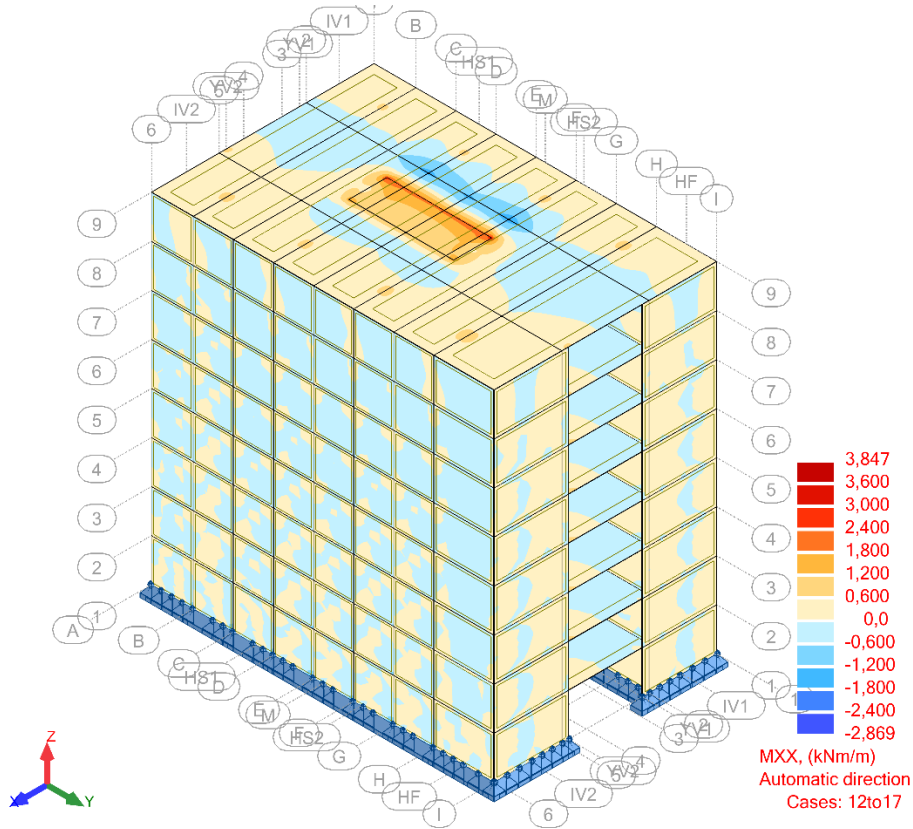


FIGUR 24: Platekrefter i x-planet i y-retning, eller i y-planet i x-retning, for modell uten forspenning.

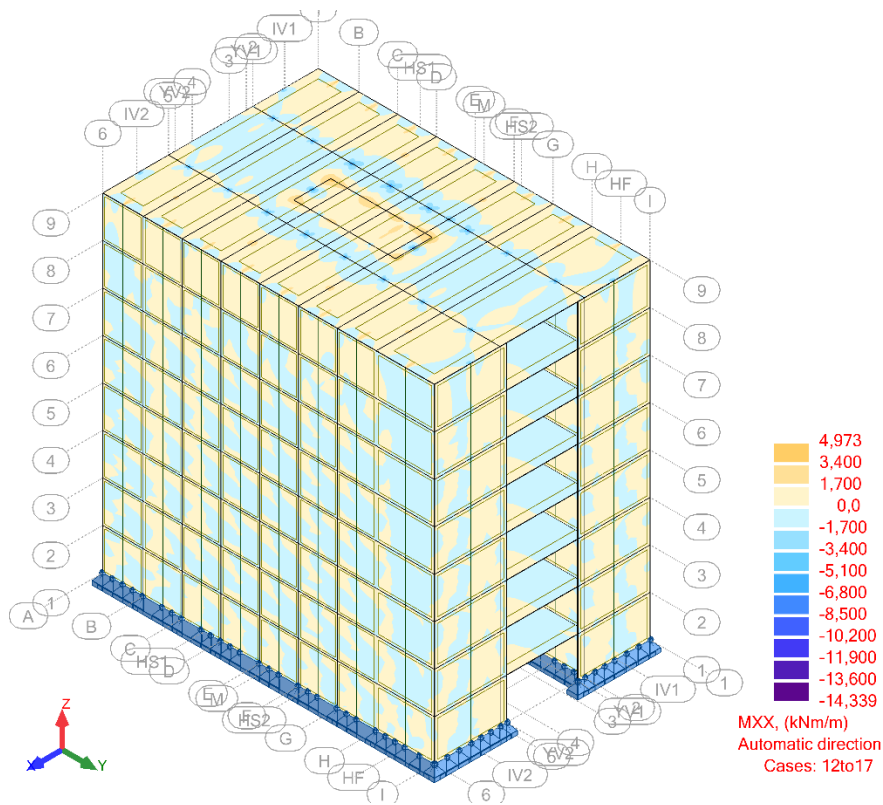


FIGUR 25: Platekrefter i x-planet i y-retning, eller i y-planet i x-retning, for modell med forspenning på 150 kN.

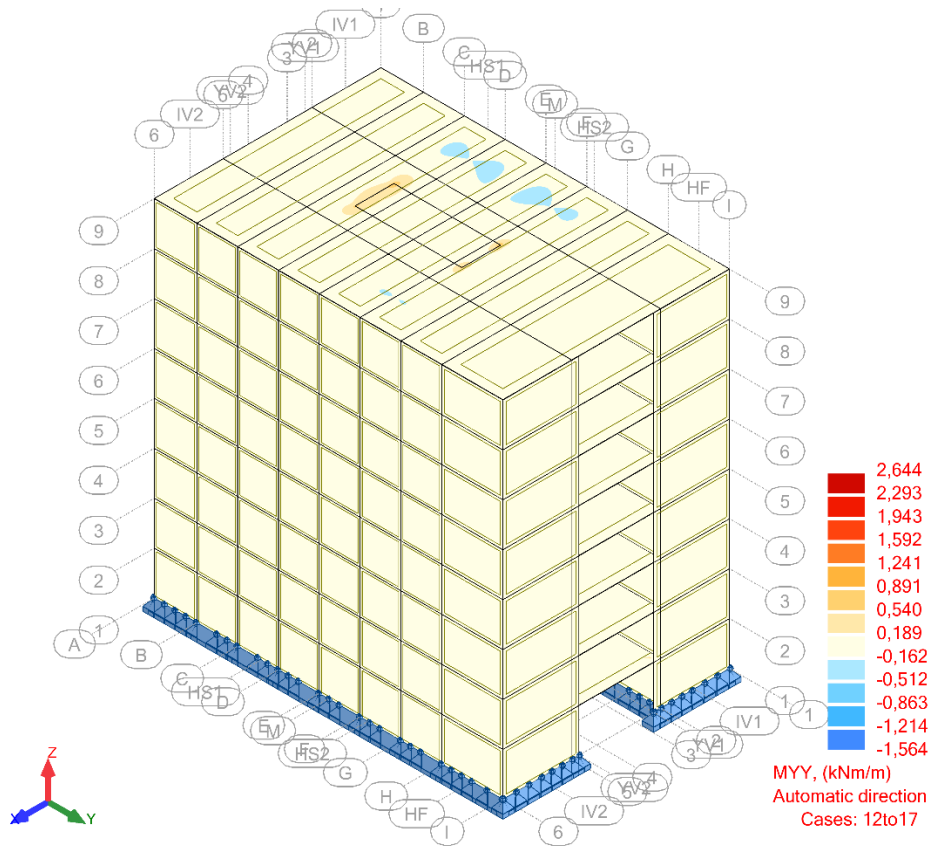
6.2.2 PLATEMOMENTER



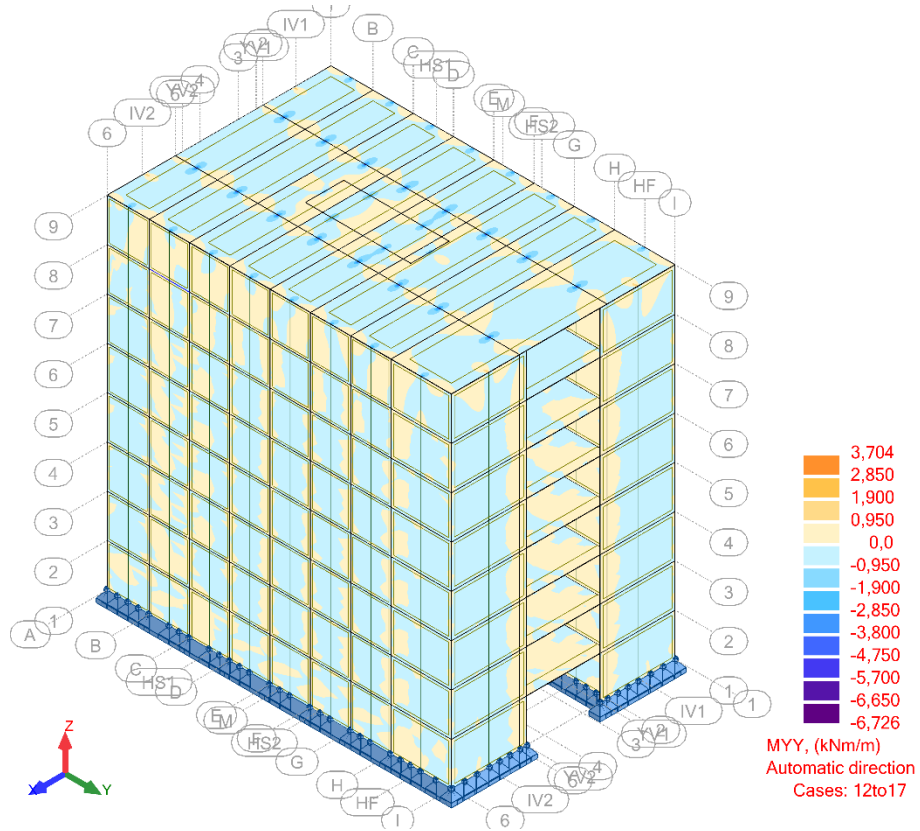
FIGUR 26: Moment om y-planet for modell uten forspenning.



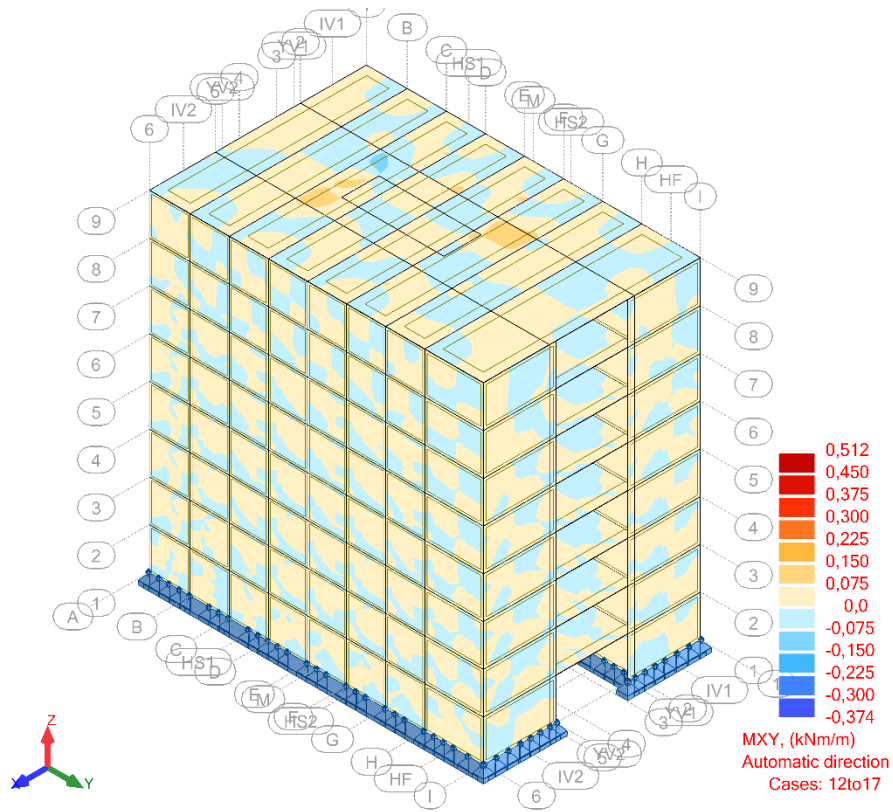
FIGUR 27: Moment om y-planet for modell med forspenning på 150 kN.



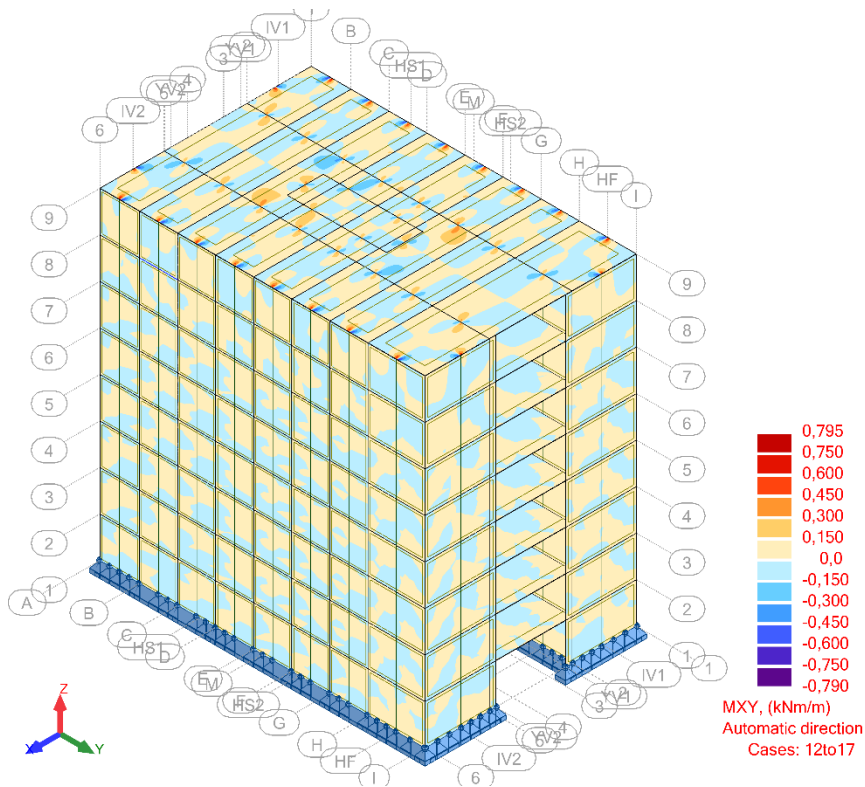
FIGUR 28: Moment om x-planet for modell uten forspenning.



FIGUR 29: Moment om x-planet for modell med forspenning på 150 kN.

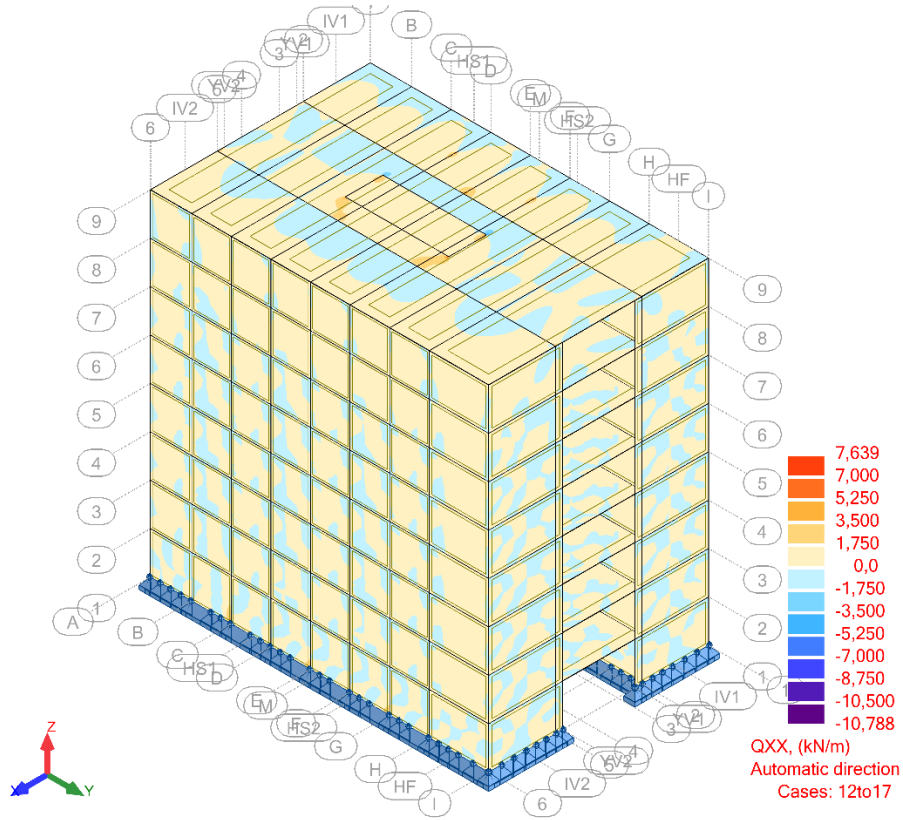


FIGUR 30: Momenter i x- og y-planet for modell uten forspenning.

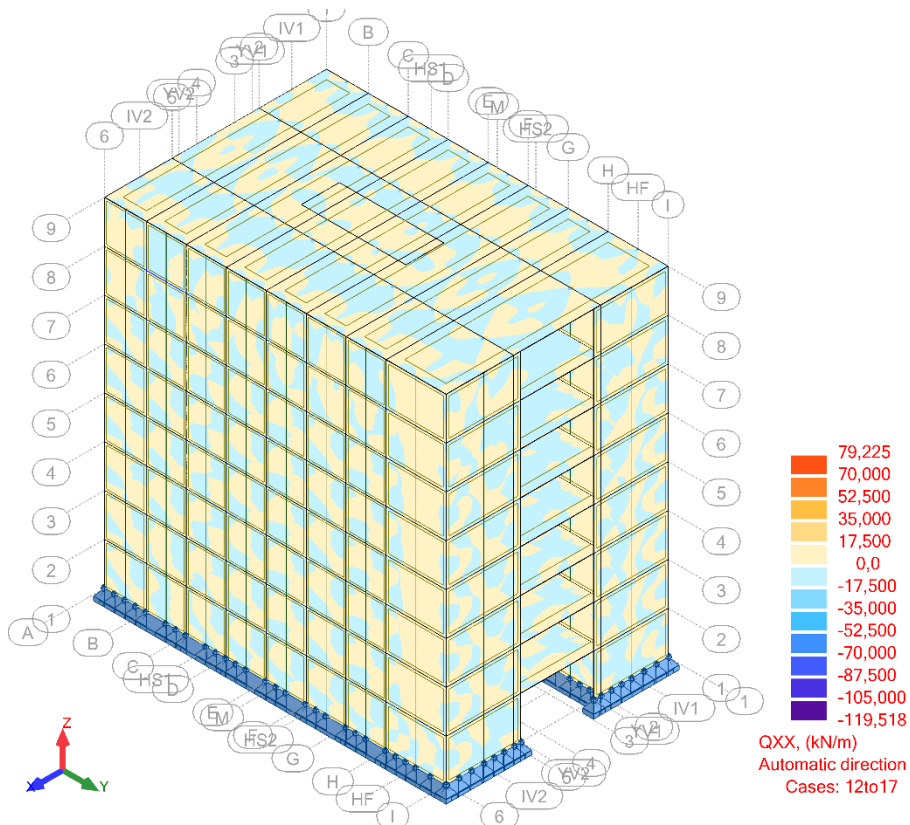


FIGUR 31: Momenter i x- og y-planet for modell med forspenning på 150 kN.

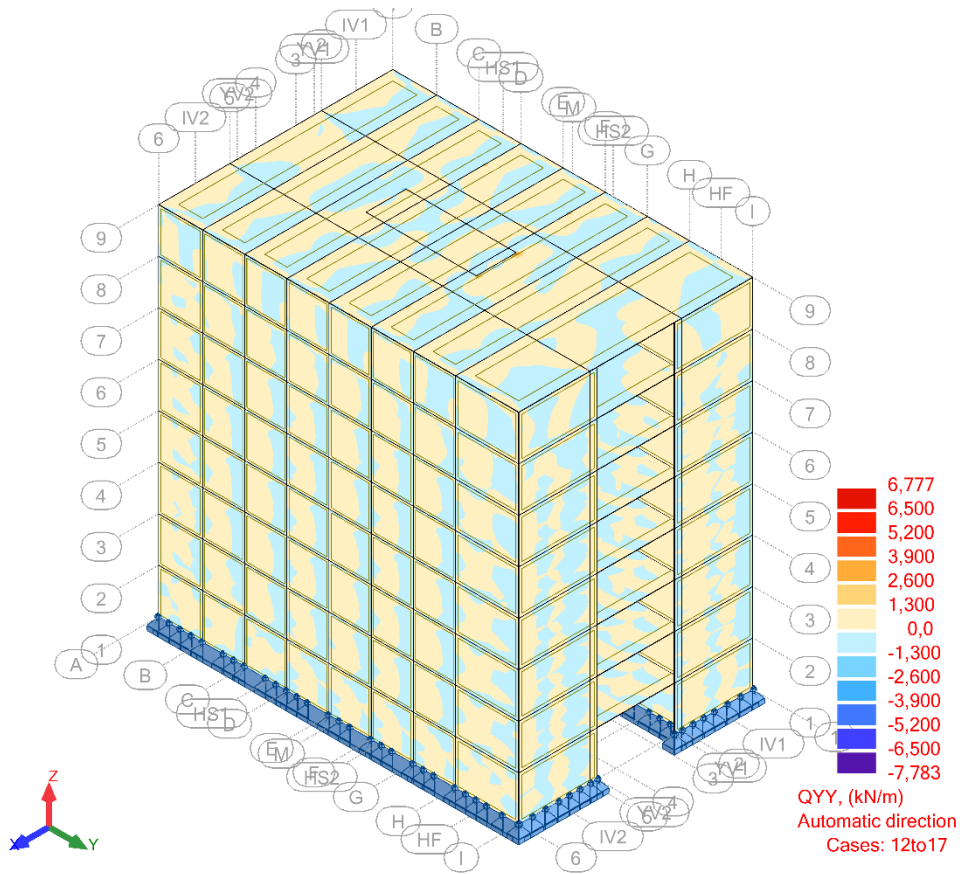
6.2.3 SKJÆRKREFTER



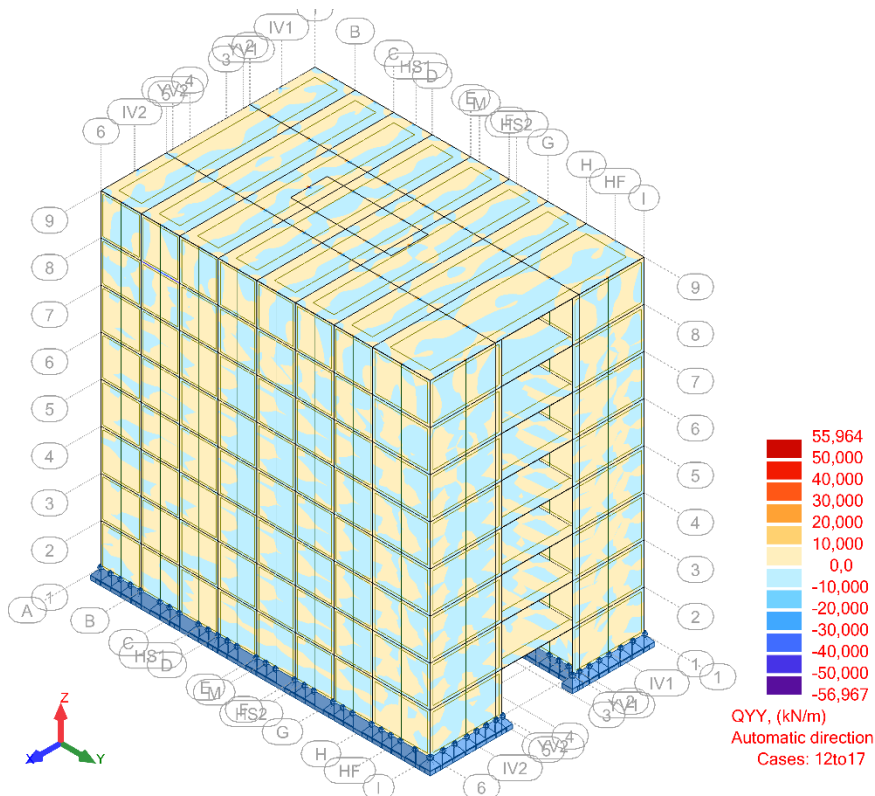
FIGUR 32: Skjærkrefter i x-planet for modell uten forspenning.



FIGUR 33: Skjærkrefter i x-planet for modell med forspenning på 150 kN.

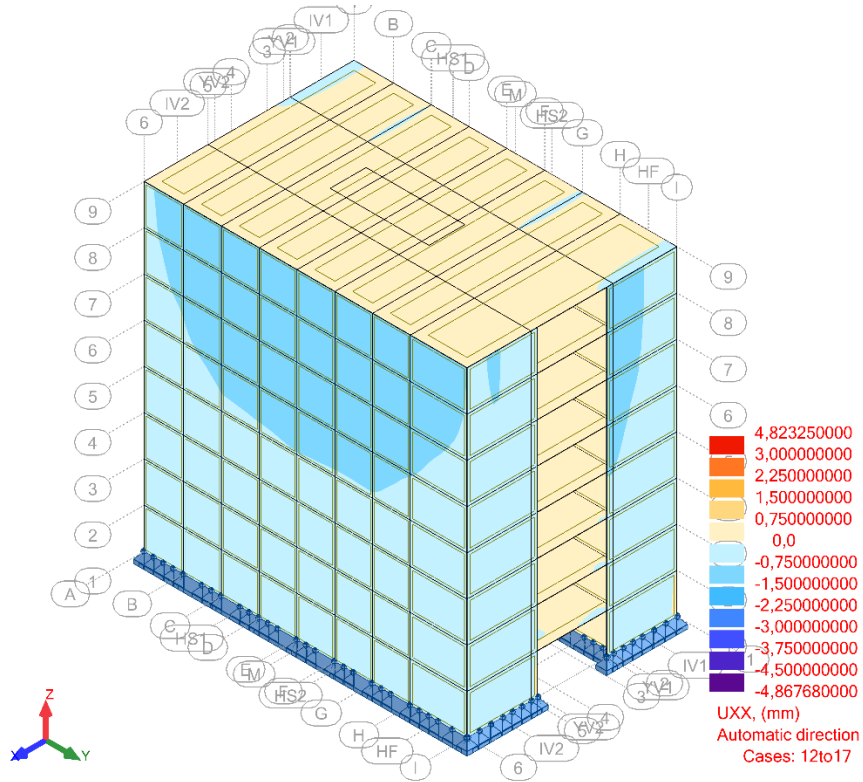


FIGUR 34: Skjærkrefter i y-planet for modell uten forspenning.

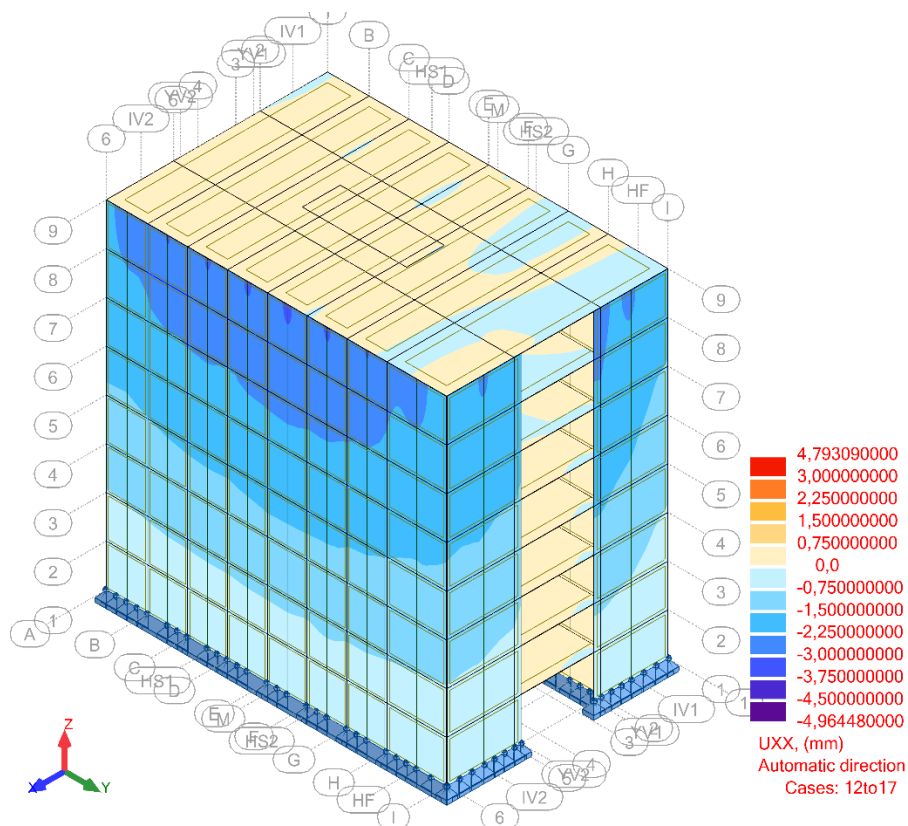


FIGUR 35: Skjærkrefter i y-planet for modell med forspenning på 150 kN.

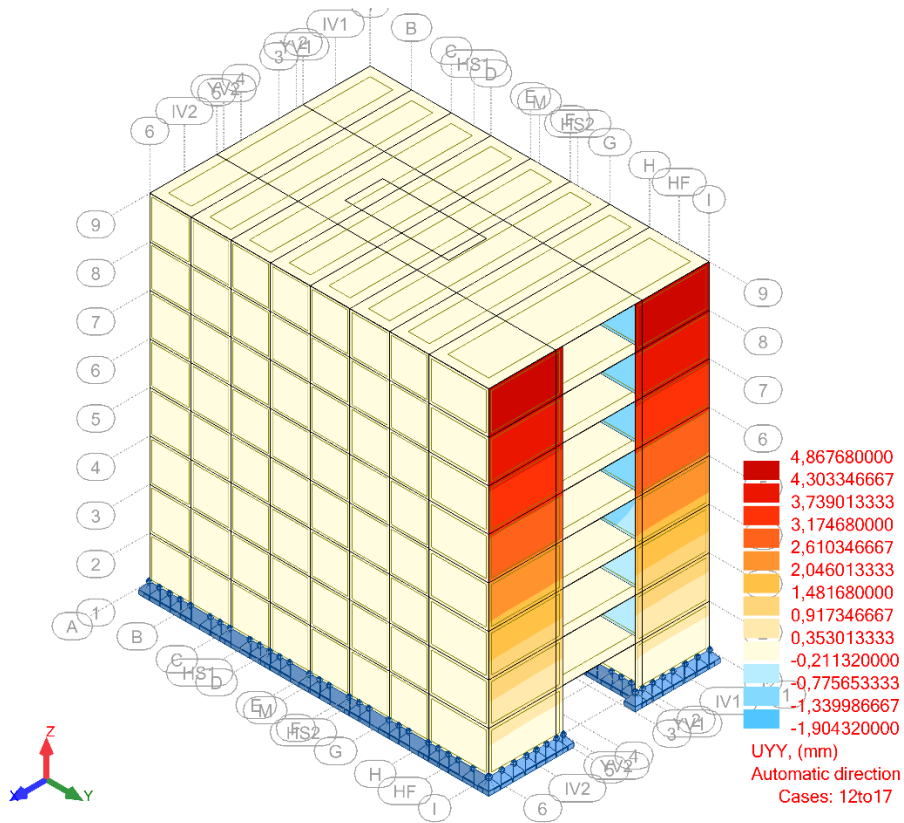
6.2.4 DEFORMASJONER



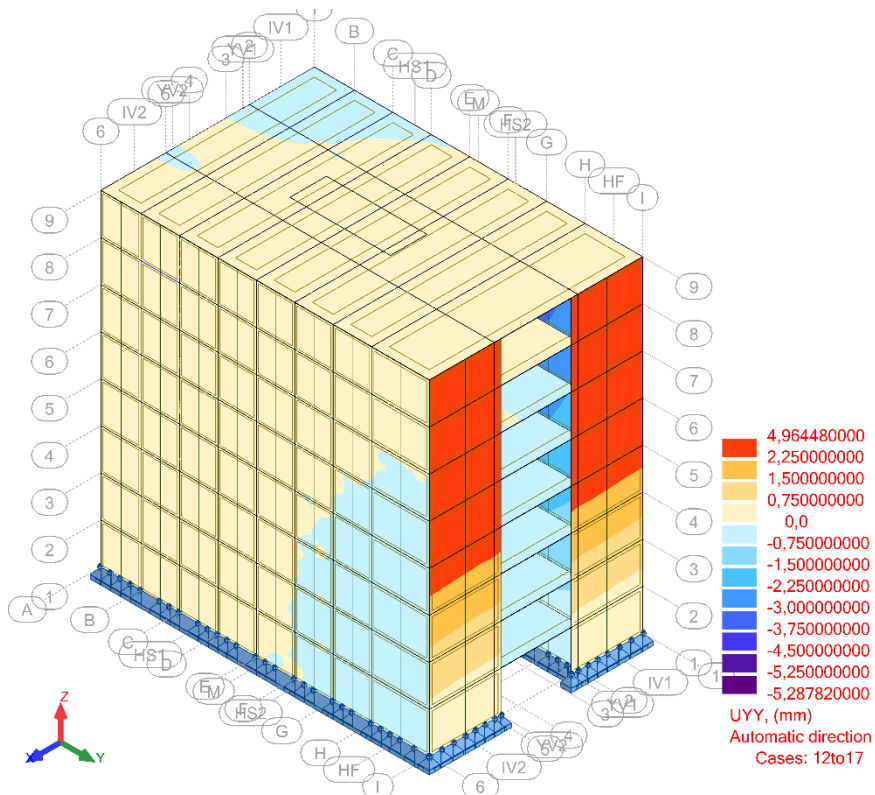
FIGUR 36: Deformasjoner i x-retning for modell uten forspenning.



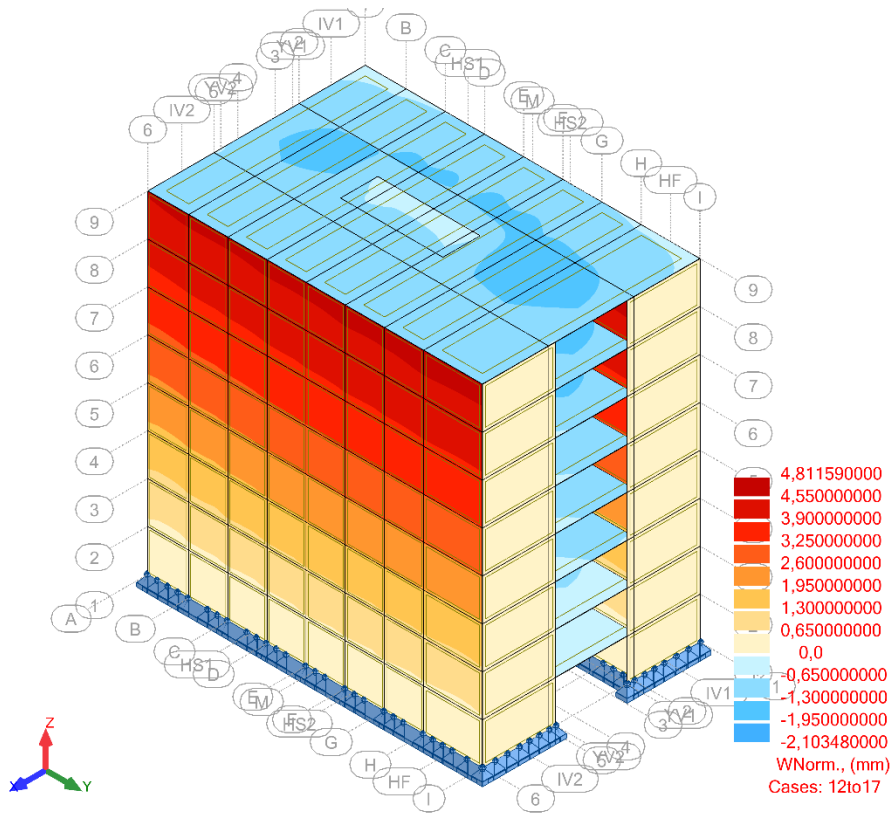
FIGUR 37: Deformasjoner i x-retning for modell med forspenning på 150 kN.



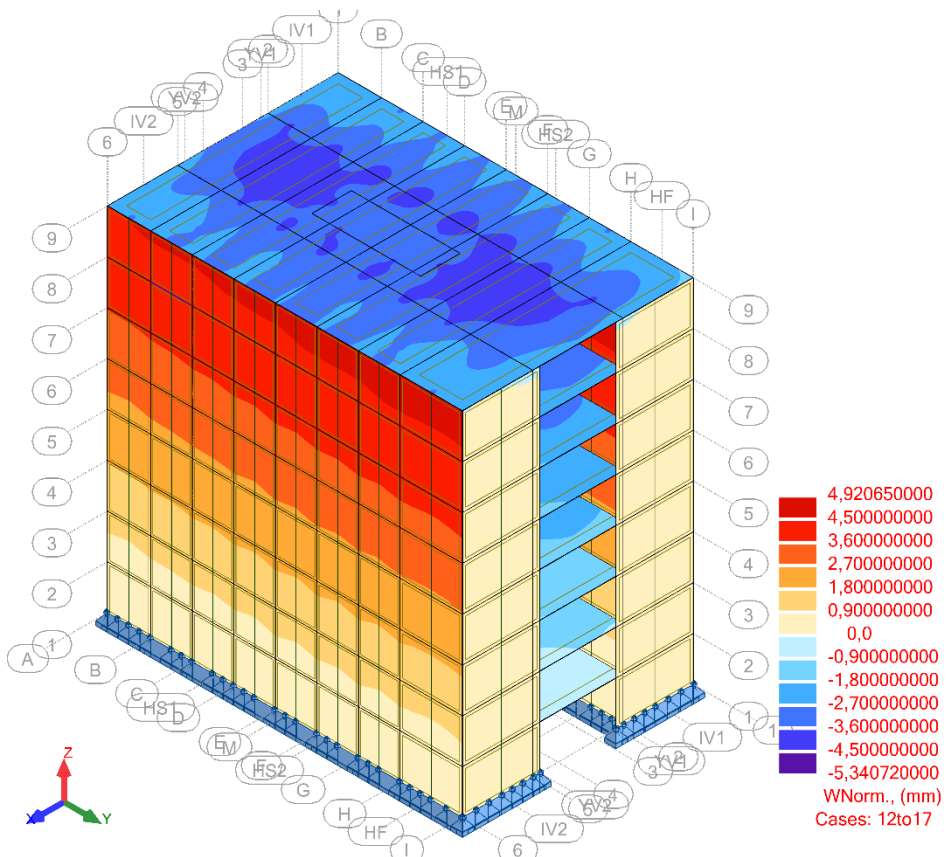
FIGUR 38: Deformasjoner i y-retning for modell uten forspenning.



FIGUR 39: Deformasjon i y-retning for modell med forspenning på 150 kN.



FIGUR 40: Deformasjon i z-retning for modell uten forspenning.



FIGUR 41: Deformasjon i z-retning for modell med forspenning.

6.3 RESULTATER FRA BEREGNINGER AV KRAV

Det ble kun beregnet krav for dekkene, i veggene er platekreftene og platedeformasjonene små, og det ville ikke gjort stort utslag på knekking og skjær. Det er dermed valgt å ikke utføre kontroller for veggene.

TABELL 12: Verifisering av platespenninger nedbøyning for gulvelementer i modell uten forspenning.

	Verdi	Krav	Utnyttelse
σ_{MXX} [N/mm^2]	0,12	19,01	1,48 %
σ_{MYX} [N/mm^2]	2,30	19,01	18,10 %
τ_{QXX} [N/mm^2]	0,17	2,88	8,95 %
τ_{QYY} [N/mm^2]	0,16	2,88	8,17 %
w_z [mm]	4,80	60,52	7,93 %
σ_{FZ} [N/mm^2]	0,53	2,80	18,85 %

TABELL 13: Verifisering av platespenninger nedbøyning for gulvelementer i modell med forspenning på 150 kN.

	Verdi	Krav	Utnyttelse
σ_{MXX} [N/mm^2]	3,36	19,01	26,52 %
σ_{MYX} [N/mm^2]	4,24	19,01	33,42 %
τ_{QXX} [N/mm^2]	0,97	2,88	50,46 %
τ_{QYY} [N/mm^2]	1,12	2,88	58,21 %
w_z [mm]	4,90	60,52	8,10 %
σ_{FZ} [N/mm^2]	1,283	2,80	45,83 %

6.4 RESULTATER FRA DYNAMISKE BEREGNINGER

Resultatene fra de dynamiske beregningene viser en tydelig reduksjon av egenfrekvens, og akselerasjon fra modell uten forspenning til modell med forspenning på 150 kN. Det er produsert to grafer som illustrerer en god sammenheng mellom økt forspenningslast og reduksjon i akselerasjon.

6.4.1 UTEN FORSPENNING

TABELL 14: Egenfrekvensen for modell uten forspenning.

	Vind inn fra kortsiden	Vind inn fra langsiden
Egenfrekvens [Hz]	2,720	5,396

TABELL 15: Resultater fra modalanalyse for modell uten forspenning.

	Langside		Kortside	
Etg.	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s^2]	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s^2]
1	0	0,0000	0	0,0000
2	0,088394833	0,0034	0,154254701	0,0026
3	0,206798187	0,0080	0,310266016	0,0052
4	0,344643266	0,0133	0,465682635	0,0078
5	0,490535218	0,0189	0,613048677	0,0103
6	0,635177702	0,0245	0,745413359	0,0125
7	0,771190919	0,0297	0,856691266	0,0143
8	0,893551185	0,0344	0,94192122	0,0158
9	1	0,0385	1	0,0167

TABELL 16: Utnyttelse av akselerasjon for modell uten forspenning på toppen av bygget.

	Langside	Kortside
Krav til akselerasjon for bolig [m/s^2]	0,0544	0,1079
Akselerasjon [m/s^2]	0,0385	0,0167
Utnyttelse	70,85 %	15,50 %

6.4.2 MED FORSPENNING PÅ 150 kN

TABELL 17: Egenfrekvensen for modell uten forspenning.

	Vind inn fra kortsiden	Vind inn fra langsiden
Egenfrekvens [Hz]	1,256	2,634

TABELL 18: Resultater fra modalanalyse for modell med forspenning.

	Langside		Kortside	
Etg.	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s^2]	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s^2]
1	0	0,0000	0	0,0000
2	0,067324746	0,0013	0,111048818	0,0009
3	0,162275028	0,0033	0,228752167	0,0020
4	0,279653425	0,0056	0,354265884	0,0030
5	0,412760519	0,0083	0,484679245	0,0041
6	0,556213081	0,0111	0,617181279	0,0053
7	0,705244693	0,0141	0,74902204	0,0064
8	0,855323089	0,0171	0,877559685	0,0075
9	1	0,0200	1	0,0085

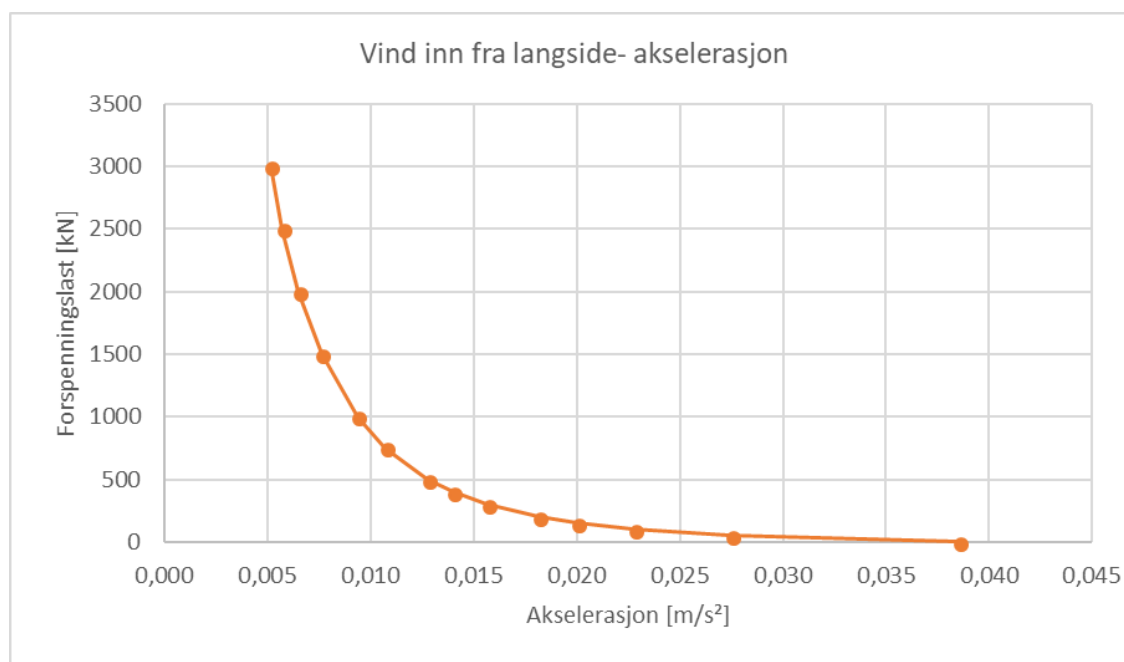
TABELL 19: Utnyttelse av akselerasjon for modell med forspenning på toppen av bygget.

	Langside	Kortside
Krav til akselerasjon for bolig [m/s^2]	0,0400	0,0527
Akselerasjon [m/s^2]	0,0200	0,0085
Utnyttelse	50,10 %	16,22 %

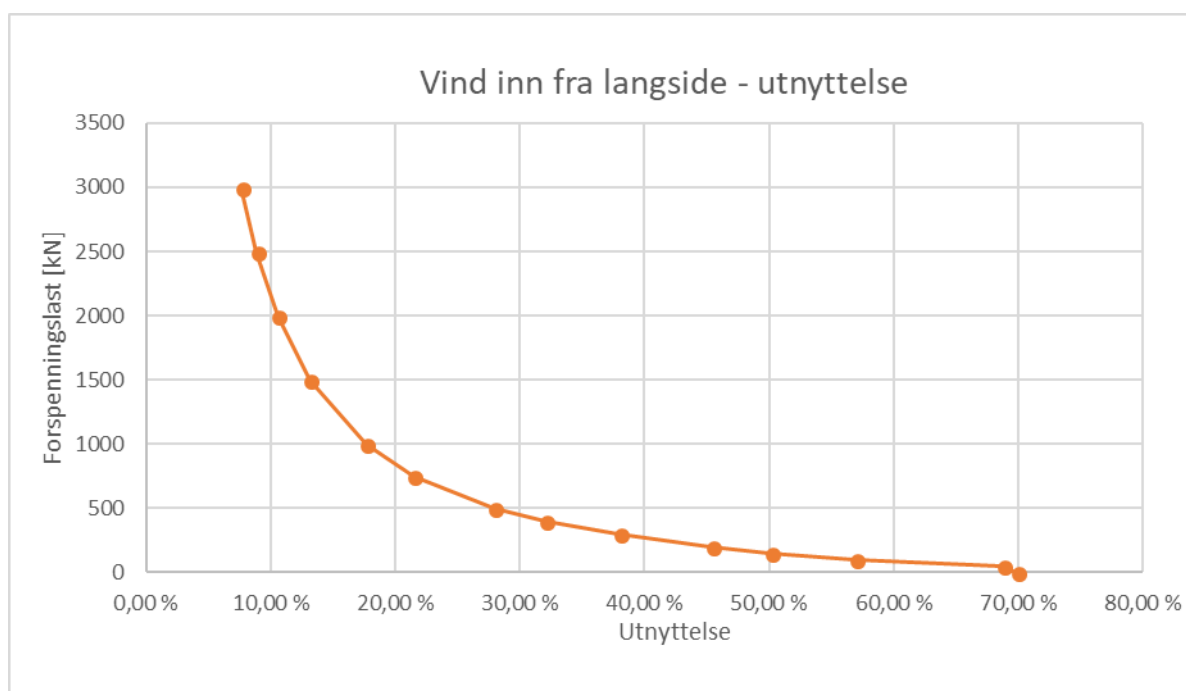
6.4.3 EFFEKTER AV ULIKE FORSPENNINGSLASTER

TABELL 20: Toppakselerasjon og utnyttelse ved ulike forspenningslaster for analyse av vind inn fra langsiden.

Forspenningsslast [kN]	Akselerasjon [m/s^2]	Krav [m/s^2]	Utnyttelse
3000	0,0051	0,067	7,61 %
2500	0,0057	0,065	8,84 %
2000	0,0065	0,062	10,55 %
1500	0,0076	0,058	13,15 %
1000	0,0093	0,053	17,64 %
750	0,0107	0,050	21,47 %
500	0,0128	0,046	27,92 %
400	0,0140	0,044	32,04 %
300	0,0157	0,041	37,99 %
200	0,0182	0,040	45,41 %
150	0,0200	0,040	50,10 %
100	0,0228	0,040	56,96 %
50	0,0275	0,040	68,72 %
0	0,0385	0,055	69,87 %



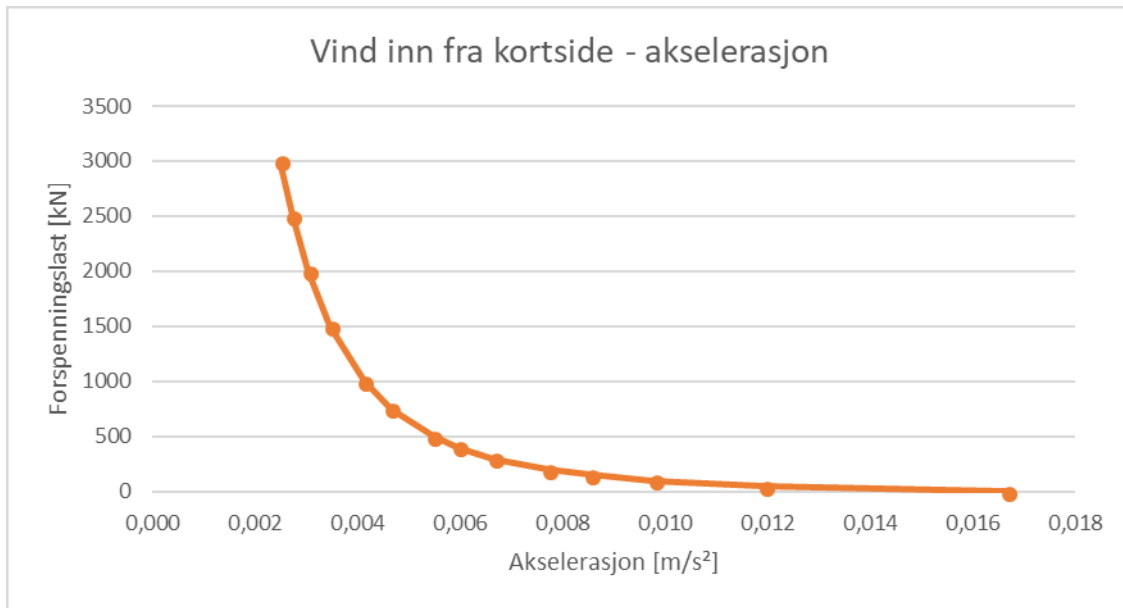
FIGUR 42: Forspenningsslast mot akselerasjon for dynamisk analyse av vind inn fra langsiden.



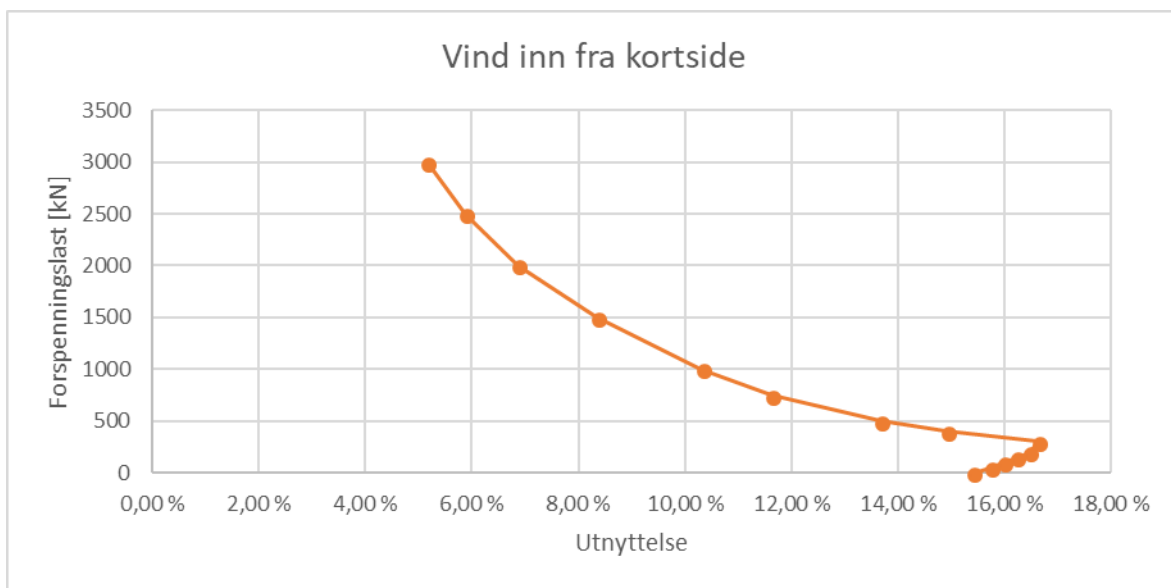
FIGUR 43: Forspeningslast mot utnyttelse for dynamisk analyse av vind inn fra langsidan.

TABELL 21: Toppakselerasjon og utnyttelse ved ulike forspeningslaster for analyse av vind inn fra kortsiden.

Forspeningslast [kN]	Akselerasjon [m/s^2]	Krav [m/s^2]	Utnyttelse
3000	0,0025	0,048	5,16 %
2500	0,0027	0,046	5,88 %
2000	0,0030	0,044	6,87 %
1500	0,0035	0,041	8,34 %
1000	0,0041	0,040	10,31 %
750	0,0046	0,040	11,62 %
500	0,0055	0,040	13,67 %
400	0,0060	0,040	14,91 %
300	0,0067	0,040	16,63 %
200	0,0077	0,047	16,46 %
150	0,0085	0,053	0,162192
100	0,0098	0,061	0,159608
50	0,0119	0,076	0,157258
0	0,0167	0,108	0,153953



FIGUR 44: Forspeningslast mot akselerasjon for dynamisk analyse av vind inn fra kortsidan.



FIGUR 45: Forspeningslast mot utnyttelse for dynamisk analyse av vind inn fra kortsidan.

7 DISKUSJON OG KONKLUSJON

7.1 DISKUSJON

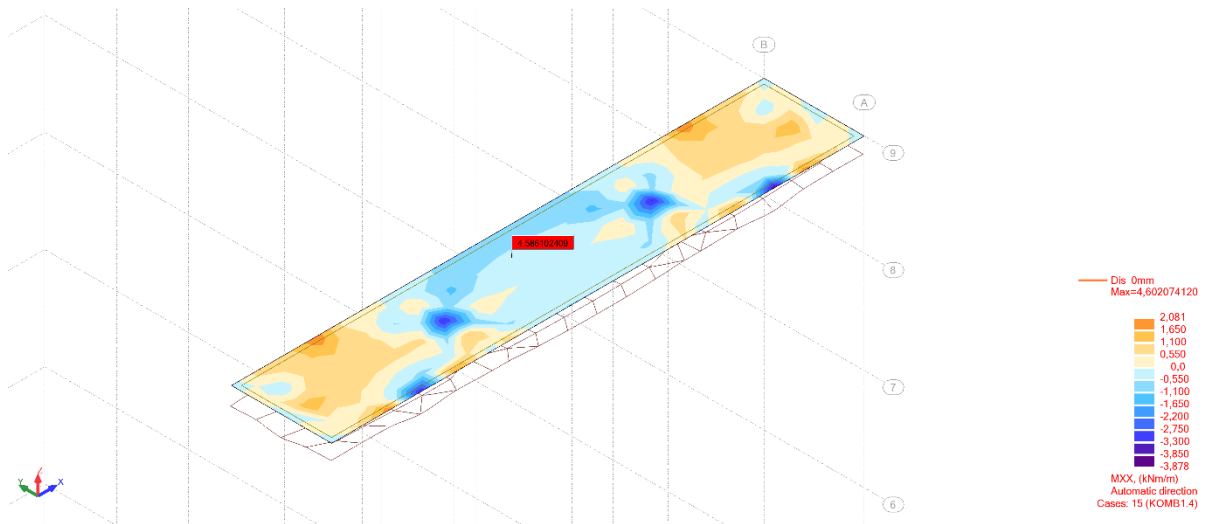
7.1.1 STATISKE BEREGNINGER

Resultatene i oppgaven viser at det blir større statiske krefter og momenter i modellen med forspenning enn i modell uten forspenning. Dette kan sees i tabellene i kapittel 6.1. TABELL 9 viser at reaksjonskreftene har økt betraktelig, og at kraften som går ut i z-retning er tilnærmet lik størrelsen på forspenningslasten. Ved øking av forspenningslasten vil det dermed forventes en økning i reaksjonskrefter. Tabellen viser også en økning i reaksjonskreftene i x- og y-retning. Disse verdiene virker noe store, og kan være et resultat av skjevstilling ved modellering. Slik som forklart i kapittel 5.5.2 er det en overgang fra fin mesh, til en større mesh. Dette vil forårsake noen skjevheter ved prosjekteringen og at krefter i større grad vil føres skjevt langs meshen som ikke er kvadratisk.

TABELL 10 viser at deformasjonene i x- og y-retning kun øker litt. Dette er små verdier og kan være ett resultat av at meshen ikke er usymmetrisk. Deformasjonene tyder på at krefter som virker i z-retning, forspenningslasten, gir utslag for deformasjoner i x- og y-retning. Dette kan indikere at lastene ikke føres i rett til fundamentet som de ideelt sett skal.

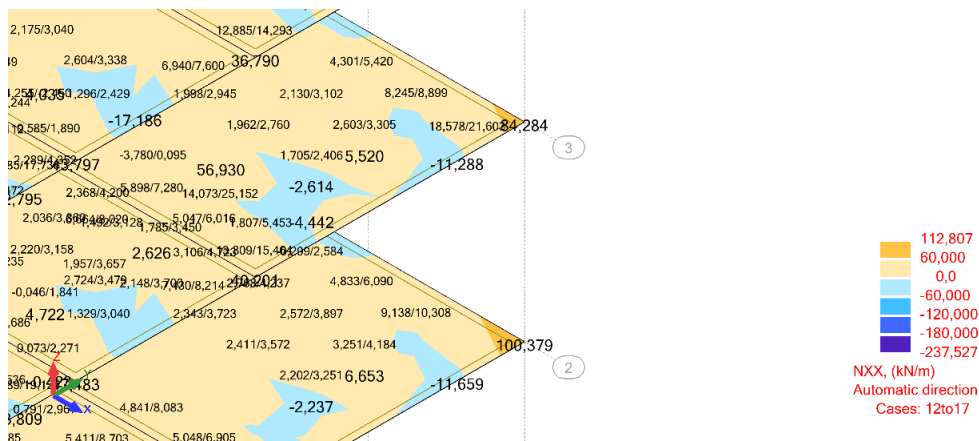
TABELL 11 viser de globale ekstremene for momentkreftene i platene, momentet øker betraktelig fra modell uten til modell med forspenning. FIGUR 26 til FIGUR 31 illustrerer disse momentene. Det vises tydelig at de største momentene oppstår rundt forankringen av forspenningen og rundt heissjakten. FIGUR 46 viser at ved forankringen oppstår det deformasjoner i platen og de ekstreme momentkreftene oppstår rundt denne forankringen. Dette kan forklares ved at spennarmeringen er forankret på toppen av taket, og det er ikke lagt inn forsterkninger som hjelper med å fordele denne kraften utover ett større areal.

For å hindre store momenter i å oppstå kan spennarmeringen forankres under takplaten, og med en forbindelse som fordele trykket utover tverrsnittet til veggen. Dette vil hindre moment i takplatene og føre kreftene fra forankringen direkte ned i fundamentet. Ettersom at eksempelbygget og modellen er et plattformbygg, vil forspenningen bli ført gjennom gulvene i form av trykk vinkelrett på fiberen, og skape momenter og skjeve overføringer av krefter.. Dette kan unngås ved å heller henge gulvene på gjennomgående vegger i bygget.



FIGUR 46: Platemoment og deformasjon i takplate ved forspenning på 150 kN.

Platekreftene som oppstår er mye større enn de observert i bygget uten forspenning. FIGUR 47 viser at disse ekstreme platekreftene for strekk oppstår i hjørnene, og rundt hjørnene er disse kreftene små. Det kan dermed diskuteres hvor sannsynlig det er at slike høye krefter oppstår på et så konsentrert område. FIGUR 20 til FIGUR 25 viser platekreftene og det er tydelig at større deler av bygget er under høyere trykkspenninger, dette bidrar med å øke den modale massen til bygget og senke akselerasjonen under vind som dynamisk last.



FIGUR 47: Illustrasjon av hvor platekreftene i gulvet oppstår.

Det oppstår som nevnt tidligere store momenter rundt heissjakten. Takplatene er gjennomgående over bredden til konstruksjonen og alle veggene vil virke som opplagere. Det blir dermed overføring av moment i platen over opplagerne. Det kunne vært en løsning ikke å ha gjennomgående plater over heissjakten, og heller dele dette opp for å hindre disse momentoverføringene.

Kapittel 6.3 gir resultatene for beregnede krav for spenninger og platedeformasjoner etter kapittel 3.5. Det er lav utnyttelse både i modellen med og uten forspenning, som forteller at bygget opplever lave spenninger og deformasjoner, og at den valgte forspenningslasten er godt innenfor. Det er regnet ut spenninger per meter av tverrsnittet. Selv om begge har lav utnyttelse viser den at spenningene øker betraktelig i modellen med forspenning.

7.1.2 DYNAMISKE BEREGNINGER

Kapittel 6.4 gir resultatene fra den dynamiske beregningen. Her gis akselerasjonen i toppetasjen. Det er vist en tydelig reduksjon i akselerasjon fra $0,0385 \text{ m/s}^2$ for modell uten forspenning til $0,0200 \text{ m/s}^2$ for modell med forspenning, ved vind inn fra langsiden. som blir brukt for å bestemme bruksgrensetilstanden for svingninger i bygget. Resultatene i TABELL 16 og TABELL 19 viser at forspenningen på 150 kN reduserer utnyttelsen fra 71 % til 50 % utnyttelse med hensyn til evalueringskurven gitt i FIGUR 4. Dette utgjør en forskjell på litt over 20 %.

Ved vind inn fra kortsiden er det observert en reduksjon i utnyttelse fra 15,50 % i modell uten forspenning til 16,22 % i modell med forspenning. Dette er grunnet strengere krav til akselerasjonen ved frekvensen til svingninger i denne retningen, ved å øke antall spennstenger og dermed øke forspenningslasten forventes det at utnyttelsen vil synke. Akselerasjonen var redusert fra $0,0167 \text{ m/s}^2$ til $0,0085 \text{ m/s}^2$. Det er såpass lav akselerasjon ved vind inn fra kortsiden, at dette har liten betydning.

I TABELL 14, som viser egenfrekvensen for modell uten forspenning, observeres det egenfrekvenser på 2,7 Hz ved vind inn fra langsiden og 5,4 Hz ved vind inn fra kortsiden. Disse frekvensene er ganske høye sammenliknet med de små bevegelsene funnet i Urtegård (2014). TABELL 17 viser egenfrekvensen for modell med forspenning, og egenfrekvensene har sunket betraktelig til sammenlikning med modell med forspenning.

Akselerasjonen viser god sammenheng med den påførte forspenningslasten. Størst gevinst ser man i intervallet fra 0 til 500 kN, etter dette blir det mindre reduksjon av akselerasjonen per økning av forspenningslast. Dette er illustrert i FIGUR 42 og FIGUR 44.

Når forspenningslasten økes vil gevinsten av redusert akselerasjon bli gradvis lavere, ettersom forspenningslasten øker tilnærmet proporsjonalt med kvadratet av endring i utnyttelsesgrad (se FIGUR 45 og 47). I FIGUR 45 kan det observeres at kravet til akselerasjon er strengere

enn den fordel man får ved reduksjon i akselerasjon, og dermed vil det først ved 400 kN være gunstig å benytte forspenning uten å øke antallet spennstenger.

7.2 KONKLUSJON

Resultatene fra analysen utført i forbindelsen med denne oppgaven viser en positiv effekt på dynamiske egenskaper ved bruk av forspenning i CLT. Det er vist i resultatene at det blir større statiske deformasjoner, krefter, momenter og spenninger enn uten bruk av forspenning, men at disse fortsatt vil være innenfor kravene som stilles til CLT.

Ut fra resultatene i denne oppgaven virker forspenning som en god løsning for å øke brukernes opplevelse av komfort grunnet svingninger i bygget, og for å forbedre utnyttelsen av bruksgrensen i henhold til ISO 10137:2007. Forbedringspotensialet er stort ved bruk av forspenning. Det er drøftet at denne teknikken også egner seg godt for jordskjelvsikring, og er en løsning som virker godt på treets dynamiske egenskaper. For Palisaden hadde det ikke stort utslag, ettersom Palisaden viste seg å ha såpass små svingninger i utgangspunktet. Denne løsningen kunne derimot med fordel blitt benyttet ved et tilsvarende bygg med flere etasjer.

Det kan konkluderes med at plattformbygging ikke er den beste metoden å bruke i kombinasjon med forspenning, ettersom det vil skapes store spenninger normalt på fiberretningen i dekkene. I tillegg vil dette være byggeteknisk upraktisk, med tanke på at utsparingskanalene må trekkes igjennom midten av veggen og igjennom dekket. Ut i fra tidligere undersøkelser kan det vise seg å være mer hensiktsmessig å bruke gjennomgående vegger og henge gulvene på veggene for å hindre overføring av momenter og spenninger mellom disse.

7.3 METODEN – VURDERING AV FEILKILDER

I tidligere undersøkelser utført av Urtegård (2014) ble det ikke registrert bevegelser som tydet på høye egenfrekvenser opp mot 5 Hz. Den teoretiske beregningen gjort fant derimot egenfrekvenser på opptil 4,7 Hz. Beregningene utført er konservative, og de beregnede egenfrekvensene kan være mye høyere enn de reelle verdiene. Dette kan bety at utnyttelsen av krav til akselerasjon er enda lavere enn det kalkulert i denne oppgaven.

Meshen er ikke nøyaktig, og for å få den helt nøyaktig måtte meshen hatt enda mindre elementer, noe som gjorde modellen altfor treg å kjøre. Dette kan ha økt deformasjonene i x- og y-retning fra den forspenningslasten som er påført i z-retning.

Dempingen fra CLT er også noe det mangler forskning på. Demping ved forspent CLT kan være annerledes fra CLT uten bruk av forspenning. I begge tilfellene ble det antatt en demping lik den ved betong. Dette er dermed ikke helt nøyaktig verdi for demping.

Ved modell med 0,8 m i elementstørrelse ble platekreftene betraktelig mindre enn det resultatet fått fra finere mesh. Dette tyder på at de kanskje kan være mindre platekrefter enn det illustrert i resultatene. Det å få resultatene til å tydeligere gi vise verdier for den mer gjennomsnittlige verdien for platekrefter, platemomenter og skjærkrefter viste seg å være utfordrende. Ved isolering av enkelte elementer er det blitt vist at de globale ekstremene opptrer sjeldent og de er konsentrert i ett punkt. I plater er det sannsynlig at slike spenninger sprer seg mer utover i platen. Dette kan tyde på at de statiske resultatene ikke er helt riktige.

7.4 VIDERE ARBEID

Videre undersøkelser kan gjøres på blant annet forspenningslasten, dette kan undersøkes mer gjennom testing i lab. Det bør undersøkes hvor store krefter som kan brukes, og hvilken effekt dette har på bygget eller elementet. Det er gjort store undersøkelser for liknende løsninger i betong, og utviklingen til CLT kan ha godt av samme utvidede undersøkelsen på området.

Demping i CLT kan både testes mer, og undersøkes mer teoretisk. I denne oppgaven er det tatt utgangspunkt i betongkonstruksjoner fra Tabell F.2 i NS-EN 1991-1-4:2005.

Det kan undersøkes hvordan plassering og antall av spennstag i forhold til faktorer som massesenter, stabiliseringssystemer og liknende vil påvirke de dynamiske egenskapene. Dette kan brukes til å optimalisere en løsning med bruk av CLT.

Utførelse av samme typen undersøkelse, men med ulike programvarer kunne vært interessant for å se hvor store forskjeller man kan få ved bruk av ulike programmer. Programmer som TimberTech og CLTdesigner er spesialtilpasset beregninger for tre, og det kunne vært interessant og sammenlikne resultatene fra et spesialtilpasset program mot et mer generelt program som Autodesk Robot. Dette sammen med å prosjektere flere etasjer på modellen kunne gi nyttige og gode resultater som vil kunne gi ett enda bedre grunnlag for å forstå forbedringspotensialet ved å bruke forspenning.

I denne oppgaven ble det tatt utgangspunkt i spennstål som er vanlig i betongkonstruksjoner. Dette er kanskje ikke det optimale stålet for tre, og det kan være greit å gjøre en undersøkelse som ser på stålet i treverket og hvordan disse virker sammen.

Tidligere undersøkelser har vist at lette konstruksjoner gir fordeler ved jordskjelv som dynamisk last. I denne undersøkelsen ble det ikke brukt påhengte vegger, og det er ikke modellert slik at veggene kunne gynte uten at gulvet ville gynte med. Det å sammenlikne effekten ved jordskjelv og ved vindlast for massivtrebygg med forspenning kunne vært gunstig for å se om dette er en løsning som gir goder under begge lastsituasjonene.

REFERANSER

- AUSTRALIAN INSTITUTE OF CONSTRUCTION ENGINEERING 2017. European Technical Assessment: NORITEC X-LAM. *ETA-12/0281*.
- AUTODESK ROBOT 2015. Maps (Panels). Autodesk Robot User's Guide: Autodesk Robot.
- AUTODESK ROBOT. 2017. *Theoretical basis of methods used during structural dynamic analysis* [Online]. Autodesk Robot. [Accessed 12.03.2018].
- BELL, K. 2011. *Matrisestatikk Statistiske beregninger av rammekonstruksjoner*, Fagbokforlaget.
- BELL, K. 2017. *Dimensjonering av Trekonstruksjoner*.
- CHAPMAN, C. 2014. Kaikoura's treasure. Available: <http://architecturenow.co.nz/articles/kaikouras-treasure/> [Accessed 05.03.2018].
- CHENG, A. A. H. 2015. *Parametric design of timber shell structures*. University of British Columbia.
- CROCETTI, R., EKHOLM, K. & KLIGER, R. 2016. Stress-laminated-timber decks: state of the art and design based on Swedish practice. *European Journal of Wood and Wood Products*, 74, 453-461.
- DEVEREUX, C., HOLDEN, T., BUCHANAN, A. & PAMPANIN, S. 2011. NMIT arts & media building-damage mitigation using post-tensioned timber walls.
- ELLIS, B. R. & BOUGARD, A. J. 2001. Dynamic testing and stiffness evaluation of a six-storey timber framed building during construction. *Engineering Structures*, 23, 1232-1242.
- FELDMANN, A., HUANG, H., CHANG, W., HARRIS, R., DIETSCH, P., GRÄFE, M. & HEIN, C. Dynamic properties of tall timber structures under wind-induced vibration. World Conference on Timber Engineering (WCTE 2016), 2016.
- JOHANSEN, H. 2017. Beregningsveiledning for etteroppspente betongbruer. Statens vegvesen.
- JUVELI, A. 2016. *Ulike løsninger for horisontal avstivnings effekt på den dynamiske responsen i høye hus*. Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- LUNDE, C. 2010. *Modellerings-og analyseprogrammer for treindustrien*.
- MOORE, M. 2000. Scotia Place—12 story apartment building: A case study of high-rise construction using wood and steel—WCTE2000. *NZ Timber Design Journal*, 10, 5-12.
- MORODER, D., SMITH, T., DUNBAR, A., PAMPANIN, S. & BUCHANAN, A. 2018. Seismic testing of post-tensioned Pres-Lam core walls using cross laminated timber. *Engineering Structures*.
- MØRCH, L. C. 2014. *FEM-modellering av et fleretasjes trehus med henblikk på optimalisering av forbindelser mellom massivtrelementer*. Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- PRIESTLEY, M. N. 1991. Overview of PRESSS research program. *PCI journal*, 36, 50-57.
- PRIESTLEY, M. N., SRITHARAN, S., CONLEY, J. R. & PAMPANIN, S. 1999. Preliminary results and conclusions from the PRESSS five-story precast concrete test building. *PCI journal*, 44, 42-67.
- SHAFIGHI, M. 2017. *Seismic analysis of multistorey hybrid buildings*. Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- SIGRIST, C. & LEHMANN, M. 2012. Development of a cross laminated, post tensioned bridge deck. *World*, 15, 19.
- STANDARD NORGE 2002a. Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-1: Allmenne laster - Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger. *NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2008*.
- STANDARD NORGE 2002b. Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner. *NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016*.
- STANDARD NORGE 2003. Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-3: Allmenne laster - Snølaster. *NS-EN 1991-1-3:2003+NA:2008*.
- STANDARD NORGE 2004a. Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger. *NS-EN 1992-1-1:20014+NA:2008*.
- STANDARD NORGE 2004b. Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner - Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger. *NS-EN 1995-1-1:2004+A1:2008+NA:2010*.
- STANDARD NORGE 2005. Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-4: Allmenne laster - Vindlaster. *NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009*.

- STANDARD NORGE 2007. Bases for design of structures - Serviceability of buildings and walkways against vibrations. *ISO 10137:2007*.
- STANDARD NORGE 2016. Structural Timber - Strength Classes. *NS-EN 338:2016*.
- STAUDER, C. 2013. Cross-Laminated Timber. *An Analysis of the Austrian Industry and Ideas for Fostering its Developments in America*. Itavalt: Fachhochschule salzburg: university of Applied Sciences. Saatavissa: http://www.marchallplan.at/images/papers_scholarship/2013/StauderCameron_2013.pdf. Hakupaiva4.
- STORA ENSO 2015. Stiffness matrix for Stora Enso CLT. In: ENSO, S. (ed.) 02/2015 ed.
- STORA ENSO 2016. CLT Engineer: The Stora Enso CLT design software. In: ENSO, S. (ed.) 01/2016 ed.
- SØRENSEN, S. I. 2013. *Betongkonstruksjoner: Beregning og dimensjonering etter Eurocode 2*, Fagbokforlaget.
- TARANATH, B. S. 2004. *Wind and earthquake resistant buildings: Structural analysis and design*, CRC press.
- TREINDUSTRIEN 2009. Treindustriens Lille Grønne.
- TRETEKNISK 2006a. Hefte 1: Generelt. *Bygge med Massivtreelementer*.
- TRETEKNISK 2006b. Hefte 3: Dimensjonering. *Bygge med massivtreelementer*. Treteknisk.
- URTEGÅRD, A. K. 2014. *Bruk av GNSS-teknologi til måling av rørsle i massivtrebygg*. Norwegian Univesrsity of Life Sciences, Ås.
- WALLNER-NOVAK, M., KOPPELHUBER, J. & POCK, K. 2014. *Cross-Laminated Timber Structural Design: Basic design and engineering principles according to Eurocode*, proHolz Austria.
- ØYSTAD-LARSEN, N. 2010. *Dimensjonering for jordskjelv: Teorigrunnlag, regelverk og beregninger*.

VEDLEGG

Vedleggs oversikt:

Vedlegg A: Resultater og kalkulasjoner fra modalanalysen gjort av Autodesk Robot

- Inneholder tall hentet fra den modale analysen gjort i Autodesk Robot, i tillegg til de beregningene utført i Excel.

Vedlegg B: Resultater fra statiske beregninger i Autodesk Robot

- Inneholder resultater for globale ekstremer til reaksjonskrefter, deformasjoner og platemomenter.

Vedlegg C: Statiske og dynamiske beregninger

- Inneholder verdier fra håndberegninger for vind som statisk last, vind som dynamisk last og snølasten fra Excel.

Vedlegg D: Beregninger av utnyttelse

- Inneholder verdier fra håndberegninger for utnyttelse av bøyestivhet, skjærfasthet, nedbøying og trykkspenning vinkelrett på fiberen.

VEDLEGG A

Resultater og kalkulasjoner fra modalanalysen gjort av Autodesk Robot

Resultater fra den modale analysen gjort i robot. Hentet ut for node 1-9. Det er hentet ut relativ masse, reell masse, total masse, egenvektorer og modalmasse for retningene x, y og z. Deretter beregnet egenvektorverdi via Pytagoras' teorem. Deretter er det normalisert mot 1.

Referansemassen og akselerasjonen er beregnet i henhold til kapittel 3.3.4.

Inneholder modale resultater for:

- Modell uten forspenning og elementstørrelse på 0,8 m.
- Modell med forspenning og med elementstørrelse på 0,8 m for forspenningslastene: 0kN, 50kN, 100kN, 150kN, 200kN, 300kN, 400kN, 500kN, 750kN, 1000kN, 1500kN, 2000kN, 2500kN, 3000kN
- Modell med forspenning og elementstørrelse på 0,8 m unntatt øverste etasje (gulv og vegger) som har elementstørrelse på 0,1 m for forspenningslast lik 150 kN.

TABELL A 1: Resultater for vind inn fra langside for modell uten forspenning.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Cur.ma										Total			Nor			
						Rel.m. UX (%)	Rel.m. UY (%)	Rel.m. UZ (%)	Cur.mas. UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ
1	14,99	23,06	0	2,720	0,368	74,26	0,00	0,000	7,43E+01	4E-06	3E-06	505875	505875	505875	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	176614	14,862	1057,8	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	2,720	0,368	74,26	0,00	0,000	7,43E+01	4E-06	3E-06	505875	505875	505875	2,09E-04	1,42E-05	-8,54E-05	176614	14,862	1057,8	4,37E-08	0,088
3	14,99	23,06	5,72	2,720	0,368	74,26	0,00	0,000	7,43E+01	4E-06	3E-06	505875	505875	505875	4,89E-04	1,16E-05	-1,34E-04	176614	14,862	1057,8	2,39E-07	0,207
4	14,99	23,06	8,58	2,720	0,368	74,26	0,00	0,000	7,43E+01	4E-06	3E-06	505875	505875	505875	8,15E-04	5,08E-06	-1,66E-04	176614	14,862	1057,8	6,64E-07	0,345
5	14,99	23,06	11,44	2,720	0,368	74,26	0,00	0,000	7,43E+01	4E-06	3E-06	505875	505875	505875	1,16E-03	-1,99E-06	-1,85E-04	176614	14,862	1057,8	1,35E-06	0,491
6	14,99	23,06	14,3	2,720	0,368	74,26	0,00	0,000	7,43E+01	4E-06	3E-06	505875	505875	505875	1,50E-03	-8,39E-06	-1,93E-04	176614	14,862	1057,8	2,26E-06	0,635
7	14,99	23,06	17,16	2,720	0,368	74,26	0,00	0,000	7,43E+01	4E-06	3E-06	505875	505875	505875	1,82E-03	-1,36E-05	-1,93E-04	176614	14,862	1057,8	3,33E-06	0,771
8	14,99	23,06	20,02	2,720	0,368	74,26	0,00	0,000	7,43E+01	4E-06	3E-06	505875	505875	505875	2,11E-03	-1,69E-05	-1,90E-04	176614	14,862	1057,8	4,47E-06	0,894
9	14,99	23,1	22,88	2,720	0,368	74,26	0,00	0,000	7,43E+01	4E-06	3E-06	505875	505875	505875	2,37E-03	-1,11E-05	-1,88E-04	176614	14,862	1057,8	5,59E-06	1

Volumet for svingning i x- retning (Øst - vest)

B*φ(z)2 DeltaZ B*φ(z)2*DeltaZ

Vol 0,00E+00 1,43 0

Vol 1,01E-06 2,86 3E-06

Vol 5,52E-06 2,86 2E-05

Vol 1,53E-05 2,86 4E-05

Vol 3,10E-05 2,86 9E-05

Vol 5,20E-05 2,86 1E-04

Vol 7,67E-05 2,86 2E-04

Vol 1,03E-04 1,43 1E-04

Tot 7E-04

Modal mass 1 kg

My 1500 kg/m^2

TABELL A 2: Resultater for vind inn fra kortside for modell uten forspenning.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Cur.ma										Total			Nor			
						Rel.m. UX (%)	Rel.m. UY (%)	Rel.m. UZ (%)	Cur.mas. UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ
1	14,99	23,06	0	5,396	0,185	74,27	80,33	0,000	4,21E-06	80,325	7E-07	505875	505875	505875	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2	156531	1286,4	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	5,396	0,185	74,27	80,33	0,000	4,21E-06	80,325	7E-07	505875	505875	505875	1,36E-05	3,20E-04	-1,12E-04	2	156531	1286,4	1,03E-07	0,154
3	14,99	23,06	5,72	5,396	0,185	74,27	80,33	0,000	4,21E-06	80,325	7E-07	505875	505875	505875	1,17E-05	6,45E-04	-1,73E-04	2	156531	1286,4	4,16E-07	0,310
4	14,99	23,06	8,58	5,396	0,185	74,27	80,33	0,000	4,21E-06	80,325	7E-07	505875	505875	505875	9,62E-06	9,68E-04	-2,15E-04	2	156531	1286,4	9,37E-07	0,466
5	14,99	23,06	11,44	5,396	0,185	74,27	80,33	0,000	4,21E-06	80,325	7E-07	505875	505875	505875	8,10E-06	1,27E-03	-2,41E-04	2	156531	1286,4	1,62E-06	0,613
6	14,99	23,06	14,3	5,396	0,185	74,27	80,33	0,000	4,21E-06	80,325	7E-07	505875	505875	505875	7,07E-06	1,55E-03	-2,55E-04	2	156531	1286,4	2,40E-06	0,745
7	14,99	23,06	17,16	5,396	0,185	74,27	80,33	0,000	4,21E-06	80,325	7E-07	505875	505875	505875	6,54E-06	1,78E-03	-2,59E-04	2	156531	1286,4	3,17E-06	0,857
8	14,99	23,06	20,02	5,396	0,185	74,27	80,33	0,000	4,21E-06	80,325	7E-07	505875	505875	505875	6,10E-06	1,96E-03	-2,56E-04	2	156531	1286,4	3,83E-06	0,942
9	14,99	23,1	22,88	5,396	0,185	74,27	80,33	0,000	4,21E-06	80,325	7E-07	505875	505875	505875	4,14E-06	2,08E-03	-2,54E-04	2	156531	1286,4	4,32E-06	1

Volumet for svingning i x- retning

B*φ(z)2 DeltaZ B*φ(z)2*DeltaZ

Vol 0,00E+00 1,43 0

Vol 1,54E-06 2,86 4E-06

Vol 6,24E-06 2,86 2E-05

Vol 1,40E-05 2,86 4E-05

Vol 2,43E-05 2,86 7E-05

Vol 3,60E-05 2,86 1E-04

Vol 4,75E-05 2,86 1E-04

Vol 5,75E-05 1,43 8E-05

Tot 5E-04

Modal mass 1 kg

My 2207 kg/m^2

TABELL A 3: Resultater for akselerasjon for modell uten forspenning.

Frekvens		n_1	2,720260715	n_2	5,396435206
		Langside		Kortside	
Z (m)	Etg.	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]
0	1	0	0	0	0
2,86	2	0,088394833	0,003407137	0,154254701	0,002580588
5,72	3	0,206798187	0,007970939	0,310266016	0,005190563
8,58	4	0,344643266	0,013284113	0,465682635	0,007790589
11,44	5	0,490535218	0,018907449	0,613048677	0,010255934
14,3	6	0,635177702	0,024482626	0,745413359	0,012470315
17,16	7	0,771190919	0,029725191	0,856691266	0,014331927
20,02	8	0,893551185	0,03444151	0,94192122	0,015757773
22,88	9	1	0,03854453	1	0,016729395
		Krav akselerasjon [m/s ²]		Krav akselerasjon [m/s ²]	
		Bolig	0,054405214	Bolig	0,107928704
		Etasje	utnyttelse	utnyttelse	
		9	0,708471246		0,155004135

TABELL A 4: Resultater for vind inn fra langsideside modell med forspenning på 0kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.			Cur.mas.	Cur.ma			Total mass	Total mass	Total mass	Nor						
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)		UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)				UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)
1	14,99	23,06	0	2,759	0,363	74,60	0,00	0,000	7,46E+01	7E-06	1E-06	506014	506014	506014	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	176473	20,891	978,45	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	2,759	0,363	74,60	0,00	0,000	7,46E+01	7E-06	1E-06	506014	506014	506014	2,17E-04	6,70E-06	-8,23E-05	176473	20,891	978,45	4,71E-08	0,092
3	14,99	23,06	5,72	2,759	0,363	74,60	0,00	0,000	7,46E+01	7E-06	1E-06	506014	506014	506014	5,03E-04	2,14E-06	-1,35E-04	176473	20,891	978,45	2,53E-07	0,212
4	14,99	23,06	8,58	2,759	0,363	74,60	0,00	0,000	7,46E+01	7E-06	1E-06	506014	506014	506014	8,32E-04	-3,75E-06	-1,68E-04	176473	20,891	978,45	6,92E-07	0,351
5	14,99	23,06	11,44	2,759	0,363	74,60	0,00	0,000	7,46E+01	7E-06	1E-06	506014	506014	506014	1,18E-03	-9,75E-06	-1,87E-04	176473	20,891	978,45	1,39E-06	0,497
6	14,99	23,06	14,3	2,759	0,363	74,60	0,00	0,000	7,46E+01	7E-06	1E-06	506014	506014	506014	1,52E-03	-1,52E-05	-1,94E-04	176473	20,891	978,45	2,30E-06	0,641
7	14,99	23,06	17,16	2,759	0,363	74,60	0,00	0,000	7,46E+01	7E-06	1E-06	506014	506014	506014	1,84E-03	-1,98E-05	-1,94E-04	176473	20,891	978,45	3,37E-06	0,776
8	14,99	23,06	20,02	2,759	0,363	74,60	0,00	0,000	7,46E+01	7E-06	1E-06	506014	506014	506014	2,12E-03	-2,26E-05	-1,90E-04	176473	20,891	978,45	4,50E-06	0,896
9	14,99	23,1	22,88	2,759	0,363	74,60	0,00	0,000	7,46E+01	7E-06	1E-06	506014	506014	506014	2,37E-03	-1,60E-05	-1,88E-04	176473	20,891	978,45	5,60E-06	1

Volumet for svingning i x- retning (Øst - vest)
 $B^* \phi(z)^2 \Delta z$
 Volt 0,00E+00 1,43 0
 Volt 1,09E-06 2,86 3E-06
 Volt 5,83E-06 2,86 2E-05
 Volt 1,60E-05 2,86 5E-05
 Volt 3,20E-05 2,86 9E-05
 Volt 5,31E-05 2,86 2E-04
 Volt 7,77E-05 2,86 2E-04
 Volt 1,04E-04 1,43 1E-04
 Tot 7E-04

Modal mass 1 kg
 My 1472 kg/m²

TABELL A 5: Resultater for vind inn fra kortside for modell med forspenning på 0 kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.			Cur.mas.	Cur.ma			Total mass	Total mass	Total mass	Nor						
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)		UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)				UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)
1	14,99	23,06	0	5,408	0,185	74,62	80,38	0,000	1,88E-05	80,383	0,0002	506014	506014	506014	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2	153757	1195,9	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	5,408	0,185	74,62	80,38	0,000	1,88E-05	80,383	0,0002	506014	506014	506014	1,44E-05	3,17E-04	-1,06E-04	2	153757	1195,9	1,01E-07	0,153
3	14,99	23,06	5,72	5,408	0,185	74,62	80,38	0,000	1,88E-05	80,383	0,0002	506014	506014	506014	1,21E-05	6,42E-04	-1,71E-04	2	153757	1195,9	4,12E-07	0,309
4	14,99	23,06	8,58	5,408	0,185	74,62	80,38	0,000	1,88E-05	80,383	0,0002	506014	506014	506014	1,01E-05	9,66E-04	-2,15E-04	2	153757	1195,9	9,34E-07	0,465
5	14,99	23,06	11,44	5,408	0,185	74,62	80,38	0,000	1,88E-05	80,383	0,0002	506014	506014	506014	8,77E-06	1,27E-03	-2,42E-04	2	153757	1195,9	1,62E-06	0,613
6	14,99	23,06	14,3	5,408	0,185	74,62	80,38	0,000	1,88E-05	80,383	0,0002	506014	506014	506014	7,94E-06	1,55E-03	-2,56E-04	2	153757	1195,9	2,40E-06	0,746
7	14,99	23,06	17,16	5,408	0,185	74,62	80,38	0,000	1,88E-05	80,383	0,0002	506014	506014	506014	7,63E-06	1,78E-03	-2,59E-04	2	153757	1195,9	3,17E-06	0,857
8	14,99	23,06	20,02	5,408	0,185	74,62	80,38	0,000	1,88E-05	80,383	0,0002	506014	506014	506014	7,47E-06	1,96E-03	-2,56E-04	2	153757	1195,9	3,83E-06	0,942
9	14,99	23,1	22,88	5,408	0,185	74,62	80,38	0,000	1,88E-05	80,383	0,0002	506014	506014	506014	5,85E-06	2,08E-03	-2,54E-04	2	153757	1195,9	4,31E-06	1

Volumet for svingning i x- retning
 $B^* \phi(z)^2 \Delta z$
 Volt 0,00E+00 1,43 0
 Volt 1,51E-06 2,86 4E-06
 Volt 6,18E-06 2,86 2E-05
 Volt 1,40E-05 2,86 4E-05
 Volt 2,43E-05 2,86 7E-05
 Volt 3,59E-05 2,86 1E-04
 Volt 4,75E-05 2,86 1E-04
 Volt 5,74E-05 1,43 8E-05
 Tot 5E-04

Modal mass 1 kg
 My 2212 kg/m²

TABELL A 6: Resultater for akselerasjon ved forspenning på 0kN.

Frekvens	n_1 2,758532967		n_2 5,407886551		
	Langside		Kortside		
Z (m)	Etg.	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]
0	1	0	0	0	0
2,86	2	0,09167021	0,003533842	0,152804834	0,002544379
5,72	3	0,212394402	0,0081877	0,30928476	0,005149952
8,58	4	0,351460258	0,013548621	0,4652941	0,007747689
11,44	5	0,497473673	0,019177367	0,61312554	0,010209255
14,3	6	0,641297188	0,024721693	0,745743224	0,012417494
17,16	7	0,775734081	0,02990417	0,857019994	0,014270382
20,02	8	0,89595125	0,034538483	0,942037577	0,015686024
22,88	9	1	0,038549512	1	0,016651165
		Krav akselerasjon [m/s ²]		Krav akselerasjon [m/s ²]	
		Bolig	0,055170659	Bolig	0,108157731
		Akselerasjon	0,038549512		0,016651165
		Etasje	utnyttelse		utnyttelse
			9 0,698732116		0,153952615

TABELL A 7: Resultater for vind inn fra langside modell med forspenning på 50kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.			Cur.mas.	Cur.ma			Total			Total			Nor			
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)		UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)
1	14,99	23,06	0	1,843	0,542	76,61	0,00	0,000	7,66E+01	1E-05	8E-07	720155	720155	720155	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	371979	4,0707	1911,9	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	1,843	0,542	76,61	0,00	0,000	7,66E+01	1E-05	8E-07	720155	720155	720155	1,18E-04	7,65E-06	-5,09E-05	371979	4,0707	1911,9	1,41E-08	0,074
3	14,99	23,06	5,72	1,843	0,542	76,61	0,00	0,000	7,66E+01	1E-05	8E-07	720155	720155	720155	2,82E-04	7,67E-06	-8,64E-05	371979	4,0707	1911,9	7,98E-08	0,176
4	14,99	23,06	8,58	1,843	0,542	76,61	0,00	0,000	7,66E+01	1E-05	8E-07	720155	720155	720155	4,81E-04	6,78E-06	-1,12E-04	371979	4,0707	1911,9	2,31E-07	0,299
5	14,99	23,06	11,44	1,843	0,542	76,61	0,00	0,000	7,66E+01	1E-05	8E-07	720155	720155	720155	7,00E-04	5,71E-06	-1,30E-04	371979	4,0707	1911,9	4,91E-07	0,436
6	14,99	23,06	14,3	1,843	0,542	76,61	0,00	0,000	7,66E+01	1E-05	8E-07	720155	720155	720155	9,31E-04	4,86E-06	-1,41E-04	371979	4,0707	1911,9	8,67E-07	0,580
7	14,99	23,06	17,16	1,843	0,542	76,61	0,00	0,000	7,66E+01	1E-05	8E-07	720155	720155	720155	1,16E-03	4,64E-06	-1,48E-04	371979	4,0707	1911,9	1,36E-06	0,725
8	14,99	23,06	20,02	1,843	0,542	76,61	0,00	0,000	7,66E+01	1E-05	8E-07	720155	720155	720155	1,39E-03	6,35E-06	-1,50E-04	371979	4,0707	1911,9	1,94E-06	0,867
9	14,99	23,1	22,88	1,843	0,542	76,61	0,00	0,000	7,66E+01	1E-05	8E-07	720155	720155	720155	1,61E-03	1,92E-05	-1,52E-04	371979	4,0707	1911,9	2,58E-06	1

Volumet for svingning i x- retning (Øst - vest)

B*φ(z)2 DeltaZB*φ(z)2*DeltaZ

Volt 0,00E+00 1,43 0

Volt 3,25E-07 2,86 9E-07

Volt 1,84E-06 2,86 5E-06

Volt 5,33E-06 2,86 2E-05

Volt 1,13E-05 2,86 3E-05

Volt 2,00E-05 2,86 6E-05

Volt 3,13E-05 2,86 9E-05

Volt 4,47E-05 1,43 6E-05

Tot 3E-04

Modal mass 1 kg

My 3783 kg/m^2

TABELL A 8: Resultater for vind inn fra kortsid modell med forspenning på 50kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.			Cur.mas.	Cur.ma			Total			Total			Nor			
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)		UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)
1	14,99	23,06	0	3,798	0,263	76,62	80,92	0,000	1,94E-05	80,922	8E-05	720155	720155	720155	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1	363895	3138,4	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	3,798	0,263	76,62	80,92	0,000	1,94E-05	80,922	8E-05	720155	720155	720155	1,04E-05	1,91E-04	-7,37E-05	1	363895	3138,4	3,67E-08	0,123
3	14,99	23,06	5,72	3,798	0,263	76,62	80,92	0,000	1,94E-05	80,922	8E-05	720155	720155	720155	8,51E-06	3,92E-04	-1,24E-04	1	363895	3138,4	1,54E-07	0,252
4	14,99	23,06	8,58	3,798	0,263	76,62	80,92	0,000	1,94E-05	80,922	8E-05	720155	720155	720155	6,79E-06	6,01E-04	-1,61E-04	1	363895	3138,4	3,62E-07	0,386
5	14,99	23,06	11,44	3,798	0,263	76,62	80,92	0,000	1,94E-05	80,922	8E-05	720155	720155	720155	5,41E-06	8,13E-04	-1,89E-04	1	363895	3138,4	6,61E-07	0,522
6	14,99	23,06	14,3	3,798	0,263	76,62	80,92	0,000	1,94E-05	80,922	8E-05	720155	720155	720155	4,31E-06	1,02E-03	-2,08E-04	1	363895	3138,4	1,04E-06	0,655
7	14,99	23,06	17,16	3,798	0,263	76,62	80,92	0,000	1,94E-05	80,922	8E-05	720155	720155	720155	3,45E-06	1,22E-03	-2,19E-04	1	363895	3138,4	1,48E-06	0,781
8	14,99	23,06	20,02	3,798	0,263	76,62	80,92	0,000	1,94E-05	80,922	8E-05	720155	720155	720155	2,62E-06	1,40E-03	-2,25E-04	1	363895	3138,4	1,95E-06	0,897
9	14,99	23,1	22,88	3,798	0,263	76,62	80,92	0,000	1,94E-05	80,922	8E-05	720155	720155	720155	4,57E-06	1,56E-03	-2,26E-04	1	363895	3138,4	2,42E-06	1

Volumet for svingning i x- retning

B*φ(z)2 DeltaZB*φ(z)2*DeltaZ

Volt 0,00E+00 1,43 0

Volt 5,50E-07 2,86 2E-06

Volt 2,31E-06 2,86 7E-06

Volt 5,42E-06 2,86 2E-05

Volt 9,90E-06 2,86 3E-05

Volt 1,56E-05 2,86 4E-05

Volt 2,22E-05 2,86 6E-05

Volt 2,92E-05 1,43 4E-05

Tot 2E-04

Modal mass 1 kg

My 4958 kg/m^2

TABELL A 9: Resultater for akselerasjon ved forspenning på 50kN.

Frekvens	n_1		1,843364015		n_2		3,797945375	
	Langside	Kortsid	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s^2]	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s^2]		
Z (m)	0	Etg.	1	0	0	0	0	
2,86	2	0,073890367	0,002031245	0,123020757	0,001469498			
5,72	3	0,175853125	0,0048342	0,251927495	0,003009304			
8,58	4	0,299197504	0,008224935	0,386386436	0,004615432			
11,44	5	0,435943757	0,011984088	0,522097827	0,006236521			
14,3	6	0,579645795	0,015934455	0,654955895	0,007823526			
17,16	7	0,724795722	0,019924624	0,781076153	0,009330048			
20,02	8	0,866680076	0,023825023	0,896913162	0,010713735			
22,88	9	1	0,027489986	1	0,01194512			
		Krav akselerasjon [m/s^2]		Krav akselerasjon [m/s^2]				
		Bolig	0,04	Bolig	0,075958908			
		Akselerasjon	0,027489986		0,01194512			
		Etasje	utnyttelse		utnyttelse			
			9	0,687249645		0,157257653		

TABELL A 10: Resultater for vind inn fra langside modell med forspenning på 100kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Cur.ma										Total		Total		Nor		
						Rel.m. UX (%)	Rel.m. UY (%)	Rel.m. UZ (%)	Cur.mas. UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	Total mass UX (kg)	Total mass UY (kg)	Total mass UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ
1	14,99	23,06	0	1,469	0,681	80,57	0,00	0,000	8,06E+01	1E-05	9E-07	934295	934295	934295	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	576508	10,064	2808,2	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	1,469	0,681	80,57	0,00	0,000	8,06E+01	1E-05	9E-07	934295	934295	934295	8,83E-05	6,69E-06	-3,95E-05	576508	10,064	2808,2	7,84E-09	0,069
3	14,99	23,06	5,72	1,469	0,681	80,57	0,00	0,000	8,06E+01	1E-05	9E-07	934295	934295	934295	2,12E-04	7,33E-06	-6,76E-05	576508	10,064	2808,2	4,52E-08	0,166
4	14,99	23,06	8,58	1,469	0,681	80,57	0,00	0,000	8,06E+01	1E-05	9E-07	934295	934295	934295	3,65E-04	7,24E-06	-8,85E-05	576508	10,064	2808,2	1,33E-07	0,286
5	14,99	23,06	11,44	1,469	0,681	80,57	0,00	0,000	8,06E+01	1E-05	9E-07	934295	934295	934295	5,36E-04	7,02E-06	-1,04E-04	576508	10,064	2808,2	2,88E-07	0,420
6	14,99	23,06	14,3	1,469	0,681	80,57	0,00	0,000	8,06E+01	1E-05	9E-07	934295	934295	934295	7,19E-04	6,96E-06	-1,14E-04	576508	10,064	2808,2	5,18E-07	0,563
7	14,99	23,06	17,16	1,469	0,681	80,57	0,00	0,000	8,06E+01	1E-05	9E-07	934295	934295	934295	9,08E-04	7,44E-06	-1,21E-04	576508	10,064	2808,2	8,25E-07	0,711
8	14,99	23,06	20,02	1,469	0,681	80,57	0,00	0,000	8,06E+01	1E-05	9E-07	934295	934295	934295	1,10E-03	9,62E-06	-1,24E-04	576508	10,064	2808,2	1,20E-06	0,859
9	14,99	23,1	22,88	1,469	0,681	80,57	0,00	0,000	8,06E+01	1E-05	9E-07	934295	934295	934295	1,28E-03	2,17E-05	-1,26E-04	576508	10,064	2808,2	1,63E-06	1

Volumet for svingning i x- retning (Øst - vest)
 $B^*φ(z)^2 \Delta Z B^*φ(z)^2 \Delta Z$
 Volt 0,00E+00 1,43 0
 Volt 1,81E-07 2,86 5E-07
 Volt 1,04E-06 2,86 3E-06
 Volt 3,07E-06 2,86 9E-06
 Volt 6,63E-06 2,86 2E-05
 Volt 1,19E-05 2,86 3E-05
 Volt 1,90E-05 2,86 5E-05
 Volt 2,77E-05 1,43 4E-05
 Tot 2E-04

Modal mass 1 kg
 My 6272 kg/m²

TABELL A 11: Resultater for vind inn fra kortsid modell med forspenning på 100kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Cur.ma										Total		Total		Nor		
						Rel.m. UX (%)	Rel.m. UY (%)	Rel.m. UZ (%)	Cur.mas. UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	Total mass UX (kg)	Total mass UY (kg)	Total mass UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ
1	14,99	23,06	0	3,064	0,326	80,58	83,60	0,000	1,97E-05	83,603	0,0004	934295	934295	934295	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2	582217	4986,7	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	3,064	0,326	80,58	83,60	0,000	1,97E-05	83,603	0,0004	934295	934295	934295	8,33E-06	1,45E-04	-5,86E-05	2	582217	4986,7	2,12E-08	0,115
3	14,99	23,06	5,72	3,064	0,326	80,58	83,60	0,000	1,97E-05	83,603	0,0004	934295	934295	934295	6,82E-06	2,99E-04	-9,94E-05	2	582217	4986,7	8,95E-08	0,236
4	14,99	23,06	8,58	3,064	0,326	80,58	83,60	0,000	1,97E-05	83,603	0,0004	934295	934295	934295	5,40E-06	4,62E-04	-1,31E-04	2	582217	4986,7	2,13E-07	0,364
5	14,99	23,06	11,44	3,064	0,326	80,58	83,60	0,000	1,97E-05	83,603	0,0004	934295	934295	934295	4,22E-06	6,29E-04	-1,55E-04	2	582217	4986,7	3,96E-07	0,496
6	14,99	23,06	14,3	3,064	0,326	80,58	83,60	0,000	1,97E-05	83,603	0,0004	934295	934295	934295	3,22E-06	7,97E-04	-1,73E-04	2	582217	4986,7	6,36E-07	0,629
7	14,99	23,06	17,16	3,064	0,326	80,58	83,60	0,000	1,97E-05	83,603	0,0004	934295	934295	934295	2,37E-06	9,62E-04	-1,84E-04	2	582217	4986,7	9,26E-07	0,759
8	14,99	23,06	20,02	3,064	0,326	80,58	83,60	0,000	1,97E-05	83,603	0,0004	934295	934295	934295	1,49E-06	1,12E-03	-1,90E-04	2	582217	4986,7	1,25E-06	0,884
9	14,99	23,1	22,88	3,064	0,326	80,58	83,60	0,000	1,97E-05	83,603	0,0004	934295	934295	934295	3,81E-06	1,27E-03	-1,93E-04	2	582217	4986,7	1,61E-06	1

Volumet for svingning i x- retning
 $B^*φ(z)^2 \Delta Z B^*φ(z)^2 \Delta Z$
 Volt 0,00E+00 1,43 0
 Volt 3,17E-07 2,86 9E-07
 Volt 1,34E-06 2,86 4E-06
 Volt 3,20E-06 2,86 9E-06
 Volt 5,93E-06 2,86 2E-05
 Volt 9,53E-06 2,86 3E-05
 Volt 1,39E-05 2,86 4E-05
 Volt 1,88E-05 1,43 3E-05
 Tot 1E-04

Modal mass 1 kg
 My 8020 kg/m²

TABELL A 12: Resultater for akselerasjon ved forspenning på 100kN.

Frekvens		n_1	1,469147626	n_2	3,064201544
		Langside		Kortsid	
Z (m)	Etg.	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]
0	1	0	0	0	0
2,86	2	0,069352537	0,001580008	0,11478447	0,001122754
5,72	3	0,166474287	0,003792661	0,23599387	0,002308352
8,58	4	0,285705489	0,006509017	0,364318712	0,003563549
11,44	5	0,419951221	0,009567438	0,4964163	0,00485565
14,3	6	0,563494253	0,012837673	0,629062867	0,00615312
17,16	7	0,711332394	0,01620576	0,759137403	0,007425432
20,02	8	0,858866648	0,019566924	0,883689647	0,008643728
22,88	9	1	0,022782261	1	0,009781407
		Krav akselerasjon [m/s ²]		Krav akselerasjon [m/s ²]	
		Bolig 0,04		Bolig 0,061284031	
		Akselerasjon 0,022782261		0,009781407	
		Etasje utnyttelse		utnyttelse	
		9 0,569556523		0,159607756	

TABELL A 13: Resultater for vind inn fra langside modell med forspenning på 150kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.	Rel.m.	Rel.m.	Cur.mas.	Cur.ma	Cur.ma	Total	Total	Total	Nor							
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)	UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ
1	14,99	23,06	0	0,739	1,353	92,26	0,00	0,000	9,23E+01	2E-05	1E-06	3E+06	3E+06	3E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2250434	100,98	9991,7	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	0,739	1,353	92,26	0,00	0,000	9,23E+01	2E-05	1E-06	3E+06	3E+06	3E+06	4,06E-05	3,70E-06	-1,91E-05	2250434	100,98	9991,7	1,66E-09	0,064
3	14,99	23,06	5,72	0,739	1,353	92,26	0,00	0,000	9,23E+01	2E-05	1E-06	3E+06	3E+06	3E+06	9,88E-05	4,39E-06	-3,31E-05	2250434	100,98	9991,7	9,78E-09	0,155
4	14,99	23,06	8,58	0,739	1,353	92,26	0,00	0,000	9,23E+01	2E-05	1E-06	3E+06	3E+06	3E+06	1,72E-04	4,72E-06	-4,39E-05	2250434	100,98	9991,7	2,95E-08	0,269
5	14,99	23,06	11,44	0,739	1,353	92,26	0,00	0,000	9,23E+01	2E-05	1E-06	3E+06	3E+06	3E+06	2,55E-04	4,99E-06	-5,21E-05	2250434	100,98	9991,7	6,52E-08	0,400
6	14,99	23,06	14,3	0,739	1,353	92,26	0,00	0,000	9,23E+01	2E-05	1E-06	3E+06	3E+06	3E+06	3,47E-04	5,34E-06	-5,82E-05	2250434	100,98	9991,7	1,20E-07	0,544
7	14,99	23,06	17,16	0,739	1,353	92,26	0,00	0,000	9,23E+01	2E-05	1E-06	3E+06	3E+06	3E+06	4,43E-04	5,99E-06	-6,23E-05	2250434	100,98	9991,7	1,96E-07	0,695
8	14,99	23,06	20,02	0,739	1,353	92,26	0,00	0,000	9,23E+01	2E-05	1E-06	3E+06	3E+06	3E+06	5,41E-04	7,61E-06	-6,48E-05	2250434	100,98	9991,7	2,93E-07	0,849
9	14,99	23,1	22,88	0,739	1,353	92,26	0,00	0,000	9,23E+01	2E-05	1E-06	3E+06	3E+06	3E+06	6,37E-04	1,48E-05	-6,58E-05	2250434	100,98	9991,7	4,07E-07	1

Volumet for svingning i x- retning (Øst - vest)
 $B^*φ(z)^2 \Delta Z B^*φ(z)^2 \Delta Z$
 Volt 0,00E+00 1,43 0
 Volt 3,82E-08 2,86 1E-07
 Volt 2,25E-07 2,86 6E-07
 Volt 6,80E-07 2,86 2E-06
 Volt 1,50E-06 2,86 4E-06
 Volt 2,77E-06 2,86 8E-06
 Volt 4,53E-06 2,86 1E-05
 Volt 6,76E-06 1,43 1E-05
 Tot 4E-05

Modal mass 1 kg
 My 26644 kg/m^2

TABELL A 14: Resultater for vind inn fra kortsid modell med forspenning på 150kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.	Rel.m.	Rel.m.	Cur.mas.	Cur.ma	Cur.ma	Total	Total	Total	Nor							
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)	UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ
1	14,99	23,06	0	2,634	0,380	83,63	85,91	0,001	1,97E-05	85,906	0,0007	1E+06	1E+06	1E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2	785868	6663,1	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	2,634	0,380	83,63	85,91	0,001	1,97E-05	85,906	0,0007	1E+06	1E+06	1E+06	7,15E-06	1,21E-04	-4,99E-05	2	785868	6663,1	1,47E-08	0,111
3	14,99	23,06	5,72	2,634	0,380	83,63	85,91	0,001	1,97E-05	85,906	0,0007	1E+06	1E+06	1E+06	5,86E-06	2,50E-04	-8,52E-05	2	785868	6663,1	6,24E-08	0,229
4	14,99	23,06	8,58	2,634	0,380	83,63	85,91	0,001	1,97E-05	85,906	0,0007	1E+06	1E+06	1E+06	4,63E-06	3,87E-04	-1,13E-04	2	785868	6663,1	1,50E-07	0,354
5	14,99	23,06	11,44	2,634	0,380	83,63	85,91	0,001	1,97E-05	85,906	0,0007	1E+06	1E+06	1E+06	3,59E-06	5,29E-04	-1,34E-04	2	785868	6663,1	2,80E-07	0,485
6	14,99	23,06	14,3	2,634	0,380	83,63	85,91	0,001	1,97E-05	85,906	0,0007	1E+06	1E+06	1E+06	2,69E-06	6,74E-04	-1,50E-04	2	785868	6663,1	4,55E-07	0,617
7	14,99	23,06	17,16	2,634	0,380	83,63	85,91	0,001	1,97E-05	85,906	0,0007	1E+06	1E+06	1E+06	1,89E-06	8,18E-04	-1,61E-04	2	785868	6663,1	6,70E-07	0,749
8	14,99	23,06	20,02	2,634	0,380	83,63	85,91	0,001	1,97E-05	85,906	0,0007	1E+06	1E+06	1E+06	1,04E-06	9,59E-04	-1,67E-04	2	785868	6663,1	9,19E-07	0,878
9	14,99	23,1	22,88	2,634	0,380	83,63	85,91	0,001	1,97E-05	85,906	0,0007	1E+06	1E+06	1E+06	3,32E-06	1,09E-03	-1,69E-04	2	785868	6663,1	1,19E-06	1

Volumet for svingning i x- retning
 $B^*φ(z)^2 \Delta Z B^*φ(z)^2 \Delta Z$
 Volt 0,00E+00 1,43 0
 Volt 2,21E-07 2,86 6E-07
 Volt 9,36E-07 2,86 3E-06
 Volt 2,25E-06 2,86 6E-06
 Volt 4,20E-06 2,86 1E-05
 Volt 6,81E-06 2,86 2E-05
 Volt 1,00E-05 2,86 3E-05
 Volt 1,38E-05 1,43 2E-05
 Tot 9E-05

Modal mass 1 kg
 My 11156 kg/m^2

TABELL A 15: Resultater for akselerasjon ved forspenning på 150kN.

Z (m)	Etg.	Frekvens		n_1		n_2	
		1	2	1,256401988	2,634113242		
		Langside		Kortsid			
		Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]		
0	1	0	0	0	0		
2,86	2	0,067324746	0,001349109	0,111048818	0,000948871		
5,72	3	0,162275028	0,0032518	0,228752167	0,001954602		
8,58	4	0,279653425	0,005603925	0,354265884	0,003027071		
11,44	5	0,412760519	0,008271234	0,484679245	0,004141404		
14,3	6	0,556213081	0,011145854	0,617181279	0,005273585		
17,16	7	0,705244693	0,014132272	0,74902204	0,006400116		
20,02	8	0,855323089	0,017139666	0,877559685	0,007498422		
22,88	9	1	0,020038821	1	0,008544629		
		Krav akselerasjon [m/s ²]		Krav akselerasjon [m/s ²]			
		Bolig		Bolig			
		0,04		0,052682265			
		Etasje utnyttelse		utnyttelse			
		9 0,500970519		0,162191757			

TABELL A 16: Resultater for vind inn fra langside modell med forspenning på 200kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.			Cur.mas.	Cur.ma			Total			Total			Nor			
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)		s.UY	s.UZ	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ
1	14,99	23,06	0	1,115	0,897	85,88	0,00	0,000	8,59E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	992757	30,507	4603,2	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	1,115	0,897	85,88	0,00	0,000	8,59E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	6,37E-05	5,37E-06	-2,93E-05	992757	30,507	4603,2	4,08E-09	0,066
3	14,99	23,06	5,72	1,115	0,897	85,88	0,00	0,000	8,59E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	1,54E-04	6,18E-06	-5,06E-05	992757	30,507	4603,2	2,38E-08	0,160
4	14,99	23,06	8,58	1,115	0,897	85,88	0,00	0,000	8,59E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	2,67E-04	6,44E-06	-6,66E-05	992757	30,507	4603,2	7,11E-08	0,276
5	14,99	23,06	11,44	1,115	0,897	85,88	0,00	0,000	8,59E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	3,95E-04	6,61E-06	-7,87E-05	992757	30,507	4603,2	1,56E-07	0,409
6	14,99	23,06	14,3	1,115	0,897	85,88	0,00	0,000	8,59E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	5,33E-04	6,90E-06	-8,73E-05	992757	30,507	4603,2	2,84E-07	0,552
7	14,99	23,06	17,16	1,115	0,897	85,88	0,00	0,000	8,59E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	6,78E-04	7,61E-06	-9,30E-05	992757	30,507	4603,2	4,59E-07	0,702
8	14,99	23,06	20,02	1,115	0,897	85,88	0,00	0,000	8,59E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	8,24E-04	9,72E-06	-9,63E-05	992757	30,507	4603,2	6,79E-07	0,853
9	14,99	23,1	22,88	1,115	0,897	85,88	0,00	0,000	8,59E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	9,65E-04	1,99E-05	-9,77E-05	992757	30,507	4603,2	9,32E-07	1

Volumet for svingning i x- retning (Øst - vest)
 $B^* \phi(z)^2 \Delta Z B^* \phi(z)^2 \Delta Z$
 Volt 0,00E+00 1,43 0
 Volt 9,42E-08 2,86 3E-07
 Volt 5,50E-07 2,86 2E-06
 Volt 1,64E-06 2,86 5E-06
 Volt 3,59E-06 2,86 1E-05
 Volt 6,55E-06 2,86 2E-05
 Volt 1,06E-05 2,86 3E-05
 Volt 1,57E-05 1,43 2E-05
 Tot 9E-05

Modal mass 1 kg
 My 11338 kg/m^2

TABELL A 17: Resultater for vind inn fra kortsid modell med forspenning på 200kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.			Cur.mas.	Cur.ma			Total			Total			Nor			
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)		s.UY	s.UZ	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ
1	14,99	23,06	0	2,345	0,426	85,89	87,69	0,001	1,97E-05	87,694	0,0009	1E+06	1E+06	1E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2	987339	8305,4	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	2,345	0,426	85,89	87,69	0,001	1,97E-05	87,694	0,0009	1E+06	1E+06	1E+06	6,36E-06	1,06E-04	-4,42E-05	2	987339	8305,4	1,12E-08	0,109
3	14,99	23,06	5,72	2,345	0,426	85,89	87,69	0,001	1,97E-05	87,694	0,0009	1E+06	1E+06	1E+06	5,22E-06	2,19E-04	-7,57E-05	2	987339	8305,4	4,78E-08	0,225
4	14,99	23,06	8,58	2,345	0,426	85,89	87,69	0,001	1,97E-05	87,694	0,0009	1E+06	1E+06	1E+06	4,12E-06	3,39E-04	-1,00E-04	2	987339	8305,4	1,15E-07	0,349
5	14,99	23,06	11,44	2,345	0,426	85,89	87,69	0,001	1,97E-05	87,694	0,0009	1E+06	1E+06	1E+06	3,18E-06	4,65E-04	-1,20E-04	2	987339	8305,4	2,16E-07	0,478
6	14,99	23,06	14,3	2,345	0,426	85,89	87,69	0,001	1,97E-05	87,694	0,0009	1E+06	1E+06	1E+06	2,36E-06	5,94E-04	-1,34E-04	2	987339	8305,4	3,53E-07	0,610
7	14,99	23,06	17,16	2,345	0,426	85,89	87,69	0,001	1,97E-05	87,694	0,0009	1E+06	1E+06	1E+06	1,61E-06	7,23E-04	-1,44E-04	2	987339	8305,4	5,23E-07	0,743
8	14,99	23,06	20,02	2,345	0,426	85,89	87,69	0,001	1,97E-05	87,694	0,0009	1E+06	1E+06	1E+06	8,12E-07	8,51E-04	-1,50E-04	2	987339	8305,4	7,24E-07	0,874
9	14,99	23,1	22,88	2,345	0,426	85,89	87,69	0,001	1,97E-05	87,694	0,0009	1E+06	1E+06	1E+06	2,98E-06	9,73E-04	-1,52E-04	2	987339	8305,4	9,48E-07	1

Volumet for svingning i x- retning
 $B^* \phi(z)^2 \Delta Z B^* \phi(z)^2 \Delta Z$
 Volt 0,00E+00 1,43 0
 Volt 1,69E-07 2,86 5E-07
 Volt 7,17E-07 2,86 2E-06
 Volt 1,73E-06 2,86 5E-06
 Volt 3,25E-06 2,86 9E-06
 Volt 5,29E-06 2,86 2E-05
 Volt 7,85E-06 2,86 2E-05
 Volt 1,09E-05 1,43 2E-05
 Tot 7E-05

Modal mass 1 kg
 My 14319 kg/m^2

TABELL A 18: Resultater for akselerasjon ved forspenning på 200kN.

Frekvens		n_1	1,115183596	n_2	2,344673272
		Langside		Kortsid	
Z (m)	Etg.	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s^2]	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s^2]
0	1	0	0	0	0
2,86	2	0,06618091	0,001202165	0,108930523	0,000840989
5,72	3	0,159902041	0,002904593	0,224642609	0,001734334
8,58	4	0,276228933	0,005017651	0,348553337	0,002690976
11,44	5	0,408687748	0,007423742	0,477997353	0,003690338
14,3	6	0,552083847	0,010028508	0,610403074	0,004712565
17,16	7	0,70178737	0,012747846	0,743237496	0,005738102
20,02	8	0,853307022	0,015500175	0,874043447	0,006747978
22,88	9	1	0,018164827	1	0,007720414
		Krav akselerasjon [m/s^2]		Krav akselerasjon [m/s^2]	
		Bolig 0,04		Bolig 0,046893465	
		Etasje utnyttelse 9 0,454120683		utnyttelse 0,16463732	

TABELL A 19: Resultater for vind inn fra langside modell med forspenning på 300kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.			Cur.mas.	Cur.ma		Total mass	Total mass	Total mass	φ			mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ	Nor
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)		s.UY (%)	s.UZ (%)				φ UX	φ UY	φ UZ						
1	14,99	23,06	0	0,934	1,070	88,95	0,00	0,000	8,90E+01	2E-05	1E-06	2E+06	2E+06	2E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1411405	53,435	6399,2	0,00E+00	0,000	
2	14,99	23,06	2,86	0,934	1,070	88,95	0,00	0,000	8,90E+01	2E-05	1E-06	2E+06	2E+06	2E+06	5,22E-05	4,60E-06	-2,43E-05	1411405	53,435	6399,2	2,75E-09	0,065	
3	14,99	23,06	5,72	0,934	1,070	88,95	0,00	0,000	8,90E+01	2E-05	1E-06	2E+06	2E+06	2E+06	1,27E-04	5,38E-06	-4,21E-05	1411405	53,435	6399,2	1,61E-08	0,157	
4	14,99	23,06	8,58	0,934	1,070	88,95	0,00	0,000	8,90E+01	2E-05	1E-06	2E+06	2E+06	2E+06	2,20E-04	5,70E-06	-5,56E-05	1411405	53,435	6399,2	4,84E-08	0,272	
5	14,99	23,06	11,44	0,934	1,070	88,95	0,00	0,000	8,90E+01	2E-05	1E-06	2E+06	2E+06	2E+06	3,26E-04	5,95E-06	-6,59E-05	1411405	53,435	6399,2	1,06E-07	0,404	
6	14,99	23,06	14,3	0,934	1,070	88,95	0,00	0,000	8,90E+01	2E-05	1E-06	2E+06	2E+06	2E+06	4,42E-04	6,30E-06	-7,34E-05	1411405	53,435	6399,2	1,95E-07	0,548	
7	14,99	23,06	17,16	0,934	1,070	88,95	0,00	0,000	8,90E+01	2E-05	1E-06	2E+06	2E+06	2E+06	5,63E-04	7,02E-06	-7,84E-05	1411405	53,435	6399,2	3,18E-07	0,698	
8	14,99	23,06	20,02	0,934	1,070	88,95	0,00	0,000	8,90E+01	2E-05	1E-06	2E+06	2E+06	2E+06	6,87E-04	8,93E-06	-8,13E-05	1411405	53,435	6399,2	4,72E-07	0,851	
9	14,99	23,1	22,88	0,934	1,070	88,95	0,00	0,000	8,90E+01	2E-05	1E-06	2E+06	2E+06	2E+06	8,07E-04	1,78E-05	-8,26E-05	1411405	53,435	6399,2	6,52E-07	1	

Volumet for svingning i x- retning (Øst - vest)
 $B^*φ(z)^2 \Delta Z B^*φ(z)^2 \Delta Z$
 Volu 0,00E+00 1,43 0
 Volu 6,34E-08 2,86 2E-07
 Volu 3,72E-07 2,86 1E-06
 Volu 1,12E-06 2,86 3E-06
 Volu 2,46E-06 2,86 7E-06
 Volu 4,51E-06 2,86 1E-05
 Volu 7,32E-06 2,86 2E-05
 Volu 1,09E-05 1,43 2E-05
 Tot 6E-05

Modal mass 1 kg
 My 16433 kg/m²

TABELL A 20: Resultater for vind inn fra kortsid modell med forspenning på 300kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.			Cur.mas.	Cur.ma		Total mass	Total mass	Total mass	φ			mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ	Nor
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)		s.UY (%)	s.UZ (%)				φ UX	φ UY	φ UZ						
1	14,99	23,06	0	1,970	0,508	88,96	90,19	0,001	1,98E-05	90,188	0,0012	2E+06	2E+06	2E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2	1E+06	11593	0,00E+00	0,000	
2	14,99	23,06	2,86	1,970	0,508	88,96	90,19	0,001	1,98E-05	90,188	0,0012	2E+06	2E+06	2E+06	5,34E-06	8,71E-05	-3,69E-05	2	1E+06	11593	7,62E-09	0,107	
3	14,99	23,06	5,72	1,970	0,508	88,96	90,19	0,001	1,98E-05	90,188	0,0012	2E+06	2E+06	2E+06	4,38E-06	1,80E-04	-6,34E-05	2	1E+06	11593	3,25E-08	0,220	
4	14,99	23,06	8,58	1,970	0,508	88,96	90,19	0,001	1,98E-05	90,188	0,0012	2E+06	2E+06	2E+06	3,46E-06	2,80E-04	-8,44E-05	2	1E+06	11593	7,85E-08	0,342	
5	14,99	23,06	11,44	1,970	0,508	88,96	90,19	0,001	1,98E-05	90,188	0,0012	2E+06	2E+06	2E+06	2,66E-06	3,85E-04	-1,01E-04	2	1E+06	11593	1,48E-07	0,471	
6	14,99	23,06	14,3	1,970	0,508	88,96	90,19	0,001	1,98E-05	90,188	0,0012	2E+06	2E+06	2E+06	1,95E-06	4,94E-04	-1,14E-04	2	1E+06	11593	2,44E-07	0,603	
7	14,99	23,06	17,16	1,970	0,508	88,96	90,19	0,001	1,98E-05	90,188	0,0012	2E+06	2E+06	2E+06	1,29E-06	6,03E-04	-1,22E-04	2	1E+06	11593	3,64E-07	0,737	
8	14,99	23,06	20,02	1,970	0,508	88,96	90,19	0,001	1,98E-05	90,188	0,0012	2E+06	2E+06	2E+06	5,78E-07	7,12E-04	-1,28E-04	2	1E+06	11593	5,07E-07	0,870	
9	14,99	23,1	22,88	1,970	0,508	88,96	90,19	0,001	1,98E-05	90,188	0,0012	2E+06	2E+06	2E+06	2,54E-06	8,18E-04	-1,30E-04	2	1E+06	11593	6,70E-07	1	

Volumet for svingning i x- retning
 $B^*φ(z)^2 \Delta Z B^*φ(z)^2 \Delta Z$
 Volu 0,00E+00 1,43 0
 Volu 1,14E-07 2,86 3E-07
 Volu 4,87E-07 2,86 1E-06
 Volu 1,18E-06 2,86 3E-06
 Volu 2,22E-06 2,86 6E-06
 Volu 3,65E-06 2,86 1E-05
 Volu 5,45E-06 2,86 2E-05
 Volu 7,60E-06 1,43 1E-05
 Tot 5E-05

Modal mass 1 kg
 My 20678 kg/m²

TABELL A 21: Resultater for akselerasjon ved forspenning på 300kN.

Frekvens	n_1		n_2		
	Langside	Kortsid	Langside	Kortsid	
Z (m)	Etg.	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]
0	1	0	0	0	0
2,86	2	0,064935699	0,001017149	0,106621675	0,000709315
5,72	3	0,15731916	0,002464238	0,220160243	0,001464645
8,58	4	0,272498241	0,004268396	0,342314884	0,002277294
11,44	5	0,404245506	0,006332077	0,470691654	0,003131337
14,3	6	0,547575509	0,008577189	0,602979012	0,004011396
17,16	7	0,698008493	0,010933562	0,736888682	0,004902248
20,02	8	0,851100591	0,013331587	0,870175656	0,005788956
22,88	9	1	0,015663939	1	0,00665263
		Krav akselerasjon [m/s ²]		Krav akselerasjon [m/s ²]	
		Bolig 0,041229731		Bolig 0,04	
		Etasje utnyttelse 9 0,379918529		utnyttelse 0,166315744	

TABELL A 22: Resultater for vind inn fra langsideside modell med forspenning på 400kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.	Rel.m.	Rel.m.	Cur.mas.	Cur.ma	Cur.ma	Total	Total	Total	Nor							
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)	UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ
1	14,99	23,06	0	0,820	1,220	90,91	0,00	0,000	9,09E+01	2E-05	1E-06	2E+06	2E+06	2E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1830767	77,061	8195,4	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	0,820	1,220	90,91	0,00	0,000	9,09E+01	2E-05	1E-06	2E+06	2E+06	2E+06	4,53E-05	4,08E-06	-2,12E-05	1830767	77,061	8195,4	2,07E-09	0,064
3	14,99	23,06	5,72	0,820	1,220	90,91	0,00	0,000	9,09E+01	2E-05	1E-06	2E+06	2E+06	2E+06	1,10E-04	4,81E-06	-3,68E-05	1830767	77,061	8195,4	1,22E-08	0,156
4	14,99	23,06	8,58	0,820	1,220	90,91	0,00	0,000	9,09E+01	2E-05	1E-06	2E+06	2E+06	2E+06	1,91E-04	5,15E-06	-4,87E-05	1830767	77,061	8195,4	3,66E-08	0,271
5	14,99	23,06	11,44	0,820	1,220	90,91	0,00	0,000	9,09E+01	2E-05	1E-06	2E+06	2E+06	2E+06	2,84E-04	5,41E-06	-5,78E-05	1830767	77,061	8195,4	8,09E-08	0,402
6	14,99	23,06	14,3	0,820	1,220	90,91	0,00	0,000	9,09E+01	2E-05	1E-06	2E+06	2E+06	2E+06	3,86E-04	5,77E-06	-6,45E-05	1830767	77,061	8195,4	1,49E-07	0,545
7	14,99	23,06	17,16	0,820	1,220	90,91	0,00	0,000	9,09E+01	2E-05	1E-06	2E+06	2E+06	2E+06	4,92E-04	6,45E-06	-6,90E-05	1830767	77,061	8195,4	2,43E-07	0,696
8	14,99	23,06	20,02	0,820	1,220	90,91	0,00	0,000	9,09E+01	2E-05	1E-06	2E+06	2E+06	2E+06	6,01E-04	8,21E-06	-7,16E-05	1830767	77,061	8195,4	3,62E-07	0,850
9	14,99	23,1	22,88	0,820	1,220	90,91	0,00	0,000	9,09E+01	2E-05	1E-06	2E+06	2E+06	2E+06	7,07E-04	1,61E-05	-7,28E-05	1830767	77,061	8195,4	5,01E-07	1

Volumet for svingning i x- retning (Øst - vest)
 $B^* \phi(z)^2 \Delta z$
 Volu 0,00E+00 1,43 0
 Volu 4,77E-08 2,86 1E-07
 Volu 2,81E-07 2,86 8E-07
 Volu 8,45E-07 2,86 2E-06
 Volu 1,87E-06 2,86 5E-06
 Volu 3,43E-06 2,86 1E-05
 Volu 5,59E-06 2,86 2E-05
 Volu 8,34E-06 1,43 1E-05
 Tot 5E-05

Modal mass 1 kg
 My 21536 kg/m^2

TABELL A 23: Resultater for vind inn fra kortsideside modell med forspenning på 400kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.	Rel.m.	Rel.m.	Cur.mas.	Cur.ma	Cur.ma	Total	Total	Total	Nor							
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)	UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ
1	14,99	23,06	0	1,732	0,578	90,92	91,81	0,001	2,01E-05	91,814	0,0014	2E+06	2E+06	2E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3	2E+06	14882	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	1,732	0,578	90,92	91,81	0,001	2,01E-05	91,814	0,0014	2E+06	2E+06	2E+06	4,69E-06	7,57E-05	-3,23E-05	3	2E+06	14882	5,75E-09	0,105
3	14,99	23,06	5,72	1,732	0,578	90,92	91,81	0,001	2,01E-05	91,814	0,0014	2E+06	2E+06	2E+06	3,84E-06	1,57E-04	-5,57E-05	3	2E+06	14882	2,46E-08	0,218
4	14,99	23,06	8,58	1,732	0,578	90,92	91,81	0,001	2,01E-05	91,814	0,0014	2E+06	2E+06	2E+06	3,03E-06	2,44E-04	-7,42E-05	3	2E+06	14882	5,95E-08	0,339
5	14,99	23,06	11,44	1,732	0,578	90,92	91,81	0,001	2,01E-05	91,814	0,0014	2E+06	2E+06	2E+06	2,32E-06	3,36E-04	-8,89E-05	3	2E+06	14882	1,13E-07	0,467
6	14,99	23,06	14,3	1,732	0,578	90,92	91,81	0,001	2,01E-05	91,814	0,0014	2E+06	2E+06	2E+06	1,69E-06	4,31E-04	-1,00E-04	3	2E+06	14882	1,86E-07	0,599
7	14,99	23,06	17,16	1,732	0,578	90,92	91,81	0,001	2,01E-05	91,814	0,0014	2E+06	2E+06	2E+06	1,10E-06	5,28E-04	-1,08E-04	3	2E+06	14882	2,79E-07	0,733
8	14,99	23,06	20,02	1,732	0,578	90,92	91,81	0,001	2,01E-05	91,814	0,0014	2E+06	2E+06	2E+06	4,57E-07	6,25E-04	-1,13E-04	3	2E+06	14882	3,90E-07	0,868
9	14,99	23,1	22,88	1,732	0,578	90,92	91,81	0,001	2,01E-05	91,814	0,0014	2E+06	2E+06	2E+06	2,25E-06	7,20E-04	-1,15E-04	3	2E+06	14882	5,18E-07	1

Volumet for svingning i x- retning
 $B^* \phi(z)^2 \Delta z$
 Volu 0,00E+00 1,43 0
 Volu 8,62E-08 2,86 2E-07
 Volu 3,68E-07 2,86 1E-06
 Volu 8,92E-07 2,86 3E-06
 Volu 1,69E-06 2,86 5E-06
 Volu 2,78E-06 2,86 8E-06
 Volu 4,18E-06 2,86 1E-05
 Volu 5,85E-06 1,43 8E-06
 Tot 4E-05

Modal mass 1 kg
 My 27057 kg/m^2

TABELL A 24: Resultater for akselerasjon ved forspenning på 400kN.

Frekvens	n_1 0,819851176		n_2 1,731592586		
	Langside		Kortsideside		
Z (m)	Etg.	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s^2]	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s^2]
0	1	0	0	0	0
2,86	2	0,064271409	0,000899824	0,105389269	0,000628566
5,72	3	0,15594118	0,002183235	0,21776794	0,001298818
8,58	4	0,270507171	0,003787202	0,338982877	0,002021772
11,44	5	0,401873488	0,00562638	0,466784421	0,00278401
14,3	6	0,545165685	0,007632525	0,599003889	0,003572597
17,16	7	0,695986103	0,009744068	0,733482365	0,004374658
20,02	8	0,849917675	0,011899168	0,868097302	0,005177532
22,88	9	1	0,014000377	1	0,00596423
		Krav akselerasjon [m/s^2]		Krav akselerasjon [m/s^2]	
		Bolig	0,043696626	Bolig	0,04
		Etasje utnyttelse		utnyttelse	
		9	0,320399496		0,149105753

TABELL A 25: Resultater for vind inn fra langsideside modell med forspenning på 500kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.	Rel.m.	Rel.m.	Cur.mas.	Cur.ma	Cur.ma	Total	Total	Total	Nor							
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)	UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ
1	14,99	23,06	0	0,739	1,353	92,26	0,00	0,000	9,23E+01	2E-05	1E-06	3E+06	3E+06	3E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2250434	100,98	9991,7	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	0,739	1,353	92,26	0,00	0,000	9,23E+01	2E-05	1E-06	3E+06	3E+06	3E+06	4,06E-05	3,70E-06	-1,91E-05	2250434	100,98	9991,7	1,66E-09	0,064
3	14,99	23,06	5,72	0,739	1,353	92,26	0,00	0,000	9,23E+01	2E-05	1E-06	3E+06	3E+06	3E+06	9,88E-05	4,39E-06	-3,31E-05	2250434	100,98	9991,7	9,78E-09	0,155
4	14,99	23,06	8,58	0,739	1,353	92,26	0,00	0,000	9,23E+01	2E-05	1E-06	3E+06	3E+06	3E+06	1,72E-04	4,72E-06	-4,39E-05	2250434	100,98	9991,7	2,95E-08	0,269
5	14,99	23,06	11,44	0,739	1,353	92,26	0,00	0,000	9,23E+01	2E-05	1E-06	3E+06	3E+06	3E+06	2,55E-04	4,99E-06	-5,21E-05	2250434	100,98	9991,7	6,52E-08	0,400
6	14,99	23,06	14,3	0,739	1,353	92,26	0,00	0,000	9,23E+01	2E-05	1E-06	3E+06	3E+06	3E+06	3,47E-04	5,34E-06	-5,82E-05	2250434	100,98	9991,7	1,20E-07	0,544
7	14,99	23,06	17,16	0,739	1,353	92,26	0,00	0,000	9,23E+01	2E-05	1E-06	3E+06	3E+06	3E+06	4,43E-04	5,99E-06	-6,23E-05	2250434	100,98	9991,7	1,96E-07	0,695
8	14,99	23,06	20,02	0,739	1,353	92,26	0,00	0,000	9,23E+01	2E-05	1E-06	3E+06	3E+06	3E+06	5,41E-04	7,61E-06	-6,48E-05	2250434	100,98	9991,7	2,93E-07	0,849
9	14,99	23,1	22,88	0,739	1,353	92,26	0,00	0,000	9,23E+01	2E-05	1E-06	3E+06	3E+06	3E+06	6,37E-04	1,48E-05	-6,58E-05	2250434	100,98	9991,7	4,07E-07	1

Volumet for svingning i x- retning (Øst - vest)

B*φ(z)2 DeltaZB*φ(z)2*DeltaZ

Volt 0,00E+00 1,43 0

Volt 3,82E-08 2,86 1E-07

Volt 2,25E-07 2,86 6E-07

Volt 6,80E-07 2,86 2E-06

Volt 1,50E-06 2,86 4E-06

Volt 2,77E-06 2,86 8E-06

Volt 4,53E-06 2,86 1E-05

Volt 6,76E-06 1,43 1E-05

Tot 4E-05

Modal mass 1 kg

My 26644 kg/m²

TABELL A 26: Resultater for vind inn fra kortside modell med forspenning på 500kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.	Rel.m.	Rel.m.	Cur.mas.	Cur.ma	Cur.ma	Total	Total	Total	Nor							
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)	UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ
1	14,99	23,06	0	1,563	0,640	92,27	92,95	0,002	2,02E-05	92,948	0,0016	3E+06	3E+06	3E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3	2E+06	18171	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	1,563	0,640	92,27	92,95	0,002	2,02E-05	92,948	0,0016	3E+06	3E+06	3E+06	4,22E-06	6,78E-05	-2,91E-05	3	2E+06	18171	4,62E-09	0,105
3	14,99	23,06	5,72	1,563	0,640	92,27	92,95	0,002	2,02E-05	92,948	0,0016	3E+06	3E+06	3E+06	3,46E-06	1,40E-04	-5,02E-05	3	2E+06	18171	1,97E-08	0,216
4	14,99	23,06	8,58	1,563	0,640	92,27	92,95	0,002	2,02E-05	92,948	0,0016	3E+06	3E+06	3E+06	2,73E-06	2,19E-04	-6,69E-05	3	2E+06	18171	4,79E-08	0,337
5	14,99	23,06	11,44	1,563	0,640	92,27	92,95	0,002	2,02E-05	92,948	0,0016	3E+06	3E+06	3E+06	2,09E-06	3,02E-04	-8,03E-05	3	2E+06	18171	9,10E-08	0,464
6	14,99	23,06	14,3	1,563	0,640	92,27	92,95	0,002	2,02E-05	92,948	0,0016	3E+06	3E+06	3E+06	1,51E-06	3,87E-04	-9,06E-05	3	2E+06	18171	1,50E-07	0,597
7	14,99	23,06	17,16	1,563	0,640	92,27	92,95	0,002	2,02E-05	92,948	0,0016	3E+06	3E+06	3E+06	9,72E-07	4,75E-04	-9,79E-05	3	2E+06	18171	2,26E-07	0,731
8	14,99	23,06	20,02	1,563	0,640	92,27	92,95	0,002	2,02E-05	92,948	0,0016	3E+06	3E+06	3E+06	3,82E-07	5,63E-04	-1,02E-04	3	2E+06	18171	3,17E-07	0,867
9	14,99	23,1	22,88	1,563	0,640	92,27	92,95	0,002	2,02E-05	92,948	0,0016	3E+06	3E+06	3E+06	2,04E-06	6,50E-04	-1,04E-04	3	2E+06	18171	4,22E-07	1

Volumet for svingning i x- retning

B*φ(z)2 DeltaZB*φ(z)2*DeltaZ

Volt 0,00E+00 1,43 0

Volt 6,92E-08 2,86 2E-07

Volt 2,96E-07 2,86 8E-07

Volt 7,18E-07 2,86 2E-06

Volt 1,36E-06 2,86 4E-06

Volt 2,25E-06 2,86 6E-06

Volt 3,38E-06 2,86 1E-05

Volt 4,75E-06 1,43 7E-06

Tot 3E-05

Modal mass 1 kg

My 33444 kg/m²

TABELL A 27: Resultater for akselerasjon ved forspenning på 500kN.

Frekvens	n_1 0,739255054 n_2 1,562852316				
	Langside	Kortside			
Z (m)	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s²]	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s²]	
0	1	0	0	0	
2,86	2	0,063859746	0,000815865	0,104623502	0,000572144
5,72	3	0,155085548	0,001981356	0,216279925	0,001182749
8,58	4	0,269269596	0,003440159	0,336909192	0,001842423
11,44	5	0,400398153	0,005115443	0,464351169	0,002539352
14,3	6	0,543666521	0,006945824	0,596526682	0,003262168
17,16	7	0,694727683	0,008875765	0,731358491	0,003999509
20,02	8	0,849182188	0,010849059	0,866798595	0,004740177
22,88	9	1	0,01277589	1	0,005468603
		Krav akselerasjon [m/s²]		Krav akselerasjon [m/s²]	
		Bolig	0,045755839	Bolig	0,04
		Etasje	utnyttelse	utnyttelse	
			9 0,279218796		0,136715075

TABELL A 28: Resultater for vind inn fra langsideside modell med forspenning på 750kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m. UX (%)	Rel.m. UY (%)	Rel.m. UZ (%)	Cur.mas. UX (%)	Cur.ma	Cur.ma	Total	Total	Total	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	Nor m. φ			
										s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)						φ UX	φ UY	φ UZ
1	14,99	23,06	0	0,610	1,639	94,32	0,00	0,000	9,43E+01	2E-05	1E-06	4E+06	4E+06	4E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3300165	161,3	14483	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	0,610	1,639	94,32	0,00	0,000	9,43E+01	2E-05	1E-06	4E+06	4E+06	4E+06	3,31E-05	3,08E-06	-1,57E-05	3300165	161,3	14483	1,11E-09	0,063
3	14,99	23,06	5,72	0,610	1,639	94,32	0,00	0,000	9,43E+01	2E-05	1E-06	4E+06	4E+06	4E+06	8,08E-05	3,68E-06	-2,73E-05	3300165	161,3	14483	6,55E-09	0,154
4	14,99	23,06	8,58	0,610	1,639	94,32	0,00	0,000	9,43E+01	2E-05	1E-06	4E+06	4E+06	4E+06	1,41E-04	3,99E-06	-3,62E-05	3300165	161,3	14483	1,98E-08	0,268
5	14,99	23,06	11,44	0,610	1,639	94,32	0,00	0,000	9,43E+01	2E-05	1E-06	4E+06	4E+06	4E+06	2,09E-04	4,24E-06	-4,30E-05	3300165	161,3	14483	4,39E-08	0,398
6	14,99	23,06	14,3	0,610	1,639	94,32	0,00	0,000	9,43E+01	2E-05	1E-06	4E+06	4E+06	4E+06	2,85E-04	4,56E-06	-4,81E-05	3300165	161,3	14483	8,11E-08	0,542
7	14,99	23,06	17,16	0,610	1,639	94,32	0,00	0,000	9,43E+01	2E-05	1E-06	4E+06	4E+06	4E+06	3,64E-04	5,13E-06	-5,16E-05	3300165	161,3	14483	1,33E-07	0,693
8	14,99	23,06	20,02	0,610	1,639	94,32	0,00	0,000	9,43E+01	2E-05	1E-06	4E+06	4E+06	4E+06	4,46E-04	6,51E-06	-5,36E-05	3300165	161,3	14483	1,99E-07	0,848
9	14,99	23,1	22,88	0,610	1,639	94,32	0,00	0,000	9,43E+01	2E-05	1E-06	4E+06	4E+06	4E+06	5,26E-04	1,26E-05	-5,46E-05	3300165	161,3	14483	2,76E-07	1

Volumet for svingning i x- retning (Øst - vest)
 $B^*φ(z)^2 \Delta Z B^*φ(z)^2 \Delta Z$
 Volt 0,00E+00 1,43 0
 Volt 2,55E-08 2,86 7E-08
 Volt 1,51E-07 2,86 4E-07
 Volt 4,56E-07 2,86 1E-06
 Volt 1,01E-06 2,86 3E-06
 Volt 1,87E-06 2,86 5E-06
 Volt 3,06E-06 2,86 9E-06
 Volt 4,59E-06 1,43 7E-06
 Tot 3E-05

Modal mass 1 kg
 My 39421 kg/m^2

TABELL A 29: Resultater for vind inn fra kortsideside modell med forspenning på 750kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m. UX (%)	Rel.m. UY (%)	Rel.m. UZ (%)	Cur.mas. UX (%)	Cur.ma	Cur.ma	Total	Total	Total	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	Nor m. φ			
										s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)						φ UX	φ UY	φ UZ
1	14,99	23,06	0	1,292	0,774	94,33	94,69	0,002	2,04E-05	94,687	0,0018	4E+06	4E+06	4E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4	3E+06	26394	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	1,292	0,774	94,33	94,69	0,002	2,04E-05	94,687	0,0018	4E+06	4E+06	4E+06	3,49E-06	5,55E-05	-2,40E-05	4	3E+06	26394	3,09E-09	0,104
3	14,99	23,06	5,72	1,292	0,774	94,33	94,69	0,002	2,04E-05	94,687	0,0018	4E+06	4E+06	4E+06	2,86E-06	1,15E-04	-4,14E-05	4	3E+06	26394	1,32E-08	0,214
4	14,99	23,06	8,58	1,292	0,774	94,33	94,69	0,002	2,04E-05	94,687	0,0018	4E+06	4E+06	4E+06	2,25E-06	1,79E-04	-5,53E-05	4	3E+06	26394	3,22E-08	0,334
5	14,99	23,06	11,44	1,292	0,774	94,33	94,69	0,002	2,04E-05	94,687	0,0018	4E+06	4E+06	4E+06	1,71E-06	2,47E-04	-6,65E-05	4	3E+06	26394	6,13E-08	0,461
6	14,99	23,06	14,3	1,292	0,774	94,33	94,69	0,002	2,04E-05	94,687	0,0018	4E+06	4E+06	4E+06	1,24E-06	3,18E-04	-7,51E-05	4	3E+06	26394	1,01E-07	0,593
7	14,99	23,06	17,16	1,292	0,774	94,33	94,69	0,002	2,04E-05	94,687	0,0018	4E+06	4E+06	4E+06	7,80E-07	3,91E-04	-8,12E-05	4	3E+06	26394	1,53E-07	0,728
8	14,99	23,06	20,02	1,292	0,774	94,33	94,69	0,002	2,04E-05	94,687	0,0018	4E+06	4E+06	4E+06	2,82E-07	4,64E-04	-8,50E-05	4	3E+06	26394	2,16E-07	0,865
9	14,99	23,1	22,88	1,292	0,774	94,33	94,69	0,002	2,04E-05	94,687	0,0018	4E+06	4E+06	4E+06	1,70E-06	5,37E-04	-8,64E-05	4	3E+06	26394	2,88E-07	1

Volumet for svingning i x- retning
 $B^*φ(z)^2 \Delta Z B^*φ(z)^2 \Delta Z$
 Volt 0,00E+00 1,43 0
 Volt 4,63E-08 2,86 1E-07
 Volt 1,98E-07 2,86 6E-07
 Volt 4,82E-07 2,86 1E-06
 Volt 9,18E-07 2,86 3E-06
 Volt 1,52E-06 2,86 4E-06
 Volt 2,29E-06 2,86 7E-06
 Volt 3,23E-06 1,43 5E-06
 Tot 2E-05

Modal mass 1 kg
 My 49426 kg/m^2

TABELL A 30: Resultater for akselerasjon ved forspenning på 750kN.

Frekvens		n_1	0,610248808	n_2	1,291784179
		Langside		Kortsideside	
Z (m)	Etg.	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s^2]	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s^2]
0	1	0	0	0	0
2,86	2	0,06329364	0,000677261	0,103571013	0,000481388
5,72	3	0,153906683	0,001646849	0,214236196	0,000995749
8,58	4	0,26756665	0,002863046	0,334058827	0,001552673
11,44	5	0,398367227	0,004262652	0,461004621	0,002142704
14,3	6	0,541600742	0,005795295	0,593114661	0,002756739
17,16	7	0,692992984	0,007415239	0,728430105	0,003385672
20,02	8	0,848167777	0,009075657	0,865008258	0,004020474
22,88	9	1	0,010700308	1	0,004647902
		Krav akselerasjon [m/s^2]		Krav akselerasjon [m/s^2]	
		Bolig	0,049832125	Bolig	0,04
		Etasje	utnyttelse	utnyttelse	
		9	0,214727115	0,116197555	

TABELL A 31: Resultater for vind inn fra langside modell med forspenning på 1000kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.	Rel.m.	Rel.m.	Cur.mas.	Cur.ma	Cur.ma	Total	Total	Total	Nor							
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)	UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ
1	14,99	23,06	0	0,531	1,882	95,47	0,00	0,000	9,55E+01	2E-05	1E-06	5E+06	5E+06	5E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4350229	221,93	18974	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	0,531	1,882	95,47	0,00	0,000	9,55E+01	2E-05	1E-06	5E+06	5E+06	5E+06	2,87E-05	2,70E-06	-1,36E-05	4350229	221,93	18974	8,31E-10	0,063
3	14,99	23,06	5,72	0,531	1,882	95,47	0,00	0,000	9,55E+01	2E-05	1E-06	5E+06	5E+06	5E+06	7,01E-05	3,23E-06	-2,37E-05	4350229	221,93	18974	4,92E-09	0,153
4	14,99	23,06	8,58	0,531	1,882	95,47	0,00	0,000	9,55E+01	2E-05	1E-06	5E+06	5E+06	5E+06	1,22E-04	3,51E-06	-3,15E-05	4350229	221,93	18974	1,49E-08	0,267
5	14,99	23,06	11,44	0,531	1,882	95,47	0,00	0,000	9,55E+01	2E-05	1E-06	5E+06	5E+06	5E+06	1,82E-04	3,74E-06	-3,75E-05	4350229	221,93	18974	3,31E-08	0,397
6	14,99	23,06	14,3	0,531	1,882	95,47	0,00	0,000	9,55E+01	2E-05	1E-06	5E+06	5E+06	5E+06	2,47E-04	4,04E-06	-4,19E-05	4350229	221,93	18974	6,12E-08	0,541
7	14,99	23,06	17,16	0,531	1,882	95,47	0,00	0,000	9,55E+01	2E-05	1E-06	5E+06	5E+06	5E+06	3,17E-04	4,55E-06	-4,50E-05	4350229	221,93	18974	1,00E-07	0,692
8	14,99	23,06	20,02	0,531	1,882	95,47	0,00	0,000	9,55E+01	2E-05	1E-06	5E+06	5E+06	5E+06	3,88E-04	5,78E-06	-4,68E-05	4350229	221,93	18974	1,50E-07	0,848
9	14,99	23,1	22,88	0,531	1,882	95,47	0,00	0,000	9,55E+01	2E-05	1E-06	5E+06	5E+06	5E+06	4,58E-04	1,11E-05	-4,76E-05	4350229	221,93	18974	2,09E-07	1

Volumet for svingning i x- retning (Øst - vest)

$B^*φ(z)^2 \Delta z B^*φ(z)^2 \Delta z$

Vol 0,00E+00 1,43 0

Vol 1,92E-08 2,86 5E-08

Vol 1,13E-07 2,86 3E-07

Vol 3,43E-07 2,86 1E-06

Vol 7,62E-07 2,86 2E-06

Vol 1,41E-06 2,86 4E-06

Vol 2,31E-06 2,86 7E-06

Vol 3,47E-06 1,43 5E-06

Tot 2E-05

Modal mass 1 kg

My 52202 kg/m²

TABELL A 32: Resultater for vind inn fra kortside modell med forspenning på 1000kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.	Rel.m.	Rel.m.	Cur.mas.	Cur.ma	Cur.ma	Total	Total	Total	Nor							
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)	UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ
1	14,99	23,06	0	1,126	0,888	95,48	95,67	0,002	2,05E-05	95,671	0,0019	5E+06	5E+06	5E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6	4E+06	34617	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	1,126	0,888	95,48	95,67	0,002	2,05E-05	95,671	0,0019	5E+06	5E+06	5E+06	3,04E-06	4,81E-05	-2,09E-05	6	4E+06	34617	2,32E-09	0,103
3	14,99	23,06	5,72	1,126	0,888	95,48	95,67	0,002	2,05E-05	95,671	0,0019	5E+06	5E+06	5E+06	2,49E-06	9,97E-05	-3,60E-05	6	4E+06	34617	9,95E-09	0,213
4	14,99	23,06	8,58	1,126	0,888	95,48	95,67	0,002	2,05E-05	95,671	0,0019	5E+06	5E+06	5E+06	1,96E-06	1,56E-04	-4,82E-05	6	4E+06	34617	2,42E-08	0,333
5	14,99	23,06	11,44	1,126	0,888	95,48	95,67	0,002	2,05E-05	95,671	0,0019	5E+06	5E+06	5E+06	1,49E-06	2,15E-04	-5,79E-05	6	4E+06	34617	4,62E-08	0,459
6	14,99	23,06	14,3	1,126	0,888	95,48	95,67	0,002	2,05E-05	95,671	0,0019	5E+06	5E+06	5E+06	1,07E-06	2,77E-04	-6,55E-05	6	4E+06	34617	7,65E-08	0,591
7	14,99	23,06	17,16	1,126	0,888	95,48	95,67	0,002	2,05E-05	95,671	0,0019	5E+06	5E+06	5E+06	6,71E-07	3,40E-04	-7,09E-05	6	4E+06	34617	1,16E-07	0,727
8	14,99	23,06	20,02	1,126	0,888	95,48	95,67	0,002	2,05E-05	95,671	0,0019	5E+06	5E+06	5E+06	2,32E-07	4,04E-04	-7,42E-05	6	4E+06	34617	1,63E-07	0,864
9	14,99	23,1	22,88	1,126	0,888	95,48	95,67	0,002	2,05E-05	95,671	0,0019	5E+06	5E+06	5E+06	1,48E-06	4,68E-04	-7,55E-05	6	4E+06	34617	2,19E-07	1

Volumet for svingning i x- retning

$B^*φ(z)^2 \Delta z B^*φ(z)^2 \Delta z$

Vol 0,00E+00 1,43 0

Vol 3,48E-08 2,86 1E-07

Vol 1,49E-07 2,86 4E-07

Vol 3,63E-07 2,86 1E-06

Vol 6,92E-07 2,86 2E-06

Vol 1,15E-06 2,86 3E-06

Vol 1,73E-06 2,86 5E-06

Vol 2,45E-06 1,43 4E-06

Tot 2E-05

Modal mass 1 kg

My 65418 kg/m²

TABELL A 33: Resultater for akselerasjon ved forspenning på 1000kN.

Frekvens		n_1	0,53143284	n_2	1,125679313
Z (m)	Etg.	Langside		Kortside	
		Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]
0	1	0	0	0	0
2,86	2	0,063002232	0,000588822	0,10303216	0,000424781
5,72	3	0,153300496	0,001432755	0,213185651	0,000878922
8,58	4	0,266691263	0,002492511	0,332592011	0,001371211
11,44	5	0,397322494	0,003713398	0,45928215	0,001893529
14,3	6	0,54053663	0,005051885	0,591358755	0,002438055
17,16	7	0,692098406	0,00646839	0,726923056	0,002996959
20,02	8	0,847645021	0,007922138	0,864085804	0,003562454
22,88	9	1	0,009346056	1	0,004122801
		Krav akselerasjon [m/s ²]		Krav akselerasjon [m/s ²]	
Bolig		0,052995069		Bolig 0,04	
Etasje		utnyttelse 9 0,176357084		utnyttelse 0,103070031	

TABELL A 34: Resultater for vind inn fra langsideside modell med forspenning på 1500kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.			Cur.mas.	Cur.ma			Total			Total			Nor			
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)		s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)
1	14,99	23,06	0	0,436	2,292	96,72	0,00	0,000	9,67E+01	2E-05	1E-06	7E+06	7E+06	7E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6450700	343,51	27956	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	0,436	2,292	96,72	0,00	0,000	9,67E+01	2E-05	1E-06	7E+06	7E+06	7E+06	2,34E-05	2,22E-06	-1,12E-05	6450700	343,51	27956	5,55E-10	0,063
3	14,99	23,06	5,72	0,436	2,292	96,72	0,00	0,000	9,67E+01	2E-05	1E-06	7E+06	7E+06	7E+06	5,73E-05	2,67E-06	-1,94E-05	6450700	343,51	27956	3,29E-09	0,153
4	14,99	23,06	8,58	0,436	2,292	96,72	0,00	0,000	9,67E+01	2E-05	1E-06	7E+06	7E+06	7E+06	9,98E-05	2,92E-06	-2,58E-05	6450700	343,51	27956	9,96E-09	0,266
5	14,99	23,06	11,44	0,436	2,292	96,72	0,00	0,000	9,67E+01	2E-05	1E-06	7E+06	7E+06	7E+06	1,49E-04	3,12E-06	-3,07E-05	6450700	343,51	27956	2,21E-08	0,396
6	14,99	23,06	14,3	0,436	2,292	96,72	0,00	0,000	9,67E+01	2E-05	1E-06	7E+06	7E+06	7E+06	2,03E-04	3,38E-06	-3,44E-05	6450700	343,51	27956	4,10E-08	0,539
7	14,99	23,06	17,16	0,436	2,292	96,72	0,00	0,000	9,67E+01	2E-05	1E-06	7E+06	7E+06	7E+06	2,60E-04	3,81E-06	-3,70E-05	6450700	343,51	27956	6,74E-08	0,691
8	14,99	23,06	20,02	0,436	2,292	96,72	0,00	0,000	9,67E+01	2E-05	1E-06	7E+06	7E+06	7E+06	3,18E-04	4,83E-06	-3,85E-05	6450700	343,51	27956	1,01E-07	0,847
9	14,99	23,1	22,88	0,436	2,292	96,72	0,00	0,000	9,67E+01	2E-05	1E-06	7E+06	7E+06	7E+06	3,75E-04	9,24E-06	-3,92E-05	6450700	343,51	27956	1,41E-07	1

Volumet for svingning i x- retning (Øst - vest)

B*φ(z)2 DeltaZB*φ(z)2*DeltaZ

Voltt 0,00E+00 1,43 0

Voltt 1,28E-08 2,86 4E-08

Voltt 7,58E-08 2,86 2E-07

Voltt 2,30E-07 2,86 7E-07

Voltt 5,11E-07 2,86 1E-06

Voltt 9,46E-07 2,86 3E-06

Voltt 1,55E-06 2,86 4E-06

Voltt 2,33E-06 1,43 3E-06

Tot 1E-05

Modal mass 1 kg

My 77768 kg/m^2

TABELL A 35: Resultater for vind inn fra kortsideside modell med forspenning på 1500kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.			Cur.mas.	Cur.ma			Total			Total			Nor			
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)		s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)
1	14,99	23,06	0	0,925	1,081	96,73	96,74	0,002	2,06E-05	96,742	0,002	7E+06	7E+06	7E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8	6E+06	51063	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	0,925	1,081	96,73	96,74	0,002	2,06E-05	96,742	0,002	7E+06	7E+06	7E+06	2,49E-06	3,93E-05	-1,71E-05	8	6E+06	51063	1,55E-09	0,102
3	14,99	23,06	5,72	0,925	1,081	96,73	96,74	0,002	2,06E-05	96,742	0,002	7E+06	7E+06	7E+06	2,05E-06	8,15E-05	-2,96E-05	8	6E+06	51063	6,65E-09	0,212
4	14,99	23,06	8,58	0,925	1,081	96,73	96,74	0,002	2,06E-05	96,742	0,002	7E+06	7E+06	7E+06	1,61E-06	1,27E-04	-3,96E-05	8	6E+06	51063	1,62E-08	0,331
5	14,99	23,06	11,44	0,925	1,081	96,73	96,74	0,002	2,06E-05	96,742	0,002	7E+06	7E+06	7E+06	1,23E-06	1,76E-04	-4,76E-05	8	6E+06	51063	3,09E-08	0,458
6	14,99	23,06	14,3	0,925	1,081	96,73	96,74	0,002	2,06E-05	96,742	0,002	7E+06	7E+06	7E+06	8,78E-07	2,27E-04	-5,39E-05	8	6E+06	51063	5,14E-08	0,590
7	14,99	23,06	17,16	0,925	1,081	96,73	96,74	0,002	2,06E-05	96,742	0,002	7E+06	7E+06	7E+06	5,45E-07	2,79E-04	-5,84E-05	8	6E+06	51063	7,77E-08	0,725
8	14,99	23,06	20,02	0,925	1,081	96,73	96,74	0,002	2,06E-05	96,742	0,002	7E+06	7E+06	7E+06	1,79E-07	3,32E-04	-6,11E-05	8	6E+06	51063	1,10E-07	0,863
9	14,99	23,1	22,88	0,925	1,081	96,73	96,74	0,002	2,06E-05	96,742	0,002	7E+06	7E+06	7E+06	1,22E-06	3,84E-04	-6,22E-05	8	6E+06	51063	1,48E-07	1

Volumet for svingning i x- retning

B*φ(z)2 DeltaZB*φ(z)2*DeltaZ

Voltt 0,00E+00 1,43 0

Voltt 2,33E-08 2,86 7E-08

Voltt 9,96E-08 2,86 3E-07

Voltt 2,43E-07 2,86 7E-07

Voltt 4,64E-07 2,86 1E-06

Voltt 7,70E-07 2,86 2E-06

Voltt 1,17E-06 2,86 3E-06

Voltt 1,65E-06 1,43 2E-06

Tot 1E-05

Modal mass 1 kg

My 97411 kg/m^2

TABELL A 36: Resultater for akselerasjon ved forspenning på 1500kN.

Frekvens	n_1		n_2		
	0,436349864		0,924883266		
Z (m)	Etg.	Langside		Kortside	
		Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]
0	1	0	0	0	0
2,86	2	0,062704771	0,000477096	0,102480748	0,000354043
5,72	3	0,152684337	0,001161715	0,212114895	0,000732798
8,58	4	0,265798972	0,002022359	0,331101601	0,001143864
11,44	5	0,396258748	0,003014976	0,457530536	0,001580641
14,3	6	0,539455734	0,004104505	0,589569391	0,002036799
17,16	7	0,69118802	0,005258975	0,72538686	0,002506011
20,02	8	0,847111443	0,006445335	0,863146921	0,002981934
22,88	9	1	0,007608603	1	0,003454723
		Krav akselerasjon [m/s ²]		Krav akselerasjon [m/s ²]	
		Bolig 0,057854013		Bolig 0,041414394	
		Etasje utnyttelse 9 0,131513835		Etasje utnyttelse 0,08341842	

TABELL A 37: Resultater for vind inn fra langsideside modell med forspenning på 2000kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.	Rel.m.	Rel.m.	Cur.mas.	Cur.ma	Cur.ma	Total	Total	Total	Nor							
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)	UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ
1	14,99	23,06	0	0,340	2,945	97,80	0,00	0,000	9,78E+01	2E-05	1E-06	1E+07	1E+07	1E+07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	10652064	587,03	45920	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	0,340	2,945	97,80	0,00	0,000	9,78E+01	2E-05	1E-06	1E+07	1E+07	1E+07	1,82E-05	1,74E-06	-8,67E-06	10652064	587,03	45920	3,33E-10	0,062
3	14,99	23,06	5,72	0,340	2,945	97,80	0,00	0,000	9,78E+01	2E-05	1E-06	1E+07	1E+07	1E+07	4,44E-05	2,09E-06	-1,51E-05	10652064	587,03	45920	1,98E-09	0,152
4	14,99	23,06	8,58	0,340	2,945	97,80	0,00	0,000	9,78E+01	2E-05	1E-06	1E+07	1E+07	1E+07	7,74E-05	2,29E-06	-2,01E-05	10652064	587,03	45920	5,99E-09	0,265
5	14,99	23,06	11,44	0,340	2,945	97,80	0,00	0,000	9,78E+01	2E-05	1E-06	1E+07	1E+07	1E+07	1,15E-04	2,46E-06	-2,39E-05	10652064	587,03	45920	1,33E-08	0,395
6	14,99	23,06	14,3	0,340	2,945	97,80	0,00	0,000	9,78E+01	2E-05	1E-06	1E+07	1E+07	1E+07	1,57E-04	2,66E-06	-2,68E-05	10652064	587,03	45920	2,47E-08	0,539
7	14,99	23,06	17,16	0,340	2,945	97,80	0,00	0,000	9,78E+01	2E-05	1E-06	1E+07	1E+07	1E+07	2,02E-04	3,01E-06	-2,88E-05	10652064	587,03	45920	4,07E-08	0,690
8	14,99	23,06	20,02	0,340	2,945	97,80	0,00	0,000	9,78E+01	2E-05	1E-06	1E+07	1E+07	1E+07	2,47E-04	3,81E-06	-3,00E-05	10652064	587,03	45920	6,12E-08	0,847
9	14,99	23,1	22,88	0,340	2,945	97,80	0,00	0,000	9,78E+01	2E-05	1E-06	1E+07	1E+07	1E+07	2,92E-04	7,27E-06	-3,05E-05	10652064	587,03	45920	8,53E-08	1

Volumet for svingning i x- retning (Øst - vest)

B*φ(z)2 DeltaZ B*φ(z)2*DeltaZ

Vol 0,00E+00 1,43 0

Vol 7,68E-09 2,86 2E-08

Vol 4,56E-08 2,86 1E-07

Vol 1,38E-07 2,86 4E-07

Vol 3,08E-07 2,86 9E-07

Vol 5,71E-07 2,86 2E-06

Vol 9,38E-07 2,86 3E-06

Vol 1,41E-06 1,43 2E-06

Tot 8E-06

Modal mass 1 kg

My 1E+05 kg/m^2

TABELL A 38: Resultater for vind inn fra kortsideside modell med forspenning på 2000kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.	Rel.m.	Rel.m.	Cur.mas.	Cur.ma	Cur.ma	Total	Total	Total	Nor							
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)	UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ
1	14,99	23,06	0	0,720	1,389	97,81	97,67	0,002	2,06E-05	97,669	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	13	1E+07	83955	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	0,720	1,389	97,81	97,67	0,002	2,06E-05	97,669	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	1,94E-06	3,05E-05	-1,33E-05	13	1E+07	83955	9,32E-10	0,102
3	14,99	23,06	5,72	0,720	1,389	97,81	97,67	0,002	2,06E-05	97,669	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	1,59E-06	6,32E-05	-2,30E-05	13	1E+07	83955	4,00E-09	0,211
4	14,99	23,06	8,58	0,720	1,389	97,81	97,67	0,002	2,06E-05	97,669	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	1,25E-06	9,87E-05	-3,08E-05	13	1E+07	83955	9,74E-09	0,330
5	14,99	23,06	11,44	0,720	1,389	97,81	97,67	0,002	2,06E-05	97,669	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	9,55E-07	1,36E-04	-3,71E-05	13	1E+07	83955	1,86E-08	0,456
6	14,99	23,06	14,3	0,720	1,389	97,81	97,67	0,002	2,06E-05	97,669	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	6,83E-07	1,76E-04	-4,20E-05	13	1E+07	83955	3,10E-08	0,588
7	14,99	23,06	17,16	0,720	1,389	97,81	97,67	0,002	2,06E-05	97,669	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	4,21E-07	2,17E-04	-4,55E-05	13	1E+07	83955	4,70E-08	0,724
8	14,99	23,06	20,02	0,720	1,389	97,81	97,67	0,002	2,06E-05	97,669	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	1,33E-07	2,58E-04	-4,77E-05	13	1E+07	83955	6,66E-08	0,862
9	14,99	23,1	22,88	0,720	1,389	97,81	97,67	0,002	2,06E-05	97,669	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	9,54E-07	2,99E-04	-4,85E-05	13	1E+07	83955	8,95E-08	1

Volumet for svingning i x- retning

B*φ(z)2 DeltaZ B*φ(z)2*DeltaZ

Vol 0,00E+00 1,43 0

Vol 1,40E-08 2,86 4E-08

Vol 5,99E-08 2,86 2E-07

Vol 1,46E-07 2,86 4E-07

Vol 2,79E-07 2,86 8E-07

Vol 4,64E-07 2,86 1E-06

Vol 7,04E-07 2,86 2E-06

Vol 9,98E-07 1,43 1E-06

Tot 6E-06

Modal mass 1 kg

My 2E+05 kg/m^2

TABELL A 39: Resultater for akselerasjon ved forspenning på 2000kN.

Frekvens	n_1 0,378956779 n_2 0,803499203				
	Langside	Kortsideside			
Z (m)	Etg.	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]
0	1	0	0	0	0
2,86	2	0,062555267	0,00040668	0,102203629	0,000309388
5,72	3	0,152371867	0,000990588	0,211572882	0,000640467
8,58	4	0,265344977	0,001725041	0,330345437	0,001000012
11,44	5	0,395719083	0,002572619	0,45664189	0,001382333
14,3	6	0,538906151	0,003503496	0,588663926	0,001781987
17,16	7	0,690726385	0,004490498	0,724606737	0,002193509
20,02	8	0,846840053	0,005505413	0,862668619	0,002611446
22,88	9	1	0,006501124	1	0,003027171
		Krav akselerasjon [m/s ²]		Krav akselerasjon [m/s ²]	
		Bolig 0,061600975		Bolig 0,044090139	
		Etasje utnyttelse 9 0,105536063		utnyttelse 0,068658694	

TABELL A 40: Resultater for vind inn fra langside modell med forspenning på 2500kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.	Rel.m.	Rel.m.	Cur.mas.	Cur.ma	Cur.ma	Total	Total	Total				Nor				
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)	UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ
1	14,99	23,06	0	1,256	0,796	83,62	0,00	0,000	8,36E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	784079	19,699	3705,4	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	1,256	0,796	83,62	0,00	0,000	8,36E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	7,31E-05	5,94E-06	-3,33E-05	784079	19,699	3705,4	5,38E-09	0,067
3	14,99	23,06	5,72	1,256	0,796	83,62	0,00	0,000	8,36E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	1,77E-04	6,71E-06	-5,73E-05	784079	19,699	3705,4	3,13E-08	0,162
4	14,99	23,06	8,58	1,256	0,796	83,62	0,00	0,000	8,36E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	3,05E-04	6,88E-06	-7,53E-05	784079	19,699	3705,4	9,28E-08	0,280
5	14,99	23,06	11,44	1,256	0,796	83,62	0,00	0,000	8,36E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	4,50E-04	6,93E-06	-8,87E-05	784079	19,699	3705,4	2,02E-07	0,413
6	14,99	23,06	14,3	1,256	0,796	83,62	0,00	0,000	8,36E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	6,06E-04	7,12E-06	-9,81E-05	784079	19,699	3705,4	3,67E-07	0,556
7	14,99	23,06	17,16	1,256	0,796	83,62	0,00	0,000	8,36E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	7,68E-04	7,78E-06	-1,04E-04	784079	19,699	3705,4	5,90E-07	0,705
8	14,99	23,06	20,02	1,256	0,796	83,62	0,00	0,000	8,36E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	9,32E-04	9,97E-06	-1,08E-04	784079	19,699	3705,4	8,68E-07	0,855
9	14,99	23,1	22,88	1,256	0,796	83,62	0,00	0,000	8,36E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	1,09E-03	2,10E-05	-1,09E-04	784079	19,699	3705,4	1,19E-06	1

Volumet for svingninger langside
 $B^* \phi(z)^2 \Delta Z \Delta B^* \phi(z)^2 \Delta Z$
 Volt 0,00E+00 1,43 0
 Volt 1,24E-07 2,86 4E-07
 Volt 7,21E-07 2,86 2E-06
 Volt 2,14E-06 2,86 6E-06
 Volt 4,66E-06 2,86 1E-05
 Volt 8,47E-06 2,86 2E-05
 Volt 1,36E-05 2,86 4E-05
 Volt 2,00E-05 1,43 3E-05
 Tot 1E-04

Modal mass 1 kg
 My 8798 kg/m²

TABELL A 41: Resultater for vind inn fra kortsid modell med forspenning på 2500kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.	Rel.m.	Rel.m.	Cur.mas.	Cur.ma	Cur.ma	Total	Total	Total				Nor				
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)	UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ
1	14,99	23,06	0	0,720	1,389	97,81	97,67	0,002	2,06E-05	97,669	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	13	1E+07	83955	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	0,720	1,389	97,81	97,67	0,002	2,06E-05	97,669	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	1,94E-06	3,05E-05	-1,33E-05	13	1E+07	83955	9,32E-10	0,102
3	14,99	23,06	5,72	0,720	1,389	97,81	97,67	0,002	2,06E-05	97,669	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	1,59E-06	6,32E-05	-2,30E-05	13	1E+07	83955	4,00E-09	0,211
4	14,99	23,06	8,58	0,720	1,389	97,81	97,67	0,002	2,06E-05	97,669	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	1,25E-06	9,87E-05	-3,08E-05	13	1E+07	83955	9,74E-09	0,330
5	14,99	23,06	11,44	0,720	1,389	97,81	97,67	0,002	2,06E-05	97,669	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	9,55E-07	1,36E-04	-3,71E-05	13	1E+07	83955	1,86E-08	0,456
6	14,99	23,06	14,3	0,720	1,389	97,81	97,67	0,002	2,06E-05	97,669	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	6,83E-07	1,76E-04	-4,20E-05	13	1E+07	83955	3,10E-08	0,588
7	14,99	23,06	17,16	0,720	1,389	97,81	97,67	0,002	2,06E-05	97,669	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	4,21E-07	2,17E-04	-4,55E-05	13	1E+07	83955	4,70E-08	0,724
8	14,99	23,06	20,02	0,720	1,389	97,81	97,67	0,002	2,06E-05	97,669	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	1,33E-07	2,58E-04	-4,77E-05	13	1E+07	83955	6,66E-08	0,862
9	14,99	23,1	22,88	0,720	1,389	97,81	97,67	0,002	2,06E-05	97,669	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	9,54E-07	2,99E-04	-4,85E-05	13	1E+07	83955	8,95E-08	1

Volumet for svingning i x- retning
 $B^* \phi(z)^2 \Delta Z \Delta B^* \phi(z)^2 \Delta Z$
 Volt 0,00E+00 1,43 0
 Volt 1,40E-08 2,86 4E-08
 Volt 5,99E-08 2,86 2E-07
 Volt 1,46E-07 2,86 4E-07
 Volt 2,79E-07 2,86 8E-07
 Volt 4,64E-07 2,86 1E-06
 Volt 7,04E-07 2,86 2E-06
 Volt 9,98E-07 1,43 1E-06
 Tot 6E-06

Modal mass 1 kg
 My 2E+05 kg/m²

TABELL A 42: Resultater for akselerasjon ved forspenning på 2500kN.

Frekvens	n_1 0,339525051 n_2 0,720035768				
	Langside		Kortsid		
Z (m)	Etg.	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]
0	1	0	0	0	0
2,86	2	0,062464174	0,000357024	0,102035268	0,000277551
5,72	3	0,152184018	0,000869832	0,211247534	0,000574624
8,58	4	0,265073395	0,00151507	0,329889285	0,000897347
11,44	5	0,39539257	0,00225993	0,456105578	0,001240673
14,3	6	0,538572359	0,003078297	0,588115441	0,001599759
17,16	7	0,690446766	0,00394636	0,724135963	0,001969755
20,02	8	0,846676699	0,004839317	0,862380685	0,002345801
22,88	9	1	0,005715661	1	0,002720145
		Krav akselerasjon [m/s ²]		Krav akselerasjon [m/s ²]	
		Bolig	0,064687748	Bolig	0,046295356
		Etasje	utnyttelse	utnyttelse	
			9 0,088357706		0,058756326

TABELL A 43: Resultater for vind inn fra langside modell med forspenning på 3000kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.	Rel.m.	Rel.m.	Cur.mas.	Cur.ma	Cur.ma	Total	Total	Total	Nor							
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)	UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ
1	14,99	23,06	0	1,256	0,796	83,62	0,00	0,000	8,36E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	784079	19,699	3705,4	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	1,256	0,796	83,62	0,00	0,000	8,36E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	7,31E-05	5,94E-06	-3,33E-05	784079	19,699	3705,4	5,38E-09	0,067
3	14,99	23,06	5,72	1,256	0,796	83,62	0,00	0,000	8,36E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	1,77E-04	6,71E-06	-5,73E-05	784079	19,699	3705,4	3,13E-08	0,162
4	14,99	23,06	8,58	1,256	0,796	83,62	0,00	0,000	8,36E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	3,05E-04	6,88E-06	-7,53E-05	784079	19,699	3705,4	9,28E-08	0,280
5	14,99	23,06	11,44	1,256	0,796	83,62	0,00	0,000	8,36E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	4,50E-04	6,93E-06	-8,87E-05	784079	19,699	3705,4	2,02E-07	0,413
6	14,99	23,06	14,3	1,256	0,796	83,62	0,00	0,000	8,36E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	6,06E-04	7,12E-06	-9,81E-05	784079	19,699	3705,4	3,67E-07	0,556
7	14,99	23,06	17,16	1,256	0,796	83,62	0,00	0,000	8,36E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	7,68E-04	7,78E-06	-1,04E-04	784079	19,699	3705,4	5,90E-07	0,705
8	14,99	23,06	20,02	1,256	0,796	83,62	0,00	0,000	8,36E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	9,32E-04	9,97E-06	-1,08E-04	784079	19,699	3705,4	8,68E-07	0,855
9	14,99	23,1	22,88	1,256	0,796	83,62	0,00	0,000	8,36E+01	1E-05	9E-07	1E+06	1E+06	1E+06	1,09E-03	2,10E-05	-1,09E-04	784079	19,699	3705,4	1,19E-06	1

Volumet for svingninger langside
 $B^* \phi(z)^2 \Delta Z \Delta B^* \phi(z)^2 \Delta Z$
 Volt 0,00E+00 1,43 0
 Volt 1,24E-07 2,86 4E-07
 Volt 7,21E-07 2,86 2E-06
 Volt 2,14E-06 2,86 6E-06
 Volt 4,66E-06 2,86 1E-05
 Volt 8,47E-06 2,86 2E-05
 Volt 1,36E-05 2,86 4E-05
 Volt 2,00E-05 1,43 3E-05
 Tot 1E-04

Modal mass 1 kg
 My 8798 kg/m²

TABELL A 44: Resultater for vind inn fra kortsid side modell med forspenning på 3000kN.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Rel.m.	Rel.m.	Rel.m.	Cur.mas.	Cur.ma	Cur.ma	Total	Total	Total	Nor							
						UX (%)	UY (%)	UZ (%)	UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	UX (kg)	UY (kg)	UZ (kg)	φ UX	φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ	m. φ
1	14,99	23,06	0	0,658	1,519	98,09	97,91	0,002	2,06E-05	97,911	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	15	1E+07	100401	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	0,658	1,519	98,09	97,91	0,002	2,06E-05	97,911	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	1,77E-06	2,78E-05	-1,22E-05	15	1E+07	100401	7,77E-10	0,102
3	14,99	23,06	5,72	0,658	1,519	98,09	97,91	0,002	2,06E-05	97,911	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	1,46E-06	5,77E-05	-2,10E-05	15	1E+07	100401	3,33E-09	0,211
4	14,99	23,06	8,58	0,658	1,519	98,09	97,91	0,002	2,06E-05	97,911	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	1,15E-06	9,01E-05	-2,82E-05	15	1E+07	100401	8,13E-09	0,330
5	14,99	23,06	11,44	0,658	1,519	98,09	97,91	0,002	2,06E-05	97,911	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	8,73E-07	1,25E-04	-3,39E-05	15	1E+07	100401	1,55E-08	0,456
6	14,99	23,06	14,3	0,658	1,519	98,09	97,91	0,002	2,06E-05	97,911	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	6,24E-07	1,61E-04	-3,84E-05	15	1E+07	100401	2,58E-08	0,588
7	14,99	23,06	17,16	0,658	1,519	98,09	97,91	0,002	2,06E-05	97,911	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	3,84E-07	1,98E-04	-4,16E-05	15	1E+07	100401	3,92E-08	0,724
8	14,99	23,06	20,02	0,658	1,519	98,09	97,91	0,002	2,06E-05	97,911	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	1,20E-07	2,36E-04	-4,36E-05	15	1E+07	100401	5,56E-08	0,862
9	14,99	23,1	22,88	0,658	1,519	98,09	97,91	0,002	2,06E-05	97,911	0,0022	1E+07	1E+07	1E+07	8,72E-07	2,73E-04	-4,44E-05	15	1E+07	100401	7,48E-08	1

Volumet for svingning kortsid side
 $B^* \phi(z)^2 \Delta Z \Delta B^* \phi(z)^2 \Delta Z$
 Volt 0,00E+00 1,43 0
 Volt 1,16E-08 2,86 3E-08
 Volt 4,99E-08 2,86 1E-07
 Volt 1,22E-07 2,86 3E-07
 Volt 2,33E-07 2,86 7E-07
 Volt 3,87E-07 2,86 1E-06
 Volt 5,87E-07 2,86 2E-06
 Volt 8,34E-07 1,43 1E-06
 Tot 5E-06

Modal mass 1 kg
 My 2E+05 kg/m²

TABELL A 45: Resultater for akselerasjon ved forspenning på 3000kN.

Frekvens	n_1 0,310294272 n_2 0,658133131				
	Langside		Kortsid side		
Z (m)	Etg.	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]	Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]
0	1	0	0	0	0
2,86	2	0,062403624	0,000319644	0,101921639	0,00025323
5,72	3	0,152059206	0,000778879	0,211025583	0,000524305
8,58	4	0,264891178	0,001356827	0,329581256	0,000818863
11,44	5	0,395172452	0,002024155	0,455745284	0,001132325
14,3	6	0,538353414	0,002757558	0,587746141	0,001460288
17,16	7	0,690261447	0,003535662	0,723816504	0,001798363
20,02	8	0,846570193	0,004336308	0,86218485	0,002142147
22,88	9	1	0,005122207	1	0,002484556
		Krav akselerasjon [m/s ²]		Krav akselerasjon [m/s ²]	
		Bolig	0,067331869	Bolig	0,048184834
		Etasje	utnyttelse	utnyttelse	
			9 0,076074034		0,051563031

TABELL A 46: Resultater for vind inn fra langside modell med forspenning på last på 150 kN, øverste etasje

har mesh-størrelse på 0,1 m.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Cur.ma Cur.ma Total Total Total										Nor						
						Rel.m. UX (%)	Rel.m. UY (%)	Rel.m. UZ (%)	Cur.mas. UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	Total mass UX (kg)	Total mass UY (kg)	Total mass UZ (kg)	φ UX		φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ
1	14,99	23,06	0	1,255	0,797	83,61	0,00	0,000	8,36E+01	2E-05	2E-07	1E+06	1E+06	1E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	784014	16,721	3677,4	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	1,255	0,797	83,61	0,00	0,000	8,36E+01	2E-05	2E-07	1E+06	1E+06	1E+06	7,30E-05	5,88E-06	-3,32E-05	784014	16,721	3677,4	5,37E-09	0,067
3	14,99	23,06	5,72	1,255	0,797	83,61	0,00	0,000	8,36E+01	2E-05	2E-07	1E+06	1E+06	1E+06	1,77E-04	6,61E-06	-5,72E-05	784014	16,721	3677,4	3,12E-08	0,162
4	14,99	23,06	8,58	1,255	0,797	83,61	0,00	0,000	8,36E+01	2E-05	2E-07	1E+06	1E+06	1E+06	3,04E-04	6,72E-06	-7,52E-05	784014	16,721	3677,4	9,27E-08	0,280
5	14,99	23,06	11,44	1,255	0,797	83,61	0,00	0,000	8,36E+01	2E-05	2E-07	1E+06	1E+06	1E+06	4,49E-04	6,71E-06	-8,86E-05	784014	16,721	3677,4	2,02E-07	0,413
6	14,99	23,06	14,3	1,255	0,797	83,61	0,00	0,000	8,36E+01	2E-05	2E-07	1E+06	1E+06	1E+06	6,06E-04	6,82E-06	-9,80E-05	784014	16,721	3677,4	3,67E-07	0,556
7	14,99	23,06	17,16	1,255	0,797	83,61	0,00	0,000	8,36E+01	2E-05	2E-07	1E+06	1E+06	1E+06	7,68E-04	7,23E-06	-1,04E-04	784014	16,721	3677,4	5,90E-07	0,705
8	14,99	23,06	20,02	1,255	0,797	83,61	0,00	0,000	8,36E+01	2E-05	2E-07	1E+06	1E+06	1E+06	9,32E-04	8,80E-06	-1,07E-04	784014	16,721	3677,4	8,68E-07	0,856
9	14,99	23,1	22,88	1,255	0,797	83,61	0,00	0,000	8,36E+01	2E-05	2E-07	1E+06	1E+06	1E+06	1,09E-03	1,99E-05	-1,08E-04	784014	16,721	3677,4	1,19E-06	1

Volumet for svingning i x- retning (Øst - vest)
 $B^*φ(z)^2$ DeltaZ $B^*φ(z)^2$ DeltaZ
 Volk 0,00E+00 1,43 0
 Volk 1,24E-07 2,86 4E-07
 Volk 7,20E-07 2,86 2E-06
 Volk 2,14E-06 2,86 6E-06
 Volk 4,66E-06 2,86 1E-05
 Volk 8,46E-06 2,86 2E-05
 Volk 1,36E-05 2,86 4E-05
 Volk 2,00E-05 1,43 3E-05
 Tot 1E-04

Modal mass 1 kg
 My 8804 kg/m²

TABELL A 47: Resultater for vind inn fra kortside modell med forspenning på last på 150 kN, øverste etasje har mesh-størrelse på 0,1 m.

etg	X (m)	Y (m)	Z (m)	f (Hz)	P (s)	Cur.ma Cur.ma Total Total Total										Nor						
						Rel.m. UX (%)	Rel.m. UY (%)	Rel.m. UZ (%)	Cur.mas. UX (%)	s.UY (%)	s.UZ (%)	Total mass UX (kg)	Total mass UY (kg)	Total mass UZ (kg)	φ UX		φ UY	φ UZ	mX (kg)	mY (kg)	mZ (kg)	Pyt. φ
1	14,99	23,06	0	2,627	0,381	83,62	85,84	0,001	2,31E-05	85,837	0,0006	1E+06	1E+06	1E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2	776047	6570,5	0,00E+00	0,000
2	14,99	23,06	2,86	2,627	0,381	83,62	85,84	0,001	2,31E-05	85,837	0,0006	1E+06	1E+06	1E+06	7,09E-06	1,21E-04	-4,97E-05	2	776047	6570,5	1,46E-08	0,111
3	14,99	23,06	5,72	2,627	0,381	83,62	85,84	0,001	2,31E-05	85,837	0,0006	1E+06	1E+06	1E+06	5,77E-06	2,49E-04	-8,48E-05	2	776047	6570,5	6,19E-08	0,229
4	14,99	23,06	8,58	2,627	0,381	83,62	85,84	0,001	2,31E-05	85,837	0,0006	1E+06	1E+06	1E+06	4,49E-06	3,85E-04	-1,12E-04	2	776047	6570,5	1,48E-07	0,354
5	14,99	23,06	11,44	2,627	0,381	83,62	85,84	0,001	2,31E-05	85,837	0,0006	1E+06	1E+06	1E+06	3,40E-06	5,27E-04	-1,34E-04	2	776047	6570,5	2,78E-07	0,485
6	14,99	23,06	14,3	2,627	0,381	83,62	85,84	0,001	2,31E-05	85,837	0,0006	1E+06	1E+06	1E+06	2,46E-06	6,71E-04	-1,49E-04	2	776047	6570,5	4,50E-07	0,617
7	14,99	23,06	17,16	2,627	0,381	83,62	85,84	0,001	2,31E-05	85,837	0,0006	1E+06	1E+06	1E+06	1,48E-06	8,15E-04	-1,61E-04	2	776047	6570,5	6,64E-07	0,749
8	14,99	23,06	20,02	2,627	0,381	83,62	85,84	0,001	2,31E-05	85,837	0,0006	1E+06	1E+06	1E+06	5,80E-08	9,54E-04	-1,66E-04	2	776047	6570,5	9,10E-07	0,877
9	14,99	23,1	22,88	2,627	0,381	83,62	85,84	0,001	2,31E-05	85,837	0,0006	1E+06	1E+06	1E+06	3,03E-06	1,09E-03	-1,67E-04	2	776047	6570,5	1,18E-06	1

Volumet for svingning i x- retning
 $B^*φ(z)^2$ DeltaZ $B^*φ(z)^2$ DeltaZ
 Volk 0,00E+00 1,43 0
 Volk 2,19E-07 2,86 6E-07
 Volk 9,27E-07 2,86 3E-06
 Volk 2,22E-06 2,86 6E-06
 Volk 4,16E-06 2,86 1E-05
 Volk 6,75E-06 2,86 2E-05
 Volk 9,95E-06 2,86 3E-05
 Volk 1,36E-05 1,43 2E-05
 Tot 9E-05

Modal mass 1 kg
 My 11260 kg/m²

TABELL A 48: Resultater for akselerasjon ved forspenning på 150 kN, øverste etasje har mesh-størrelse på 0,1 m.

Z (m)	Etg.	Frekvens	
		n_1	n_2
		1,254661895	2,627481822
		Langside	
		Kortside	
		Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]
		Normalisert egenvektor	Akselerasjon [m/s ²]
0	1	0	0
2,86	2	0,067290337	0,001349692
5,72	3	0,162211184	0,003253589
8,58	4	0,279563775	0,005607416
11,44	5	0,412673441	0,008277294
14,3	6	0,556196588	0,011156043
17,16	7	0,705421662	0,01414916
20,02	8	0,855568518	0,017160765
22,88	9	1	0,020057734
		Krav akselerasjon [m/s ²]	
		Bolig	0,052549636
		Akselerasjon	0,020057734
		Etsasje utnyttelse	0,008494213
		9	0,501443342
		utnyttelse	0,161641705

VEDLEGG B**Resultater for statiske beregninger i Autodesk Robot.**

Dette vedlegget inneholder resultatene fra robot, inklusive rotasjonsdeformasjoner.

TABELL B 1: Reaksjonskrefter, globale ekstremer, for modell uten forspenning.

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
MAX	11,961	42,286	94,694	0	0	0
Node	129064	9057	126077	139264	126077	11965
Case	15 (C)	12 (C)	12 (C)	12 (C)	12 (C)	14 (C)
MIN	-22,431	-48,158	-5,819	0	0	0
Node	129027	11965	128818	128892	126102	129461
Case	14 (C)	12 (C)	14 (C)	12 (C)	15 (C)	14 (C)

TABELL B 2: Deformasjoner, globale ekstremer, for modell uten forspenning.

	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)	RX (Rad)	RY (Rad)	RZ (Rad)
MAX	4,81949	0,26501	0,08688	0,001	0,003	0
Node	21399	46051	128826	126053	127858	54327
Case	14 (C)	17 (C)	14 (C)	14 (C)	12 (C)	14 (C)
MIN	-0,266	-0,1938	-2,0827	-0,001	-0,003	0
Node	54240	125963	111904	129772	129088	57784
Case	15 (C)	12 (C)	12 (C)	12 (C)	12 (C)	14 (C)

TABELL B 3: Platemonenter, globale ekstremer, for modell uten forspenning.

	MXX (kNm/m)	MYY (kNm/m)	MXY (kNm/m)
MAX	3,809	2,618	0,507
Panel	495	172	460
Node	3858	127741	123611*
Case	14 (C)	12 (C)	14 (C)
MIN	-2,859	-1,564	-0,374
Panel	495	460	19
Node	3702	3862	35889*
Case	6	14 (C)	12 (C)

TABELL B 4: Reaksjonskrefter, globale ekstremer, for modell med forspenning på 150 kN.

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
MAX	26,774	108,799	153,584	0	0	0
Node	130252	9057	129527	9080	126691	129145
Case	15	12	12	12	13	17
MIN	-29,978	-97,496	-169,59	0	0	0
Node	129459	11965	11963	11967	126672	9057
Case	14	12	17	12	12	14

TABELL B 5: Deformasjoner, globale ekstremer, for modell med forspenning på 150 kN.

	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)	RX (Rad)	RY (Rad)	RZ (Rad)
MAX	4,91533038	0,303643	0	0,005	0,005	0
Node	21475	39968	126633	36933	128339	24512
Case	14	17	12	16	12	17
MIN	-0,2042865	-0,361178	-4,9159	-0,003	-0,005	-0,001
Node	55928	11368	44329	33457	128303	19916
Case	15	14	12	12	15	14

TABELL B 6: Platemomenter, globale ekstremer, for modell med forspenning på 150 kN.

	MXX (kNm/m)	MYY (kNm/m)	MXY (kNm/m)
MAX	4,923	3,704	0,695
Panel	503	171	503
Node	82908	128098	23017
Case	12	12	12
MIN	-14,339	-6,726	-0,696
Panel	508	503	503
Node	6123	5958	24549
Case	17	12	15

VEDLEGG C

Statiske og dynamiske beregninger

Dette vedlegget inneholder de kalkulasjonene gjort i forhold til lastberegninger. Dette er hentet fra ett Excel-dokument hvor disse beregningene ble utført.

Alle beregninger er gjort i henhold til kapittel 3. Vindlastene er beregnet i henhold til NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009 og Robot har beregnet de dynamiske egenskapene i henhold til kapittel 4, og snølastene er beregnet i henhold til NS-EN 1991-1-3:2002+NA:2008.

Vindlastkalkulasjoner

Terrengkategori: 3 - for område med vegetasjon eller bygninger med spredte hindringer med avstand minst 20 ganger deres høyde (landsbyer, forstadsterreng, permanent skog)

TABELL C 1: Beregninger av basisvindhastighet.

Beregning av basisvindhastigheten				
$v_{b,0}$	referansevindhastighet	22	m/s	Tabell NA.4(901.1), for Ås, Akershus
c_{dir}	retningsfaktor	1		Anbefalt verdi er lik 1 når annet ikke er sagt i NA, største = 1 (Tabell NA.4 (901.4))
c_{season}	årstidsfaktoren	1		Anbefalt verdi er lik 1 når annet ikke er sagt i NA, største = 1 - endres fra sommer/vinter
v_b	basisvindhastighet	22	m/s	

TABELL C 2: Beregninger av terrengruhetsfaktor.

z_0	ruhetslengden	0,3	m	Tabell 4.1, NS-EN 1991-1-4
$z_{0,2}$	ruhetslengden til kategori 2	0,05	m	Tabell 4.1, NS-EN 1991-1-4
k_r	terrengruhetsfaktor	0,22		
z_{min}	minimumshøyde	5	m	EN 1991-1-4, tabell 4.1
z_{max}	maksimumshøyden = 200m	200	m	
z	byggets høyde	22,97	m	
$c_r(z)$	terrengruhet	0,93		

TABELL C 3: Beregninger av vindkasthastighetstrykk.

Vindturbulens				
k_1	turbulensfaktor	1		Anbefalt verdi er lik 1 når annet ikke er sagt i NA
$c_0(z)$	terrengformfaktoren	1		
I_v	Turbulensintensitet	0,23		
Vindkasthastighetstrykk				
ρ	lufttetthet	1,25	kg/m^3	avhenger av ulike faktorer, tall hentet fra NA 4.5
v_m		20,56	m/s	
$q_p(z)$	Vindkasthastighetstrykk	690,28	Pa	

Vind på vegger

TABELL C 4: Verdier ved bruk av beregning for vind inn fra langsiden.

Vind inn på langsiden av bygget			
b	mål på tvers av vindretningen	23,2	m
e	minste av b og 2h	23,2	m
d	mål langs med vinden	15,13	m
A	totalt areal kortvegg, langs	347,54	m ²
h/d	Virkelig h/d verdi	1,52	h/d
h/d, kalk	h/d verdi brukt for formel	1	h/d, kalk
h/d, kalk +	h/d verdi brukt for formel	5	
c_s,c_d		1	

TABELL C 5: Beregninger for vindtrykk.

		A	B	C	D	E
b	Sonebredde	4,64	10,49	0	23,2	23,2
h	Sonehøyde	22,97	22,97	22,97	22,97	22,97
areal	Areal til sonen	106,58	240,96	0	532,904	532,90
$c_{pe,10}$	Formfaktor areal 10	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,523
$c_{pe,1}$	Formfaktor areal 1	-1,4	-1,1	-0,5	1	-0,53
c_{pe}	Formfaktor	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,53
w_e	Vindtrykk [Pa]	-828,33	-552,22	-345,14	552,22	-363,02
$F_{w,e}$	Vindkrefter [N]	-88284,08	-133060,34	0	294280,3	-193456

TABELL C 6: Interpolasjonskalkulator for sone D og E.

		D	E
y_1	pe v/ x_0	0,8	-0,5
y_2	pe v/ x_1	0,8	-0,7
x_1	h/d kalk	1	1
x_2	h/d kalk + 1	5	5
x	h/d	1,518176	1,518176
y	c_pe	0,8	-0,52591

TABELL C 7: Beregning av krefter for sonene.

Kraftfaktor			
$F_{w,l}$	krefter, kortsiden	-221344,415	N
$F_{w,D}$		294280,254	N
$F_{w,E}$		-193455,715	N

TABELL C 8: Verdier ved bruk av beregning for vind inn fra kortsiden.

Vind inn på kortsiden av bygget			
b	mål på tvers av vindretningen	15,13	m
e	minste av b og 2h	15,13	m
d	mål langs med vinden	23,2	m
totalt areal kortvegg	347,5361		m ²
h/d		0,99008621	h/d
h/d, kalk	h/d verdi brukt for formel	0,25	h/d, kalk
h/d, kalk +	h/d verdi brukt for formel	1	
c_s,c_d		1	

TABELL C 9: Beregninger for vindtrykk.

		A	B	C	D	E
b	Sonebredde	3,026	12,104	8,07	15,13	15,13
h	Sonehøyde	22,97	22,97	22,97	22,97	22,97
areal	Areal til sonen	69,50722	278,02888	185,3679	347,5361	347,5361
$c_{pe,10}$	Formfaktor areal 10	-1,2	-0,8	-0,5	0,798678	-0,49736
$c_{pe,1}$	Formfaktor areal 1	-1,4	-1,1	-0,5	1	-0,49736
c_{pe}	Formfaktor	-1,2	-0,8	-0,5	0,798678	-0,50
w_e	Vindtrykk	-828,33	-552,22	-345,14	551,3076	-343,313
$F_{w,e}$	Vindkrefter [N]	-57574,92	-153533,11	-63977,4	191599,3	-119314

TABELL C 10: Beregning av krefter for sonene.

		D	E
y_1	pe v/ x_0	0,7	-0,3
y_2	pe v/ x_1	0,8	-0,5
x_1	h/d kalk	0,25	0,25
x_2	h/d kalk + 1	1	1
x	h/d	0,990086	0,990086
y	c_pe	0,798678	-0,49736

TABELL C 11: Beregning av krefter for sonene.

Kraftfaktor			
$F_{w,l}$	krefter, langsida	-275085,444	N
$F_{w,D}$		191599,286	N
$F_{w,E}$		-119313,537	N

Flatt tak

TABELL C 12: Verdier ved bruk av beregning for vind på taket ved vind inn fra langsiden.

Vind inn på langsiden av bygget			
b	mål på tvers av vindretningen	23,2	m
e	minste av b og 2h	23,2	m
d	mål langs med vinden	15,13	m
c_s,c_d		1	

TABELL C 13: Beregninger for vindtrykk.

		F	G	H	I
b_i	Sonelengde (tvers på vinden)	11,6	11,6	23,2	23,2
d_i	Sonebredde(langs med vinden)	2,32	2,32	9,28	3,53
Areal	Soneareal	26,912	26,912	215,296	81,896
$c_{pe,10}$		-1,8	-1,2	-0,7	0,2
$c_{pe,1}$		-2,5	-2	-1,2	0,2
$c_{pe,10,2}$					-0,2
$c_{pe,1,2}$					-0,2
$c_{pe,1,2}$					-0,2
c_{pe}		-1,8	-1,2	-0,7	0,2
$c_{pe,2}$		0	0	0	-0,2
$w_{e,1}$		-1242,49503	-828,33002	-483,192511	138,055
$w_{e,k2}$		0	0	0	-138,055
$F_{w_{e,1}}$		-33438,0262	-22292,017	-104029,415	11306,15
$F_{w_{e,2}}$		0	0	0	-11306,2

TABELL C 14: Største kraften på taket, brukes videre i modellen.

$F_{w,e}$	Største kraften på taket, sum største last $F_{w,e}$	-171065,611	N
-----------	--	-------------	---

TABELL C 15: Verdier ved bruk av beregning for vind på taket ved vind inn fra kortsiden.

Vind inn på kortsiden av bygget			
b	mål på tvers av vindretningen	15,13	m
e	minste av b og 2h	15,13	m
d	mål langs med vinden	23,2	m
c_s,c_d		1	

TABELL C 16: Beregninger for vindtrykk.

		F	G	H	I
b_i	Sonelengde (tvers på vinden)	7,565	7,565	15,13	15,13
d_i	Sonebredde(langs med vinden)	1,513	1,513	6,052	15,635
Areal	Soneareal	11,445845	11,445845	91,56676	236,5576
$c_{pe,10}$		-1,8	-1,2	-0,7	0,2
$c_{pe,1}$		-2,5	-2	-1,2	0,2
$c_{pe,10,2}$					-0,2
$c_{pe,1,2}$					-0,2
$c_{pe,1,2}$		-1,8	-1,2	-0,7	0,2
c_{pe}		0	0	0	-0,2
$c_{pe,2}$		- 1242,49503	-828,33002	- 483,192511	138,055
$w_{e,1}$		0	0	0	-138,055
$w_{e,k2}$		- 14221,4055	-9480,937	- 44244,3727	32657,95
$F_{w_{e,1}}$		0	0	0	-32658

TABELL B 7: Største kraften på taket, brukes videre i modellen.

TABELL C 17: Største kraften på taket, brukes videre i modellen.

$F_{w,e}$	Største kraften på taket	-100604,669	N
-----------	--------------------------	-------------	---

Dynamiske beregninger av vind

TABELL C 18: Verdier og beregninger for vind som dynamisk last.

		Lang	Kort	Lang	Kort	Enhet	
Høyde		22,880	22,880	22,880	22,880	m	
Bredde		23,060	14,990	23,060	14,990	m	y-retning
Dybde		14,990	23,060	14,990	23,060	m	x-retning
Dybde		14,99	23,06	14,99	23,06	m	y-retning
$n_{1,x}$	Eigenfrekvens	2,317	4,669	0,881	1,928	Hz	x-retning
z_s	Referansehøyden	13,73	13,73	13,73	13,73		Frekvens fra mode 1
ρ	Luftdensitet	1,25	1,25	1,25	1,25	kg/m ³	Tillegg C og figur 6.1, $z_s=0,6*z$
c_f	formfaktorer	1,33	1,30	1,33	1,30		Lufttrykk,
$v_{b,0}$	Basis vindhastighet	22,00	22,00	22,00	22,00	m/s	Tabell 7.1, kan bruke reduksjon på 0,85 h/d er under 1, lik 1 over 5 og interpolasjon in mellom
z_0	min høyde	0,30	0,30	0,30	0,30		Tabell NA. 4(901.1)
L_t	Referanselengde-skala	300,00	300,00	300,00	300,00		Tabell NA 4.1
z_t	Referansehøyden	200,00	200,00	200,00	200,00		Tillegg B.1, (1)
α	vinkel	0,61	0,61	0,61	0,61		Tillegg B.1, (1)
L_{z_s}	Turbulenslengde-skalaen	58,57	58,57	58,57	58,57		Tillegg B.1
B^2	Bakgrunnsfaktor	0,54	0,58	0,54	0,58		Tillegg B.1
k_r	Terrengruhetsfaktor	0,22	0,22	0,22	0,22		Tillegg C.2, (C.1)
$c_{r,s}$	terrengruhet	0,82	0,82	0,82	0,82		Tabell NA.4.1
$c_{0,s}$	terrengformfaktor	1,00	1,00	1,00	1,00		Pkt 4.3.2
c_{prob}	Sannsynlighet	1,00	1,00	1,00	1,00		pkt 4.3.1
$v_m(z, s)$	Stedsvindshastighet	18,12	18,12	18,12	18,12		(4.2)

$f_{L,s}$	Dimensjonsløs frekvens	7,49	15,09	2,85	6,23		(B.2)
$S_{L,s}$	Spektral tetthetsfunksjon	0,04	0,02	0,07	0,04		(B.2)
\emptyset_y		33,92	44,43	12,90	18,35		(C.3)
\emptyset_z		33,66	67,81	12,80	28,00		(C.3)
G_y	Konstant	0,50	0,50	0,50	0,50		Tabell C.1
G_z	Konstant	0,38	0,38	0,38	0,38		Tabell C.1
K_y	Konstant	1,00	1,00	1,00	1,00		Tabell C.1
K_z	Konstant	1,50	1,50	1,50	1,50		Tabell C.1
K_s	Størrelsesreduksjon s-funksjonen	0,01	0,00	0,04	0,02		(C.3)
R^2	Resonansfaktor	0,01	0,00	0,12	0,03		(C.2)
R		0,08	0,05	0,35	0,17		
I_v	Turbulensintensitet	0,26	0,26	0,26	0,26		4.4 (4.7)
Utslag takplan, $\emptyset(y,z)$	Svingeform	1,00	1,00	1,00	1,00		Normalisert svingeform takplan
u_{ref}	referansemassen	1782,79	2729,99	17166,17	19631,10		svingeform ved størst amplitude
\emptyset_{max}	Svingeform ved høyest amplitude	1,00	1,00	1,00	1,00		Tillegg F.5 (3)
σ aks topp	Standardavvik	0,0100	0,0039	0,0043	0,0018		Tillegg C.4
v	Oppkryssingsfrekvens	2,32	4,67	0,88	1,93		Tillegg C.4 (3)
k_p	Toppfaktor	3,96	4,14	3,71	3,92		Tillegg B.2 (3), (B.4)
Aks	Akselerasjon, toppverdi	0,0397	0,0163	0,0160	0,0072	m/s ²	Ganger standardavviket (sigma) med toppfaktoren i B.2 (3)

Snølast beregninger

TABELL C 19: Beregninger og verdier for snølast.

	0,18		
Topografi	Normal		
μ_1	0,4		Snølastens formfaktor, 5.3 + tillegg B
s_k	3,5	kN/m^2	Karakteristisk verdi for snølast på mark, NA 4.1(901), verdi for Ås
C_e	1		eksponeringskoeffisienten, Tabell 5.1
C_t	1	kN/m^2	termiske koeffisienten, antar at den er 1
s	1,4	kN/m^2	

VEDLEGG D**Beregning av utnyttelse**

Beregninger for kravet gjort etter kapittel 3.5, i henhold til NS-EN 1995-1-1:2004+A1:2008+NA:2010 og (Wallner-Novak et al., 2014). Verdiene er hentet fra maksimale verdier for den aktuelle spenningen i Autodesk Robot. Testene er utført på gulvet, da dette er den limiterende faktoren, dette er også tydelig vist i figurene, som viser at de største spenningene og deformasjonene oppstår i dekkene. Det er regnet for spenning pr meter plate.

Verdier for BSP180 7s

	L	C	L	C	L	C	L
d_i	30	20	30	20	30	20	30
a_i	75	50	25	0	25	50	75
A_i	30000	20000	30000	20000	30000	20000	30000
I_i	2250000	666667	2250000	666667	2250000	666667	2250000
$I_{90,net}$	1,02E+08 mm ⁴						
$I_{0,net}$	3,84E+08 mm ⁴						
z	90 mm						

Uten forspenning

TABELL D 1: Resultat fra tester for modell uten forspenning.

	verdi	krav		
MXX	0,188	12,672	OK	1,48 %
MYY	2,294	12,672	OK	18,10 %
QXX	0,172	1,920	OK	8,95 %
QYY	0,157	1,920	OK	8,17 %
Nedbøyning	4,800	60,520	OK	7,93 %
FZ	0,528	2,800	OK	18,85 %

TABELL D 2: Krav til bøyestivhet i den generelle kraftretningen for modell uten forspenning.

Bøyestivhet med kraftretning			
$W_{0,net}$	4266666,667		
MXX	800000,00	Nmm /m	Hentet fra Robot
f,mk	11000	N/mm ²	
MXX/W	0,1875	N/mm ²	

TABELL D 3: Krav til bøyestivheten normalt på den generelle kraftretningen i modell uten forspenning.

Bøyestivhet i tverretningen			
$W_{0,net}$	1133333,333		Hentet fra Robot
MYY	2600000,00	Nmm /m	
f,mk	800000	N/mm^2	
MYY/W	2,294117647	$N/mm^2 /m$	

TABELL D 4: Beregningsverdier for dimensjonerende verdi for bøyestivhet.

Lastvarighet	Kortvarig		
k_{mod}	0,6		
γ_M	1,25		
$f_{m,k}$	26,4		N/mm^2
$f_{m,CLT,d}$	12,67		$N/mm^2 /m$

TABELL D 5: Dimensjonerende verdi for skjærspenninger.

Karakteristisk skjær			
w	150		mm
t	20		mm
w/t	OK		
$f_{v,d}$	1,92		N/mm^2

TABELL D 6: Beregnede verdier for skjærspenninger for modell uten forspenning.

Skjærkalkulasjoner			
b	1000		
s_0/b	6000	mm	
S_0	6000000	mm^3	
S_{90}	2000000		
QXX	11000	N	Hentet fra Robot
QYY	8000	N	Hentet fra Robot
I_0	384000000	mm^4	
I_{90}	102000000	mm^4	
τ_0	0,1719	N/mm^2	
τ_{90}	0,156862745	N/mm^2	

TABELL D 7: Beregninger for nedbøyning for modell uten forspenning.

Nedbøyning		
L	15130	mm^4
w_{fin}	4,8	mm
w_{krav}	60,52	mm

TABELL D 8: Beregnede verdier for spenninger skapt av trykk vinkelrett på fiberen.

b	1000	mm
t	120	mm
$N_{90,d}$	95000	N
$k_{c,90,d}$	1,5	N/mm
Aef	120000	mm^2
$\sigma_{c,90,d}$	0,527777778	
k_{mod}	1,4	
γ_M	1,25	
$f_{c,90,k}$	2,5	N/mm^2
$f_{c,90,d}$	2,8	

Med forspenning

TABELL D 9: Resultat fra tester for modell med forspenning på 150 kN.

	verdi	krav		
MXX	3,361	12,672	OK	26,52 %
MYY	4,235	12,672	OK	33,42 %
QXX	0,969	1,920	OK	50,46 %
QYY	1,118	1,920	OK	58,21 %
Nedbøyning	4,900	60,520	OK	8,10 %
FZ	1,283	2,800	OK	45,83 %

TABELL D 10: Krav til bøyestivhet i den generelle kraftretningen for modell med forspenning på 150 kN.

Bøyestivhet med kraftretning			
$W_{0,net}$	4266666,667		
MXX	14339000,00	Nmm /m	Hentet fra Robot
f,mk	11000	N/mm^2	
MXX/W	3,360703125	N/mm^2	

TABELL D 11: Krav til bøyestivheten normalt på den generelle kraftretningen i modell med forspenning på 150 kN.

Bøyestivhet i tverretningen			
$W_{0,net}$	1133333,333		Hentet fra Robot
MYY	4800000,00	Nmm /m	
f,mk	14339000	N/mm^2	
MYY/W	4,235294118	N/mm^2 /m	

TABELL D 12: Beregningsverdier for dimensjonerende verdi for bøyestivhet.

Lastvarighet	Kortvarig		
k_{mod}	0,6		
γ_M	1,25		
$f_{m,k}$	26,4		N/mm^2
$f_{m,CLT,d}$	12,67		N/mm^2 /m

TABELL D 13: Dimensjonerende verdi for skjærspenninger.

Karakteristisk skjær			
w	150		mm
t	20		mm
w/t	OK		
$f_{v,d}$	1,92		N/mm^2

TABELL D 14: Beregnede verdier for skjærspenninger for modell uten forspenning på 150 kN.

Skjærkalkulasjoner			
b	1000		
s_0/b	6000	mm	
S_0	6000000	mm^3	
S_{90}	2000000		
QXX	62000	N	Hentet fra Robot
QYY	57000	N	Hentet fra Robot
I_0	384000000	mm^4	
I_{90}	102000000	mm^4	
τ_0	0,9688	N/mm^2	
τ_{90}	1,117647059	N/mm^2	

TABELL D 15: Beregninger for nedbøyning for modell med forspenning på 150 kN.

Nedbøyning		
L	15130	mm ⁴
w_{fin}	4,9	mm
w_{krav}	60,52	mm

TABELL D 16: Beregnede verdier for spenninger skapt av trykk vinkelrett på fiberen for modell med forspenning på 150 kN.

b	1000	mm
t	120	mm
$N_{90,d}$	154000	N
$k_{c,90,d}$	1	N/mm
Aef	120000	mm ²
$\sigma_{c,90,d}$	1,283333333	
k_{mod}	1,4	
γ_M	1,25	
$f_{c,90,k}$	2,5	N/mm ²
$f_{c,90,d}$	2,8	

TABELL D 17: Effektivt areal som kreves for å fordele forspenningslast på 150 kN, for å opprettholde kravet for trykk vinkelrett på fiberen.

A_{eff}	49107,14286	mm ²
1	272,8174603	mm



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway