



Kunnskap for en bedre verden

# Utvikling av trebasert etasjeskiller med limte forbindelser og en materialutnyttelse som gir stor stivhet

Tina Therese Hamland  
Lars-Oddvar Klevebråten Haraldsen

Bachelor i ingeniørfag - bygg  
Innlevert: mai 2018  
Veileder: Jan Steinar Egenes, IVB

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for vareproduksjon og byggingteknikk



Oppgavens tittel: Utvikling av trebasert etasjeskiller med limte forbindelser og en materialutnyttelse som gir stor stivhet	Dato: 30. mai 2018		
	Antall sider: 99		
	Masteroppgave:		Bacheloroppgave: X
Navn: Tina Therese Hamland og Lars-Oddvar Klevebråten Haraldsen			
Veileder: Jan Steinar Egenes			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Roger Haug Østvang, Norconsult AS avd. Gjøvik			

**Sammendrag:**

Fokuset med dette arbeidet har vært å utvikle en trebasert etasjeskiller slik at man, ved hjelp av å kombinere konstruksjonskomponenter, skal kunne øke den dimensjonerende lengden med 25 %. Dette i forhold til at komponentene brukes separat.

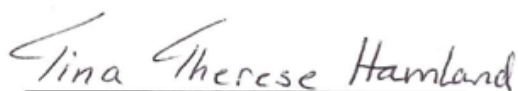
Utviklingen startet med å få oversikt over eksisterende løsninger, og så kunne evaluere hvem av de som har størst potensiale for økt spennvidde innenfor praktiske rammer. Videre i prosessen ble prinsipper fra produktutvikling benyttet for å bestemme endelig konsept. Prinsippene innebar idemyldring, bruk av morfologisk kasse for å sette ideene i system og beslutningsverktøy for å ta valg. Til slutt ble konseptet dimensjonert ved bruk av vanlig bjelketeori, og forsøk ble gjennomført for å gi en indikasjon på om dette gir valide resultater.

Konseptet for etasjeskilleren bygger på en modifisering av et limt kantstilt massivtreelement, hvor bordene av konstruksjonstrevirke er flyttet utover og pålimte kryssfinérplater utgjør topp- og bunnflenser. I dimensjoneringen ble løsninger av konseptet med forskjellige dimensjoner kontrollert for skjær, moment, nedbøyning og komfortkriterium – hvor sistnevnte viste seg å være dimensjonerende for alle tilfeller. De løsningene som oppfylte kriteriene ble videre evaluert på materialforbruk. Ved sammenligning med det tradisjonelle kantstilte massivtreelementet ble det funnet en økning i spennvidde på opptil 35 % med samme tverrsnittsareal. Konseptets største mulige spennvidde er for 1,2 m brede elementer 8,1 m, mens 2,4 m brede gir en spennvidde på 9,0 m.

Det er godt samsvar mellom resultater fra forsøk og analytiske beregninger, noe som gir en indikasjon på at bjelketeori kan benyttes og at full komposittvirkning oppnås med limte forbindelser. Numeriske beregninger antyder derimot at det kan være tilfeldigheter i dette samsvaret, og derfor anbefales det at flere forsøk gjennomføres for å fastslå om bjelketeorien virkelig kan legges til grunn for konseptet.

**Stikkord:**

Trebasert etasjeskiller
Økt spennvidde
Sammensatt konstruksjon
Enkle komponenter



Tina Therese Hamland



Lars-Oddvar K. Haraldsen



# Abstract

This thesis has focused on the development of a wood-based floor-element with increased span width, which, when combining structural components, would increase 25 % in length relative to whether the components are used separately.

The development started by gaining an overview of existing solutions and evaluating which of those who have the greatest potential for increased stiffness within practical limits. Further, in the process, principles of product development were used to determine the final concept. The principals involved brainstorming, use of the morphological box to put the ideas in the system and decision-making tools. Finally, the concept was dimensioned using standard beam theory, and attempts were made to give an indication of whether this gives valid results.

The concept of the floor-element is based on a modification of a glued edge-mounted solid wood-element, where the beams are moved outwards, and glued plywood makes up the top and bottom flanges. In the dimensioning solutions of the concept of different dimensions were checked for shear, moment, deflection and comfort criterion - where the last mentioned proved to be the dimensioning criterion for all cases. The solutions that met the criteria were further evaluated on cross section area. Compared to the edge-mounted solid wood-element, an increase in span width up to 35 % was found with the same cross section area. The concept's largest possible span is for 1.2 m wide elements 8.1 m, while for 2.4 m wide elements it is possible with a span of 9.0 m.

Comparison of results from experiments and analytical calculations shows good compliance, which gives an indication that beam theory can be used and that full composite effect is achieved with glued compounds. Numerical calculations suggest, however, that there may be coincidences in this match, and therefore it is recommended that more attempts be made to determine whether the beam theory can really be assumed for this concept.



# Forord

Denne rapporten presenterer resultatet av arbeidet med bacheloroppgaven til studentene Tina Therese Hamland og Lars-Oddvar Klevebråten Haraldsen. Bacheloroppgaven, som har et omfang på 20 studiepoeng og er avslutningen på det 3-årige studieprogrammet byggingeniør, er gjennomført ved Institutt for vareproduksjon og byggteknikk (IVB) ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Gjøvik våren 2018.

Norconsult AS avd. Gjøvik har vært en oppdragsgiver og samarbeidspartner for prosjektoppgaven. De hadde ønske om å få mer innsikt i trebaserte etasjeskillere som kunne ha større spennvidder enn tradisjonelle, og foreslo dette som tema for en oppgave.

Studentene anså en oppgave som omhandler utvikling av trekonstruksjoner som spennende. Med mulighet for både dimensjoneringsarbeid og det å få større innsikt i bruk av tre på en bedre måte, traff temaet perfekt.

Studentene har i dette omfattende arbeidet fått noe hjelp og veiledning underveis som settes stor pris på. Med det ønsker vi først og fremst å takke universitetslektor Jan Steinar Egenes for å ha vært en fremragende veileder – han har vært både engasjert og lett tilgjengelig. Videre vil vi takke Norconsult AS for forslaget til tema, og spesielt seksjonsleder i byggeteknikk Roger Haug Østvang for oppfølgingen underveis i prosjektet. Videre ønsker vi å takke siv.ing. Harald B. Fallsen for faglig veiledning innenfor dimensjonering; førsteamanuensis Terje Bokalrud for veiledning i FEM-verktøy; universitetsbibliotekar Karen Marie Øvern for veiledning i referansebruk; avdelingsingeniør Tor Kristoffer Klethagen for all hjelp på lab i forbindelse med testing. Vi er takknemlige for materialer til test-elementer sponset av bedriftene Byggmakker Skattum avd. Gjøvik, Hunton og Moelven Limtre.

Gjøvik, 23. mai 2018

Tina Therese Hamland og Lars-Oddvar Klevebråten Haraldsen





# Innhold

## Innholdsfortegnelse

Abstract .....	v
Forord .....	vii
Innholdsfortegnelse .....	ix
Figurliste.....	xii
Tabelliste .....	xiv
1  Innledning.....	1
1.1  Bakgrunn .....	1
1.2  Problemstilling.....	1
1.3  Oppgaveformulering.....	2
1.3.1  Utdypende beskrivelse av oppgaven .....	2
1.3.2  Avgrensing av oppgaven .....	2
1.4  Rammebetingelser for prosjektet.....	3
1.5  Arbeidsmetodikk .....	4
1.5.1  Om arbeidsmetoden.....	4
1.5.2  Litteratursøkeprosess.....	6
1.6  Rapportstruktur.....	7
2  Grunnlag og teori .....	9
2.1  Oppbygningen til en etasjeskiller .....	9
2.2  Løsninger på etasjeskillere og produkter.....	10
2.2.1  Dagens benyttede trebaserte etasjeskillere .....	10
2.2.2  Komponenter av tre .....	11
2.2.3  Eksisterende løsninger.....	13
2.3  Krav til en etasjeskiller .....	16
2.4  Bjelketeori .....	17
2.4.1  Grunnlag .....	17
2.4.2  Full komposittvirkning.....	17
2.4.3  Dimensjonering i bruksgrensetilstand .....	18
2.5  Komfortkriterium.....	19
2.5.1  Egenfrekvens .....	19
2.5.2  Kriteriet .....	19

3	Konseptutvikling .....	21
3.1	Metode for utviklingsarbeidet .....	21
3.2	Kravspesifikasjon .....	22
3.2.1	Generelt .....	22
3.2.2	Bestemmelse av valg iht. lastpåkjenninger .....	22
3.2.3	Bestemmelse av grenseverdi for nedbøyning .....	24
3.2.4	Ønsker fra oppdragsgiver .....	25
3.2.5	Oppsummering av kravspesifikasjon .....	26
3.3	Valg av tverrsnittprofil .....	26
3.3.1	Generalisering av tverrsnitt for dagens løsninger .....	26
3.3.2	Sammenheng mellom spennvidde og stivhet .....	27
3.3.3	Beskrivelse av beslutningsverktøy .....	29
3.3.4	Beslutningsmatrise .....	30
3.4	Idemyldring og utarbeidelse av konsepter .....	32
3.4.1	Prosess .....	32
3.4.2	Ideer til konsepter med massive tverrsnitt .....	33
3.4.3	Ideer til konsepter med ribbe- og hulromstverrsnitt .....	35
3.5	Valg av konsept .....	35
3.6	Videreutvikling av konsept .....	36
4	Dimensjonering .....	39
4.1	Metode .....	39
4.2	Beregning av tverrsnittsdata .....	40
4.3	Lastberegning .....	42
4.3.1	Karakteristiske laster .....	42
4.3.2	Lastkombinering .....	42
4.4	Dimensjonering for moment .....	45
4.5	Dimensjonering for skjær .....	48
4.5.1	Skjærspenning parallelt med fiberretningen .....	48
4.5.2	Skjærspenning normalt på fiberretningen (rulleskjær) .....	52
4.6	Dimensjonering for nedbøyning .....	56
4.7	Dimensjonering av komfortkriterium .....	57
4.8	Finne konkrete dimensjoner .....	58
4.8.1	Metode .....	58
4.8.2	Begrensninger .....	58
4.8.3	Utvalg av kombinasjoner .....	60

5	Testing av bøyestivhet.....	63
5.1	Bakgrunn .....	63
5.1.1	Grunnlag for testing .....	63
5.1.2	Metode.....	63
5.2	Innledende forsøk – små prøvestykker .....	64
5.2.1	Nødvendigheten med 1. forsøksrunde.....	64
5.2.2	Beskrivelse av tilvirkning og testing – for begge tester .....	64
5.2.3	Test av fugehøyde og bjelke­dimensjoner.....	66
5.2.4	Test av forskjellige press under herding .....	67
5.3	Framstilling av modell.....	68
5.3.1	Monteringsjigg .....	68
5.3.2	Montering av teste­element .....	69
5.4	Testoppsett: Bestemme parametere for testingen .....	70
5.4.1	Krav til liming .....	70
5.4.2	Utstyr.....	71
5.4.3	Utforming .....	71
5.5	Gjennomføring.....	71
5.5.1	Testing av teste­element 1 – kjerne uten plater .....	71
5.5.2	Testing av teste­element 2 – helt element .....	72
6	Resultater.....	73
7	Diskusjon og evaluering .....	77
7.1	Oppfyllelse av problemstilling .....	77
7.2	Stivhet ved full komposittvirkning .....	78
7.2.1	Beregning av stivhet og sammen­likning med analytisk verdi.....	78
7.2.2	Kommentarer.....	79
7.3	Numerisk beregning av nedbøyning.....	81
7.3.1	Oppsett av analyse.....	81
7.3.2	Resultat.....	83
7.3.3	Sammenlikning med analytisk beregning .....	84
7.4	Komfortkriterium.....	85
7.5	Dimensjoneringsforhold .....	86
7.5.1	Lengdeintervall ved dimensjonering (100 mm) .....	86
7.5.2	Løsninger.....	87
7.5.3	Dimensjonerende kriterier – sett bort fra komfortkriteriet.....	88
7.5.4	Systemfasthetsfaktor $K_{sys}$ .....	88

7.5.5	Spenningskombinasjon.....	89
7.6	Sammenligning av element med og uten flenser.....	91
8	Konklusjon .....	93
9	Anbefalt videre arbeid.....	95
9.1	Anbefalinger opp mot konsept .....	95
9.2	Videreutvikle konsept.....	95
	Litteraturliste .....	96
	Liste over vedlegg .....	99

## Figurliste

Figur 1.1:	Skjematisk framstilling av arbeidsprosess (Illustrasjon: Hamland og Haraldsen). ...	5
Figur 2.1:	Oppbygging av en etasjeskiller. (Kilde: Byggforskserien, 522.891, SINTEF Byggforsk).....	9
Figur 2.2:	Oversikt over trebaserte plater. (Kilde: Glasø og Solli (2011), gjengitt med tillatelse fra Treteknisk.).....	11
Figur 2.3:	Oversikt over bjelketyper. (Kilde (a): Byggforskserien, 522.351, SINTEF Byggforsk; Kilde (b): (Treteknisk håndbok, 2009, s. 259) .....	12
Figur 2.4:	Krysslaminert trevirke. Kilde:(Glasø og Solli, 2011) .....	13
Figur 2.5:	Overlappende massivtreelement. (Illustrasjon: Hamland og Haraldsen.).....	14
Figur 2.6:	Kantstilt massivtreelement. (Kilde: Byggforskserien, 520.205, SINTEF Byggforsk) .....	14
Figur 2.7:	Hulromselement. (Kilde Byggforskserien, 520.205, SINTEF Byggforsk).....	15
Figur 2.8:	Komposittvirkning ved forskjellige sammenføyninger (Kilde: Bell (2017), gjengitt med tillatelse fra Fagbokforlaget.) .....	17
Figur 3.1:	Oversiktsmatrise for kravspesifikasjon. ....	26
Figur 3.2	Prinsippkisser av tverrsnittstypene som er brukt i trebaserte etasjeskillere: (a) bjelkelag, (b) massive element, (c) hulromselement og (d) ribbedekke. (Illustrasjonl: Hamland og Haraldsen.) .....	27
Figur 3.3:	Beslutningsmatrise. ....	31
Figur 3.4:	Morfologisk kasse som viser mulige alternativer, og de valgte som danner konseptene K1 og K2. ....	33
Figur 3.5:	Evalueringsmatrise gir grunnlaget for valgene i den morfologiske kassen.....	34
Figur 3.6	Videreutvikling av valgt konsept, (a) viser nyutviklet konsept mens det opprinnelige er vist i (b). ....	38
Figur 4.1:	Konsept med generelle størrelser. ....	40

Figur 4.2: Spenningsfordeling over tverrsnittets høyde. (Illustrasjon: Hamland og Haraldsen)	46
Figur 4.3 Trekomponent med skjærspenning parallelt med fiberretningen (Kilde: Bell (2017, s. 154)), gjengitt med tillatelse fra Fagbokforlaget)	49
Figur 4.4: Variasjon i skjærspenning over elementets høyde med en sentralt plassert nøytralakse. (Illustrasjon: Hamland og Haraldsen.)	49
Figur 4.5: Kritiske punkter. (Illustrasjon: Hamland og Haraldsen.)	51
Figur 4.6 Trekomponent med skjærspenning parallelt med fiberretningen (Kilde: Bell (2017, s. 154) gjengitt med tillatelse fra Fagbokforlaget)	53
Figur 4.7: Element på opplegg med skravert område som viser limfugens effektive areal. (Illustrasjon: Hamland og Haraldsen.)	54
Figur 4.8: Systematisk måte for å finne løsningskombinasjoner.	61
Figur 5.1 Prøvestykke av 3 bjelkestubber klart til testing. (Foto: Hamland og Haraldsen.)	65
Figur 5.2: Press ved herdeprosessen, korrekt press. (Foto: Hamland og Haraldsen.)	67
Figur 5.3: Monteringsjigg. (Foto: Hamland og Haraldsen.)	69
Figur 5.4: (a) Liming og herding av kjerne i jigg; (b) Liming og herding av fullstendig element i jigg. (Foto: Hamland og Haraldsen.)	70
Figur 5.5 Klargjøring for testing	72
Figur 7.1: Sammenligning av nedbøyning for beregnede og målte verdier.	79
Figur 7.2: ANSYS – 4850 mm lang testmodell og nærbilde av modellens tverrsnitt.	81
Figur 7.3: ANSYS – Elementnett tilordnet modell.	82
Figur 7.4: ANSYS – Opplager tilordnet noder i elementets underkant.	82
Figur 7.5: ANSYS – Egenlast på alle noder og påført last i utvalgte noder.	83
Figur 7.6: ANSYS – Deformasjon i element.	84
Figur 7.7: Systemfasthetsfaktor $K_{sys}$ for laminerte gulvdekker av massivtre eller limtre. (Kilde: Standard Norge (2010, s. 49)), gjengitt med tillatelse av Standard Online AS.)	89
Figur 7.8: Regneark med 150 000 Hill-type condition-spenninger.	90
Figur 7.9: Største Hill-type condition-spenning med oppgitt plassering.	90
Figur 7.10: Kombinert spenning over bjelkens lengde og høyde vist grafisk i regneark. NB! Ikke riktig skalert i lengde-bredde-forhold.	91
Figur 9.1: Konsept med 3 bjelker i steget. (Illustrasjon: Hamland og Haraldsen.)	95

## Tabelliste

Tabell 3.1: Poengsystem for poenggivning.....	30
Tabell 4.1: Faktorer i forbindelse bøyefasthet for ulike materialer.....	48
Tabell 4.2: Faktorer i forbindelse skjærfasthet for ulike materialer.....	52
Tabell 4.3: Faktorer i forbindelse rulleskjærfasthet for ulike materialer .....	56
Tabell 4.4: Faktorer i forbindelse skjærbidraget til nedbøyning, for ulike materialer .....	57
Tabell 5.1: Test av limfugehøyder for bjelker av dimensjonene 48 x 148 og 48 x 198.....	66
Tabell 5.2 Test av ulikt press ved herding, med 50 mm høyde på limfugen .....	68
Tabell 7.1: Priser for konstruksjonstrevirke.....	87

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

I dag kjenner vi alle til CO<sub>2</sub>-problematikken og den globale oppvarmingen. Også byggebransjen har et ansvar her. Byggeindustrien står for 40 prosent av verdens CO<sub>2</sub>-utslipp (Aarstad, 2009; Dragland, 2015), og ved i større grad å benytte seg av bærekraftige ressurser vil noe av disse utslippene kunne reduseres. Utfordringen fram til i dag har vært den begrensede tilgjengeligheten på gode trebaserte løsninger, spesielt når det gjelder etasjeskillere med store spenn.

Det økte fokuset på miljø har ført til at kunder ønsker å benytte mer av trebaserte konstruksjoner. Resultatet av dette blir at rådgivere og entreprenører må tilby mer attraktive trebaserte løsninger, slik at disse velges fremfor andre byggematerialer. Rådgiverbedriften Norconsult AS, som er oppdragsgiver og samarbeidspartner for oppgaven, vil forsøke å innfri sine kunders ønsker om bruk av trebaserte etasjeskillere. For at disse skal gi stor nok fleksibilitet, er det viktig at det utvikles konkurransedyktige løsninger som tillater store spennvidder.

## 1.2 Problemstilling

Hensikten med dette arbeidet er å utvikle en trebasert etasjeskiller, som skal bestå av elementer som bygges opp av lett tilgjengelige konstruksjonskomponenter, samtidig som den maksimale spennvidden økes i forhold til tradisjonelle løsninger. Det skal bestemmes en utforming av elementet som vil øke stivheten slik at spennvidden kan forlenges med minst 25 % sammenlignet med om komponentene brukes separat.

## **1.3 Oppgaveformulering**

### **1.3.1 Utdypende beskrivelse av oppgaven**

I utviklingen av en ny, forbedret trebasert etasjeskiller som skal være sammensatt av flere komponenter, blir det sentralt å identifisere hvilke komponenter som er hensiktsmessig å kombinere og måten de bør settes sammen på. Videre må det utføres en dimensjonering av elementet, og det bør utføres forsøk for å gi en indikasjon på at dimensjoneringsmetoden er tilstrekkelig god.

Det må undersøkes hvilke trebaserte etasjeskillere som finnes i dag. Tradisjonelt har større bygninger blitt oppført av stål- eller betongkonstruksjoner. Disse har stort sett hatt standardiserte løsninger, mens det for trekonstruksjoner har vært flere varianter, og til dels uoversiktlige løsningsforslag. Det har med andre ord vært vanskelig å finne den optimale løsningen med tanke på etasjeskillere i treverk. Så i denne oppgave vil det være fokus på å få en god oversikt på hvilke trebaserte etasjeskillere som eksisterer og benyttes i dag.

Videre håper man at oppgaven, gjennom dens oppsummering av eksisterende løsninger og utvikling av en ny, funksjonell etasjeskiller med lang spennvidde, vil gi økt interesse for bruk av trebaserte etasjeskillere. Med en økt kjennskap til gode produkter, vil byggebransjen få vite om løsninger som fungerer, og som kan gjøre disse mer ettertraktet.

### **1.3.2 Avgrensning av oppgaven**

Det ble i samråd med veileder fra NTNU Gjøvik og kontaktperson hos Norconsult AS satt begrensninger i oppgavens omfang. Avgrensningene er definert av følgende punkter:

*Lyd*

Det sees bort fra akustiske utfordringer i oppgaven, og det antas at krav for dette oppfylles med et 8 cm tykt lag påstøp av betong. Betongens masse må inkluderes i egenlasten.



### *Langtidseffekt ved nedbøyning*

Ved beregning av nedbøyning sees det bort fra langtidseffekt.

### *Enveisdekke*

Det sees kun på stivhet til elementet i lengderetning.

### *Sammenkobling mellom elementer*

Det vil ikke fokuseres på sammenkobling mellom elementer.

### *Innfesting av element*

Antar elementet som fritt opplagt. Andre innfestinger blir ikke vurdert.

### *Pris*

Det skal ikke fokuseres på pris i utviklingsprosessen, slik at man unngår dette som en hemmende faktor for eventuelle løsninger.

### *Natur- og ulykkeslaster*

Etasjeskilleren vil ikke bli dimensjonert for naturlaster som snø og vind i denne oppgaven, heller ikke for ulykkeslaster som jordskjelv eller brann.

## **1.4 Rammebetingelser for prosjektet**

### *Tidsramme*

Bacheloroppgaven strekker seg over siste semester i byggingeniørstudiet, og varer i 18 uker.

### *Intern kompetanse*

Prosjektet gjennomføres av to tredjeårsstudenter på byggingeniørstudiet som innehar den kompetanse som er å forvente på dette stadiet i utdanningen.

### *Ekstern hjelp*

Veileder ved NTNU Gjøvik kan benyttes til spørsmål og støtte ved behov – både for skriveprosess og fagrelaterte spørsmål. Han har god kompetanse innenfor fagfeltet.

Siden oppgaven gjøres i samarbeid med Norconsult AS forventes det noe støtte underveis. Dette kan dreie seg om generelle tips for oppgaveskrivingen, fastsettelse av ulike parametere og hjelp ved beregninger og analyse.

Til eksperimentelt arbeid kan NTNU Bygglab benyttes, hvor det også er fagpersonale tilgjengelig for veiledning og hjelp.

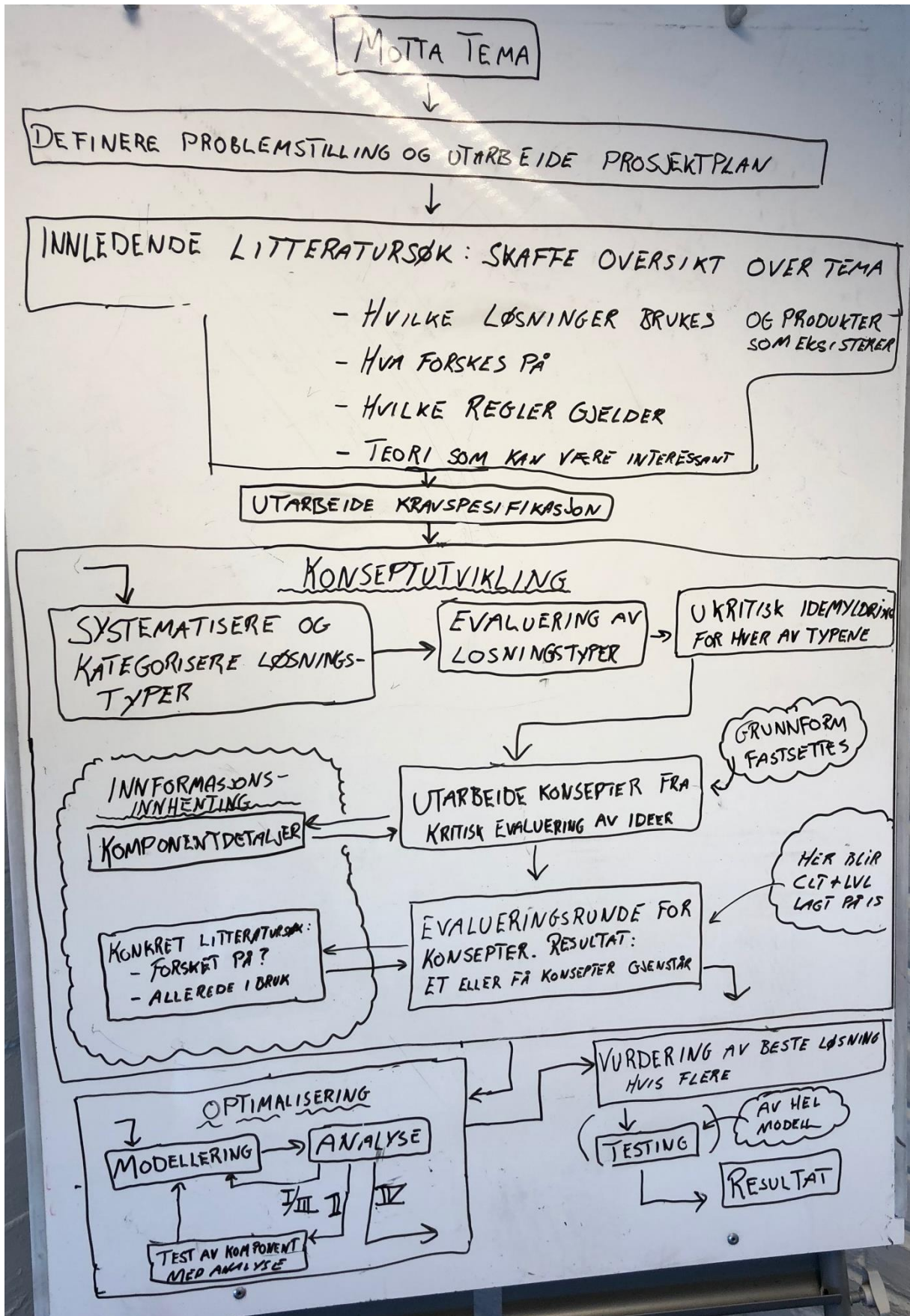
### *Økonomi*

Det er begrensede midler til bachelorstudenter fra universitetet. Hvis et testelement skal lages, må materialer blir sponset for at dette skal realiseres.

## **1.5 Arbeidsmetodikk**

### **1.5.1 Om arbeidsmetoden**

Den overordnede arbeidsprosessen for bacheloroppgaven er fremstilt skjematisk i figur 1.1.



Figur 1.1: Skjematisert framstilling av arbeidsprosess (Illustrasjon: Hamland og Haraldsen).

## 1.5.2 Litteratursøkeprosess

Litteratursøkingen som har vært gjort i denne oppgaven er todelt:

- 1) Søk etter eksisterende trebaserte etasjeskillere og trebaserte konstruksjonskomponenter.
- 2) Søk etter forskning på området.

### *1) Eksisterende trebaserte etasjeskillere og trebaserte konstruksjonskomponenter*

Det har blitt søkt med søkemotoren Google for å finne fram til ulike produsenters nettsider. Basert på disse søkene har det blitt dannet et grunnlag for hva som er på markedet og brukes per i dag. En oversikt gis i kapittel 2.

### *2) Forskning på området*

Innledningsvis ble søkemotoren Google brukt til å finne sider på nettstedet som Wikipedia og Store norske leksikon, for å få en oversikt over tema. Videre ble det gjort mer dyptgående søk i NTNU UBs søkemotor, Oria for å danne et bilde på hva som er forsket på. I tillegg ble det gjort noen søk i fagdatabaser som ASCE; Google Scholar; Engineering Village; ScienceDirect; Scopus. Det ble gjort sofistikerte søk, som for eksempel

(floor\* OR «floor system\*» OR «floor element\*») AND (timber OR wood OR «cross laminated timber» OR «solid timber» OR lvl OR kerto) AND (span OR «span width») NOT (composite OR acoustic OR vibrations)

Søkene ble foretatt med norsk og engelsk som språk. Hovedsakelig ble det bare sett på fagfelleverderte artikler, men noen søk ble gjort utover det. Resultatet fra søkeprosessen er at det meste av forskning på trebaserte etasjeskillere hovedsakelig dreier seg om utfordringer knyttet til akustikk og vibrasjoner, samt ulike komposittløsninger for eksempel med betong.

Ellers kan det nevnes at det tidlig i prosessen også ble gjennomgått materiale fra relevante NTNU-institutter som er publisert på BIBSYS Brage. Med dette fikk man en oversikt over oppgaver som var skrevet om temaet ved NTNU.

Litteratursøket i innledningen var som beskrevet ovenfor, men etterhvert i oppgaven ble det mer aktuelt med spesifikke søk for å finne forskningsartikler som besvarer konkrete spørsmål man må ha. Her ble det på samme måte som før, brukt Oria og ulike fagdatabaser.

## **1.6 Rapportstruktur**

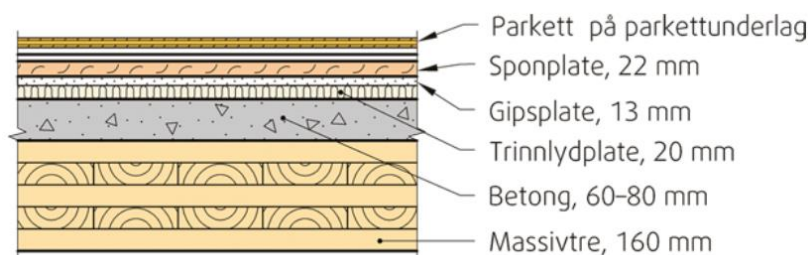
Rapporten er bygget opp etter IMRAD-prinsippet. Kapittel 1 og 2 utgjør introduksjonen, hvor kapittel 1 er en innledning til temaet og oppgaven, mens kapittel 2 gir leseren nødvendige forutsetninger. Metodedelen er delt inn i de tre kapitlene 3, 4 og 5. Kapittel 6 presenterer resultatene. Diskusjon og evaluering blir gjennomgått i kapittel 7. Videre følger kapittel 8 med konklusjon, og kapittel 9 gir avslutningsvis anbefalinger om videre arbeid. Helt til slutt finnes kildeliste og liste over vedlegg.



## 2 Grunnlag og teori

### 2.1 Oppbygningen til en etasjeskiller

En etasjeskiller er den konstruksjonsdelen som avgrenser to etasjer i en bygning. Etasjeskillere består av en bærende del – som sørger for at gulvet tåler de lastene som påføres – og den kan i tillegg bestå av himling og gulv. De to sistnevnte kan bestå av plater som innehar lyddempende og brannisolerende egenskaper. Ellers kan gulvet ha avrettingsmasse eller påstøp av betong. Et eksempel på en etasjeskillers oppbygning er vist i figur 2.1 – her med massivtre som den bærende delen.



Figur 2.1: Oppbygging av en etasjeskiller. (Kilde: Byggforskserien, 522.891, SINTEF Byggforsk)

I denne oppgaven er det kun den bærende delen av etasjeskilleren som det er fokus på. Det er ikke satt noen restriksjoner på om under- eller oversiden av denne etasjeskilleren skal vises eller være tildekt ved montering.

## 2.2 Løsninger på etasjeskillere og produkter

### 2.2.1 Dagens benyttede trebaserte etasjeskillere

#### *Innledende søk*

Etter de innledende søkene på Google, omtalt i 1.5.2 Litteratursøk, er SINTEF Byggforsk, Treteknisk og Trefokus sin litteratur, samt andre fagbøker benyttet for å utvide oversikten ytterligere. Det er ikke mange produsenter i Norge, men det er flere utenlandske produsenter. Inntrykket er at mye av utviklingen skjer i Mellom-Europa. Det er ikke veldig enkelt å innhente informasjon fra disse sidene ettersom det meste er på tysk. Dette har ført til at det har vært nødvendig med oversettelsesarbeid for å få innhentet informasjonen.

#### *Tysk litteratur*

Noen tysk-språklige bøker basert på konferansen «Forum Holzbau Garmisch 17» (Forum-holzbau, 2017), samt boka «Atlas, Mehrgeschossiger Holzbau» (Kaufmann, Krötsch og Winter, 2017) inneholdt informasjon om hva som fins på det tyske markedet i dag.

#### *Utvikling*

Norge ligger ikke på latsiden når det gjelder utviklingen av trebaserte løsninger. Det kan her vises til pågående prosjekter som WOODSOL (*WOODSOL* 2015) og Norwegian Wood Cluster (*Norwegian Wood Cluster*, 2018) som driver forprosjekter med det målet innebærer primært mer bruk av tre. Samtidig er det også en pågående utvikling av produksjonslokaler for trekonstruksjoner (*Splitkon. Massivtrefabrikk*, 2017). Dette vil gi økt norsk produksjon, og transportdistansen av massivtre og andre trebaserte elementer vil synke betraktelig.

#### *Produsenter*

Ved gjennomgang av den nevnte litteraturen og søk på internettsider til produsenter i Norge og Europa, som Norsk massivtre, Moelven, Nordisk massivtre, Splitkon, Metsä Wood, Steico, Kielsteg og Thoma med flere, er det funnet mange forskjellige løsninger på trebaserte etasjeskillere. I 2.2.3 blir noen av løsningene omtalt.

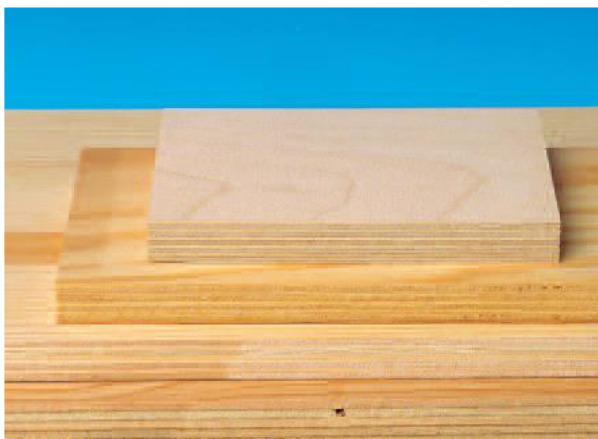


## 2.2.2 Komponenter av tre

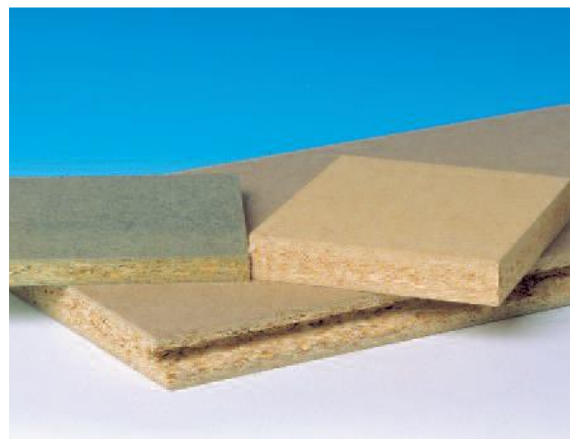
Selv om det fins flere forskjellige oppbygninger av etasjeskillere, har mange av de til felles at de benytter like materialer – men i ulike konfigurasjoner. Det finnes mange forskjellige bjelker og plater, og det blir til stadighet utviklet nye produkter som enten er bedre eller mer egnet til spesiell bruk. En grov oversikt over materialene, sortert i typer, er presentert under..

### Plater

Plater benyttes i stor grad ved trebaserte etasjeskillere. Flere av platetyperne er litt forskjellig fra produsent til produsent, og i den forbindelse har mange av platene blitt gitt egne navn fra produsenten. Platenes styrke og framstillingen av de varierer veldig. Fire platetyper er vist i figur 2.2. Disse er de vanligste platene som benyttes i konstruksjonssammenheng. Platene som er illustrert i figur 2.2, henvises det til Treteknisk Håndbok (*Treteknisk håndbok*, 2009, s. 243-245).



Kryssfinér



Sponplate



OSB-plate

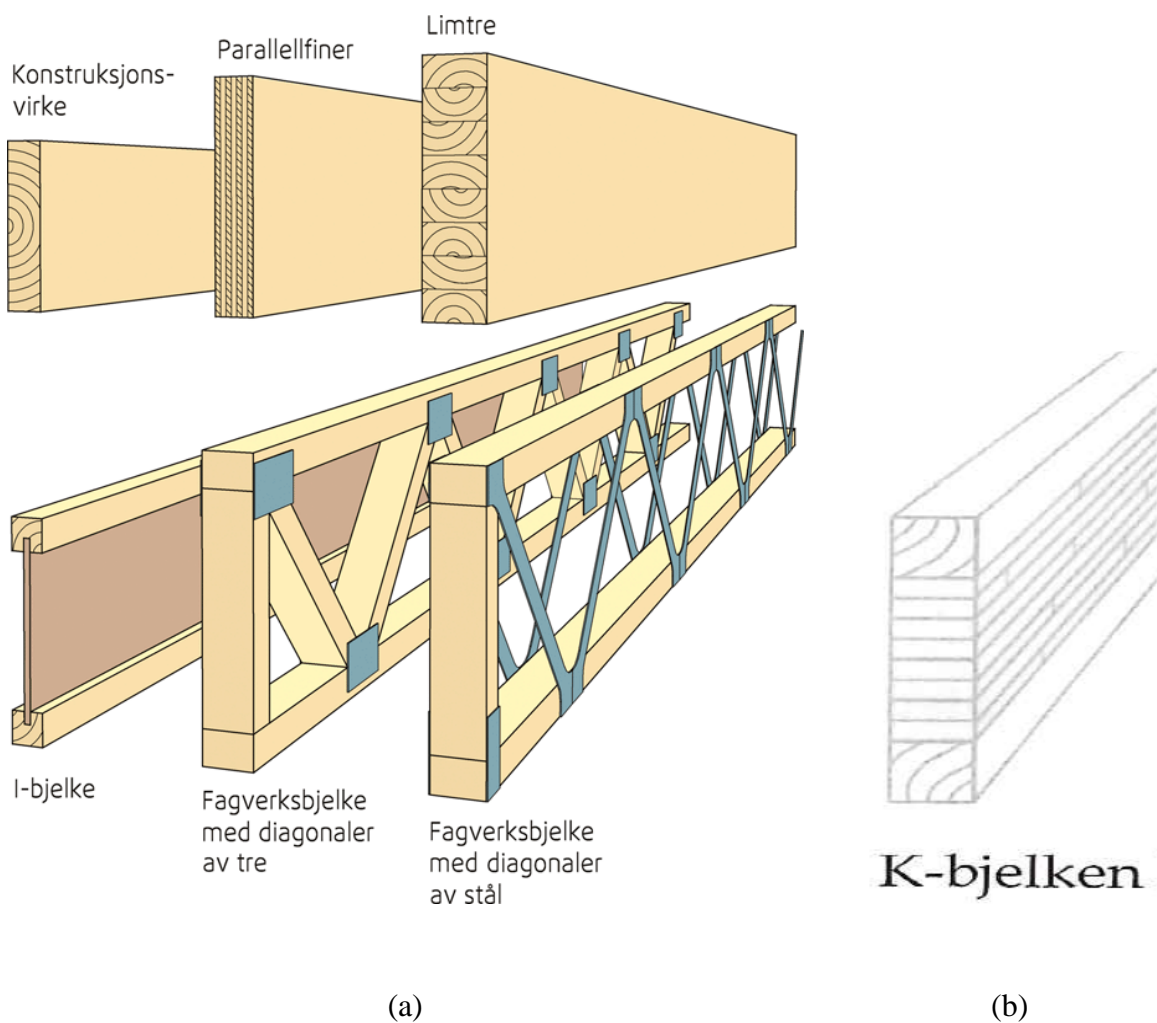


Trefiberplate

Figur 2.2: Oversikt over trebaserte plater. (Kilde: Glasø og Solli (2011), gjengitt med tillatelse fra Treteknisk.)

## Bjelker

Bjelker blir benyttet i flere av løsningene. For massive elementer er det for det meste kun konstruksjonstrevirke som benyttes, men andre bjelketyper kan forekomme. Noen av bjelketypene er litt særegne mellom produsenter, slik som for plater. Det finnes også flere varianter innenfor enkelte av bjelketypene: Et eksempel er standard limtrebjelke og K-bjelke. Figur 2.3 (a) og (b) gir et bilde på ulike bjelketyper. datablad 522.351 til SINTEF Byggforsk (Ramstad, 2011)



Figur 2.3: Oversikt over bjelketyper. (Kilde (a): Byggforskserien, 522.351, SINTEF Byggforsk; Kilde (b): (Tretknisk håndbok, 2009, s. 259)

## 2.2.3 Eksisterende løsninger

### Oversikt

Nedenfor presenteres forskjellige løsninger for etasjeskillere, som framkom av søkeprosessen.

### Bjelkelag

Tradisjonelt brukt i mindre bygninger i Norge. Bjelkelag kan bestå av bjelkene som er omtalt i 2.2.2 Trebaserte komponenter. Mer konkret beskrivelse av bjelkelag kan finnes i SINTEF Byggforsk sitt datablad 522.352 (Ramstad, 2011). Det opereres vanligvis med en senteravstand på 600 mm, men andre avstander kan også forekomme.

### Elementer i massivtre

#### *Krysslagt trevirke*

Dette elementet er laget av krysslagt trevirke som kan bestå av 3, 5, 7 eller 9 lag. Høyden kan variere mellom 60-300 mm, men dette vil være veldig avhengig av produsent. Elementene kan være holdt sammen av lim (krysslaminert trevirke (KLT)) – se 2.4 – tredybler eller skruer (ev. spiker). KLT er et veldig fleksibelt produkt som kan produseres i store størrelser. I Norge er det begrenset produksjonskapasitet, slik at ved større prosjekter må elementer skaffes fra utlandet.



Figur 2.4: Krysslaminert trevirke. Kilde:(Glasø og Solli, 2011)

### *Overlappende massivtreelement*

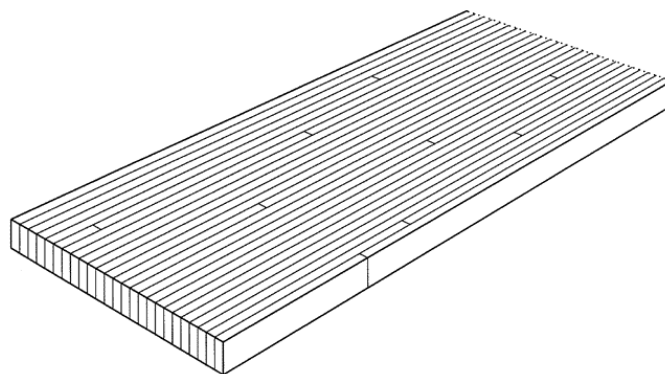
Ved å legge alle bjelkene i elementets lengderetning vil man få et stivere element i denne retningen. Lagene legges i forband, slik at hvert lag overlapper med laget under. Se figur 2.5. Elementet leveres med høyder opp til 118 mm. Norsk Massivtre produserer dette. Mer informasjon om elementet kan leses på deres nettsider (*Norsk Massivtre. Overlappende element, u.å.*).



*Figur 2.5: Overlappende massivtreelement. (Illustrasjon: Hamland og Haraldsen.)*

### *Kantstilt massivtreelement / bordstabelement*

Denne etasjeskilleren er satt sammen av bjelker som står på høykant. Elementet er enten limt, skrudd, dybled eller tverrspent, se figur 2.6 som er limt. Dette er hovedelementet som Norsk Massivtre produserer og leverer (*Norsk massivtre. Kantstilt element, u.å.*). Elementet leveres med en variasjon i høyde fra 95-240mm.



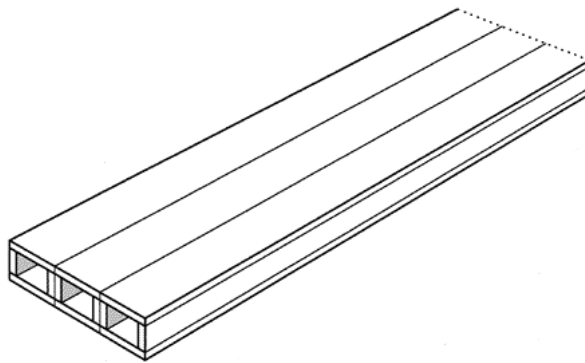
*Figur 2.6: Kantstilt massivtreelement. (Kilde: Byggforskserien, 520.205, SINTEF Byggforsk)*

## Holz100

Elementet er bygd opp av flere lag. Et lag kan bestå av plater eller heltre. I elementet kombineres to eller flere lag av disse materialene. Elementet er konsekvent satt sammen av rent tre, og derfor brukes tredybler for å holde elementet sammen.

### Hulromselement/kanaldekker

Dette elementet består av steg med flens på over- og undersiden, se figur 2.7. Stegene kan bestå av de samme bjelketypene som beskrevet under 2.2.2, men kan også være laget av plater stående på høykant. Flensene, som er med og styrker elementet, kan være av KLT eller solide plater som vist i figur 2.2. Noen eksempler på hulromselement er: 1) Kielsteg som er et eget merke på en spesiell type hulromsprofil. Den kan man se nærmere på om ønskelig på deres hjemmeside (Kielsteg, u.å.). 2) Kerto LVL Ripa er Metsäwood sin etasjeskiller i tre som også kan sees nærmere på om ønskelig på deres hjemmeside (Metsäwood Kerto-Ripa, u.å.).



Figur 2.7: Hulromselement. (Kilde Byggforskserien, 520.205, SINTEF Byggforsk)

### Ribbedekke

Dette elementet består av steg med flens på toppen. Stegene kan bestå av alle de forskjellige bjelketypene som er beskrevet under 2.2.2, samt at platene stående på høykant også kan benyttes som steg. Alle konstruksjonsplatene som er nevnt i figur 2.2, samt KLT kan benyttes som toppflens. Disse kan skrues fast eller limes. Det finnes også en form for ribbedekke hvor stegene har smale flenser på undersiden. Moelven sitt Trä8 er et slikt element, se Moelven sin hjemmeside for mer informasjon (Moelven. Trä8, u.å.). Det er også mulig å snu ribbedekket slik at flensene som er heldekkende, vender nedover.

## 2.3 Krav til en etasjeskiller

Når byggverk skal planlegges, tas det gjerne utgangspunkt i Norsk Standard, som utgis av Standard Norge<sup>1</sup>. Aktuelle standarder, eller eurokoder (EK) som de også kalles, brukt i forbindelse med dimensjoneringen av etasjeskilleren, fremgår av tabell 2.1.

- *NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner*  
Korttittel brukt i denne oppgaven: *Eurokode 0 (EK0)*
- *NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2008 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner – Del 1-1: Allmenne laster – Tetthet, egenvekt og nyttelast på bygninger*  
Korttittel brukt i denne oppgaven: *Eurokode 1 (EK1)*
- *NS-EN 1995-1-1:2004+A1:2008+NA:2010 Eurokode 5 Del 1-1: Prosjektering av trekonstruksjoner*  
Korttittel brukt i denne oppgaven: *Eurokode 5 (EK5)*
- *NS-EN 338 Konstruksjonstrevirke Fasthetsklasser*

For utenom standardene kan Byggteknisk forskrift (TEK17), SINTEF Byggforsk sine datablader og produsenters datablader for komponenter (som ikke omfattes av standardene), være aktuelle å bruke i dimensjoneringsammenheng.

---

<sup>1</sup> Tabeller, formler, figurer og tekst fra NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner, NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2008 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-1: Allmenne laster - Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger, NS-EN 1995-1-1:2004+A1:2008+NA:2010 Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner - Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger, NS-EN 1995-1-2:2004+NA:2010 Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner - Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering, NS 3516:2017 Utførelse av lastbærende trekonstruksjoner og NS-EN 14080:2013+NA:2016 Trekonstruksjoner - Limtre og limt laminert heltre – Krav er gjengitt av Tina Hamland og Lars-Oddvar K. Haraldsen i bacheloroppgaven »Utvikling av trebasert etasjeskiller med limte forbindelser og en materialutnyttelse som gir stor stivhet» med tillatelse fra Standard Online AS 05/18. Standard Online er ikke ansvarlig for eventuelle feil i gjengitt materiale. Se [www.standard.no](http://www.standard.no)

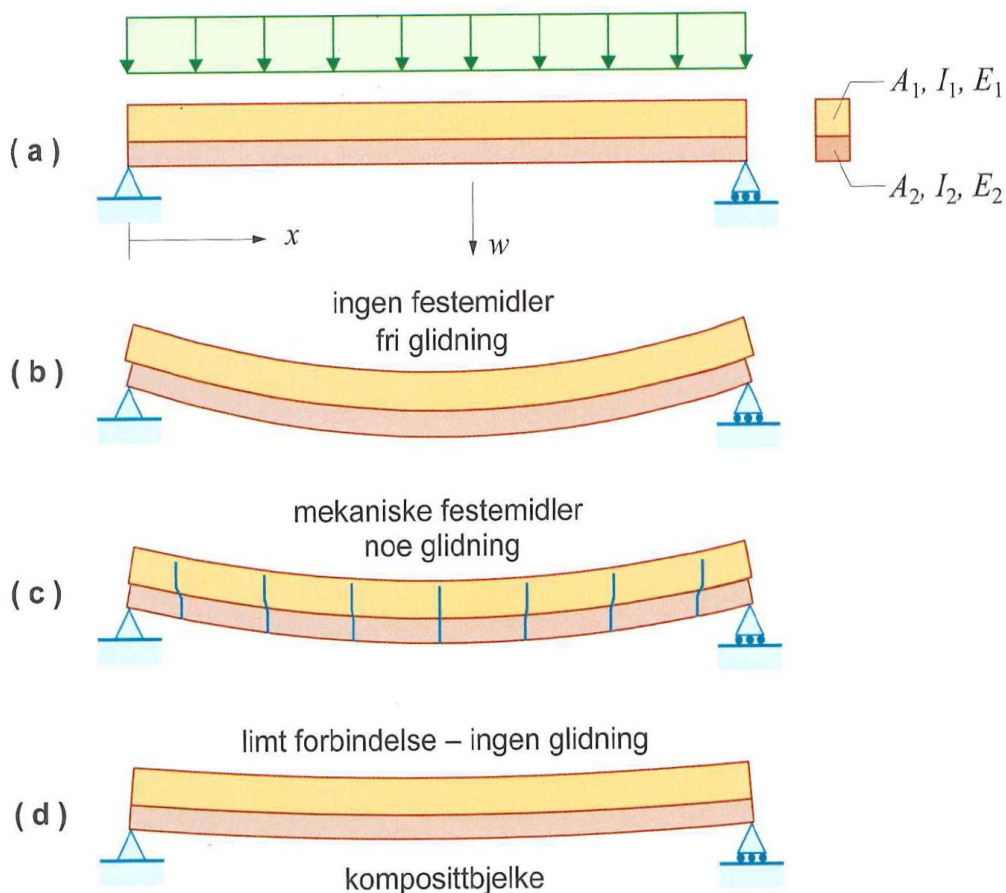
## 2.4 Bjelketeori

### 2.4.1 Grunnlag

Naviers hypotese tilsier at plane tverrsnitt forblir plane; Dette er utgangspunktet for bjelketeorien som følger.

### 2.4.2 Full komposittvirkning

Ved beregning med fullt statisk samvirke vil det ikke forekomme glidning mellom komponentene, noe som medfører at slike elementer blir stivere enn om komponentene ikke har noen festemidler eller mekaniske festemidler. De tre forbindelsene er illustrert i figur 2.8.



Figur 2.8: Komposittvirkning ved forskjellige sammenføyninger (Kilde: Bell (2017), gjengitt med tillatelse fra Fagbokforlaget.)

Ved full komposittvirkning antas det ingen glidning, noe som betyr at vi setter ligning for effektiv bøyestivhet med  $\gamma_i = 1$ :

$$(EI)_{\text{ef}} = \sum_{i=1}^{\infty} (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2) \quad (2.1)$$

der

- $i$  er komponenten
- $E_i$  er komponentens elastisitetsmodul
- $I_i$  er komponentens treghetsmoment
- $\gamma_i$  er 1, for full komposittvirkning
- $A_i$  er arealet til komponenten
- $a_i$  er Steiner-tillegget for komponenten

### 2.4.3 Dimensjonering i bruksgrensetilstand

Ved beregning av nedbøyning anbefaler Bell (2017, s. 415) at skjærbidrag bør regnes med for trekonstruksjoner. Nedbøyningsformelen med moment- og skjærbidrag blir da som følger for jevnt fordelt last:

$$\delta = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot EI} \cdot \left( 1 + 0,96 \cdot \left( \frac{h}{L} \right)^2 \cdot \left( \frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \right) \right) \quad (2.2)$$

der

- $q$  er elementets belastning uten langtidsvirkning
- $E$  er elementets elastisitetsmodul
- $I$  er elementets andre arealmoment
- $L$  er elementets lengde
- $H$  er høyden på elementet
- $E_{0,mean}$  er elementets elastisitetsmodul
- $G_{0,mean}$  er elementets skjærmodul



## 2.5 Komfortkriterium

### 2.5.1 Egenfrekvens

Egenfrekvensen til en etasjeskiller er svært sentral med hensyn på opplevde vibrasjoner. I EK5 pkt. 7.3.3 (Standard Norge, 2010) bemerkes det at krav til gulv i boliger skal ha høyere egenfrekvens enn 8 Hz. EK5 sier at ved lavere, eller lik verdi for egenfrekvensen, bør det foretas en spesiell undersøkelse.

Egenfrekvensen  $f_1$  beregnes ifølge (14-17) i (Bell, 2017), er gjengitt her i (2.3):

$$f_1 = \frac{\pi}{2L^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_L}{m}} \quad (2.3)$$

der

$L$  er gulvets spennvidde [m]

$(EI)_L$  er gulvets ekvivalente bøyestivhet i plateplanet om en akse tvers på bjelkeretningen [ $\text{Nm}^2/\text{m}$ ]

$m$  er massen per arealenhet [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]

### 2.5.2 Kriteriet

Intensjonen med komfortkriteriet er å unngå sjenerende vibrasjoner som kan oppstå under normal aktivitet. Dette kriteriet er typisk utslagsgivende for trebaserte etasjeskillere (Homb, 2009).

Homb (2009) belyser i SINTEF Byggforsks datablad 522.891, pkt. 22, at det er laget et forslag til kriterier for andre typer etasjeskillere enn bjelkelag. Dette forslaget baserer seg på en prosjektrapport av samme forfatter (Homb, 2007). Ettersom Bell (2017) refererer til Homb (2007), som videre anbefaler å benytte kriteriet foreslått av Hu og Chui (2004), vil det for løsningen benyttes dette kriteriet. Likningen (3) for Vibration Controlled Design Criterium (Hu

og Chui, 2004) benyttes ved beregning av komfortkriteriet, som her gjengitt i (2.4). Bredden settes til enten 1000 mm eller elementets produksjonsbredde, både ved beregning av egenfrekvens og nedbøyning (Homb, 2008, s. 48).

For beregning av nedbøyningen  $w$  benyttes likning (14-18) fra Bell (2017, s. 429):

$$w = \frac{PL^3}{48EI} \quad (2.4)$$

der

$P$  er nyttelasten på 1 kN plassert på det punktet som vil gi mest nedbøyning av elementet, altså midt på spennet.

$L$  er elementets lengde

Hu og Chuis (2004) (3) beskriver kriteriet med egenfrekvensen  $f_1$  og nedbøyningen  $w$ , og dette lyder

$$\frac{\left(\frac{f_1}{18,7}\right)^{2,27}}{w} > 1,0 \quad (2.5)$$

# 3 Konseptutvikling

## 3.1 Metode for utviklingsarbeidet

I følge Grave (Grave og Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Institutt for produktutvikling og, 2010) vil man øke sannsynligheten for å utvikle gode produkter dersom man benytter en metode i utviklingsprosessen. I oppgaven er det valgt å følge metoden som ble utarbeidet ved Institutt for produktutvikling og materialer (IPM) ved NTNU. Grave (2010) omtaler IPM-modellen som en milepælsorientert prosess med fem faser 1) Visjon; 2) Behovs- og teknologianalyse; 3) Konseptutvikling; 4) Struktur og utforming; og 5) Produksjonsforberedelse. Fase 2-4 er mest relevant for dette prosjektet.

Visjonen er gitt gjennom prosjektets tema, og arbeidet starter med å definere en kravspesifikasjon – i likhet med Grave (2010) sin fase 2. Med denne vil man ha retningslinjer for utviklingsarbeidet.

Neste trinn er utarbeidelse av konsepter, som Grave (2010) gjør i fase 3. Det startet med en gjennomgang av løsningene fra oversikten i 2.2.3 *Eksisterende løsninger*, for å systematisere disse etter oppbygningen. Det ble deretter sett på hva som må til for å oppnå større stivhet, etterfulgt av en ukritisk idemyldring. Etterpå følger en systematisk løsningsundersøkelse, som Grave kaller det, og i denne undersøkelsen settes løsninger for forskjellige funksjoner opp i en morfologisk kasse. Dette gir et løsningsrom, altså en mengde mulige konsepter, men rommet kan være stort. Ikke nødvendigvis alle kombinasjoner er gjennomførbare, men de som er det, danner forskjellige konsepter. Konseptene som står igjen, må gjennom en utvelgelse, og man kan bruke et beslutningsverktøy for å ta valget.

I fase 4 setter Grave (2010) den endelige strukturen på produktet. Dette er her gjort i siste del av kapittel 3.

## **3.2 Kravspesifikasjon**

### **3.2.1 Generelt**

I 2.3 *Krav til etasjeskiller* gis en kort oversikt over pålagte krav som er aktuelle for dimisjoneringsen av etasjeskilleren. Det er likevel en del som må tas stilling til, og dette samt ønsker fra interessenter, er med på å danne kravspesifikasjonen – som setter tydelige begrensinger.

### **3.2.2 Bestemmelse av valg iht. lastpåkjenninger**

#### **Dimensjonerende brukstidskategori**

I utviklingen legges dimensjonerende brukskategori 4 til grunn, som ifølge tabell 2.1 i EK0 (Standard Norge, 2016, s. 23) angår «Bygningskonstruksjoner og andre vanlige konstruksjoner» som har en veiledende dimensjonerende brukstid på 50 år.

#### **Konsekvensklasse**

Konsekvensklassen CC2 er valgt å bruke. Dette betyr en middels stor konsekvens, og er ifølge tabell B1 i EK0 ((Standard Norge, 2016a, s. 71) klassen for kontorbygg.

#### **Pålitelighetsklasse**

Med bakgrunn i tabell NA.A1(901) i EK0 (Standard Norge, 2016a, s. 105) velges det pålitelighetsklasse 2 for etasjeskilleren som utvikles for kontorbygg.

#### **Partialfaktor**

Pålitelighetsklasse 2 medfører iht. tabell B3 i EK0 (Standard Norge, 2016a, s. 72) at partialfaktoren KFI settes til 1,0.

## Permanente laster

Permanente laster vil si egenlaster. Som beskrevet i 2.1 *Oppbygningen til en etasjeskiller*, består en etasjeskiller av følgende som har masse og gir permanente laster: Strukturell del; 80 mm påstøp av betong; tekniske føringer; himling og gulvbelegg.

### *Strukturell del*

Må beregnes for hvert dimensjoneringsstilfelle, siden dette er avhengig av materialdimensjonene.

### *80 mm påstøp av betong*

Per kvadratmeter utgjør en påstøp av 80 mm uarmert normalbetong 1,92 kN/m<sup>2</sup>.

Verdien er beregnet ut fra normalbetongens densitet på 24,0 kN/m<sup>3</sup> (Standard Norge, 2008a, s. 24) og påstøpens høyde.

### *Tekniske føringer, himling og gulvbelegg*

Disse komponentene er samlet i én post, og tilordnet en verdi på 0,5 kN/m<sup>2</sup>. Denne verdien er satt i samråd med veileder (personlig kommunikasjon, Jan Steinar Egenes, 6. februar 2018, veiledningsmøte) etter en gjennomgang av SINTEF Byggforsk(2013) sitt datablad 471.031 *Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler*.

## Brukskategori og nyttelest

Det ses kun på innvendige brukslast. Etasjeskilleren er valgt og dimensjoneres for brukskategori B, som i henhold til EK1s (Standard Norge, 2008a, s. 2-3 i NA) tabell NA.6.1 angår kontorlokaler og har ifølge tabell NA.6.2 en jevnt fordelt last på 3,0 kN/m<sup>2</sup>. Det er kun sett på jevnt fordelt last  $q_k$  ettersom det er et helt dekke som forutsettes. Punktlasten  $Q_k$  blir ikke vurdert på dette grunnlaget.

### *Skillevegger*

Det tas høyde for bevegelige skillevegger, og verdien er satt til  $1,2 \text{ kN/m}^2$  iht. 6.3.1.2(8) i EK1 (Standard Norge, 2008a, s. 15). Det er valgt største verdi for å være på sikker side.

### **Klimaklasse**

Tabell NA.901 i EK5 (Standard Norge, 2010, s. 2 i NA) gir en oversikt over klimaklassene. Basert på tabellen er det valgt å benytte klimaklasse 2 i dimensjoneringen.

Begrunnelsen for dette valget er at med denne klimaklassen, kan etasjeskilleren også benyttes i kaldlager med ventilasjon.

### **3.2.3 Bestemmelse av grenseverdi for nedbøyning**

Grensen for nedbøyning ble i samråd med kontaktperson hos Norconsult AS (personlig kommunikasjon, Roger Haug Østvang, 9. februar 2018, veiledningsmøte) satt til  $L/300$ . Dette passer godt ut fra anbefalinger iht. tabell 6-2 i Limtreboka (Bell, Liven og Norske limtreprodusenters, 2015) og kravene satt i EK5, tabell NA.7.2 (Standard Norge, 2010)

Denne grenseverdien ble satt med tanke på den netto endelige nedbøyningen  $w_{\text{net, fin}}$  for bjelke på to opplegg. Fra de samme tabellene i henholdsvis (Bell, Liven og Norske limtreprodusenters, 2015) og EK5 (Standard Norge, 2010) finner man at kravet til umiddelbar nedbøyning  $w_{\text{inst}}$ , for samme opplagerbetingelser, har andre verdier. EK5s krav er  $L/300$ - $L/500$ , og Limtrebokas anbefalte grenseverdi er i området  $L/400$ - $L/600$ . Som grenseverdi for den umiddelbare nedbøyningen  $w_{\text{inst}}$  velges  $L/500$ .

### 3.2.4 Ønsker fra oppdragsgiver

I tillegg til parameterne som ble bestemt i kapitlene 3.2.2-3.2.3, kan det foreligge ytterlige ønsker fra interessenter. Disse ønskene beskrives i påfølgende avsnitt:

#### *Trebaserte konstruksjonskomponenter*

I oppgavens innledning beskrives det at etasjeskilleren skal bestå av kun trebaserte komponenter. Dermed er komponentenes materiale fastslått, men det bør videre nevnes at komponentene også skal være lett tilgjengelige.

Forbindere kan være av andre materialer.

#### *Økt spennvidde*

For at det skal komme noe ut av å kombinere forskjellige komponenter bør disse sammen ha en bedre spennvidde enn om de benyttes separat. Får ikke det sammensatte elementet større spennvidde, vil det ikke være noe poeng å kombinere komponentene.

Det endelige konseptet bør ha en økning på minst 25 % i spennvidde i forhold til om komponentene brukes hver for seg.

I dag er det flere alternativer for trebaserte etasjeskillere som har en spennvidde i området 5-6 m. Så en etasjeskiller med en spennvidde på om lag 8 m, er interessant hvis det ikke fører til for stor høyde.

#### *Maksimal høyde*

Oppdragsgiver satte en høydebegrensning på 500 mm, dette for at etasjeskilleren skal være akseptabel å vurdere i bruk. Helst bør den være lavere, hvis mulig ikke over 450 mm.

#### *Grad av samvirke*

I dag beregnes det meste uten noe form for statisk samvirke, ifølge kontaktperson hos Norconsult AS (personlig kommunikasjon, Roger Haug Østvang, 9. februar 2018, veiledningsmøte). Dette fører til at dimensjoneringen ikke tar i betraktning de gode egenskapene som en fysisk konstruksjon, med begrenset eller ingen glidning mellom

komponentene, vil ha. Altså vil konstruksjonen i virkeligheten ha større kapasitet enn hva som er beregnet. Derfor bør det legges til grunn at oppgaven baserer seg på dimensjonering med delvis, eller fullt statisk samvirke.

### 3.2.5 Oppsummering av kravspesifikasjon

Kravene, fastsettelsen av verdier og ønskene som omtales og fremkommer i kapitlene 3.2.1-3.2.4, presenteres samlet i en matrise. Se figur 3.1.

Type krav	Beskrivelse av krav
Må	Oppfylle pålagte krav kort omtalt i 3.2.1 Inkludere påstøp av betong i de permanente lastene Benytte brukskategori B for kontor med $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$ for nyttelast Oppfylle nedbøyningskrav $w_{inst} = L/500$ Bestå av lett tilgjengelige trebaserte konstruksjonskomponenter Øke spennvidden i forhold til separat komponentbruk, forutsatt samme materialforbruk Overholde maks høyde 500 mm
Bør	Ha en økning på 25 % for spennvidden iht. krav A6 Ha spennvidde på minst 8 m Ikke overskride 450 mm høyde Beregne forbindelser med delvis eller full heft

Figur 3.1: Oversiktmatrise for kravspesifikasjon.

## 3.3 Valg av tverrsnittsprofil

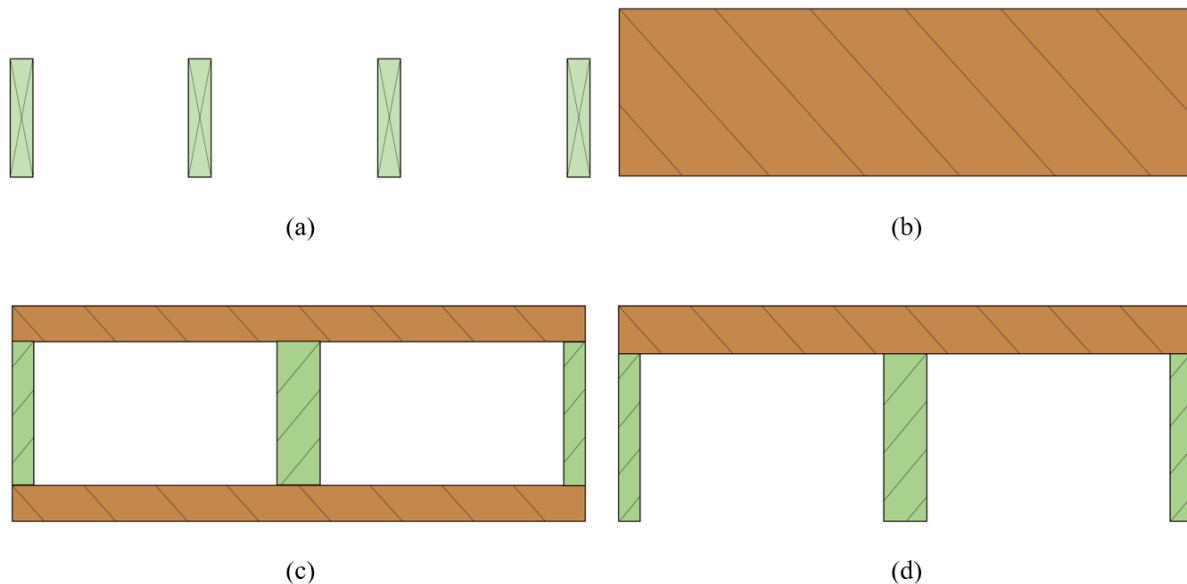
### 3.3.1 Generalisering av tverrsnitt for dagens løsninger

I 2.2.3 *Eksisterende løsninger* ble det presentert forskjellige løsninger for trebaserte etasjeskillere, og det er mange varianter. Av den grunn er det nødvendig å få satt de trebaserte løsningene i et system.

Basert på en vurdering av de mange løsningenes oppbygning er det funnet hensiktsmessig å kategorisere de etter hvilket tverrsnitt de har. En generalisering gjøres, for å trekke ut



hovedformen, og det fremkommer at løsningene kan deles inn i fire forskjellige kategorier: Bjelkelag, ribbedekke, hulromselement og massive element. I figur 3.2 vises en illustrasjon av de fire kategoriene med tverrsnittprofiler.



Figur 3.2 Prinsippskisser av tverrsnittstypene som er brukt i trebaserte etasjeskillere: (a) bjelkelag, (b) massive element, (c) hulromselement og (d) ribbedekke. (Illustrasjonl: Hamland og Haraldsen.)

### 3.3.2 Sammenheng mellom spennvidde og stivhet

Oppgavens formål er å finne en måte å øke stivheten på, slik at man oppnår en økning i spennvidde – helst over 25 % ifølge kravspesifikasjonen. Det bør derfor avdekkes hvor mye man må øke stivheten, for å få den ønskede økningen i spennvidde.

Selv om det i 2.5.2 beskrives at det er komfortkriteriet som er avgjørende, er det her som en forenkling valgt å se på nedbøyning som dimensjonerende kriterier. Av samme grunn ses det bort fra skjærbidraget til nedbøyningen.

Nedbøyningen  $\delta$  på en fritt opplagt bjelke med jevnt fordelt last er gitt ved

$$\delta = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad (3.1)$$

der

- $q$  er lasten
- $L$  er lengden
- $E$  er materialets elastisitetsmodul
- $I$  er tverrsnittets andre arealmoment

For å finne ut hvilken økning som trengs i stivhet, settes en felles grenseverdi ved sammenligning av gammel og ny spennlengde. Tillatt nedbøyning  $\delta_{\text{tillatt}}$  er gitt ved

$$\delta_{\text{tillatt}} = \frac{L}{x} \quad (3.2)$$

der

- $L$  er spennlengden
- $X$  er grenseverdien for tillatt nedbøyning

Dermed får man

$$\frac{L_{\text{ny}}}{\delta_{\text{tillatt,ny}}} = \frac{L_{\text{gammel}}}{\delta_{\text{tillatt,gammel}}} \quad (3.3)$$

Løser (3.3) med hensyn på ny tillatt nedbøyning, og finner

$$\delta_{\text{tillatt,ny}} = \frac{L_{\text{ny}}}{L_{\text{gammel}}} \cdot \delta_{\text{tillatt,gammel}} \quad (3.4)$$

Setter inn uttrykket for nedbøyning fra (3.1), i (3.4). Får da at

$$\frac{5 \cdot q \cdot L_{ny}^4}{384 \cdot EI_{ny}} = \frac{L_{ny}}{L_{gammel}} \cdot \frac{5 \cdot q \cdot L_{gammel}^4}{384 \cdot EI_{gammel}} \quad (3.5)$$

Løser videre med hensyn på  $EI_{ny}$  og får

$$EI_{ny} = \left( \frac{L_{ny}}{L_{gammel}} \right)^3 \cdot EI_{gammel} \quad (3.6)$$

For en økning på 25 % i spennvidde ser man at stivheten må være:

$$EI_{ny} = (1,25)^3 \cdot EI_{gammel} \approx 1,95 \cdot EI_{gammel} \quad (3.7)$$

Det trengs altså et 95 % stivere tverrsnitt for å øke spennvidden med 25 %, basert på at det er nedbøyning som er dimensjonerende.

### 3.3.3 Beskrivelse av beslutningsverktøy

For å få en indikasjon på om et eller flere av de generaliserte tverrsnittsprofilene som ble definert i 3.3.1 *Generalisering av tverrsnitt for dagens løsninger* er å foretrekke, må de vurderes opp mot hverandre. Hvis det er flere punkter som må tas stilling til, er det ikke nødvendigvis enkelt å peke på totalt beste tverrsnitt, siden en må ta en helthetsvurdering basert på alle punktene. I 3.1 nevnes det at man benytter beslutningsverktøy i utvelgelsen av konsept, men et slikt verktøy kan også brukes ved fatting av andre utfordrende valg. Måten dette fungerer på er at man kan evaluere hvert punkt separat. Så bestemmer man bare hvor mye de forskjellige punktene skal vektlegges. I vurderingen gis poeng basert på tverrsnittets egenskaper på de ulike punktene. Resultatene fra vurderingene settes i system i en beslutningsmatrise, og poengene summeres sammen. Dermed kan en avgjøre hvilket tverrsnittsprofil som er best egnet.

Beslutningsmatrisen presenteres i 3.4.2 *Beslutningsmatrise*. En begrunnelse for valg av punkter som evalueres og deres vektning er vedlagt oppgaven. Se vedlegg A.

### 3.3.4 Beslutningsmatrise

Verktøyet for å fatte beslutninger, som er beskrevet ovenfor, beslutningsmatrisen, fremstilles i figur 3.3. Fra denne matrisen kan man se hvilke punkter som er vurdert, hvor mye punktene er vektlagt og hvor mange poeng hvert av tverrsnittene er gitt på de forskjellige punktene.

Poengene som gis kan være basert på både kvalitativt og kvantitativt grunnlag, men i denne utvelgelsen er det generelt sett vært en ingeniørstudents kvalitative vurdering som har blitt lagt til grunn. Poengene gis iht. tabell 3.1, og den relative ytelsen til tverrsnittene som vurderes er i forhold til hverandre.

*Tabell 3.1:  
Poengsystem for poenggivning.*

Relativ ytelse	Poeng
Ikke mulig å vurdere	-
Lite god	1
Noe god	2
God i forhold til de andre	3
Veldig god i forhold til de andre	4

Egenskap		Vekt- ing	Massivt tredekke	Ribbe- dekke	Hulroms- dekke	Bjelke- lag
<b>PRIMÆRE KONSTRUKSJONSTEKNISKE EGENSKAPER (75 %)</b>						
1	Tverrsnittets bøyestivhet og materialforbruk	30 %	2	3	4	1
2	Tverrsnitt som muliggjør lav byggehøyde	25 %	4	2	3	1
3	Plass til tekniske føringer som muliggjør lav byggehøyde	3 %	2	4	2	4
4	Utsparinger	7 %	2	4	3	4
5	Brannegenskaper <i>Uten ekstra tiltak</i>	10 %	4	2	3	1
<b>SEKUNDÆRE KONSTRUKSJONSTEKNISKE EGENSKAPER (5 %)</b>						
6	Lyd- og vibrasjonsegenskaper <i>Uten ekstra tiltak</i>	0 %	-	-	-	-
7	Avstivende egenskaper på tvers av element-lengderetningen i horisontalplanet	5 %	4	2	3	1
8	Innfestningsmetode	0 %	-	-	-	-
<b>PRODUKSJON, MILJØ OG KOSTNAD (15 %)</b>						
9	Fabrikasjon	5 %	4	4	4	1
10	Enkelhet ved montering av element på byggeplass	5 %	4	4	4	-
11	Transport	5 %	2	3	1	4
12	Miljøvennlig	0 %	-	-	-	-
13	Pris	0 %	-	-	-	-
14	Levetid	0 %	-	-	-	-
15	Estetikk	0 %	-	-	-	-
16	Avfallshåndtering	0 %	-	-	-	-
<b>POTENSIAL (5 %)</b>						
17	Størst potensiale for økt stivhet	5 %	3	2	3	1
	SUM	100 %	3,05	2,75	3,27	1,4

Figur 3.3: Beslutningsmatrise.

Ut fra beslutningsmatrisen kan man lese poengsummen hver av tverrsnittsprofilene har fått. Denne summen sier noe om hvor bra profilet menes å være som utgangspunkt for en etasjeskiller. Tre av de fire tverrsnittene får relativ høy poengsum i forhold til den siste, men å si noe om forskjellene mellom de tre største er vanskelig. I og med at det ikke er noen konkret løsning for hver av tverrsnittsprofilene, men at de evalueres på et generelt grunnlag, blir poengene som gis noe overflatiske. Det kan være utfordrende å si noe om hvor gode de faktisk er i forhold til hverandre. Hadde derimot en konkret, spesifikk løsning for de ulike tverrsnittstypene blitt vurdert, ville det gitt en større nøyaktighet i evalueringen. På grunn av

denne unøyaktigheten, som gir lavere reliabilitet, må man ha en større toleranse for å forkaste noen av alternativene.

Som for flere av poengene som er gitt, er også bestemmelsen av punktenes vektning gjort på et kvalitativt og subjektivt grunnlag. Det betyr at vektingen ikke nødvendigvis er riktig ut fra andres synsvinkler. Fordi at det bare er en indikasjon på hvilket tverrsnitt som er egnet å arbeide videre med, og ikke en endelig utvelgelse av ferdige løsninger, er dette akseptabelt. Hvis det hadde vært behov for større nøyaktighet, kunne en enten gjort grundigere analyser og laget flere matriser med ulik vektning og deretter sett på en gjennomsnittsverdi fra disse.

Konklusjonen fra denne utvelgelsen blir derfor at tverrsnittstypen, bjelkelag utelates fra et nytt konsept, mens de tre andre typene må heller vurderes mer nøye opp mot hverandre når konkrete konsepter foreligger.

## **3.4 Idemyldring og utarbeidelse av konsepter**

### **3.4.1 Prosess**

For de aktuelle tverrsnittene fra *3.3 Valg av tverrsnittprofil* er det utarbeidet ideer som kan føre til økt stivhet. Denne idemyldringen er gjort helt ukritisk, som vil si at ideer som både er prøvd tidligere eller er lite fornuftige er tatt med – så vel som uprøvde og gode ideer.

Ideene er presentert systematisk i matriser, som i produktutviklingen kalles morfologiske kasser. I disse er det samtidig markert med punkt og streker hvilke alternativ som brukes i konseptene. Etter den morfologiske kassen følger en evalueringsmatrise som beskriver grunnlaget for de ulike valgene.

### 3.4.2 Ideer til konsepter med massive tverrsnitt

For massivt tverrsnitt er det hovedsakelig to måter å forbedre stivheten: Forsterkninger i form av plater og ev. endringer i hoveddelens oppbygning. Ideene fra idemyldringen, og valgte løsninger, er satt opp i den morfologiske kassen som er vist i figur 3.4.

		Alternativ						
		1	2	3	4	5	6	7
Plateforsterkning								
A	Plassering	Topp	Bunn	Topp og bunn	Midt i	Utenpå og inni	Flere lag inni	Sidekanter
B	Materiale	OSB-plate	Kryssfinér-plate	Trefiber-plate	Spon-plate			
Hoveddel								
C	Retning	I element-lengde	Krysslågt	Tilfeldig				
D	Materiale	Konstruksjons-trevirke	Limtre (stående)	Limtre (liggende)	Kryssfinér-plate	Fagverks-bjelker		
E	Orientering	Stående	Liggende	På skrå	Fiskeben	S-form	Liggende S-form	
F	Antall lag	Ett	Flere					
Sammenføyning								
G	Alle forbindelser	Dyblede	Limte	Skrue	Spiker	Bolt	Tverrspent strekkband	

K1

K2

Figur 3.4: Morfologisk kasse som viser mulige alternativer, og de valgte som danner konseptene K1 og K2.

Begrunnelser for de valgte funksjonene er gitt i evalueringsmatrisen i figur 3.5.

Punkt	Konsept 1: Limt kantstilt massivtreelement med kryssfinérplate på topp og bunn.	Konsept 2: Krysslimt trevirke med kryssfinérplater på topp og bunn.
A	En mulighet som ikke er vist i den morfologiske kassen, er å benytte andre treprodukter enn plater i forsterkningen – eksempelvis tettliggende bord på flasken. Dette er sett bort fra på grunn av platers fine egenskap til å fordele krefter og bordenes dårlige egenskaper i tverretningen. Plate på topp og bunn er det alternativet som gir nest størst stivhet, samtidig som det gir et symmetrisk tverrsnitt og lar nøytralaksen være plassert i midten.	
B	Kryssfinérplater er valgt på grunn av gode materialegenskaper. Elastisitetsmodulen til kryssfinérplatene er stor i forhold til de andre. Treteknisk gir i publikasjonen Trebaserte plater (Glasø og Solli, 2011), nr. 24 i serien Fokus på tre, en oversikt over standarder for treplater. I disse finner man opplysninger om E-modul, men det er mange forskjellige verdier avhengig av platetype og framstillingsprosess, så beslutningen er basert på et raskt overblikk. For modifikasjonsfaktoren $k_{mod}$ har kryssfinérplatene den største verdien, dette går frem i tabell 5.3 i Bell (2017, s. 124).	
C	Langsgående retning på materialene i hoveddelen er valgt fordi dette gir størst stivhet av de alternativene som er vurdert. Tverrstivheten til orienteringen er ikke best, men plateforsterkningen som er valgt tar seg av dette.	Ved å ha krysslagte bord kan man benytte etasjeskilleren som et toveis-dekke, da langs- og tverrgående avstiving er gode egenskaper ved denne orienteringen.
D	Konstruksjonstrevirke er valgt pga. stor tilgjengelighet, og man har mulighet til å bruke bord av forskjellig kvalitet i et og samme element. I og med at materialet skal brukes mellom plater vil ikke de høyeste spenningene opptre i dette materialet.	
E og F	Stående og liggende bord gir sannsynligvis en enklere produksjon enn om de skrånstilles, og buede er trolig kun egnet for slanke plater i steget. For antall lag ses det på som gunstig å ha færrest mulig forbindelser og sammenføyninger i elementet. Dermed ender konseptet opp med ett lag av stående bjelker.	For å få en krysslagt struktur på hoveddelen må en nødvendigvis ha flere lag. Det velges at bordene skal være liggende for å begrense høyden alle lagene gir. Samtidig er det mulig å lage dette elementet med veldig mange lag, slik at en høy etasjeskiller er mulig å produsere om ønskelig.
G	Det er tenkt at alle forbindelser sammenføyes på lik måte, men platene kunne selvfølgelig ha vært festet til hoveddelen på en annen måte enn hvordan hoveddelen selv holdes sammen. Grunnen for at lim er valgt er at man oppnår full heft, ingen glidning mellom komponentene, som gir større stivhet.	

Figur 3.5: Evalueringsmatrise gir grunnlaget for valgene i den morfologiske kassen.



### 3.4.3 Ideer til konsepter med ribbe- og hulromstverrsnitt

Under idemyldringsprosessen ble disse to type tverrsnittene sett under ett, da de har relativt lik oppbygning. En del ideer som gir økt stivhet kom på bordet, men alle ble forkastet. Dette fordi ideene liknet for mye på det som under litteratursøkingen ble funnet at allerede er forsket på eller produseres. De aktuelle ideene er likevel omtalt kort nedenfor.

#### *Ideer fra ukritisk idemyldringsprosess*

Begge tverrsnittstypene kan lages med forskjellige kombinasjoner av platene og bjelkene som er nevnt i kapittel 2.2.2. Videre kan begge bestå av flere plater sammen, eventuelt kombinert plater med liggende bord.

For bjelkene i begge tverrsnittene kan både bredde og senteravstanden varieres i stor grad. Bjelkene som utgjør steget kan byttes ut med vertikale plater, og steget kan nedsenkes i flensene. Andre ideer er mellomliggende bord og skråstilte bjelker i steget.

Eksklusivt for ribbedekke er at stegene kan ha en flens i underkant. Det må da presiseres at flensene ikke har en bredde som fører til en heldekkende underside.

## 3.5 Valg av konsept

Det må tas et valg på hvilket av de to konseptene som står igjen fra 3.4 *Idemyldring og utarbeidelse av konsepter*, som man skal videreutvikle og dimensjonere. Til å fatte slike beslutninger brukes vanligvis beslutningsmatrisen, som tidligere ble benyttet ved utvelgelsen av tverrsnitt. Konseptene velges da med beslutningsmatrisen ut fra hvordan de oppfyller den definerte kravspesifikasjonen.

I dette tilfellet viste det seg at man ikke trengte å gå grundig til verks med bruk av beslutningsmatrisen. Konseptet med krysslågt trevirke og kryssfinérplater, ble ved nye, mer spesifikke litteratursøk, funnet utprøvd med et resultat som viste en økning i elastisitetsmodulen på nesten tjue prosent (Fu *et al.*, 2016).

Dermed står man igjen med ideen om et kantstilt element som er kombinert med kryssfinérplater og innehar kun limte forbindelser, og det blir da dette konseptet som videreutvikles og dimensjoneres.

## 3.6 Videreutvikling av konsept

### *Øke stivheten*

Det nevnes innledningsvis i oppgaven at spennlengde skal forbedres gjennom økt stivhet. I 3.3.2 *Sammenheng mellom spennvidde og stivhet* beskrives det hvor mye stivheten må økes for å oppnå en ønsket endring i spennvidde. En større stivhet oppnås når produktet av materialets E-modul og geometriens andre arealmoment økes.

### *Materialvalg – påvirkning av E-modul*

Selv etter at plate- og bjelketype ble bestemt, finnes det mange dimensjoner å velge blant – og flere produsenter som leverer disse produktene. Bjelkene som er konstruksjonstrevirke er standard fra alle produsenter i Norge, men for kryssfinérplatene må derimot produsent velges for å få konkrete verdier. Det er i hovedsak to plater, henholdsvis fra hver sin produsent, som det er funnet informasjon om – Kerto-Q og Steico LVL-X. Etter sammenligning av produktene ble det valgt å gå for Steico LVL-X, da de er oppgitt med litt større E-modul enn Kerto-Q.

Med fastsettelsen av konstruksjonstrevirke som materialet for bjelkene er det likevel mange mulige kombinasjoner. Det finnes mange dimensjoner som det kan velges mellom, og for å begrense utvalget bestemmes det at bordene skal ha en bredde på 48 mm. Dette gir mulighet for å vurdere om enkelte høyder er mer optimale enn andre. De høydene det vil bli sett på er 148 mm, 198 mm og 223 mm. Som presisert i beslutningsmatrisen i kapittel 3.4.2 er en av fordelene med dette tverrsnittet at det er mulig å benytte alle styrkeklassene C18, C24 og C30, og derfor vil alle bli vurdert med videre. Når det gjelder platene har produsenten satt en maks begrensning på 75 mm tykkelse. De tynneste platene til Steico, under 27 mm, har andre verdier enn plater mellom 27-75 mm. Det anses mest hensiktsmessig å forholde seg til platene som

leveres i tykkelsen 27-75 mm ettersom disse gir flest tykkelser å velge blant under dimensjoneringen, så vel som at de har størst E-modul (*Steico LVL produkter*, 2018).

#### *Modifikasjon av geometri – påvirkning av andre arealmoment*

Ut fra uttrykket for andre arealmoment  $I$ , gitt i (3.1), kan man se hvilke parametere man har å spille på for å endre dens størrelse.

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} + A \cdot a^2 \quad (3.8)$$

der

$b$  er bredden

$h$  er høyden

$A$  er arealet

$A$  er avstand mellom lokal og global tyngdepunktsakse

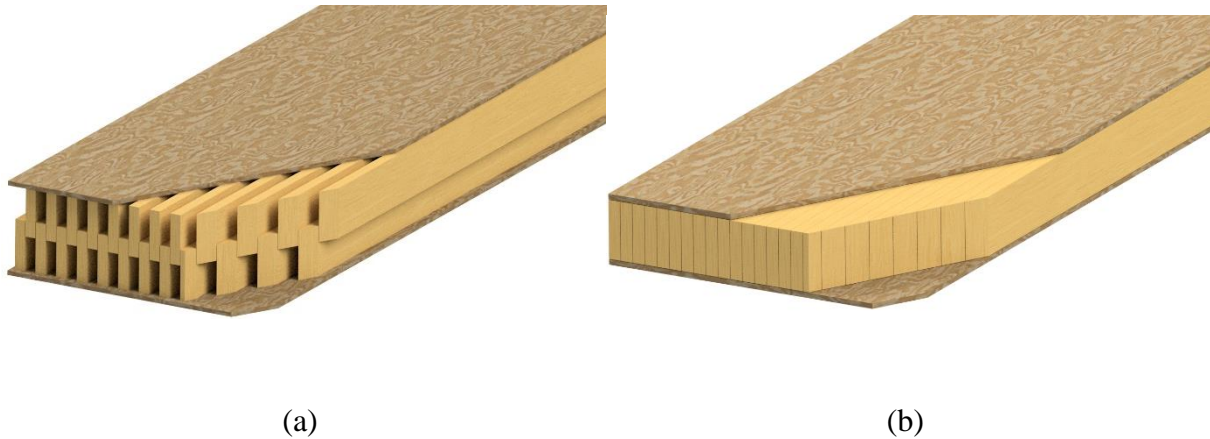
Om enten  $b$ ,  $h$  eller  $a$  økes vil  $I$  øke. Mest effektivt er det å øke  $h$  eller  $a$ , siden disse er i henholdsvis 3. og 2. potens. Slik at ved å forflytte materialet bort fra global tyngdepunktsakse og benytte større dimensjoner, vil en få et større andre arealmoment.

Det bør i denne sammenheng også nevnes at dette kan ikke gjøres i det uendelige, en må passe på at geometrien er innenfor praktiske rammer – eksempelvis at materialene klarer å stå imot spenningene som oppstår.

#### *Presentasjon av modell*

Ut i fra vurderingene over, ble det ansett som gunstig å strekke ut kjernen. Det vil føre til at både platenes og bjelkenes lokale tyngdepunktsakse flyttes lenger unna elementets globale tyngdepunktsakse. Da øker den omtalte  $a$ -en ovenfor, som gir et økt andre arealmoment. I tillegg kan også høyden til hver av komponentene varieres.

Måten en skal få til å strekke ut kjernen, er å heve annenhver bjelke slik at de kun overlapper deler av høyden med nabobjelken. I figur 3.6 er det vist en illustrasjon av før (b) og etter (a) bjelkene er hevet.



Figur 3.6 Videreutvikling av valgt konsept, (a) viser nyutviklet konsept mens det opprinnelige er vist i (b).

Med det fastsatte konseptet, blir neste steg å finne mest hensiktsmessige dimensjoner. Det kan eksperimenteres med størrelse på overlapp, platetykkelse, bjelkenes høyde og styrkeklasse for å få størst mulig stivhet. Elementet må også kontrolleres for å tåle alle påkjenninger. Dette gjøres i neste kapittel.

# 4 Dimensjonering

## 4.1 Metode

I dette kapitlet forklares det hvordan det endelige konseptet for etasjeskilleren har blitt dimensjonert. Hensikten var å finne en dimensjon som gir stor spennvidde med et fornuftig materialforbruk – samtidig som gitte krav er oppfylte.

Dimensjoneringen av element ble utført med kontrollberegninger. Det vil si at man ikke regnet ut nødvendige mål og dimensjoner, men valgte en verdi og kontrollerte om denne verdien var akseptabel med hensyn på de krav som stilles. At det ble gjort på denne måten skyldtes kompleksiteten ved dimensjoneringen. Med både en spesiell geometri på elementet og flere kriterier (moment, skjær, nedbøyning og komfortkriterium) som må være innenfor tillatte verdier, ble denne måten ansett som den mest hensiktsmessige.

For kriteriene ovenfor er elementet beregnet etter tradisjonell bjelketeori, hvor Naviers hypotese om at plane tverrsnitt normalt på bjelkens lengdeakse forblir plane, gjelder. Ellers er det regnet med full komposittvirkning, som var ønskelig iht. pkt. B4 i kravspesifikasjonen i 3.2.5, og er høyst aktuelt for limte forbindelser ifølge 2.4.2.

Selve kontrollberegningene er utført med regneark, og er således ikke vist i kapitlet. Derimot er grunnlaget for beregningene, som valgt beregningsform og inngangsparametere, presentert her. Gjennomgående har det vært et fokus på å lage et regneark som er fleksibelt, ved at regnearket skal takle beregninger med dimensjoner som har stor variasjon i verdier, for eksempel 1 m tykk bunnflens. For nøyaktig hva som er beregnet vises det til resten av dette kapitlet, og et eksempel på en slik kontroll-dimensjonering som er vist i vedlegg B.

### *Forutsetninger*

Elementene beregnes individuelt, altså ingen bidrag i stivhet eller styrke fra nærliggende elementer.

## Avgrensninger

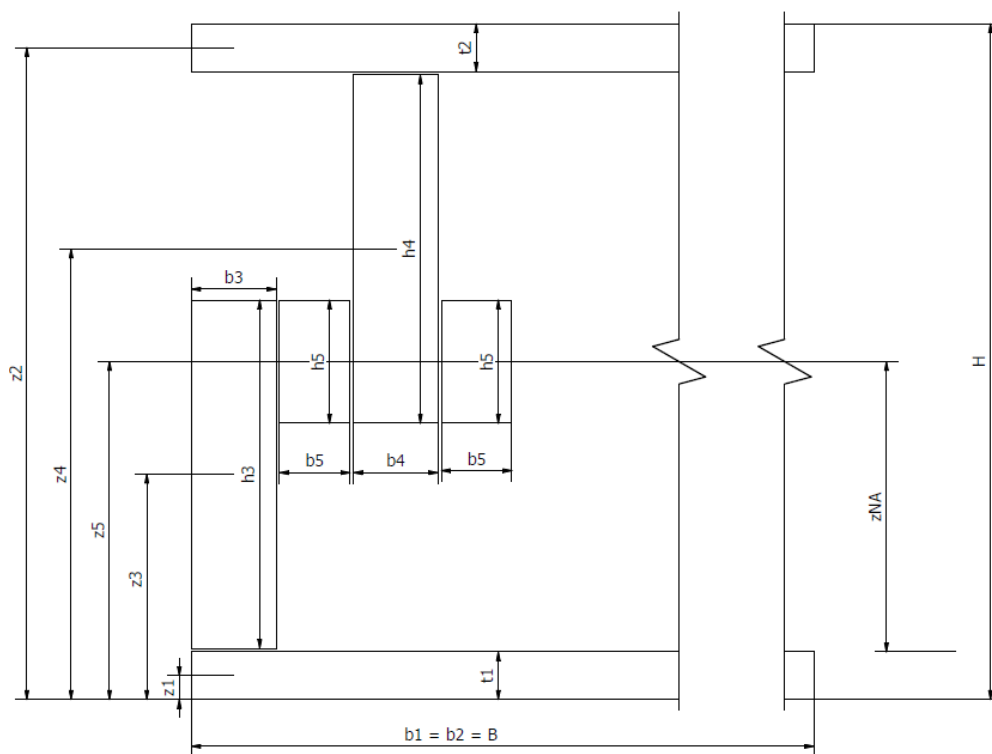
Horisontale limfuger er kun inkludert i beregning av egenlast, mens for beregning av stivhet, høyde osv. er de sett bort fra.

Vipping er ikke vurdert, da det anses som et urelevant problem for dette elementet.

Det er ikke sett på trykknusing av fiber i konstruksjonstrevirket ved overgangen til kryssfinérplatene. I følge veilder (personlig kommunikasjon, Jan Steinar Egenes, 2. mai 2018, veiledningsmøte) er ikke dette noe som ses på i sammenheng med dimensjonering av vanlig bjelkelag, og det burde da ikke være aktuelt for dette elementet.

## 4.2 Beregning av tverrsnittsdata

Elementet består av to flenser og en kjerne. Kjernen ses på som et segment som repeteres en rekke ganger bortover elementets bredde. Et segment består av to komponenter, øvre og nedre bord med limfuge mellom. Figur 4.1 viser komponentene med generelle størrelser.



Figur 4.1: Konsept med generelle størrelser.

NB! Det er verdt å merke at komponent 5, som er limfugen er sterkt forstørret på figuren.

For hver komponent er både areal  $A_i$  og høyden til tyngdepunkt  $z_i$  utregnet. Disse parameterne blir benyttet til beregning av elementets totale tverrsnittsareal  $A_{tot}$ , elementets nøytralakse (NA)  $z_{NA}$  og andre arealmoment  $I$  for komponentene.

Til beregningen av  $I$  må en vite den totale bredden til hver av komponentene, eller hvor mange det er av hver på én elementbredde. Ettersom alle beregninger er gjort i Excel, og at beregningene er tilpasset slik at alle parameterne kan bli endret etter ønske, er det også laget en formel slik at det til alle beregninger uansett elementbredde, skulle bli riktig antall komponenter medregnet. For en nærmere forklaring til denne beregningen vises det til vedlegg C.

#### *Andre arealmoment*

Elementets andre arealmoment  $I_{tot}$  er en svært sentral parameter i dimensjoneringen. Måten denne blir beregnet på er ved finne hver komponents  $I_i$  og summere disse. Når  $I_i$  beregnes i regnearket inkluderes Steiners teorem Bell, (2014, s. 247), samtidig med avstanden mellom lokalt og globalt tyngdepunkt.

#### *Den effektive bøyestivheten*

Den effektive bøyestivheten til elementet, summerer hver komponent  $i$  sitt bidrag, og beregnes etter formelen presentert i 2.4.2 er gjengitt her:

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^{\infty} (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2) \quad (4.1)$$

der

$E_i$  er komponent  $i$  sin elastisitetsmodul

$I_i$  er komponent  $i$  sitt andre arealmoment

$\gamma_i$  er 1 for full komposittvirkning

$A_i$  er arealet til komponent  $i$

$a_i$  er avstanden mellom lokalt og globalt tyngdepunkt for komponent  $i$

## 4.3 Lastberegning

### 4.3.1 Karakteristiske laster

Ved lastkombinering benyttes karakteristiske egenlaster og nyttelaster, disse er bedre beskrevet i 3.3.2. Påstøp av betong og tekniske føringer har en total verdi på  $2,42 \text{ kN/m}^2$ , mens elementets egenlast er en parameter som endrer seg med tverrsnittet. Nyttelasten som er for kontor ( $3 \text{ kN/m}^2$ ) og skillevegger ( $1,2 \text{ kN/m}^2$ ) har en samlet verdi på  $4,2 \text{ kN/m}^2$ .

Når høyden på elementet omtales videre i dette kapittelet er det elementets totale høyde uten de 80 mm med påstøp av betong på toppen som menes – bortsett fra siste delkapittel.

### 4.3.2 Lastkombinering

#### Arealreduksjonsfaktoren

Arealreduksjonsfaktoren  $\alpha_A$  er benyttet, iht. pkt. NA.6.1 i EK1 (Standard Norge, 2008b). I beregninger der elementets  $B \cdot L$  er større enn  $A_0$  kan denne benyttes. Dette tilfellet forekommer ved beregninger der for eksempel elementets bredde er satt til 2400 mm og lengden overstiger 6250 mm.

$A_{\text{red}}$  blir da:

$$\alpha_A = \frac{5}{7} \cdot \psi_0 + \frac{A_0}{A} < 1, \quad \alpha_A \geq \psi_0 \text{ og } \alpha_A \geq 0,6 \quad (4.2)$$

der

$A_0$  er en referanseverdi på  $15 \text{ m}^2$  (Standard Norge, 2008, s. 3 i NA).

$\psi_0$  er en faktor avhengig av last, for kontor er denne 0,7 ((Standard Norge, 2016a, s. 102).



Denne verdien multipliseres med nyttelasten i bruddgrenseformelen ved lastkombineringen.

### **Bruddgrenseformelen**

Ved beregning av bruddgrenseformelen er det benyttet likning (6.10a) og (6.10b) fra EK0 (Standard Norge, 2016a), og  $\Psi_0$ -faktoren blir da dimensjonerende last:

$$q_d = 1,35 \cdot EL + 1,05 \cdot NL \cdot \Psi_0 \quad (6.10a)$$

$$q_d = 1,20 \cdot EL + 1,50 \cdot NL \cdot \Psi_0 \quad (6.10b)$$

I regnearket regnes begge ut, og største verdi velges.

### **Dimensjonerende moment**

Dimensjonerende moment for midt i spennvidden regnes ut etter:

$$M_{Ed} = \frac{q_d \cdot b \cdot L^2}{8} \quad (4.3)$$

der

- $L$  er elementets lengde
- $b$  er elementets bredde
- $q_d$  er dimensjonerende last

## Dimensjonerende skjærkraft

Den dimensjonerende skjærkraften beregnes etter formelen under

$$V_{\text{Ed}} = \frac{q_d \cdot b \cdot L}{2} \quad (4.4)$$

der

- $L$  er elementets lengde
- $b$  er elementets bredde
- $q_d$  er dimensjonerende last

## Redusert skjærkraft

Det velges å redusere skjærkraften som benyttes i dimensjoneringen, til:

$$V_{\text{Ed}}^{\text{RED}} = V_{\text{Ed}} - \frac{q_d \cdot h}{2} \quad (4.5)$$

der

- $h$  er elementets totale høyde
- $q_d$  er dimensjonerende last

Det foreslås å benytte dimensjonerende skjærkraft lik (4.5). Dette fordi at nært opplegg vil en del av lasten gå på skrå og direkte ned i opplegget, i likhet med EK5s (Standard Norge, 2010, s. 38). pkt. 6.1.7(3). I forhold til standardens reduksjon, brukes her halvparten. Dette fordi ved en avstand  $h/2$  fra opplegg er det mye som taler for at halvparten av lasten overføres fra øvre til nedre bord gjennom limet. Før det kommer så langt er det ønskelig å dimensjonere for full overføring av last. Dermed brukes (4.5) inntil flere forsøk er foretatt.

## 4.4 Dimensjonering for moment

Ved utregning av bøyespenningen i elementet er det tatt utgangspunkt i samme formel som benyttes for å regne ut bøyespenningen i en vanlig, rektangulær bjelke:

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot z \quad (4.6)$$

der

- $M$  er momentet
- $I$  er treghetsmoment
- $z$  er avstand fra nøytralaksen

Siden elementet består av to ulike materialer, med ulik E-moduler, gir ikke denne formelen helt nøyaktige svar. Derfor må den modifiseres: Ved å kreve lik tøyning i begge materialene ved forbindelsen kan man bruke Hookes lov for å finne spenningen i det andre materialet. Hookes lov gir sammenheng mellom spenning  $\sigma$  og tøyning  $\varepsilon$ :

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (4.7)$$

Ved å løse denne med hensyn på tøyningen, og kreve lik tøyning for materialet i kjernen og flensene, finner man at

$$\frac{\sigma_{\text{Kjerne}}}{E_{\text{Kjerne}}} = \frac{\sigma_{\text{Flens}}}{E_{\text{Flens}}} = \varepsilon \quad (4.8)$$

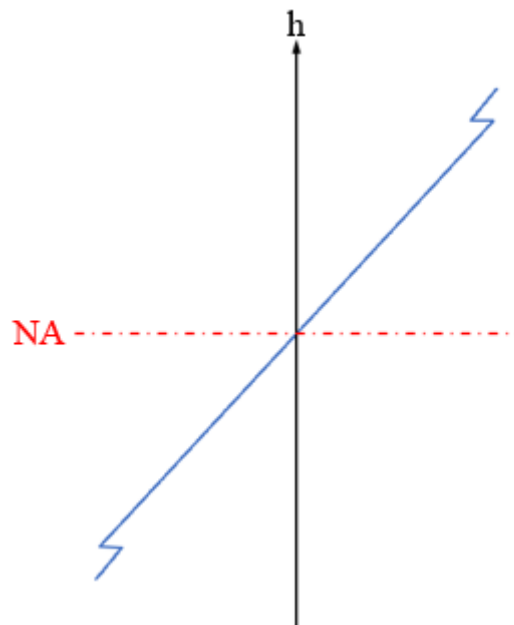
Løses denne videre med hensyn på spenning i flensmaterialet, får man

$$\sigma_{\text{Flens}} = \frac{E_{\text{Flens}}}{E_{\text{Kjerne}}} \cdot \sigma_{\text{Kjerne}} \quad (4.9)$$

Ved beregning av spenning i kjernematerialet brukes (4.6) direkte, mens ved beregning av spenning i flensene settes (4.9) inn i (4.6) slik at man får

$$\sigma_{\text{Flens}} = \frac{E_{\text{Flens}}}{E_{\text{Kjerne}}} \cdot \frac{M}{I} \cdot z \quad (4.10)$$

Regnes spenningene ut for ulike høyder  $h$ , med de to formlene for de aktuelle stedene, vil man finne hvordan bøyepeningen varierer over elementets høyde. Figur 4.2 viser denne fordelingen.



Figur 4.2: Spenningsfordeling over tverrsnittets høyde. (Illustrasjon: Hamland og Haraldsen)

De aktuelle punktene å kontrollere bøyespenningen i, er ved overgangene mellom kjerne og flenser og i elementets ytterkant.

På disse stedene må spenningen kontrolleres opp mot fastheten og oppfylle følgende krav (Bell, 2017, s. 149):

$$\sigma \leq f_{\text{md}} \quad (4.11)$$

der

$f_{\text{md}}$  er dimensjonerende bøyefasthet til materialet.

Den dimensjonerende bøyefastheten  $f_{\text{md}}$  er gitt ved

$$f_{\text{md}} = f_{\text{mk}} \cdot \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_{\text{M}}} \cdot k_{\text{sys}} \quad (4.12)$$

der

$f_{\text{mk}}$  er karakteristisk bøyefasthet – hentes fra datablad for LVL-X og standarden NS-EN 338 (Standard Norge, 2016b) for konstruksjonstrevirke.

$k_{\text{mod}}$  er fasthetsfaktoren – hentes fra tabell 3.1 i EK5 (Standard Norge, 2010, s. 26) for klimaklassen fastsatt i kap 3 og med lastvarigheten som hører til lastkategorien som ble bestemt i kap 3.

$\gamma_{\text{M}}$  er partialfaktoren – hentet fra tabell NA.2.3 i EK5 (Standard Norge, 2010, s. 2 i NA).

$k_{\text{sys}}$  er systemfasthetsfaktoren – bestemt iht. pkt. 6.6(2) i EK5 (Standard Norge, 2010, s. 49).

For parameterne ovenfor er det brukt de verdiene som fremgår av tabell 4.1 for det aktuelle materialet.

Tabell 4.1:  
Faktorer i forbindelse bøyefasthet for ulike materialer

Materiale	$f_{mk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$k_{mod}$	$\gamma_M$	$k_{sys}$
Steico LVL-X	32	0,6	1,15	1,1
Konstruksjonstrevirke, styrkeklasse C18	18	0,6	1,25	1,1
Konstruksjonstrevirke, styrkeklasse C24	24	0,6	1,25	1,1
Konstruksjonstrevirke, styrkeklasse C30	30	0,6	1,25	1,1

## 4.5 Dimensjonering for skjær

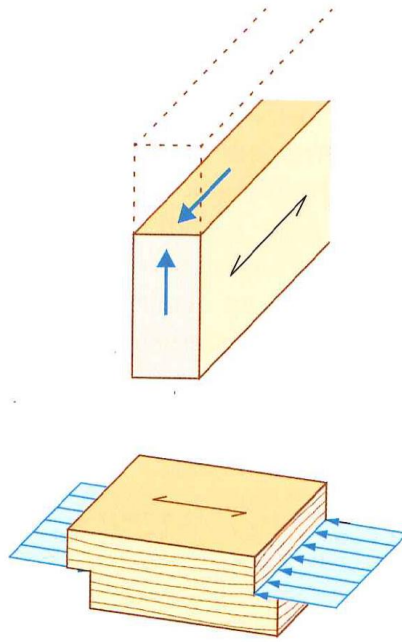
### 4.5.1 Skjærspenning parallelt med fiberretningen

Skjærspenningen parallelt med fiberretningen (figur 4.3) i elementet beregnes på samme måte som for en vanlig bjelke, etter formelen

$$\tau = \frac{V \cdot S}{I \cdot b} \quad (4.13)$$

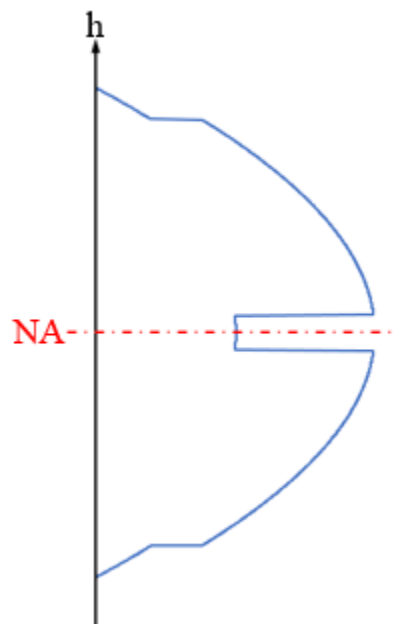
der

- $V$  er skjærkraft
- $S$  er første arealmoment
- $I$  er andre arealmoment
- $b$  er bredde



Figur 4.3 Trekomponent med skjærspenning parallelt med fiberretningen (Kilde: Bell (2017, s. 154)), gjengitt med tillatelse fra Fagbokforlaget)

Ved å anvende (4.13) for ulike høyder  $h$ , vil man se hvordan skjærspenningen varierer over høyden i elementet. En typisk form på denne fordelingen er vist i figur 4.4, men denne kan endre seg litt etter hvilke av parameterne som er lagt inn.



Figur 4.4: Variasjon i skjærspenning over elementets høyde med en sentralt plassert nøytralakse. (Illustrasjon: Hamland og Haraldsen.)

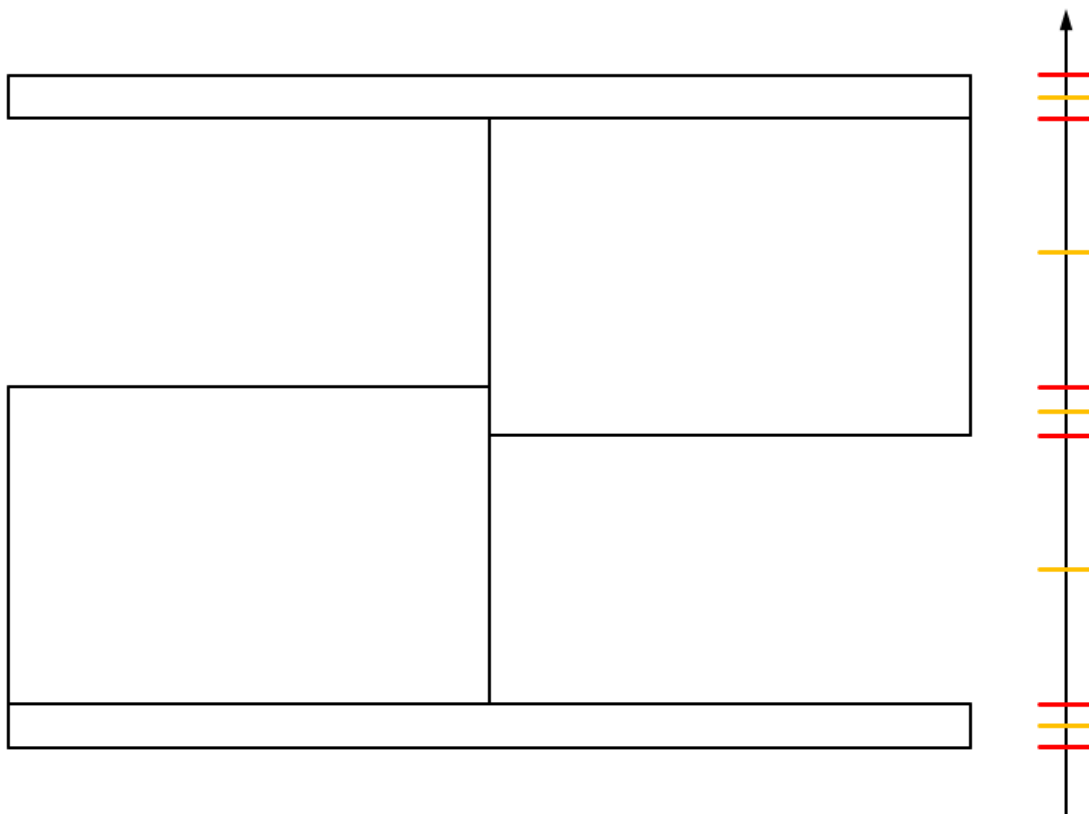
Når det gjelder beregningen setter man inn data for de punktene hvor man ønsker å lese ut spenningen. Skjærkraften  $V$  og andre arealmoment  $I$  er konstante for alle  $h$ , mens første arealmoment  $S$  og bredden  $b$  varierer med  $h$ . For eksempel er bredden størst når  $h$  er slik at man ser på punkter som er i enten nedre flens, øvre flens eller limfugesonen – for utenom disse stedene er bredden mindre, om lag halvparten. I regnearket blir det sjekket hvilken bredde som gjelder for  $h$ -en som det beregnes for.

Det statiske momentet er også regnet ut helt generelt. Det er gjort på den måten at alt arealet til en komponent som er under NA ses som positivt og negativt over NA. For en komponent vil  $S$  øke ettersom  $h$  øker opp til NA, mens når  $h$  øker over NA vil  $S$  reduseres. Med å legge sammen  $S$ -ene for de ulike komponenter ved hver høyde, vil man finne elementets totale  $S$ . For en beskrivelse av hvordan dette er utført i regneark vises det til vedlagt notat, i vedlegg D.

### *Kritiske punkter*

De punktene som er aktuelle å sjekke er overgangspunkter og ved nøytralaksen. Siden det er laget generelt, kan teoretisk sett nøytralaksen havne i nedre flens, slik at det er lagt inn en kontroll for hver komponent dersom den innehar nøytralaksen. Figur 4.5 viser de kritiske punktene – røde prikker er tilknyttet tverrsnittsoverganger og de oransje prikkene symboliserer eventuelle nøytralakser (som slik sett kan opptre i større deler av tverrsnittshøyden enn det prikken kan gi uttrykk for).





Figur 4.5: Kritiske punkter. (Illustrasjon: Hamland og Haraldsen.)

Med beregnet spenning  $\tau$  for alle kritiske punkter er det sett hvilken som er størst per komponent, og disse er sammenlignet med skjærfastheten  $f_{vd}$  til det aktuelle materialet. Kontrollen er gjort etter (Bell, 2017, s. 155):

$$\frac{\tau}{f_{vd}} \leq 1,0 \quad (4.14)$$

Skjærfasthet  $f_{vd}$  regnes videre ut etter:

$$f_{vd} = f_{vk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_{sys} \quad (4.15)$$

der

$f_{vk}$  er karakteristisk skjærfasthet – hentes fra datablad for LVL-X og standarden NS-EN 338 (ref) for konstruksjonstrevirke.

$k_{mod}$  er fasthetsfaktoren – lik verdi som for bøyefasthet.

$\gamma_M$  er partialfaktoren  $\gamma_M$  – lik verdi som for bøyefasthet.

$k_{sys}$  er systemfasthetsfaktoren – lik verdi som for bøyefasthet.

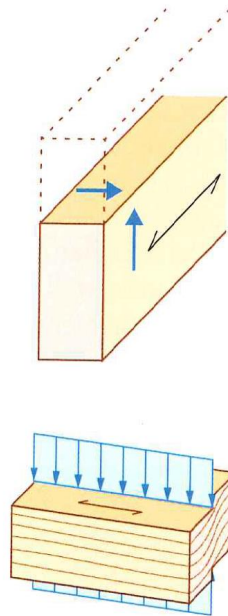
For parameterne ovenfor er det brukt de verdiene som fremgår av tabell 4.2 for det aktuelle materialet.

Tabell 4.2:  
Faktorer i forbindelse skjærfasthet for ulike materialer

Materiale	$f_{vk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Steico LVL-X	4,6
Konstruksjonstrevirke, styrkeklasse C18	3,4
Konstruksjonstrevirke, styrkeklasse C24	4
Konstruksjonstrevirke, styrkeklasse C30	4

#### 4.5.2 Skjærspenning normalt på fiberretningen (rulleskjær)

For dette elementet vil man i tillegg til den vanlige skjærspenningen, parallelt med fibre, også få skjærspenninger i et annet plan som er normalt på fiberretningen – se figur 4.6. Dette andre vertikale planet går gjennom limfuge-planene.



Figur 4.6 Trekomponent med skjærspenning parallelt med fiberretningen (Kilde: Bell (2017, s. 154) gjengitt med tillatelse fra Fagbokforlaget)

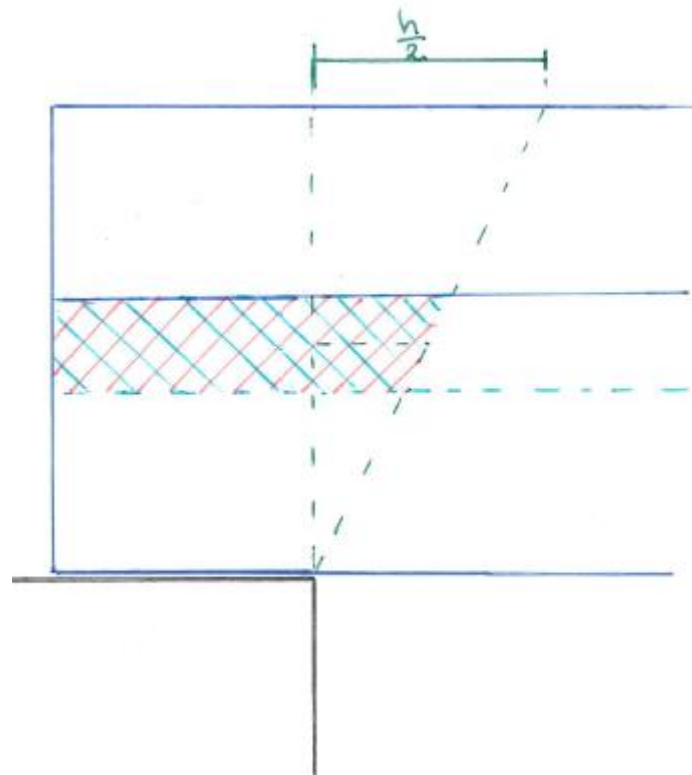
For å kunne beregne største spenning er det nødvendig å vite hvordan denne fordeler seg over bjelkens lengde. Det ble vurdert to ulike tilfeller; konstant over lengden eller variasjon i likhet med skjærkraftdiagrammet. Det ble valgt å gå for en fordeling som følger skjærkraftdiagrammet med en faktor på 0,5. Altså, null overføring av krefter midt på bjelkens lengde og økende mot opplageret, med en størrelse på  $0,5 \cdot V$  i enden. Grunnen til at dette ble antatt slik er at både øvre og nedre halvdel av elementet må bære en del av lasten ut til opplegg.

Ser man på de horisontale skjærspenningene på en vanlig bjelke, vil skjærspenningene være like store for punkter med samme avstand fra nøytralaksen – både over og under. Dette må bety at bjelkens øvre og nedre halvdel bærer like mye av lasten bort til opplageret. For elementet vil dette si at halvparten av lasten føres bort til opplegget gjennom de øvre bjelkene. Den andre halvdel overføres jevnt til de nedre bjelkene fra null på midten til  $0,5 \cdot V$  på enden. Dermed blir den største kraften som limfugen må overføre  $0,5 \cdot V$ , ved enden.

Skjærkraften på  $0,5 \cdot V$  gjelder for hele elementets bredde. Det må finnes hvor mye hver limfuge skal ta, og det gjøres ved å dividere lasten på det minste antall bord som forekommer i øvre eller nedre del. I tillegg må denne verdien deles på to ettersom man har en limfuge på hver side. På elementets ene side vil flensen gå utenfor ytterste bord i enten øvre eller nedre halvdel, og

dette bordet vil da få en økt lastbredde. Derfor økes verdien med en faktor på 1,25 som tilsvarer den økte lastbredden.

Kraften som skal overføres fra øvre bord til nedre bord gjennom limfugen, skjer over et areal. Arealets høyde er lik limfugens høyde, mens bredden må bestemmes. Det antas at skjærkraften nær opplegg overføres nærmest direkte, som er grunnlaget for reduksjonsfaktoren man bruker ( $-0,5 \cdot q_d \cdot h$ ), og man vil derfor også anta at arealet som tar opp skjær er større enn kun arealet rett over opplegg. Arealets bredde settes slik som vist på figur 4.7.



Figur 4.7: Element på opplegg med skravert område som viser limfugens effektive areal. (Illustrasjon: Hamland og Haraldsen.)

Det antas at skjærspenningen fordeler seg over limfugen som skjærspenningen fordeler seg over høyden i en vanlig, rektangulær bjelke – som en parabel med maks på midten og ingenting i topp og bunn.

Med dette kan skjærspenningen til limfugen beregnes etter forenklet likning:

$$\tau = \frac{3V}{2A} \quad (4.16)$$

Som for den vanlig skjærspenning kontrolleres også denne skjærspenningen i limfugen opp mot skjærfastheten  $f_{vd}$  iht. (Bell, 2017, s. 155):

$$\frac{\tau}{f_{vd}} \leq 1 \quad (4.17)$$

Her brukes fasthet for rulleskjær:

$$f_{vd} = f_{vk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_{sys} \quad (4.18)$$

der

$f_{vk}$  er karakteristisk rulleskjærfasthet – hentes fra standarden NS-EN 338 for konstruksjonstrevirke.

$k_{mod}$  er fasthetsfaktoren – lik verdi som for bøyefasthet.

$\gamma_M$  er partialfaktoren  $\gamma_M$  – lik verdi som for bøyefasthet.

$k_{sys}$  er systemfasthetsfaktoren – lik verdi som for bøyefasthet.

hvor

$$f_{vk} = 2 \cdot f_{t,90,k} \quad (4.19)$$

For de ulike materialene er det brukt verdiene fremstilt i tabell 4.3.

Tabell 4.3:  
Faktorer i forbindelse rulleskjærfasthet for ulike materialer

Materiale	$f_{t,90,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Konstruksjonstrevirke, styrkeklasse C18	0,4
Konstruksjonstrevirke, styrkeklasse C24	0,4
Konstruksjonstrevirke, styrkeklasse C30	0,4

## 4.6 Dimensjonering for nedbøyning

Dimensjonering av nedbøyning blir gjort etter likning (2.2) fra 2.3.4, gjengitt i (4.20) med noen tilpasninger til dette elementet. Grunnen til at det ikke er beregnet med en langtidseffekt, er fordi det er en av avgrensningene til oppgaven. Konsekvensen av dette i beregningen, er at man må benytte grenseverdier  $w_{inst}$  for nedbøyning. Det er ingen overhøyde på elementet, så det er ikke medregnet. Flensene på topp og bunn er neglisjert i skjærbidraget, etter råd fra professor ved Institutt for konstruksjonsteknikk (personlig kommunikasjon, Malo, 24.april 2018, e-post).

$$\delta = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot EI} \cdot \left( 1 + 0,96 \cdot \left( \frac{h}{L} \right)^2 \cdot \left( \frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \right) \right) \quad (4.20)$$

der

$q$  er elementets karakteristiske last uten langtidseffekt

$EI_{ef}$  er elementets effektive bøyemoment

$L$  er elementets lengde

$h$  er høyden til kjernen

$E_{0,mean}$  er trevirkets elastisitetsmodul

$G_{0,mean}$  er trevirkets skjærmodul

Ved beregning kan man dele likningen opp i to deler. Den ene er momentbidraget, hvor hele bidraget medregnes, og det andre bidraget fra skjær med en andel på 96 %. Skjærbidraget utgjør

stort sett en veldig liten andel av nedbøyningen, men etter Bells (2017, s. 415) anbefaling bør skjærbidraget være inkludert for trekonstruksjoner. Elastisitetsmodul og skjærmodul for de forskjellige styrkeklassene til trevirket er listet opp i tabell 4.4.

Tabell 4.4:  
Faktorer i forbindelse skjærbidraget til nedbøyning, for ulike materialer

Materiale	$E_{0,\text{mean}}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$G_{0,\text{mean}}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Konstruksjonstrevirke, styrkeklasse C18	9 000	560
Konstruksjonstrevirke, styrkeklasse C24	11 000	690
Konstruksjonstrevirke, styrkeklasse C30	12 000	750

Nedbøyningskravet som er satt til  $w_{\text{inst}}$  er  $L/500$ . Så lenge  $\delta$  er mindre enn dette, er elementet innenfor de gitte kravene.

## 4.7 Dimensjonering av komfortkriterium

Ved beregning av komfortkriterium benytter man egenfrekvensen til elementet og nedbøyningen ved en punktlast på 1 kN.  $EI_{\text{ef}}$  er felles for delkriteriene, og er som nevnt den effektive stivheten for elementet.

Ved beregning av frekvens benyttes formel (2.3) med elementets stivhet og masse. Massen er karakteristiske egenlast, inkludert betong. Når nedbøyning beregnes benyttes likning for nedbøyning med punktlast, slik som vist i likning (2.4). Punktlasten er 1 kN.

Disse to parameterne settes inn i (2.5), gjengitt her:

$$\frac{\left(\frac{f_1}{18,7}\right)^{2,27}}{w} > 1,0 \quad (4.21)$$

Så lenge disse verdiene større enn 1,0 er komfortkriteriet tilfredsstillt.

## 4.8 Finne konkrete dimensjoner

### 4.8.1 Metode

Fokuset for denne dimensjoneringen er som nevnt innledningsvis i kapittelet, å finne den største spennvidden elementer kan ha ved forskjellige tverrsnittsdimensjoner. Med å bruke regnearket til å kontrollere kriteriene som må være oppfylt, omtalt i 4.4-4.7, kan man prøve seg fram med ulike spennlengder og se hvor grensen går. Da har man funnet maksimal spennvidde for elementet med *akkurat* de tverrsnittsdataene.

Etter man har funnet maksimal spennvidde for et element med *ett sett* parametere, kan man gjøre endringer i disse og gjenta prosessen for et element med *et annet sett* parametere. Et viktig poeng i denne sammenheng er at man må sette noen begrensninger. Hvis det ikke gjøres, vil man ha en ubegrenset mengde muligheter å velge blant og dermed få en ubegrenset mengde kombinasjoner. Et eksempel kan være:

Det ønskes en etasjeskiller som er 400 mm høy. Med ulike platetykkelser, bjelkedimensjoner og materialkvalitet samt høyde på limfuge, skjønner man at det er mange valg. Ikke nok med det, for man kan også tillate ulike dimensjoner på øvre og nedre halvdel av etasjeskilleren.

Man forstår at det er mange mulige kombinasjoner, og for å begrense antallet må det settes noen begrensninger.

### 4.8.2 Begrensninger

#### I konseptets utforming

Til tross for at beregningsarket er satt opp fleksibelt, slik at det klarer å dimensjonere det meste av modifikasjoner på elementer – for eksempel å fjerne bunnflens fra elementet – er det nå satt begrensninger:



Konseptet skal inneholde alle fem komponenter, ingen av disse kan ha dimensjon 0. Og de skal ha sin bestemte plassering i forhold til hverandre. Andre løsninger faller utenfor *konseptet* og vurderes ikke.

Det skal være en avstand mellom komponent 1 og 4, samt mellom komponent 2 og 3. Hvis det her ikke er noen avstand, snakker man egentlig om et kantstilt element, og man er utenfor konseptet.

Flensene bygger hele elementbredden, og det samme gjør kjernen i den høyden hvor limfugen er.

For å redusere kombinasjonene ytterligere er det bestemt at topp- og bunnflens skal være av like tykkelser. Det samme gjelder øvre og nedre bord i kjernen, like tykkelser og lik styrkeklasse.

## **Andre begrensninger**

### *Begrensning av elementhøyde*

Det er bestemt at det skal finnes spennlengder for fire forskjellige elementhøyder: 350, 400, 450 og 500 mm.

Grunnen til at det ble valgt å se på de fire høydene, er først og fremst at elementhøyde på 350 mm er laveste høyde som er mulig med 80 mm betong oppå. De to høyeste er satt etter kravspesifikasjonene i 3.2.5. Høyden på 400 mm ble satt for å få en jevn opptrapping fra elementet på 350 mm.

### *Begrensning av flens*

Det er bestemt i 3.6 at flensmaterialet er Steico LVL-X. Disse platene leveres med tykkelser 27-75 mm i steg på 6 mm.

### *Begrensning av kjerne*

Det vurderes bare bord av dimensjonene 48 x 148, 48 x 198 og 48 x 223. Alle tre dimensjonene i hver av styrkeklassene C18, C24 og C30.

### *Begrensning av limfuge*

Limfugens høyde må minst være slik at den tilfredsstillende kravet til skjærspenningen, men av praktiske hensyn er det bestemt at den skal være større eller lik 30 mm. Det er også satt en begrensning i maksimal høyde for at konseptet skal beholde sin «form», og denne er valgt å være 60 % av høyden til bordene som brukes.

Alle limfuger er 0,1 mm tykke, iht. datablad.

### *Oppleggslengde*

Det er for alle kontrollene brukt en oppleggslengde på 100 mm.

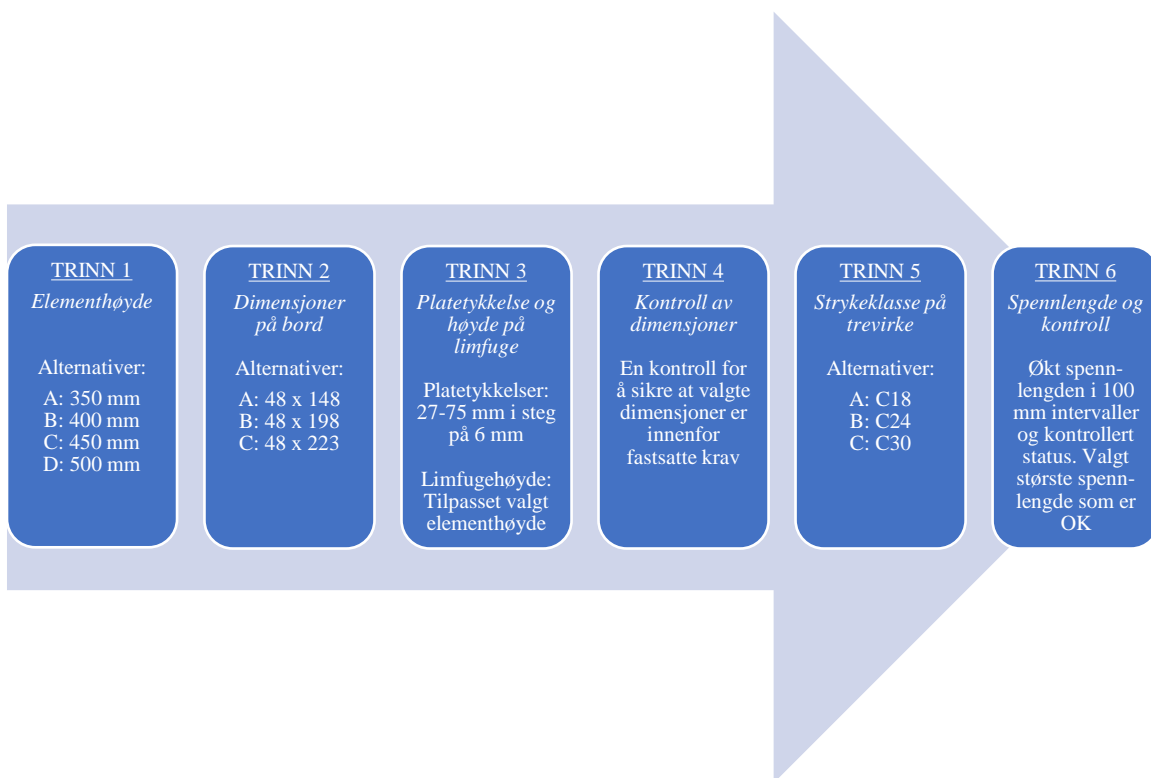
## **4.8.3 Utvalg av kombinasjoner**

Med begrensningene satt i 4.8.3, begynner det å bli håndterbar mengde dimensjoner på elementet som kan prøves ut. Ved utprøving av spennlengder for disse elementer er det bestemt hopp i intervall på 100 mm om gangen. Dette anses som mest hensiktsmessig både for resultater, og for selve utprøvingen. Høyden skal være eksakt, og dette gjøres ved at limfugen er den komponenten som blir tilpasset for å oppnå valgt høyde.

Selv om pris ikke har vært en faktor i utviklingen, og heller ikke skal stå i veien for å si noe om elementet med størst spennvidde, er pris tatt i betraktning under denne utvelgelsen. Dette er gjort for å velge mellom elementer i en gitt høyde som oppnår likt maksimalt spenn. Da blir billigste variant valgt. Det kan være stor prisdifferansen mellom to elementer med nesten samme spenn. Derfor har er det valgt å ikke inkludere alle elementene med videre i prosjektet da det ikke er interessant å vurdere dyrere elementer opp mot billigere elementer med samme spenn. Priser på trevirke er tilsendt fra Begna Bruk, pris på Steico LVL-X er en ca. pris fra Hunton og pris på lim er så lite så det regnes som mot neglisjerbart.

Det er på sin plass å nevne at det kan dog være store hopp i pris, som er sett bort fra, f.eks. at elementet med lengste spenn kan være en del dyrere enn elementet med nest lengst spenn som bare har litt mindre spenn – som igjen kan være ganske nær elementet hakker kortere i både spenn og pris.

Å finne frem til de forskjellige kombinasjonene har vært gjort systematisk, og figur 4.8 skisserer framgangsmåten. Det velges en parameter fra hvert trinn, og deretter endres disse i tur og orden. Høyeste trinnummer er først ute med endringen.



Figur 4.8: Systematisk måte for å finne løsningskombinasjoner.

Alle kombinasjoner, med størst mulig spennvidde, som er innenfor kravene, settes i en liste. Ubearbejdede data er lagt i vedlegg E, mens de andre er presentert i resultatkapittelet.



# 5 Testing av bøyestivhet

## 5.1 Bakgrunn

### 5.1.1 Grunnlag for testing

For at elementets spennvidde skal kunne økes må stivheten økes, som tidligere nevnt. I dimensjoneringen av elementet ble det gjort en antakelse om at limte forbindelser gir null glidning mellom komponentene, altså fullt statisk samvirke. Ved full heft tilegnes elementet den største stivheten som er mulig – foruten å gjøre endringer i geometri og materialer. Det var interessant å undersøke hvor riktig denne antakelsen om fullt statisk samvirke var, og det ble derfor gjennomført forsøk. Gjennom testing vil en kunne sammenligne beregnede og målte verdier for å se hvor bra overenstemmelse det er, som kan gi en indikasjon på hvor godt antakelsen stemmer med virkeligheten.

Ellers ønsket man også å gjennomføre en test for å se hvilken betydning elementets flenser har på stivheten. Ved å teste et element uten plate på topp og bunn, kun kjernen, som sammenlignes med testen av det komplette elementet.

### 5.1.2 Metode

Stivheten kan ikke testes direkte, men den kan beregnes ut fra en nedbøyningstest. Måten dette gjøres på er ved å belaste et fritt opplagt element med en kjent last og måle den nedbøyningen lasten gir. Med disse parameterne kan så stivheten regnes ut.

## **5.2 Innledende forsøk – små prøvestykker**

### **5.2.1 Nødvendigheten med 1. forsøksrunde**

Før et stort element ble bygget for å teste nedbøyning, ble det ansett som fornuftig å gjøre noen innledende forsøk på mindre prøvestykker. Det var ingen tilknyttet Bygglab-en ved NTNU Gjøvik som hadde erfaring med bruk av lim på den måten som elementet krevde, og man ønsket derfor å studere forbindelsens oppførsel under belastning.

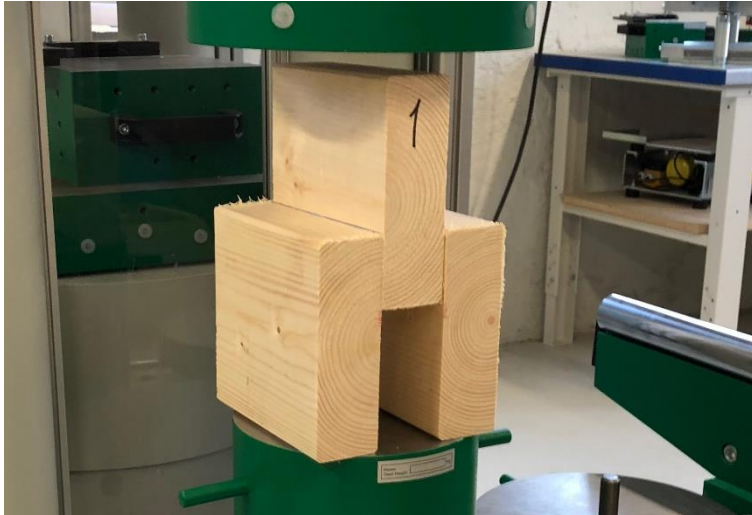
Hovedformålet var å avdekke ved hvilken last bjelken gikk til brudd – før limfugen røyk. Dette var interessant å sjekke for limfuger av ulike høyder. I tillegg søkte man også svar på hvilken påvirkning bjelke dimensjoner har.

I og med at limprodusentens datablad setter krav om et press under herdingen, som ikke var gjennomførbart på et langt element med det tilgjengelige utstyret, ville det undersøkes hvilke konsekvenser herding med mindre press ga.

### **5.2.2 Beskrivelse av tilvirkning og testing – for begge tester**

#### **Tillaging av prøvestykker**

Alle de små prøvestykkene som skulle testes hadde en felles geometri; 3 stk. 15 cm lange bjelkestubber satt sammen slik figur 5.1 viser.



*Figur 5.1 Prøvestykke av 3 bjelkestubber klart til testing. (Foto: Hamland og Haraldsen.)*

Databladet fra limprodusenten ble fulgt angående blandingsforhold, temperatur og tid under limeprosessen. Selve påføringen av limet ble gjort med pensel, to strøk på hver side av den midtre bjelken.

Lim: Dynea Prefere 4547

Herder: Dynea Prefere 5047

## **Testing**

Prøvestykkene ble plassert sentrisk i ei hydraulisk presse og belastet til brudd. Bruddlasten ble registrert. Belastningsøkningen var 0,2 kN/s. Testingen ble gjennomført i samme rekkefølge som prøvestykkene ble limt for å få mest mulig lik tid siden liming.

For at testingen skulle ha en viss form for pålitelighet ble det valgt å teste tre prøvestykker av hver type.

### 5.2.3 Test av fugehøyde og bjelkedimensjoner

#### Oppsett

Limfugehøyder som undersøkes: 30 mm, 50 mm og 70 mm

Bjelkedimensjoner som brukes: 48 x 148 og 48 x 198

Press under herding: Tvinger x2

#### Resultater

For 70 mm høy limfuge var det tydelig at det var toppbjelken som ga etter. Det var store deformasjoner i bjelken før enn limet viste antydning til svakhetstegn. Dette gjaldt både 48 x 148 og 48 x 198-bjelkene.

Tabell 5.1 gir resultater fra forsøket.

Tabell 5.1:  
Test av limfugehøyder for bjelker av dimensjonene 48 x 148 og 48 x 198.

Limfugehøyde [mm]	Gjennomsnittlig bruddlast for konstruksjonstrevirke [kN]		Skjærspenning ved gjennomsnittlig bruddlast [N/mm <sup>2</sup> ]	
	48 x 148	48 x 198	48 x 148	48 x 198
30	10,8	8,66	3,61	2,89
50	11,39	19,03	2,28	3,81
70	23,26	21,31	3,32	3,04

#### Konklusjon

Konklusjonen er at det anbefales 70 mm høyde på limfugen til testelementet. Begrunnelsen for dette er at ved denne høyden vil ikke limet være avgjørende og bjelken vil være det svakeste leddet.

Forskjellen på 48 x 148 og 48 x 198 er lite utslagsgivende ved 70 mm høyde på limfugen. Med det blir konklusjonen at det benyttes 48 x 148 dimensjoner på konstruksjonstrevirket til testelementet.



## 5.2.4 Test av forskjellige press under herding

### Oppsett

Press under herding: Betongskive 0,8 kg, tvinger x2 og trykk fra hydraulisk presse

Limfugehøyde: 50 mm

Bjelkedimensjon som brukes: 48 x 148

For de tre prøvestykkene som skulle herdes med det presset som limsystemets datablad anga, ble lagt i den hydrauliske pressa. For at det skulle ligge stabilt ble det opplagret med klosser på sidene. Se figur 5.2.



Figur 5.2: Press ved herdeprosessen, korrekt press. (Foto: Hamland og Haraldsen.)

## Resultater

Tabell 5.2 gir resultatene fra dette forsøket.

Tabell 5.2  
Test av ulikt press ved herding, med 50 mm høyde på limfugen

Limpress	Gjennomsnittlig bruddlast for konstruksjonstrevirket [kN]	Skjærspenning ved gjennomsnittlig bruddlast [N/mm <sup>2</sup> ]
Presse 1	21,53	4,31
Tvinge	11,39	2,28
0,8 KG	11,17	2,23

## Konklusjon

Ved korrekt press under herdingen ville nok 50 mm-limfugen holdt i stort test-element, men ettersom det ikke var noe alternativ ble vurderingen at denne limfugen ikke ville være tilstrekkelig, når belastningen ved herding med tvinge eller uten press bare ligger på 55-60 % av den samme kapasiteten i forhold til prøvestykkene med korrekt press.

## 5.3 Framstilling av modell

### 5.3.1 Monteringsjigg

Basert på erfaringen fra sammenlimingen av prøvestykkene ble det ansett nødvendig å bygge elementet i en jigg. Dette ville forenkle limeprosessen. Denne jikken skulle holde bjelkene på riktig plass med korrekt størrelse på overlappen, altså 70 mm. Jikken er vist i figur 5.3.



Figur 5.3: Monteringsjigg. (Foto: Hamland og Haraldsen.)

### 5.3.2 Montering av testelement

Med den begrensede tiden man har fra limet blandes til presset skal være på, var det viktig at monteringsprosessen gikk smertefritt. Av den grunn ble det gjort tørrtrening på montering av bjelker i jigg.

Blanding av lim ble gjennomført etter instruksjer i datablad fra Dynea. Limet ble påført med pensel, et lag på hver overflate av det som skulle limes sammen. Bjelkene ble børstet av før montering og liming for å forhindre at det kom rusk i limfugene.

Monteringen av elementet gikk raskt og effektivt slik at hele monteringen med pålegg av press, ble gjennomført før tidsbegrensningen som var oppgitt i datablad til Dynea gikk ut.

Elementet sto med total belastning på 215 kg/m i 25 timer med en temperatur mellom 22-24 grader celsius. Elementene med belastning vises i figur 5.4.

Grunnen til at det ble valgt å legge på litt vekt på elementet var for å få trykket flatene godt nok mot hverandre for at limet skulle få heft mellom bjelkene, og hvis det var noe vridning på bjelkene ville vekta av steinene og betongen være med å rette ut disse skjevhetene. Figur 5.4 viser stort element montert i jigg med belastning.



(a)



(b)

Figur 5.4: (a) Liming og herding av kjerne i jigg; (b) Liming og herding av fullstendig element i jigg. (Foto: Hamland og Haraldsen.)

Jiggen ble ombygget når vi var ferdige med kjernene, til en jigg som kunne holde platene og kjernen sammen, korrekt plassert under herdetiden med sålebjelkene og betongen på.

## 5.4 Testoppsett: Bestemme parametere for testingen

### 5.4.1 Krav til liming

Ved testing og liming av elementene er det ikke benyttet standarden for dette, NS-EN 14080:2013+NA:2016, på det grunnlaget at det ikke er godt nok måleutstyr tilgjengelig samt mulighet til å dokumentere noe av testingen på en måte slik at det blir nøyaktig nok opp mot standarden. Utstyret som er til rådighet er ikke tilpasset denne standarden eller belastning og liming av et slikt element. Fokuset i denne oppgaven ved testing er sammenligning mot andre teoretiske beregningsmetoder og det vil kunne oppnås gode nok resultater for å gi en indikasjon uten å benytte standarden.

## **5.4.2 Utstyr**

Hydraulisk presse:

FORM+TEST, Prüfsysteme

Type: MEGA 6-3000-300

Nedbøyningsmåler:

Mitutoyo Corp

Model ID-C150RXB

## **5.4.3 Utforming**

Ved testing av prøvestykkene ble det bestemt at testelementene skulle ha 70 mm limfuge og bjelke dimensjoner på 48 x 148 mm. Platene på testelement 2 ble satt til å skulle være 27 mm. Platene som kom var av typen LVL-R, ble benyttet til testelementet.

## **5.5 Gjennomføring**

### **5.5.1 Testing av testelement 1 – kjerne uten plater**

Maskina ble stilt til å øke 0,2 kN pr sekund. Det ble benyttet en nedbøyningsmåler for å få mest mulig korrekte målinger. Opplagret på betongklosser i hver ende, 150 mm brede på hver side og lysåpning 4700 mm. Resultatene er listet opp i tabell 6.5 er bare ca. verdier på grunn av to forskjellige måleapparater, pressa som oppgir belastningen på elementet og nedbøyningsmåleren som er en separat måler. Det er lagt et tynt bord på ca. 2 cm under delen fra pressa som er i kontakt med testelementet for at fibrene i toppen av elementet ikke skal bli knust med tanke på at elementet skulle presses så godt som mulig til brudd.

Når belastningen oversteg 30 kN var ikke pressa tilfredsstillende forankret til gulvet og elementet kunne ikke belastes mer. De ytterste bjelkene, som var 24 mm brede fikk brudd ved senter av elementet, i en kvist. Bortsett fra sidebjelkene var resten av elementet intakt og ingen synlige brudd i noen limfuger eller andre steder i trevirket.

### 5.5.2 Testing av testelement 2 – helt element

Elementet med plater ble opplagret slik testelement 1 ble, på to opplager av betong. Se figur 5.5. Lysåpningen på elementet var også her 4700 mm. På grunn av den store høyden til elementet, og testutstyret som ikke er tilpasset slik bruk, var det ikke mulig med veldig stor belastning på elementet. Testen ble stoppet når testmaskinen løsnet i festene ved grunnen. Elementet ble også her belastet med en punktlast midt på elementet som presset ned på hele elementets bredde.

Etter testen var det ingen tegn på noen form for brudd eller deformasjoner i kjernen, og heller ingen brudd i limingen til plata. Det var en deformasjon på oversiden av plata der pressa hadde trykt ned noen millimeter slik som forventet.



Figur 5.5 Klargjøring for testing

## 6 Resultater

I dette kapitlet presenteres resultatene for et utvalg av løsningene for konseptet i tabell 6.1-6.4. Til slutt i kapitlet presenteres resultatene fra testingen av de fysiske elementene opp mot analytiske beregninger, de er presentert i tabell 6.5 og 6.6.

Tabell 6.1  
Absolutt lengste spenn ved 1200 mm og 2400 mm

Bredde [mm]	Høyde [mm]	Bordhøyde [mm]	Platetykkelse [mm]	Limfugehøyde [mm]	Styrkeklasse	Spennlengde [mm]	Pris [Kr]	EI [Nmm <sup>2</sup> ]	A [10 <sup>4</sup> mm <sup>2</sup> ]	L/kr
1200	500	198	51	78	C30	8154	11675	6,40	3,60·10 <sup>13</sup>	0,698
2400	500	198	69	114	C30	9070	30106	1,38	8,06·10 <sup>14</sup>	0,301

Tabell 6.2  
Elementene som man får mest for penge ved 1200 mm og 2400mm

Bredde [mm]	Høyde [mm]	Bordhøyde [mm]	Platetykkelse [mm]	Limfugehøyde [mm]	Styrkeklasse	Spennlengde [mm]	Pris [Kr]	EI [Nmm <sup>2</sup> ]	A [mm <sup>2</sup> ]	L/kr
1200	350	148	27	80	C18	5500	4670	1,49·10 <sup>13</sup>	2,42·10 <sup>5</sup>	1,178
1200	400	148	27	30	C18	6200	5261	2,32·10 <sup>13</sup>	2,42·10 <sup>5</sup>	1,178
1200	450	198	27	80	C18	6900	7013	3,46·10 <sup>13</sup>	3,02·10 <sup>5</sup>	0,984
1200	500	198	27	30	C18	7600	7720	3,86·10 <sup>13</sup>	3,02·10 <sup>5</sup>	0,984
2400	350	148	27	80	C18	6000	10190	2,99·10 <sup>13</sup>	4,84·10 <sup>5</sup>	0,589
2400	400	148	27	30	C18	6800	11540	4,65·10 <sup>13</sup>	4,84·10 <sup>5</sup>	0,589
2400	450	198	27	80	C18	7600	15448	6,93·10 <sup>13</sup>	6,04·10 <sup>5</sup>	0,492
2400	500	198	27	30	C18	8400	17064	9,72·10 <sup>13</sup>	6,04·10 <sup>5</sup>	0,492

Tabell 6. 3  
Lengste spenn ved 1200 mm og 2400 mm, for hver høyde

Bredde [mm]	Høyde [mm]	Bordhøyde [mm]	Platetykkelse [mm]	Limfugehøyde [mm]	Styrkeklasse	Spennlengde [mm]	Pris [Kkr]	EI [Nmm <sup>2</sup> ]	A [mm <sup>2</sup> ]	L/kr
1200	350	148	27	80	C24	5600	4993	1,60·10 <sup>13</sup>	2,42·10 <sup>5</sup>	1,112
1200	400	148	45	66	C24	6600	7384	2,87·10 <sup>13</sup>	2,85·10 <sup>5</sup>	0,894
1200	450	148	63	52	C30	7500	10395	4,71·10 <sup>13</sup>	3,29·10 <sup>5</sup>	0,722
1200	500	198	45	66	C30	8100	10982	6,21·10 <sup>13</sup>	3,45·10 <sup>5</sup>	0,738
2400	350	148	27	80	C30	6200	11551	3,30·10 <sup>13</sup>	4,84·10 <sup>5</sup>	0,537
2400	400	148	45	66	C24	7200	16111	5,73·10 <sup>13</sup>	5,71·10 <sup>5</sup>	0,447
2400	450	148	63	52	C24	8200	22076	9,27·10 <sup>13</sup>	6,57·10 <sup>5</sup>	0,371
2400	500	198	63	102	C24	9000	27159	1,32·10 <sup>14</sup>	7,77·10 <sup>5</sup>	0,331



Tabell 6.4  
 Sammenligning av samme materialforbruk opp mot EI og spennlengde

Bredde	Element	Bjelke- høyde	Platetykkelse [mm]	Limfugehøyde [mm]	Styrkeklasse	Spennlengde [mm]	EI [Nmm <sup>2</sup> ]	A [·10 <sup>5</sup> mm <sup>2</sup> ]
1200	Konsept	148	27	30	C30	6400	2,61·10 <sup>13</sup>	2,42
1200	Bordstabelement	201,5	-	-	C30	5100	9,8·10 <sup>12</sup>	2,42
1200	Konsept	198	27	30	C30	7900	5,59·10 <sup>13</sup>	3,02
1200	Bordstabelement	252	-	-	C30	5850	1,92·10 <sup>13</sup>	3,02
2400	Konsept	148	27	30	C30	7000	5,21·10 <sup>13</sup>	4,84
2400	Bordstabelement	201,5	-	-	C30	5350	1,96·10 <sup>13</sup>	4,84
2400	Konsept	148	39	54	C30	7100	5,66·10 <sup>13</sup>	5,42
2400	Bordstabelement	226	-	-	C30	5900	2,86·10 <sup>13</sup>	5,42

Tabell 6.5:

Sammenligning av nedbøyning av bare kjerne og helt element med plater FORSØK

Belastning [kN]	Bare kjerne	Helt testelement
	mm nedbøyning	mm nedbøyning
5	8,3	3
10	15,5	6
15	22,8	8,7
20	30,4	11,5
25	38,3	14,4

Tabell 6.6:

Sammenligning av helt testelement og analytisk beregning i Excel BEGGE MED PLATER

Belastning [kN]	Helt testelement	Håndberegning
	mm nedbøyning	mm nedbøyning
5	3	3,4
10	6	6,2
15	8,7	9,1
20	11,5	12
25	14,4	16,2

# 7 Diskusjon og evaluering

## 7.1 Oppfyllelse av problemstilling

I oppgavens problemstilling rettes fokus mot utvikling av en trebasert etasjeskiller som skal være dimensjonert for større spennvidder enn vanlig. Kombineringen av produktene skal gi en større spennvidde enn om de brukes separat.

Konseptet for etasjeskilleren bygger på en modifisering av et limt kantstilt massivtreelement, og er derfor den komponenten som elementet vårt skal sammenlignes med, ut i fra problemstillingen. Sammenligningen går ut på at det utviklede konseptet skal ha minst 25 % større spennvidde enn det kantstilte elementet når begge løsningene har det samme tverrsnittsarealet. I tabell 6.4 er det listet opp 4 forskjellige kantstilte elementer som er sammenlignet med konseptet, og begge elementene har samme areal. Ser man på verdiene i denne tabellen og sammenligner de to løsningene får man:

$A = 2,42 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$  for begge elementene. Det kantstilte elementet har en lengde på 5100 mm, mens konseptet har en lengde på 6400 mm, dette utgjør  $6400/5100 = 1,255$  som er 25,5 % større spennvidde enn det kantstilte elementet. For å ikke basere seg på kun et resultat, er det tatt utgangspunkt i enda et areal, da får vi ved et areal på  $3,02 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$ , er spennlengden til det kantstilte elementet 5850 mm, mens konseptets spennlengde er på 7900 mm, noe som gir  $7900/5850 = 1,35$  som er 35 % bedre spennvidde med samme tverrsnittsareal. Det er også vurdert med bredde på 2400 mm, og de samme resultatene gjentar seg. Det må anses som en god oppnåelse ettersom flertallet av alle konseptene vi har kommet fram til med forskjellig sammensetning har en bedre spennlengde enn 25 % i forhold til det kantstilte elementet. Det er kun enkelte av de elementene som har blitt dimensjonert fram som ikke er bedre enn dette, og disse sees bort fra i et helhetlig bilde da det kun gjelder noen få.

## 7.2 Stivhet ved full komposittvirkning

### 7.2.1 Beregning av stivhet og sammenligning med analytisk verdi

I kapittel 5 ble det redegjort for forsøk med en fysisk modell hvor hensikten var å måle nedbøyningen. Ut fra nedbøyningsmålingene ønsker man å beregne elementets effektive stivhet. Nedbøyning for påført punktlast og med jevnt fordelt egenlast beregnes etter uttrykket

$$\delta = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot EI_{ef}} + \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot EI} \quad (7.1)$$

Løser man (7.1) med hensyn på effektive stivheten får man

$$EI_{ef} = \frac{8 \cdot P \cdot L^3 + 5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot \delta} \quad (7.2)$$

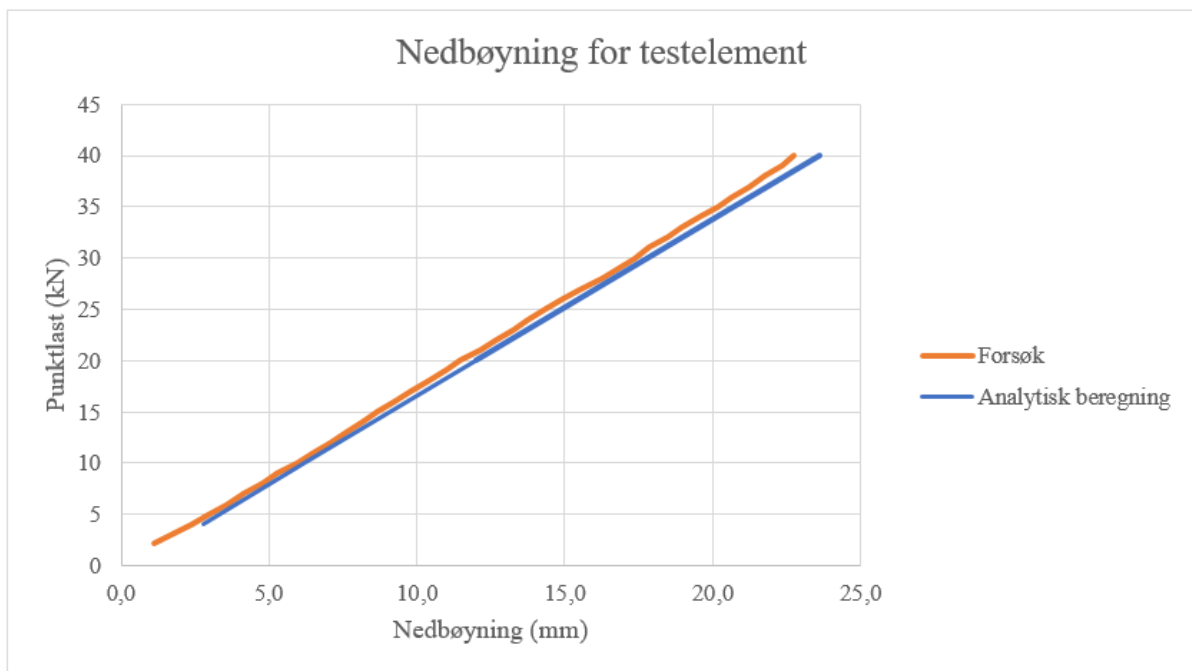
I denne setter man så inn tilhørende verdier for påført last  $P$  og målt nedbøyning  $\delta$  i forsøket, samt  $q$ -en som representerer massen til elementet og lengden  $L$ , og beregner den effektive stivheten for testelementet. For å øke relabiliteten på beregningen, ble (7.2) anvendt på samtlige målepunkter, og en gjennomsnittsverdi ble regnet ut. Det ble ikke anledning til å vege elementet for å bestemme  $q$ , så her er det brukt verdien 0,273 kN/m fra dimensjoneringsverktøyet. Lengden  $L$  er satt til senteravstanden til opplagrene, 4850 mm. Den effektive stivheten til testelementet viser seg dermed å være

$$EI_{ef} = 4,32 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Til sammenligning er den analytisk beregnede stivheten  $EI_{ef} = 4,38 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$ , noe som tilsvarer ca. 1,4 % større stivhet enn målt verdi på testelementet.

## 7.2.2 Kommentarer

Med det gode samsvaret man oppnår mellom målt og beregnet stivhet (figur 7.1), antas det å være en indikasjon på at forutsetningene for de analytiske beregningene er riktige. Altså at limte forbindelser gir full komposittvirkning, og at det er riktig å benytte bjelketeori for beregning på elementet.



Figur 7.1: Sammenligning av nedbøyning for beregnede og målte verdier.

Likevel bør en være klar over at det kan være en tilfeldighet. Med mange feilkilder og unøyaktigheter til stede - som for så vidt kan slå begge veger – har forsøket en lav relabilitet. For å øke relabiliteten bør det gjøres flere forsøk og under mer kontrollerte former. Forsøkets validitet er derimot god, da forsøket omfatter det som er nødvendig å undersøke for å bestemme stivheten.

Platene som testelementet benyttet var av typen Steico LVL-R, den har en del høyere E-modul enn de platene konseptet dimensjoneres for, altså  $14000 \text{ Nmm}^2$  for Steico LVL-R, mens for Steico LVL-X er  $10600 \text{ Nmm}^2$ . Dette ble tatt høyde for når sammenligningen med håndberegning ble gjort.

Uansett var det egentlig noe overraskende at det var en så god overenstemmelse mellom målt og beregnet stivhet, resultat kan ses i tabell 6.6. I grunn var det forventet at testelementet skulle gitt en større stivhet enn den beregnede verdien. Dette fordi:

- Forenklinger i beregningene gjøres til sikker side, slik at man i virkeligheten ikke utnytter materialene fullt ut selv om beregningene tilsier det.
- Konstruksjonstrevirket som brukes er mest sannsynlig av høyere kvalitet, større stivhet, enn det man tror. Dette er det stor sjanse for i og med karakteristisk verdi er satt til laveste 5 % fraktil (Bell, 2017). Det vil altså si det er 95 % sjanse at man har stivere materialer. Noe av det samme vil sannsynligvis også gjelde for kryssfinérplatene.  
Eneste måten for å være sikker på materialene man bruker er å gjøre fysiske tester av det samme materialet.
- Limet i fugene, som i beregningen antas å ha like egenskaper som konstruksjonstrevirket, er i virkeligheten noe stivere. Dermed vil egentlig dette fungere som en «armering» i elementet.
- Skjærbidraget er utelatt fra beregningen som baseres på de målte verdiene i forsøket.

Det som kan være årsaker til at testelement får mindre stivhet enn det som beregningen tilsier, er:

- Usikkerhet ved målingene.
- Feil under tilvirkningen av testelementet.
- Materialfeil. (Kvister, tennar)
- Feil antakelser i forbindelse med beregninger.
- Ikke målt testelementets masse. Et lettere element, for eksempel på grunn av lite fuktinnhold etter å ha ligget lagret varmt en stund, vil gi mindre nedbøyning.
- Limte forbindelser gir ikke 100 % komponentvirkning. Limingen av testelementet er ikke gjort etter standarden for testing, samt press på limet har ikke vært tilstrekkelig opp mot databladet.

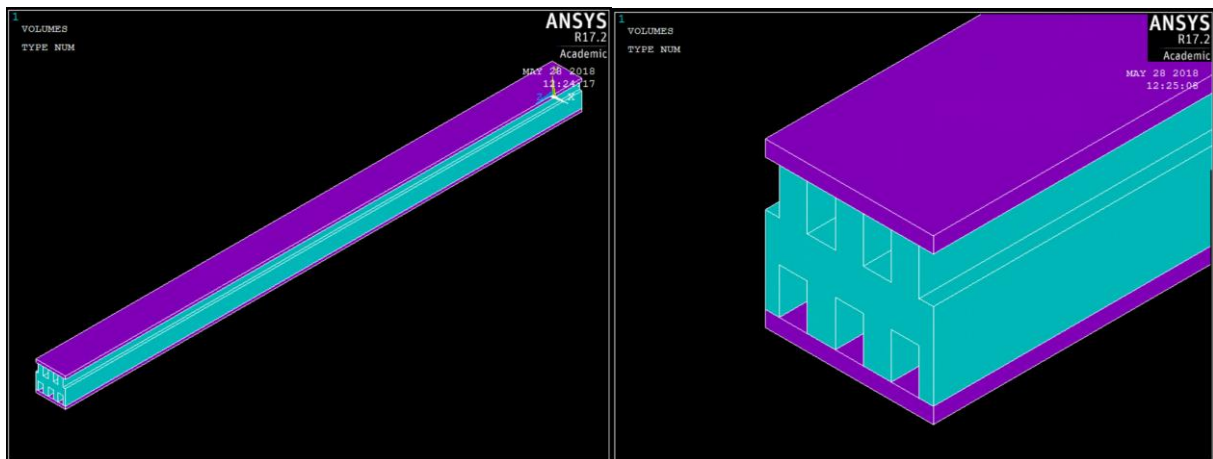
Det er på sin plass å nevne at flere av disse punktene også kan slå den andre veien.

## 7.3 Numerisk beregning av nedbøyning

### 7.3.1 Oppsett av analyse

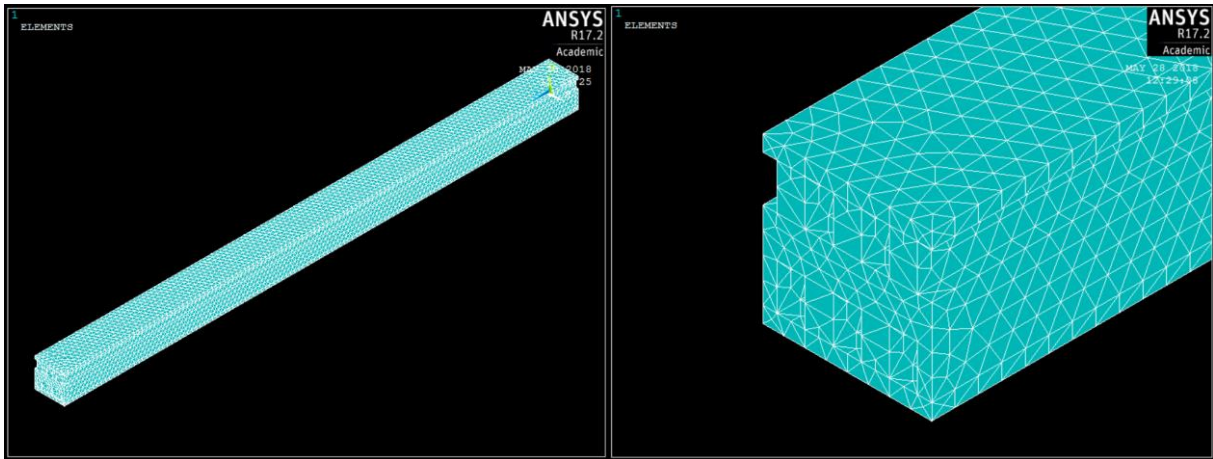
Det var i tillegg til testingen interessant å kontrollere den analytiske nedbøyningsberegningen med en numerisk beregning. I den forbindelse er det gjort en analyse med elementmetoden i dataverktøyet ANSYS Mechanical APDL 17.2. For en fullstendig kommandoliste samt kommentarer for en del valg i forbindelse med analysen vises det til vedlegg F.

I programmet ble testelementet modellert, se figur 7.2. Det er lagt inn to ulike materialer i analysen.



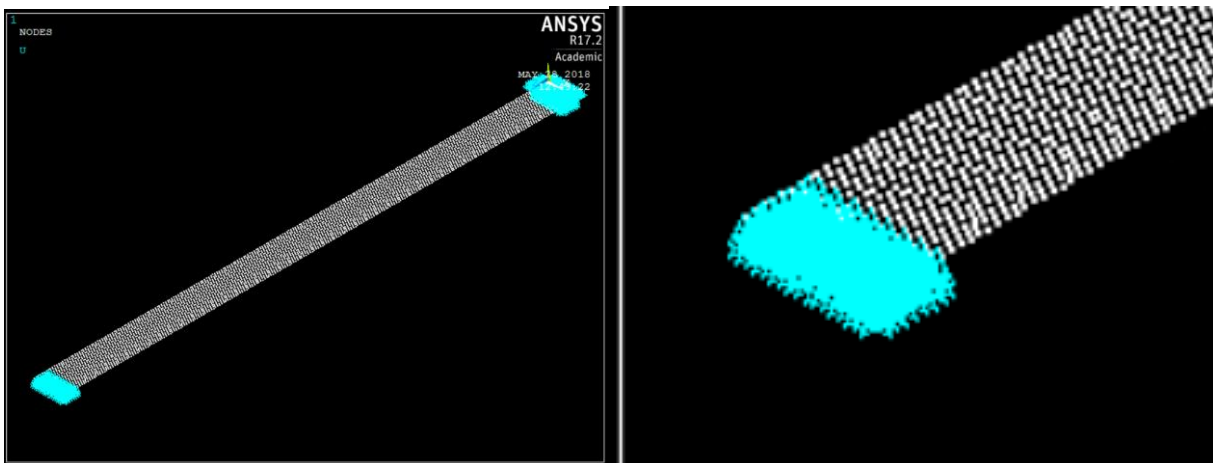
Figur 7.2: ANSYS – 4850 mm lang testmodell og nærbilde av modellens tverrsnitt.

Det ble brukt et elementnett som består av tetraeder og har en størrelse på 40 mm. Dette nettverket er vist i figur 7.3.



Figur 7.3: ANSYS – Elementnett tilordnet modell.

Opplager ble lagt på modellens underside. Dette fungerer på den måten at nodene holdes fastlåst med tanke på forskyvning – for fritt opplagt bjelke; fastholdelse i alle tre retninger i ene enden og i andre enden kun fastholdelse i vertikalretningen. Det er gjort over et område som strekker seg 150 mm innover fra bjelkeenden, noe som simulerer betong-opplegget fra forsøket. Se figur 7.4.

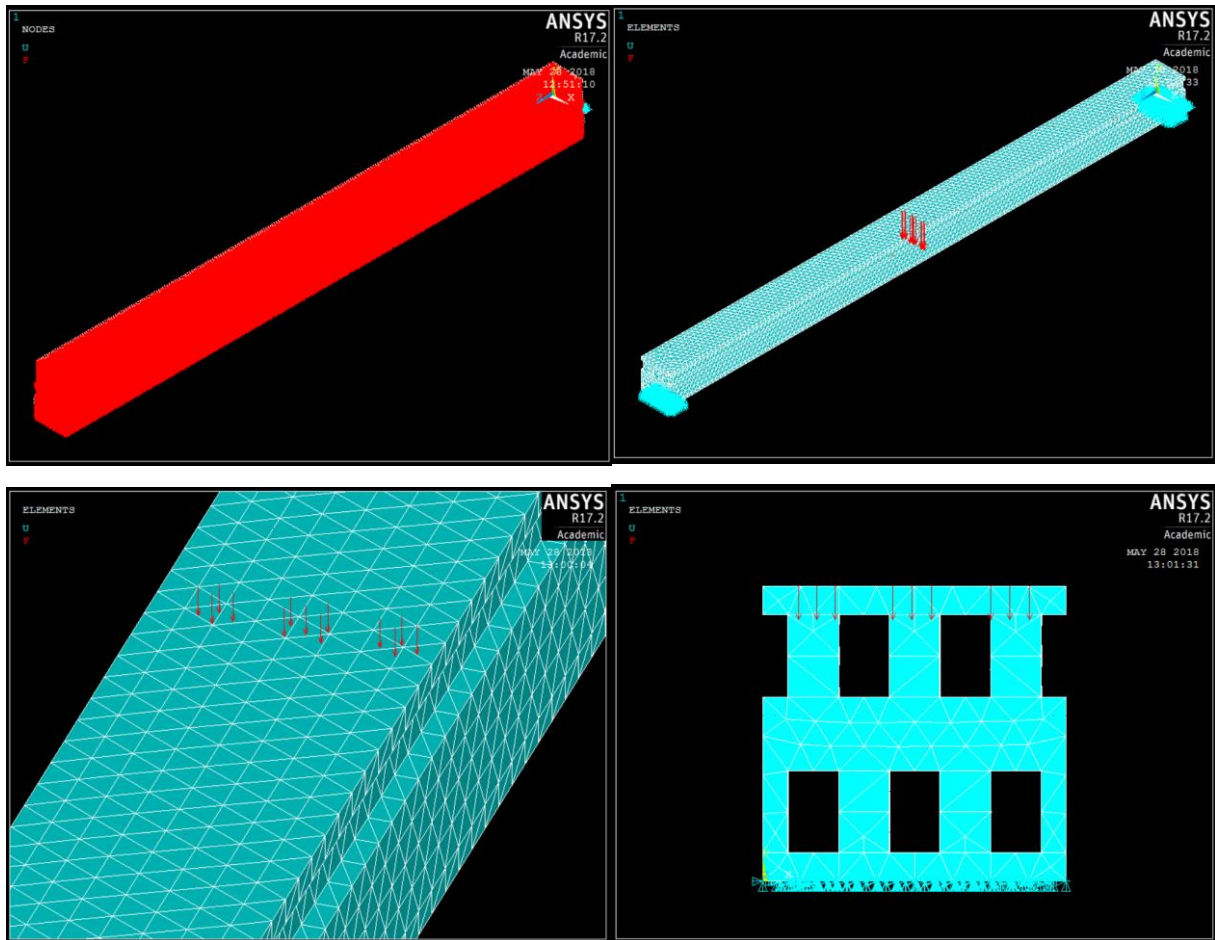


Figur 7.4: ANSYS – Opplager tilordnet noder i elementets underkant.

Når det gjelder laster er det lagt på to laster: Egenlast i alle noder og påført last (10 kN) på noder i overkant av elementet i en stripe midt på spennet som simulerer testingen. Her er det lagt inn på noder som er innenfor en bredde på 3 cm, omtrentlig likt testmaskinens sirkulære del på 4



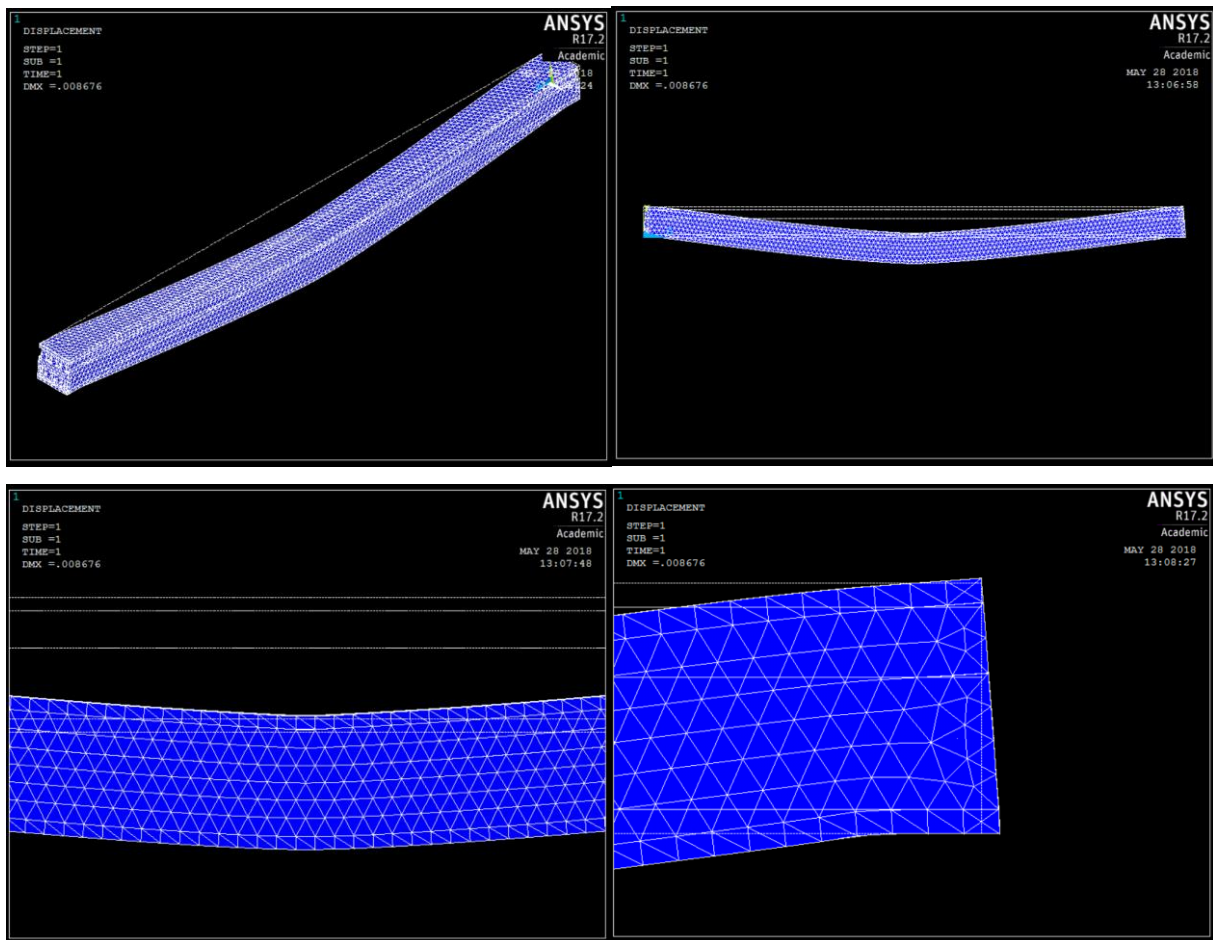
cm hadde presset seg noe ned i treverket. På figur 7.5 er lastkonfigurasjonen vist, og med nærbilder av den påførte lasten. Denne er lagt over bjelkene, siden belastningen i testen aldri vil virke kun på platene og gi nedbøyning mellom bjelkene.



Figur 7.5: ANSYS – Egenlast på alle noder og påført last i utvalgte noder.

### 7.3.2 Resultat

ANSYS angir nedbøyningen til å være 8,676 mm ved en 10 kN påført last midt på bjelken og egenlast på 1,2782 kN. Nedbøyningen er illustrert i figur 7.6. En kan også legge merke til at enden av elementet ikke er hakkete, som må bety at det er full heft i overgangen mellom materialene.



Figur 7.6: ANSYS – Deformasjon i element.

### 7.3.3 Sammenligning med analytisk beregning

ANSYS sin nedbøyning på 8,7 mm er 40 % større enn den analytiske beregningen som gir 6,2 mm. Det er egentlig noe urovekkende siden det tyder på at man ved analytisk beregning vil dimensjonere feil. At det er forskjell er som forventet, men ikke den veien.

Forskjell til testresultatene er også akseptabelt, og her er det også innenfor at det er i den retningen, fordi det hovedsakelig kan forklares med punktene påpekt i 7.2.2. Også valgene gjort under modelleringen har betydning, men antakeligvis i mindre grad. Varierende E-moduler gir nok det største bidraget.

Mens det for forskjeller til testingen er greit, er det mindre greit med forskjellene til den analytiske beregningen. Dette kan tyde på at forutsetningene som ble lagt til grunn, bruk av bjelketeori og at limte forbindelser gir full komposittvirkning, likevel ikke er tilstrekkelige og

bør vurderes igjen. For å kunne si noe med større sikkerhet anbefales det at flere forsøk gjennomføres. Hvis det skal vise seg at bjelketeori ikke gjelder, må dimensjonering skje med numeriske metoder.

## 7.4 Komfortkriterium

Komfortkriteriet er avhengig av to faktorer, egenfrekvens og nedbøyning. Begge kriteriene er avhengig av elementets stivhet og lengde, mens egenfrekvensen er i tillegg avhengig av elementets masse. Massen er kun elementets egenvekt, dette betyr at nyttelast og nyttelastkategori ikke har noen påvirkning på dette kriteriet. I denne oppgaven hvor påstøp av betong er en del av egenlasten får dette en negativ effekt på egenfrekvensen. Ved beregning av egenfrekvens på elementene uten massen til betongen, får egenfrekvensen en økning på 40-50 %. Når dette sammenlignes med forskjell i spennlengde utgjør det en økning på 10-14 %. Har man andre alternativer for å kunne tilfredsstille lydkravene bør man uten tvil benytte de istedenfor betong, hvis man ønsker lenger spenn.

Ved beregning av frekvens og nedbøyning står det i (Homb, 2008, s. 48) at man skal ta utgangspunkt i en bredde på 1000 mm eller elementets produksjonsbredde. Det er i denne oppgaven tatt utgangspunkt i elementets produksjonsbredde på 1200 mm, men av nysgjerrighet ble det beregnet flere løsninger på 2400 mm bredde. Det som vises tydelig når bredden endres til 2400 mm er at spennvidden kan økes betraktelig på grunn av den reduserte nedbøyningen elementet får av 1 kN midt i spennet. Det stilles spørsmål til akkurat denne vurderingen, ettersom det er veldig naturlig at nedbøyningen blir veldig liten på et så stort element. Vil det da si at ved store elementer merkes ikke svingningene like mye, eller er det gjort lite forskning på området slik at det er de beste forutsetningene man kan anta mot sikker side? Hvis man hadde kunnet produsere veldig brede elementer, ville man da klart å tilfredsstille kriteriet på den måten det er utformet i dag – bare ved denne ekstra bredden? Et annet spørsmål som kan legges til er om det også da med gode sammenføyninger mellom elementer, slik at en kan regne større bredde hvis flere elementer «legges sammen», kan lettere klare kriteriet. Det er ikke på noen måte beskrevet slik i rapporten til Homb (2008), men det er mer et spørsmål som stilles til undring.

I denne rapporten er det tatt utgangspunkt i boka til Bell (2017, s. 424-429) og EK5 pkt. 7.3.3 (Standard Norge, 2010) når komfortkriteriet er vurdert. Dette vil si at kravet for nedbøyning midt i spennet på 1 kN ikke skal overstige 1,3 mm og at egenfrekvensen skal være større enn 8 Hz. I rapporten til Homb pkt. 6.2 (2007, s. 21) har han satt opp en oversikt over kriterier for tverravstivede bjelkelag eller skiver og anbefaler her at egenfrekvensen til elementet ikke skal være under 12,5 Hz. Dette elementet er å regne som et tverravstivet element, mye på grunn av de avstivende platene som topp- og bunnflens slik at denne anbefalingen vil egentlig gjelde for konseptet i denne oppgaven. Denne informasjonen ble funnet etter at dimensjoneringen av konseptet var fullført.

## **7.5 Dimensjoneringsforhold**

### **7.5.1 Lengdeintervall ved dimensjonering (100 mm)**

Ved dimensjoneringen av de forskjellige sammensetningene ble det satt at lengden skulle endres i intervaller på 100 mm. Dette førte til at flere av elementene som ikke ble godkjente opp mot komfortkriteriet bare var noen millimeter unna, altså et element som ble godkjent på 5900 mm ble underkjent på 6000, men hadde klart kravet ved 5995 mm. Dette er gjort for å være konsekvente selv om det gjaldt små marginer. Det er ikke laget noen oversikt for de elementene dette gjelder. Det som kan være ulempen med dette er at løsninger som kunne utkonkurrert andre løsninger med samme spenn på pris, ikke blir medregnet. Dette er en bagatell som ikke har noe spesielt videre utslag. Grunnlaget for valg av størrelsen på intervaller er at det ble regnet som det mest hensiktsmessige å forholde seg til. Ved å ta 1000 mm eller 500 mm vil ikke forskjellene i oppbygningen komme like godt fram. Hadde stegene vært mindre, type 10, 50 eller 75 mm ville det blitt særdeles mange løsninger som hadde kommet fram, samt at så korte intervaller ble vurdert som upraktiske i de fleste vurderingstilfeller.

## 7.5.2 Løsninger

Etter sammenligningen av alle løsningene som ble dimensjonert innenfor kriteriene, er vurderingen at det å benytte bord med dimensjonen 48 x 223 ikke er noe poeng. Grunnen til dette er at høydebegrensningen på elementet er satt til maks 500 mm, og med påstøp av betong på 80 mm tilsier dette at selve elementet kun kan være 420 mm høyt. Man kan få laget et element ved bruk av denne dimensjonen, men den er ikke konkurransedyktig på en så liten utnyttelse. Limfugen er veldig stor og elementet tilfører stort sett bare høyere tverrsnittsareal.

Det absolutt største spennet innenfor hver bredde er listet opp i tabell 6.1, hvor det har blitt dimensjonert helt ned til millimeteren. Videre er det i tabell 6.3 listet opp det største spennet innenfor hver høyde. Løsningene som står på denne listen har slått ut andre løsninger med samme spennvidde, men som har vært enten dyrere, hatt større tverrsnittsareal eller lavere *EI*.

Videre viser det seg at de største spennene med minst bjelker kommer best ut opp mot stivhet. Grunnen til at det er de minste bjelkene som kommer best ut er på grunn av at det har de største platene. Platene gir store bidrag til tverrsnittet når de begynner å bli store. Styrkeklassen til trevirke får veldig lite å si når platene begynner å få de største tykkelsene. Platene er mye mer kostbare enn konstruksjonstrevirke er, så det lønner seg opp mot pris å holde seg til lavest mulig plate. En oversikt over alle løsningene finnes i vedlegg E.

### Priser

Tabell 7.1 viser pris for konstruksjonstrevirke.

Tabell 7.1:  
Priser for konstruksjonstrevirke.

Oppgitt pris [kr/m] fra Begna Bruk			
Gran	48 x 148	48 x 198	48 x 223
C18	20,3	27	30
C24	22	28,5	33,2
C30	23,6	31,5	35,5

Pris på plate er kun en omtrent pris: Kr. 5500,- per m<sup>3</sup>.

Pris på limet er antatt å være 50 kr per liter, men om dette stemmer eller ikke, har svært liten betydning da mengden lim er svært liten på alle elementene.

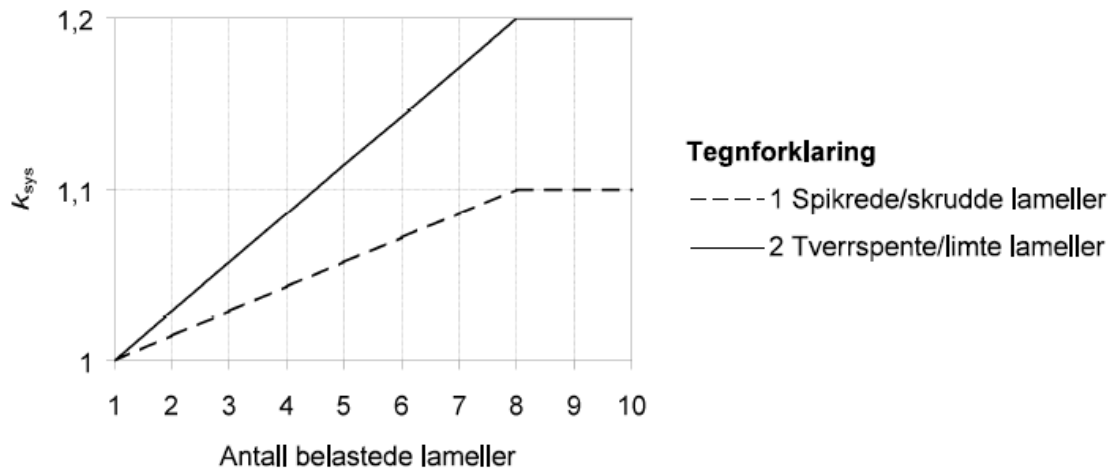
En sammenligning av de billigste elementene finnes i tabell 6.2. Det er alternativ både for elementer med bredde på 1200 mm og 2400 mm. Løsningene som har høyest  $L/kr$  (spennlengde/pris for elementet) er det elementet som er mest lønnsomt opp mot spennlengde – hvis man ikke har store krav på en viss spennlengde eller liten byggehøyde.

### **7.5.3 Dimensjonerende kriterier – sett bort fra komfortkriteriet**

Ved dimensjoneringen av konseptet var de andre kriteriene, sett bort fra komfortkriteriet, lite utnyttet. For noen av de 1,2 m brede elementene, med spennvidde på 7-8 m, var nedbøyningen i området 50-60 % av tillatte, limfugens kapasitet var utnyttet 35-45 %, skjærspenningene lå på om lag 25 % av tillatt verdi og bøyespenningen var i området 20-30 %. I noen tilfeller kan spenningen i limfugen ved opplegg bli stor og det kan bli en dimensjonerende faktor. Vil dette tilfelle forekomme kan det være en mulighet å ha massivt tverrsnitt over opplegget for å forhindre at fugen kollapser over opplegg der skjærspenningen i limfugen vil være størst. Nedbøyning vil være det kriteriet som muligens blir det dimensjonerende kriteriet etter komfortkriteriet. De andre spenningene er veldig små og vil trolig aldri bli dimensjonerende i et slikt tilfelle som dette konseptet..

### **7.5.4 Systemfasthetsfaktor $K_{sys}$**

Systemfasthetskriteriet i denne oppgaven er satt til 1,1. Ved vurdering av grafen i figur 7.7 (Standard Norge, 2010) kan det vurderes med dette elementet at har 25 lameller som fører til at det er godt innenfor at  $K_{sys}$  kan settes til 1,2. I dimensjoneringen var det usikkerhet rundt dette, som gjorde at det ble valgt å gå for en  $K_{sys}$  som var på sikker side.



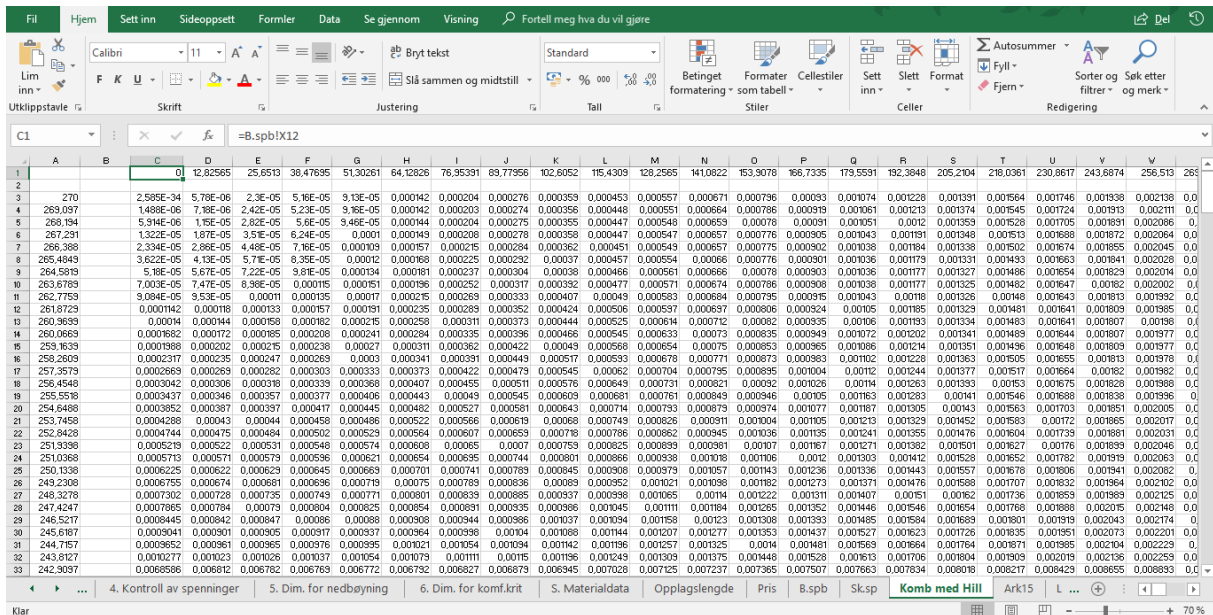
Figur 7.7: Systemfasthetsfaktor  $K_{sys}$  for laminerte gulvdekker av massivtre eller limtre. (Kilde: Standard Norge (2010, s. 49)), gjengitt med tillatelse av Standard Online AS.)

### 7.5.5 Spenningskombinasjon

Det ble i dimensjoneringen antatt at spenningene i de ulike retningene kun kontrolleres mot retningens fasthet, og ingen «summe-spenning» beregnes. Det ble vurdert å bruke von Mises for å finne en jevnførende spenning, men det var fortsatt et spørsmål hva denne skulle sjekkes mot – et forslag var dimensjonerende bøyefasthet  $f_{md}$ .

Yoshihara og Kawasaki (2006) nevner tre kriterier for å undersøke kombinerte spenningssituasjoner i tre, der samtlige innebærer å regne ut en utnyttelsesgrad (spenning divideres med fasthet). Så skilles de tre metodene mellom hvordan utnyttelsesgradene for bøyespenningen og skjærspenningen summeres, men de har igjen til likhet at alle skal være under 1. Yoshihara og Kawasaki konkluderer med metode to (Hill-type condition) er å foretrekke for et greit estimat uten mye beregningsarbeid. Med denne metoden kvadreres utnyttelsesgraden for hver av spenningene og deretter summeres de.

I oppgaven er spenningene kontrollert opp mot denne metoden, Hill-type condition. Det er i regnearket funnet spenningene i 150 000 punkter og største verdi plukkes ut. Se figur 7.8 for et utsnitt av dette regnearket.



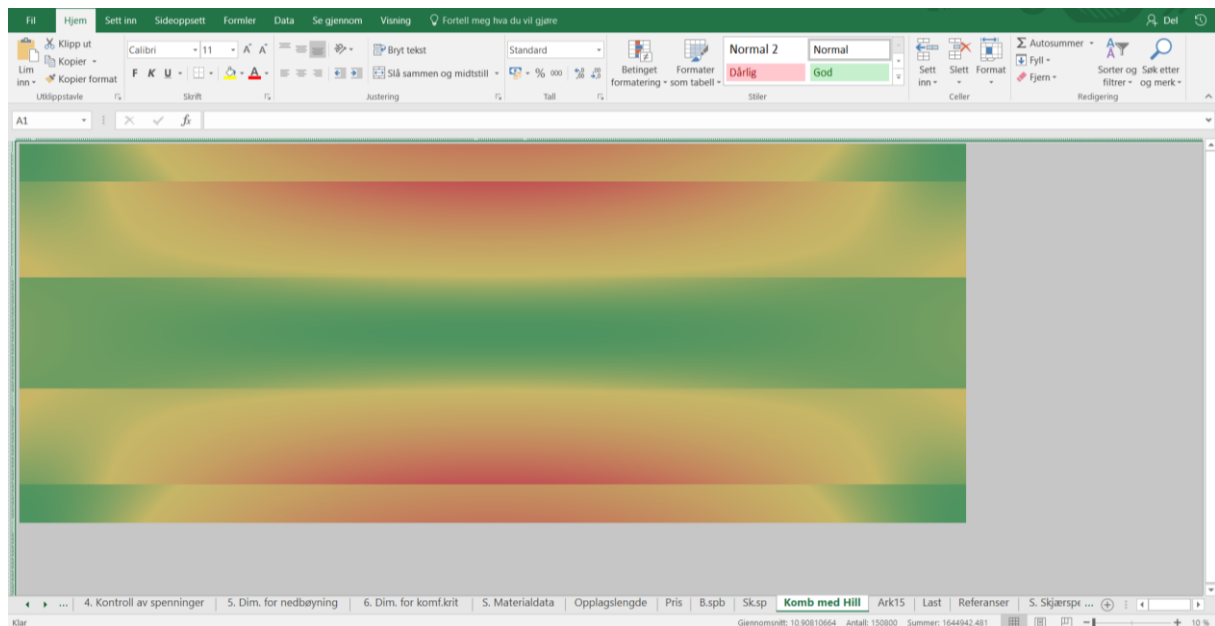
Figur 7.8: Regneark med 150 000 Hill-type condition-spenninger.

I tillegg til å finne største verdi er regnearket satt opp til å vise plasseringen til denne spenningen (figur 7.9), og man kan la programmet fargelegge cellene for å få en grafisk fremstilling (figur 7.10). Der ser man tydelig hvor flenser og limfugen midt i elementet er hen.

	A	B	C
1	Kombinert spenning		
2	Største verd	0,13048456	
3	L	3206,41283	
4	h	242,909699	
5			
6			

Figur 7.9: Største Hill-type condition-spenning med oppgitt plassering.





Figur 7.10: Kombinert spenning over bjelkens lengde og høyde vist grafisk i regneark. NB! Ikke riktig skalert i lengde-bredde-forhold.

## 7.6 Sammenligning av element med og uten flenser

Det ble gjennomført testing av to elementer for å se hvilken effekt platene hadde på nedbøyningen. Testelement 2 besto av konseptets kjerne med plater, mens testelement 1 kun besto av kjernen. Resultatene viste at testelement 1 hadde 2,6 ganger så stor nedbøyning som testelement 2. Platene på over og undersiden av testelement 2 hver på 27 mm. Med dette resultatet er det ingen tvil om at platene er med på å styrke elementet betraktelig. Platene er også med på å fordele kraften jevnt utover slik at ved en punktlast, som er tilfellet i testingen vil det nok ha en del å si. Det var forventet at platene skulle ha en stor effekt, så det var et positivt resultat at antakelsen stemte. Testresultatene er listet opp i tabell 6.5.



## 8 Konklusjon

Det utviklede konseptet for den trebaserte etasjeskilleren bygger på en modifisering av et limt kantstilt massivtreelement, hvor bordene av konstruksjonstrevirke er flyttet utover og pålimte kryssfinérplater utgjør topp- og bunnflenser. Denne utformingen viste seg å gi en spennvidde som er opptil 35 % større enn et kantstilt massivtreelement med samme tverrsnittsareal. Største mulige spennvidde for dette konseptet er 8,1 m og 9,0 m for henholdsvis 1,2 m og 2,4 m brede elementer.

Under dimensjoneringen, hvor vanlig bjelketeori og full komposittvirkning ved limte forbindelser ble lagt til grunn, ble det ved hvert eneste tilfelle funnet at komfortkriteriet var dimensjonerende. De andre kriteriene var godt under grenseverdiene; For de lengste 1,2 m brede elementene, med spennvidde på 7-8 m, var nedbøyningen i området 50-60 % av tillatt, limfugens kapasitet var utnyttet 35-45 %, skjærspenningene lå på om lag 25 % av tillatt verdi og bøyepeningen var i området 20-30 %.

En sammenligning av elementets stivhet målt ved forsøk og verdi funnet ved analytisk beregning viser at det er godt samsvar. En god overenstemmelse her, gir en indikasjon på at en kan benytte dimensjonering som er basert på bjelketeori og at limte forbindelser medfører full komposittvirkning. Numeriske beregninger gir en større nedbøyning enn forsøkene og de analytiske beregningene, og antyder dermed at det kan være tilfeldigheter i dette samsvaret. Av den grunn anbefales det at flere forsøk gjennomføres for å fastslå om forutsetningene som legges til grunn for dimensjoneringen er korrekte.

Utfordringene rundt komfortkriteriet kommer godt fram i oppgaven. Det viser seg at det er viktig med videre forskning på området for at trebaserte etasjeskillere skal bli mer benyttet. Fokuset bør ligge på å løse akustikkproblematikken på andre måter enn påstøp av betong for etasjeskillere med lange spenn, da denne ekstra massen gir store utslag på konstruksjonens egenfrekvens som inngår i komfortkriteriet.

Videre bør det også tas nærmere stilling til brann ved dette konseptet, og detaljer som innspenningsforhold. Får man til en løsning som oppfyller de mest problemstilte områdene, vil nok trebaserte etasjeskillere kunne hevde seg enda bedre mot tilsvarende produkter i andre materialer. Med denne oppgaven, som gir et eksempel på utforming til en etasjeskiller med stor

spennvidde samt innledningsvis belyser allerede eksisterende produkter, er det lov å håpe at dette vil være med å bidra til at byggenæringen ser mulighetene for trebaserte løsninger og benytter seg av mer bærekraftige materialer ved større bygninger.

## 9 Anbefalt videre arbeid

### 9.1 Anbefalinger opp mot konsept

Følgende punkter gir forslag til hva som kan arbeides videre med på dette konseptet

1. Brann for vårt konsept må studeres om det skal bli vurdert videre. Forventer at elementet er bedre egnet mot brann enn hulldekker og ribbedekker, men muligens ikke like bra som KLT og kantstilte elementer.
2. Mulig å bytte ut en av platene med massivtre for å se hvilken effekt dette kan ha.
3. Undersøke videre effekten av lim når det benyttes i vårt element sammenlignet i forhold til lengre tidsperioder og sette seg mer inn i «slitasjen» sammenlignet med limtre/massivtre (horisontal liming/vertikal liming) og eventuelt skrudd forbindelser.
4. Hvordan holder lim seg over tid. Dette har muligens blitt sett på tidligere, men kan det være noe unikt opp imot konseptet i oppgaven.
5. Innspenningsforhold. Kan dette påvirke komfortkriteriet.
6. Last ved liming, hvordan ikke ødelegge første limingen
7. Langtidseffekt ved nedbøyning

### 9.2 Videreutvikle konsept

Lage et nytt konsept som baserer seg på en kjerne av tre bjelker i steget slik som vist i figur 9.1.



Figur 9.1: Konsept med 3 bjelker i steget.  
(Illustrasjon: Hamland og Haraldsen)

# Litteraturliste

- Aarstad, G. M. (2009) *bygg.no*. Tilgjengelig fra: <http://www.bygg.no/article/42177> (Hentet: 5. mai 2018).
- Bell, K. (2014) *Konstruksjonsmekanikk : D. 1 : Likevektslære*. Bergen: Fagbokforl.
- Bell, K., Liven, H. og Norske limtreprodusenters, f. (2015) *Limtreboka*. Bergen: John Grieg Norske limtreprodusenters forening.
- Bell, K. (2017) *Dimensjonering av trekonstruksjoner*. Bergen: Fagbokforl.
- Dragland, Å. (2015) *Teknisk ukeblad, utslipp i bygg*. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/bygg-star-for-40-av-verdens-utslipp-slik-skal-det-reduseres/223922> (Hentet: 21. januar 2018).
- Forum-holzbau (2017) *Forum holzbau, Garmisch 17*. Bienne.
- Fu, H. *et al.* (2016) Mechanical performances of hybrid cross laminated timber fabricated with lumber and LVL, i *2016 World Conference on Timber Engineering, WCTE 2016, August 22, 2016 - August 25, 2016, Universitätsring 1, Vienna, Austria*. Vienna University of Technology.
- Glasø, G. og Solli, K. H. (2011) *Trefokus. Trebaserte plater*. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/26-Trebaserte-plater.pdf> (Hentet: 20. februar 2018).
- Grave, J. H. L. og Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Institutt for produktutvikling og, m. (2010) *TMM4115 Produktmodellering, TMM4121 Produktutvikling*. Trondheim: Tapir Kompendieforlaget.
- Homb, A. (2007) *Kriterier for opplevde vibrasjoner i etasjeskillere : delrapport fra prosjektet "Comfort Properties of Timber Floor Constructions"*. Oslo: SINTEF byggforsk.
- Homb, A. (2008) *Vibrasjonsegenskaper til dekker av massivtre*. SINTEF Byggforsk.
- Homb, A. (2009) *SINTEF Byggforsk 522.891 Etasjeskillere i massivtre*. Tilgjengelig fra: [https://byggforsk.no/dokument/3367/etasjeskillere\\_i\\_massivtre](https://byggforsk.no/dokument/3367/etasjeskillere_i_massivtre) (Hentet: 15. mai 2018).
- Hu, L. J. og Chui, Y. H. (2004) *Development of a Design Method to Control Vibrations Induced by Normal Walking Action in Wood-Based Floors*. Tilgjengelig fra: [http://support.sbcindustry.com/Archive/2004/jun/Paper\\_103.pdf](http://support.sbcindustry.com/Archive/2004/jun/Paper_103.pdf) (Hentet: 18. mai 2018).
- Kaufmann, H., Krötsch, S. og Winter, S. (2017) *Atlas*. München: Detail Business Information GmbH.

- Moelven. Trä8 (u.å.). Tilgjengelig fra: <https://www.moelven.com/no/Aktuelt/Mediarom/Reportasjearkiv/Tra8--et-smart-system/> (Hentet: 14. mars 2018).
- Norsk massivtre. Kantstilt element (u.å.). Tilgjengelig fra: <http://www.norskmassivtre.no/elementer/kantstilte-elementer/> (Hentet: 14. mars 2018).
- Norsk Massivtre. Overlappende element (u.å.). Tilgjengelig fra: <http://www.norskmassivtre.no/elementer/overlappende-elementer/> (Hentet: 14. mars 2018).
- Norwegian Wood Cluster (2018). Tilgjengelig fra: <http://trenytt.no/nokkelord/norwegian-wood-clusterv> (Hentet: 10. april 2018).
- Ramstad, T. Ø. (2011) SINTEF Byggforsk 522.351 Trebjelkelag. Dimensjonering og utførelse. Tilgjengelig fra: [https://byggforsk.no/dokument/334/trebjelkelag\\_dimensjonering\\_og\\_utfoerelse](https://byggforsk.no/dokument/334/trebjelkelag_dimensjonering_og_utfoerelse) (Hentet: 12. februar 2018).
- Silseth, M. K. (2013) SINTEF Byggforsk 471.031 Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler. Tilgjengelig fra: [https://byggforsk.no/dokument/215/egenlaster\\_for\\_bygningsmaterialer\\_byggevarer\\_og\\_bygningsdeler](https://byggforsk.no/dokument/215/egenlaster_for_bygningsmaterialer_byggevarer_og_bygningsdeler) (Hentet: 5. mai 2018).
- Splitkon. Massivtrefabrikk (2017). Tilgjengelig fra: <http://www.splitkon.no/nyheter/generelle-nyheter/2017/jan-des/ny-massivtrefabrikk-paa-9-maal-i-amoto/> (Hentet: 25. mai 2018).
- Standard Norge (2008a) NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2008 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner Del 1-1: Allmenne laster - Tetthet, egenvekt og nyttelast i bygninger Tilgjengelig fra: <http://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN+1991> (Hentet: 5. mai 2018).
- Standard Norge (2008b) NS-EN 1991-1-2:2003+NA:2010 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-2: Allmenne laster - laster på konstruksjoner ved brann. Tilgjengelig fra: <http://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN+1991-1-2> (Hentet: 18. april 2018).
- Standard Norge (2010) NS-EN 1995-1-1:2004+A1:2010 Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner - Del 1-1 Allmenne regler og regler for bygninger. Tilgjengelig fra: [www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN+1995](http://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN+1995) (Hentet: 14. mars 2018).
- Standard Norge (2016a) NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner. Tilgjengelig fra: <http://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN+1990&subscr=1> (Hentet: 22. mai 2018).
- Standard Norge (2016b) NS-EN 338:2016 Konstruksjonsvirke - Fasthetsklasser. Tilgjengelig fra: <http://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN+338> (Hentet: 12. mai 2018).

*Steico LVL produkter* (2018). Tilgjengelig fra: <http://www.steico.com/en/products/sheet-materials/steico-lvl/overview/> (Hentet: 7. februar 2018).

*Treteknisk håndbok* (2009). 3. utg. utg. Oslo: Norsk treteknisk institutt.

*WOODSOL* (2015). Tilgjengelig fra: <http://www.woodsol.no/#modern-organic-thai> (Hentet: 20.05.2018 2018).

Yoshihara, H. og Kawasaki, T. (2006) Failure Behavior of Spruce Wood under Bending-Shear Combined Stress Field, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 18(1), s. 93-98. doi: doi:10.1061/(ASCE)0899-1561(2006)18:1(93).



# Liste over vedlegg

A	Bakgrunn for beslutningsmatrise	V-2
B	Eksempel på kontroll-dimensjonering	V9
C	Antall komponenter på én elementbredde	V-19
D	Utleddning av generell beregning av første arealmoment for dimensjoneringsverktøyet	V23
E	Løsningskombinasjoner fra dimensjoneringen	V-36
F	Numerisk beregning: Kommandoliste og diskusjon	V-47

# *Vedlegg*

*Vedlegg A*

***Bakgrunn for  
beslutningsmatrise***

### 3.1.1 Fastsettelsen av vurderingspunktene og deres vekting

#### Inndeling i kategorier

Punktene som tverrsnittene vurderes på er plassert i fire kategorier i beslutningsmatrisen. Disse kategoriene, sammen med vektingen av punktene og en begrunnelse, fremkommer i tabell q.

Nr.	Kategori	Vekting [%]	Begrunnelse
A	Primære konstruksjonstekniske egenskaper	75	De viktigste punktene for utviklingen er i denne kategorien, og derfor er den vektet så høyt.
B	Sekundære konstruksjonstekniske egenskaper	5	Denne kategorien omfatter punkter som vanligvis kan være interessante å vurdere, men som ikke er vektlagt særlig i dette prosjektet.
C	Produksjon, miljø og kostnad	15	Dette er en kategori som ikke kan vektlegges for høyt siden man ikke vil bli for mye begrenset i utviklingsprosessen, men den tar for seg mange punkter og er derfor satt slik.
D	Potensiale	5	Denne kategorien tas med i beregningen, og er vektlagt i noen grad, fordi det er ønskelig å fremheve hvilket tverrsnitt som vurderes til å ha best forutsetning for og videreutvikles.

Punktene i beslutningsmatrisen, som er plassert under hver av de fire kategoriene definert i tabellen ovenfor, er gitt en vekting slik at punktenes sum blir lik kategoriens vekting. De forskjellige punktene innad i hver kategori er vektet i forhold til hverandre. Videre i dette underkapittelet følger bestemmelsen av hvilke punkter som skulle vurderes og begrunnelse for deres vekting. Som det gikk frem av beslutningsmatrisen er enkelte av punktene uten vekt, altså null prosent, og for disse gjelder det generelt at de er punkter som er viktige å ta hensyn til, men faller utenfor avgrensningen til oppgaven.

## **Punkter i kategori A Primære konstruksjonstekniske egenskaper (vektet 75 %)**

### 1 Tverrsnittets bøyestivhet og materialforbruk

Her blir tverrsnittets stivhet vurdert opp mot materialforbruket. I selve vurderingen forutsettes et fiktivt materiale som er homogent. Stivheten vil ha stor innvirkning på både nedbøyning og komfortkriteriet, som ofte er begrensende faktorer i spennvidde for trebaserte etasjeskillere (Homb, 2009). Videre er det forutsatt at alle tverrsnittene har lik høyde, slik at det er kun utformingen som blir vurdert i dette punktet.

#### Vekting

Vekt: 30 %

Vurderingen her er at vektingen skal telle 30 prosent fordi stivhet er en sentral egenskap, og det blir derfor naturlig at dette punktet vektes mest av alle punktene i matrisen. Bøyestivhet sett opp imot materialforbruk er også viktig, dette på grunn av ønsket om høy utnyttelse av materialene.

### 2 Lav høyde

Ved dette aspektet vurderes det hvordan tverrsnittene tillater en lav høyde uten at det går særlig utover stivheten. Det forutsettes at alle tverrsnittene inngår i elementer som spenner over samme lengde og har lik stivhet.

#### Vekting

Vekt: 25 %

Vektingen av dette punktet er satt til den nest høyeste i matrisen og dette er fordi det ofte settes rammebetingelser for høyde på grunn av kostnader. Hvis en etasjeskiller blir for høy vil den være lite ønskelig å ta i bruk.

### 3 Plass til tekniske føringer

Ved dette punktet er det tatt hensyn til plasseringer av tekniske føringer som muliggjør lav byggehøyde, på minst mulig bekostning av stivhet. Hvis det er mulig å legge disse føringene inne i tverrsnittet er det plassbesparende, ellers må de nødvendigvis legges under elementet. At selve elementet kan bruke så mye av høyden som mulig vil gi større rom for økt stivhet. Derimot vil det kunne være utfordringer knyttet til å ha føringene inni elementene med tanke på montasje og tilgjengelighet (ved lekkasje, brudd på ledninger osv.), og derfor veltes det så lavt.

Vekting

Vekt: 3 %

Etasjeskillerens høyde er allerede vurdert i pkt. 2 og dette punktet er vektlagt lite i og med det bare tar i betraktning om det er mulighet for plasseringer av de tekniske føringene uten at det går på bekostning av høyden.

#### 4 Utsparinger

Det tas stilling til hvordan horisontale utsparinger for tekniske installasjoner i elementet vil virke inn på stivheten.

Vekting

Vekt: 7 %

Mulighet for utsparinger gir større fleksibilitet og utnyttelse av tverrsnittets tomrom uten stor svekkelse av stivheten.

#### 5 Brannegenskaper

Dette punktet vurderer brannegenskapene til løsningene, uten at det er gjort ekstra tiltak.

Vekting

Vekt: 10 %

Brann må tas hensyn til i prosjektering og er ikke en faktor som kan neglisjeres.

### **Punkter i kategori B Sekundære konstruksjonstekniske egenskaper**

#### 6 Lyd- og viberasjonsegenskaper

Her er det tatt utgangspunkt i hvordan de ulike tverrsnittene er med hensyn på lyd.

Vekting

Vekt: 0 %

Dette er i og for seg viktige egenskaper for en etasjeskiller, men vektingen er satt til null fordi det antas at påstøpen sikrer at lydkrav er oppfylte.

#### 7 Avstivende egenskaper på tvers av element-lengderetningen i horisontalplanet

Avstiving i tverr-retningen er et interessant tema med tanke på at selve dekket kan tas i betraktningen rundt horisontal avstiving av bygget, som muliggjør mindre eksterne avstivningssystemer.

Vekting

Vekt: 5 %

Dette er et punkt som har noe betydning og kan være greit å vurdere på grunn av slike egenskaper, men vil ikke bli lagt betydelig vekt på i denne sammenhengen ved vurdering av tverrsnitt.

#### 8 Innfestningsmetoder

Innfestningsmetodene kan ha mye å si på både stivhet og byggehøyde, og det i dette punktet vil en fokusere på alternativene som hvert tverrsnitt har når det gjelder innfestingen.

Vekting

Vekt: 0 %

Oppgaven er avgrenset fra å ta innfestningsmetoder i betraktning, og punktet er dermed vektlagt 0 prosent.

## **Punkter i kategori C Produksjon, miljø og kostnad**

#### 9 Fabrikasjon

Det vurderes hvor egnet et element med de forskjellige tverrsnittene vil være i en prefabrikasjonssammenheng, der antallet fabrikasjonsoperasjoner er en faktor. Presisjonen en prefabrikasjon vil gi er fordelaktig.

Vekting

Vekt: 5 %

Større presisjon gjør monteringen av elementer enklere, og er derfor en viktig faktor å vurdere. Fabrikasjonsoperasjoner vil kunne ha betydning for kost, og er ikke særlig vektlagt.

#### 10 Hurtig montering av element på byggeplass

Hurtig montering på byggeplass gir mulighet for rask lukking av bygget, som medfører mindre sjanse for fukt i konstruksjonen uten metoder som tak over tak er nødvendige. Ellers vil det redusere byggetid som er sterkt forbundet med kostnader.

Vekting

Vekt: 5 %

Det er et punkt som er veldig interessant med tanke på kostnader, men i denne sammenhengen er det fokus på kort byggetid for rask lukking av bygget.

#### 11 Transport

Det er to aspekter å ta stilling til når en skal vurdere tverrsnittene opp mot hverandre når det gjelder transport: Logistikk og distanse.

Hva gjelder logistikk inngår her å ta stilling til hvor tett elementene kan stables under transport.

For distanse er det produksjonslokasjonenes plassering i forhold til byggested.

#### Vekting

Vekt: 5 %

Transport av produktene er en viktig del av det å benytte etasjeskillere i tre. Dette punktet vektlegges derfor like mye som pkt. 9 og 10.

#### 12 Miljøvennlig

Hvor miljøvennlig løsningen er, som kan omfatte mengden av miljøfiendtlige produkter og prosesser som brukes i fremstillingen.

#### Vekting

Vekt: 0 %

Utenfor oppgavens avgrensning.

#### 13 Pris

Kostnader for produksjon

#### Vekting

Vekt: 0 %

Utenfor oppgavens avgrensning.

#### 14 Levetid

Går ut på hvor lenge elementet vil vare før det er tid for utskiftning.

#### Vekting

Vekt: 0 %



Utenfor oppgavens avgrensning.

#### 15 Estetikk

Må tverrsnittet pakkes inn i plater, eller er overflaten så pen at den ikke må behandles.

Vekting

Vekt: 0 %

Utenfor oppgavens avgrensning.

#### 16 Avfallshåndtering

Blir tverrsnittet sortert som farlig avfall, eller kan det gjenbrukes eventuelt brukes som brensel uten at det gir fra seg veldig giftige gasser.

Vekting

Vekt: 0 %

Utenfor oppgavens avgrensning.

### **Punkter i kategori D Potensiale**

#### 17 Størst potensiale

I dette punktet er det vurdert hvilken type vi har tro på at vi skal videreutvikle, samt en dæsj med hvilket element vi har motivasjon/interesse for/av å studere.

Hvilken er all forskning gjort på

Selv om denne kategorien ikke er av like teknisk art som de andre, er den tatt med og gitt en liten vekting siden forfatterens interesser og annet skal bli ivaretatt. Hovedsakelig vil kategorien gå på hva utviklerene har motivasjon for.

Vekting

Vekt: 5 %

Det er vektlagt i noen grad – siden det kan være relativt avgjørende for hvem vi ønsker å jobbe videre med for å komme frem til en god løsning.

*Vedlegg B*

***Eksempel på  
kontroll-dimensjonering***



Beregninger vedrørende «Utvikling av trebasert etasjeskiller»  
av Tina Therese Hamland og Lars-Oddvar Klevebråten Haraldsen

**BESTEMMELSE AV DIMENSJONER OG MATERIALVALG**  
**BEREGNING AV TVERRSNITTSDATA OG ELEMENTSTIVHET**

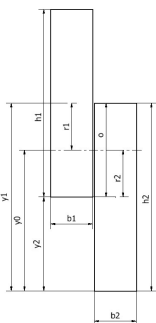
Etasjeskiller-elementet bygges opp av en kjerne og to flenser, totalt inngår det fem komponenter i konstruksjonen.

En oversikt over komponentene er som følger:

Komponent 1 (k1) - Nedre plate  
Komponent 2 - Øvre plate  
Komponent 3 - Nedre bjelke  
Komponent 4 - Øvre bjelke  
Komponent 5 - Limfuge

NB! Ser bort fra horisontale limfuger, tek med ve

Forklare kjernesegment



**Dimensjoner**

**Helt element**

Elementlengde	$L$	6900 mm
Elementbredde	$B$	1200,0 mm
Maksimal elementhøyde	$H_{maks}$	500 mm

**Komponenter**

**Bredder**

Nedre plate	$b_1$	= $B$	1200,0 mm
Øvre plate	$b_2$	= $B$	1200,0 mm
Nedre bord	$b_3$		48,0 mm
Øvre bord	$b_4$		48,0 mm
Limfuge	$b_5$		0,1 mm

**Høyder/tykkelser**

Nedre plate	$t_1$		27,0 mm
Øvre plate	$t_2$		27,0 mm
Nedre bord	$h_3$		198,0 mm
Øvre bord	$h_4$		198,0 mm
Limfuge	$h_5$		80 mm

**Beregning av tverrsnittsdata**

**Kjernesegmenter og komponenter**

**Segmentberegninger for én elementbredde**

Segmentbredde	$b$	= $b_3 + b_4 + 2 b_5$	96,2 mm
Antall segmenter	$k_0$	= $B / b$	12,474 stk
Antall hele segmenter	$k_1$	= floor( $k_0$ )	12,000 stk
Andel av siste segment	$k_2$	= $k_0 - k_1$	0,474 stk

**Komponentberegninger for én elementbredde**

Antall av komponent 3	$n_3$	Se eget dokument for utledning av beregning.	12,95 stk
Antall av komponent 4	$n_4$	Se eget dokument for utledning av beregning.	12,0 stk
Antall av komponent 5	$n_5$	Se eget dokument for utledning av beregning.	24,0 stk
Total bredde av komponent 3	$b_{3,tot}$	= $n_3 * b_3$	621,60 mm
Total bredde av komponent 4	$b_{4,tot}$	= $n_4 * b_4$	576,0 mm
Total bredde av komponent 5	$b_{5,tot}$	= $n_5 * b_5$	2,40 mm

**Beregning av komponentdata**

**Avstand mellom referansepunkt, ved elementets nedre kant, og komponentens egen tyngdepunktsakse**

Komponent 1 - Nedre plate	$z_1$	= $t_1 / 2$	13,5 mm
Komponent 2 - Øvre plate	$z_2$		356,5 mm
Komponent 3 - Nedre bjelke	$z_3$		126,0 mm
Komponent 4 - Øvre bjelke	$z_4$		244,0 mm
Komponent 5 - Limfuge	$z_5$		185,0 mm

**Areal**

Komponent 1 - Nedre plate	$A_1$		32400,0 mm <sup>2</sup>
Komponent 2 - Øvre plate	$A_2$		32400,0 mm <sup>2</sup>
Komponent 3 - Nedre bjelke	$A_3$		123076,8 mm <sup>2</sup>
Komponent 4 - Øvre bjelke	$A_4$		114048,0 mm <sup>2</sup>
Komponent 5 - Limfuge	$A_5$		192,0 mm <sup>2</sup>

**Tverrsnittsareal**

Elementets totale tverrsnittsareal	$A$		302116,8 mm
------------------------------------	-----	--	-------------

**Tyngdepunktsakse**

Nøytralaksens høydeplassering	$z_{NA}$		183,2 mm
-------------------------------	----------	--	----------

**Elementhøyde**

Total elementhøyde	$H$		370,0 mm
Status ift. maksimalhøyde			OK

**Andre arealmoment om elementets nøytralakse**

Komponent 1 - Nedre plate	$I_1$	= $(1/12) * b_1 * h_1^3 +$	935430884 mm <sup>4</sup>
Komponent 2 - Øvre plate	$I_2$		974620977 mm <sup>4</sup>
Komponent 3 - Nedre bjelke	$I_3$		805297493 mm <sup>4</sup>
Komponent 4 - Øvre bjelke	$I_4$		793679333 mm <sup>4</sup>
Komponent 5 - Limfuge	$I_5$		4,29E+03 mm <sup>4</sup>
Helt element	$I$	= $I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5$	3509032978 mm <sup>4</sup>

**Materialvalg**

**Valg av materialer og tilhørende E-modul**

Nedre flens (komponent 1)	Kryssfinér, Steico LVL-X	10600,00 N/mm <sup>2</sup>	[1]
Øvre flens (komponent 2)	Kryssfinér, Steico LVL-X	10600,00 N/mm <sup>2</sup>	[1]
Kjerne (komponent 3-4 (og 5))	Konstruksjonsvirke, styrkeklasse C18	9000,00 N/mm <sup>2</sup>	[1]

NB! Limfuge tilordnes samme materialegenskap

**Elementets stivhet**

Effektiv bøyestivhet	$EI_{ef}$		3,46E+13 Nmm <sup>2</sup>
----------------------	-----------	--	---------------------------



**LASTBEREGNING FOR VERTIKALE LASTER PÅ ETASJESKILLER**  
**KARAKTERISTISKE LASTER**

<b>Inndata</b>		<b>Referanser:</b>	
<b>Dimensjoner på elementet</b>			
Elementlengde	L	6900,0 mm	
Elementbredde	B	1200,0 mm	
<b>Materialdata</b>			
<i>Densitet</i>			
Kryssfinér, Steico LVL-X	$\rho$ Steico LVL-X	530,0 kg/m <sup>3</sup>	Datablad
Konstruksjonsvirke, styrkeklasse C18		380,0 kg/m <sup>3</sup>	
Limsystem, Dynea Prefere 4547 (lim)		1,26 g/cm <sup>3</sup>	Datablad
Limsystem, Dynea Prefere 4547 (herder)		1,30 g/cm <sup>3</sup>	Datablad Sjøkk type, ev: 1,12
<i>Tyngdetetthet</i>			
Tre, styrkeklasse C24	$\gamma$	3,7278 kN/m <sup>3</sup>	NS-EN 1991-1, tabell A.3
Betong, normalbetong		24,0 kN/m <sup>3</sup>	NS
Finerplate, Steico LVL-X		5,2 kN/m <sup>3</sup>	
Lim, Dynea Prefere 4535		12,36 kN/m <sup>3</sup>	
adhesive		12,75 kN/m <sup>3</sup>	
lim, hardner			
<i>Blandingsforhold lim</i>			
Andel herder	Adhesive : Hardner	100 : 25	20,0 %
<b>Beregning av materialmengder per element</b>			
<b>Nedre flens</b> <i>Finerplate, Steico LVL-X</i>			
Antall	n	1,0 stk	
Total bredde	B	1200,0 mm	A
Tykkelse	t1	27,0 mm	
Totalt volum		<b>0,2236 m<sup>3</sup></b>	
<b>Øvre flens</b> <i>Finerplate, Steico LVL-X</i>			
Antall	n	1,0 stk	
Total bredde	B1	1200,0 mm	
Tykkelse	t1	27,0 mm	
Totalt volum		<b>0,2236 m<sup>3</sup></b>	
<b>Kjerne</b> <i>Konstruksjonsvirke - C24</i>			
<i>Komponent 3 - nedre bord</i>			
Antall		12,95 stk	
høyde		198,0 mm	
bredde		48,0 mm	
Totalt volum		0,8492 m <sup>3</sup>	
<i>Komponent 4 - øvre bord</i>			
Antall		12,00 stk	
høyde		198,0 mm	
bredde		48,0 mm	
Totalt volum		0,7869 m <sup>3</sup>	
<b>Limfuger</b>			
<i>Vertikale</i>			
Antall		24,0 stk	Tv.geom. og mat.valg
Tykkelse		0,1 mm	
Høyde		80,0 mm	Overlappsberegning
Volum		0,0013 m <sup>3</sup>	
<i>Nedre horisontale</i>			
Antall		12,95 stk	Tv.geom. og mat.valg
Tykkelse		0,1 mm	
Bredde		48,0 mm	Overlappsberegning
Volum		0,0004 m <sup>3</sup>	
<i>Øvre horisontale</i>			
Antall		12,00 stk	Tv.geom. og mat.valg
Tykkelse		0,1 mm	
Bredde		48,0 mm	Overlappsberegning
Volum		0,0004 m <sup>3</sup>	
<b>Påstøp betong</b>			
Tykkelse	t	80,0 mm	
Volum		0,6624 m <sup>3</sup>	
<b>Materialmengder per m<sup>2</sup> element</b>			
C24	V	0,1976 m <sup>3</sup>	
LVL	V	0,0540 m <sup>3</sup>	
Lim	V	0,0003 m <sup>3</sup>	
Påstøp	V	0,0800 m <sup>3</sup>	
<b>Karakteristiske egenlaster per m<sup>2</sup></b>			
<i>Elementdeler</i>			
Tre	q	0,74 kN/m <sup>2</sup>	
LVL		0,28 kN/m <sup>2</sup>	
Lim		0,0032 kN/m <sup>2</sup>	
DELSUM		1,02 kN/m <sup>2</sup>	
<i>Annet</i>			
Påstøp, betong	q	1,92 kN/m <sup>2</sup>	
Tekniske føringer, himling og gulvbelegg		0,50 kN/m <sup>2</sup>	
DELSUM	qk	2,42 kN/m <sup>2</sup>	
<b>Totalt</b>			
TOTALSUM	q <sub>EL</sub>	<b>3,44 kN/m<sup>2</sup></b>	
<b>Karakteristiske nyttelaster</b>			
Brukskategori	B	3,00 kN/m <sup>2</sup>	
Nyttelast for brukskategori		1,2 kN/m <sup>2</sup>	NS-EN 1991 pkt. 6.3.1.2(8)
Skillevegger		4,20 kN/m <sup>2</sup>	Kan velge mellom 0,5; 0,8; 1,2
SUM			
<b>Reduksjonsfaktorer</b>			
A		8,3 m <sup>2</sup>	L 6,5
gaffel 0		0,7	B 1,2
A0		15,0 m <sup>2</sup>	A 3000
Areal	$\alpha_k$	1,0	Gaffel: 0,9
			Gaffel0: 0,7
		<b>4,20 kN/m<sup>2</sup></b>	

NS 1991-1 pkt. 5.1 Typer av egenlast



<b>Dim. bruddlast</b>	<b><math>q_{Ed}</math></b>	<b>0,00</b> kN/m <sup>2</sup>
-----------------------	----------------------------	-------------------------------



## LASLASTKOMBINERING

<b>Inndata</b>		<b>Referanser:</b>
<b>Dimensjoner på elementet</b>		Datablad
Elementlengde	<i>L</i> 6900,0 mm	NS-EN 1991-1, tabell A.3 NS
Elementbredde	<i>B</i> 1200,0 mm	
Elementhøyde	<i>H</i> 370,0 mm	
<b>Karakteristiske flatelaster</b>		
Egenlast	3,44 kN/m <sup>2</sup>	
Nyttelast	4,20 kN/m <sup>2</sup>	
<b>Lastkombinering for bruddgrense</b>		
<b>Lastfaktorer for bruddgrense 6.10a</b>		
Egenlast	1,35	
Nyttelast	1,05	
<b>Lastfaktorer for bruddgrense 6.10b</b>		
Egenlast	1,20	
Nyttelast	1,50	
<b>Dimensjonerende flatelast for bruddgrense</b>		
6.10a	9,05 kN/m <sup>2</sup>	
6.10b	10,43 kN/m <sup>2</sup>	
Dimensjonerende flatelast	10,43 kN/m <sup>2</sup>	
Dimensjonerende linjelast	12,5144958 kN/m	
Dimensjonerende moment	74,476893 kNm	
Dimensjonerende skjærkraft	43,1750104 kN	
Redusert dimensjonerende skjærkraft	40,8598287 kN	Bruker h-en til hele elementet



## KONTROLL AV SPENNINGER

Inndata		Referanser:	
<b>Elementdimensjoner</b>			
Elementbredde	B	1200,0	mm
Elementlengde	L	6900	mm
Tverrsnittsdata	H	370	mm
Limfuge		80	mm
<b>Tverrsnittsdata</b>			
Annet arealmoment	I	3,51E+09	mm <sup>4</sup>
Høyde NA		183,2	mm
<b>Bøyespenning</b>			
<b>Inngangsverdier</b>			
Dimensjonerende moment	MED	74,5	kNm
Plassering over lengden			
<b>Maks bøyespenning</b>			
<b>Nedre flens</b>			
Høyde i elementet	h	0	mm
Avstand til nøytralakse	z	-183,2	mm
Opptrendende spenning	Sigma	M/I * z * (E/Ek)	4,580471 N/mm <sup>2</sup>
<b>Øvre flens</b>			
Høyde	z	186,8	mm
Opptrendende spenning	Sigma	4,67	N/mm <sup>2</sup>
<b>Kjerne</b>			
Høyde	z		
Opptrendende spenning	Sigma	3,39	N/mm <sup>2</sup>
<b>Beregning av fasthet</b>			
<b>Nedre flens</b>			
Materiale		Kryssfinér, Steico LVL-X	
	fmk		32
	kmod		0,6
	gammaM		1,15
	ksys		1,1
	fmd		18,3652174
<b>Øvre flens</b>			
		Kryssfinér, Steico LVL-X	
	fmk		32
	kmod		0,6
	gammaM		1,15
	ksys		1,1
	fmd		18,3652174
<b>Kjerne</b>			
Materiale		Konstruksjonsvirke, styrkeklasse C18	
	fmk		18 N/mm <sup>2</sup>
	kmod		0,6
	gammaM		1,25
	ksys		1,1
	fmd		9,504
<b>Kontroll</b>			
<b>Nedre flens</b>			
Verdi		SIGMA / FMD	0,25
Status			OK
<b>Nedre flens</b>			
Verdi			0,25
Status			OK
<b>Kjerne</b>			
Verdi			0,36
Status			OK
<b>Skjærspenning</b>			
<b>Inngangsverdier</b>			
Redusert dimensjonerende skjærkraft	V Ed RED	40,9	kN
Avstand fra opplager			
<b>Maks skjærspenning</b>			
<b>Komponent 1 - nedre flens</b>			
Plassering			
Høyde for aktuelt punkt	h	Pkt. C	27 mm
Statisk moment ved aktuelt punkt	SPkt. C		5,50E+06 mm <sup>3</sup>
Elementbredde ved aktuelt punkt			1200 mm
Opptrendende spenning	Sigma	M/I * z * (E/Ek)	0,05 N/mm <sup>2</sup>
<b>Komponent 2 - øvre flens</b>			
Plassering			
Høyde for aktuelt punkt	h	Pkt. M	343 mm
Statisk moment ved aktuelt punkt	SPkt. M		5,61E+06 mm <sup>3</sup>
Elementbredde ved aktuelt punkt			1200 mm
Opptrendende spenning	Sigma	M/I * z * (E/Ek)	0,05 N/mm <sup>2</sup>
<b>Komponent 3 - nedre bord</b>			
Plassering			
Høyde for aktuelt punkt	h	Pkt. F	145 mm
Statisk moment ved aktuelt punkt	SPkt. F		1,26E+07 mm <sup>3</sup>
Elementbredde ved aktuelt punkt			622 mm
Opptrendende spenning	Sigma	M/I * z * (E/Ek)	0,24 N/mm <sup>2</sup>
<b>Komponent 4 - øvre bord</b>			
Plassering			
Høyde for aktuelt punkt	h	Pkt. J	225 mm
Statisk moment ved aktuelt punkt	SPkt. J		1,25E+07 mm <sup>3</sup>
Elementbredde ved aktuelt punkt			576 mm
Opptrendende spenning	Sigma	M/I * z * (E/Ek)	0,25 N/mm <sup>2</sup>
<b>Komponent 5 - limfuge</b>			
Plassering			
Høyde for aktuelt punkt	h	Pkt. H	183 mm
Statisk moment ved aktuelt punkt	SPkt. H		1,35E+07 mm <sup>3</sup>
Elementbredde ved aktuelt punkt			1200 mm
Opptrendende spenning	Sigma	M/I * z * (E/Ek)	0,13 N/mm <sup>2</sup>
<b>Beregning av fasthet</b>			
<b>Nedre flens</b>			
Materiale			
	fvk		4,6
	kmod		0,6
	gammaM		1,15
	ksys		1,1
	fvd		2,64
<b>Øvre flens</b>			

	fvk	4,6
	kmod	0,6
	gammaM	1,15
	ksys	1,1
	fvd	2,64
<b>Komponent 3-5</b>		
	fvk	3,4
	kmod	0,6
	gammaM	1,25
	ksys	1,1
	fvd	1,7952
<b>Kontroll</b>		
<b>Komponent 1</b>		
Verdi		0,02
Status		OK
<b>Komponent 2</b>		
Verdi		0,02
Status		OK
<b>Komponent 3</b>		
Verdi		0,22
Status		OK
<b>Komponent 4</b>		
Verdi		0,23
Status		OK
<b>Komponent 5</b>		
Verdi		0,12
Status		OK

**Fugespenning**

Total last som må overføres		43,1750104 kN
Minste antall bjelker på 1 element		12,00
Antall kontaktflater		2
Lastbreddefaktor		1,25
Summelast som overføres		2,24869846 kN
Andel igjen i toppen		0,48096192
Overført kraft per limfuge		1,08153834 kN

Her kan selvfølgelig nesten halve egenlasten ses bort fra, men siden betongen utgjør største delen, regnes den fullt ut. Det er likevel til sikker side. Heller ikke red kraft tas med her, alt går ned i opplagreet

**Beregning av limfugens areal**

Høyde		80 mm
Opplagerlengde		100,00 mm
a		92,5
atot		192,50 mm

Maks skjærspenning	Tau	0,10534464
--------------------	-----	------------

Fasthet

fc,90,k		0,4
fvk	= 2 * f <sub>t, 90,k</sub>	0,8
kmod		0,6
gammaM		1,15
fvd		0,4173913

Kontroll

Verdi		0,25238821
Status		OK

Hill-type condition  
Nedre flens

0,07





## DIMENSJONERING AV NEDBØYNING

<b>Karakteristiske laster</b>			<i>Referanser:</i>
Egenlast	$q_{EV}$	3,44 kN/m <sup>2</sup>	Lstbereg. Kar laster
Nyttelast, Karakteristisk	$KAR,NL$	4,20 kN/m <sup>2</sup>	Lstbereg. Kar laster
<b>Dimensjonering for nedbøyning</b>			
Nedbøyning i mm	$\delta_m$		
Lengden på elementet	$L$	6900,00 mm	
Elasitetsmodul STEG	$E_{0,mean}$	9000,00 N/mm <sup>2</sup>	
Elasitetsmodul FLENS	$E_{0,mean}$	10600,00 N/mm <sup>2</sup>	
Skjærmodul STEG	$G_{0,mean}$	560,00 N/mm <sup>2</sup>	
Skjærmodul FLENS	$G_{0,mean}$	600,00 N/mm <sup>2</sup>	
Bredden på elementet	$b$	1200,00 mm	
Effektiv bøystivhet	$EI_{ef}$	3,46E+13 mm <sup>4</sup>	
	$h_{kjerne}$	316,00	
<b><math>q_{def}</math></b>		7,64 kN/m <sup>2</sup>	
		9,17 kN/m	
Momentbidrag, jevnt fordelt last	$5 \cdot q_{def} \cdot l^4 / (384 \cdot EI_{ef})$	7,81268071	
Skjærbidrag, jevnt fordelt last	$0,96 \cdot (h/l) \cdot l^2 \cdot (E_{0,mean} / G_{0,mean})$	0,03235949	
Nedbøyning jevnt fordelt last	$\delta_m$	8,06549509 mm	
Ønsket nedbøyningskrav		500	
Maks nedbøyning i hht. krav	$L/500$	13,8 mm	
Kontroll		0,58445617	
Status		OK	



### KONTROLL AV KOMFORTKRITERIUM

<b>Nødvendige parametre til beregningene</b>		<i>Referanser:</i>		
<b>Dimensjoner på elementet</b>				
Elementlengde	$L$	6900 mm		
Elementbredde	$B$	1200 mm		
<b>Tverrsnittsdata</b>				
Effektiv bøyestivhet	$EI_L$	3,4637E+13 Nmm <sup>2</sup>		
<b>Karakteristisk last</b>				
Egenlast	$q_{EV, kar.}$	3,44 kN/m <sup>2</sup>		
<b>Kontroll av komfortkriterium</b>				
<b>Innledende beregninger</b>				
Elementets masse per m	$m$	420,9 kg/m		
<b>Beregninger</b>				
Fundamental frekvens	$f_1$	$\pi / (2 * L^2) * \sqrt{EI_L / m}$	9,5 Hz	Bell 2017
Nedbøyning under punktlast	$w$	$P * L^3 / (48 * EI_L)$	0,20 mm	Bell 2017
<b>Kontroll</b>				
Hu og Chuis komfortkriterium		$(f_1 / 18,7)^{2,27} / w$	1,08	Bell 2017
Status			<b>OK</b>	
		Lastberegn. Kar laster		



Beregninger vedrørende «Utvikling av trebasert etasjeskiller»  
av Tina Therese Hamland og Lars-Oddvar Klevebråten Haraldsen

OPPLAGSLENGDE

**Inndata**

**Helt element**

Elementlengde

*L*

6900 mm

Flatelast

10,43 kN/m<sup>2</sup>

**Beregning**

faktor

*k<sub>c, 90</sub>*

1,0

*f<sub>c, 90, k</sub>*

4,000

*k<sub>mod</sub>*

0,600

*gamma<sub>M</sub>*

1,150

*f<sub>c90,d</sub>*

2,087 N/mm<sup>2</sup>

opplagslengde

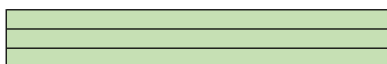
*l*

17,240 mm

Bruker

100,00 mm

Referanser:

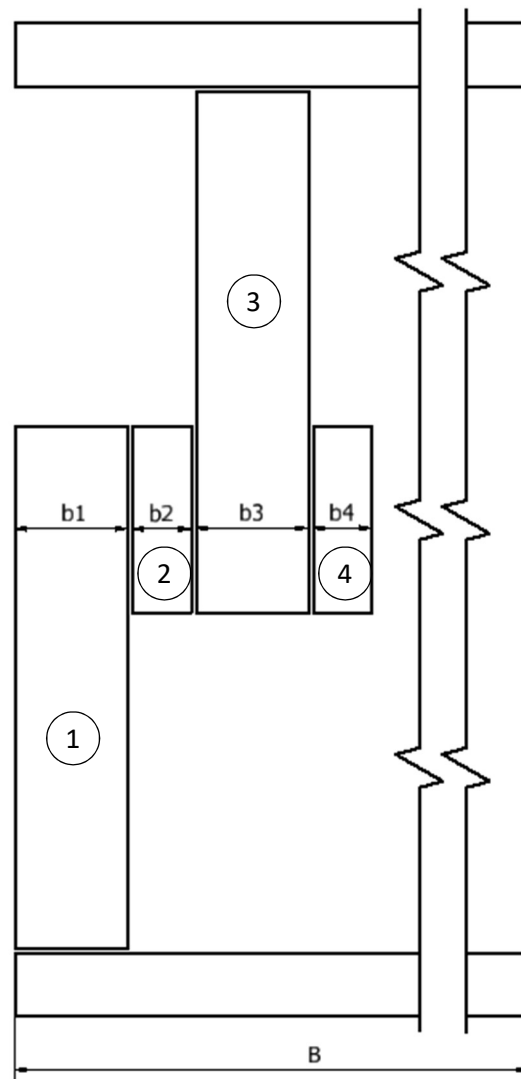


*Vedlegg C*

***Antall komponenter  
på én  
elementbredde***

## Innleiing

Eit sandwichelement er samansett av eit skal og ei kjerne mellom. I dette elementet utgjer to plater skalet som ligg på oversida og undersida av kjernen. Kjernen, den midtre delen av elementet, er bygd opp av eit repeterande segment. Eitt slikt segment, mønstersegmentet som kopierast, består av fire komponentar. Komponentane har breidde høvesvis lik  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  og  $b_4$ . Breidda til heile elementet er  $B$ . Sjå figur 1.



Figur 1 Tverrsnitt av element med mønstersegmentet.

## Problem

Spørsmålet ein no kan stille er kor mange segment det er plass til på ei elementbreidd, samt kor mange blir det av kvar komponent.

## Løysing

### Generelt

Vi let  $k_0$  vera talet på kor mange segment det plass til på eit element med breidde  $B$ :

$$k_0 = \frac{B}{b_1 + b_2 + b_3 + b_4} \quad (1)$$

Vidare definerer vi  $k_1$  som det heiltalet  $k_0$  blir avrunda ned til:

$$k_1 = \text{floor}(k_0) \quad (2)$$

$k_2$  let vi vera differansen mellom  $k_0$  og  $k_1$ :

$$k_2 = k_0 - k_1 \quad (3)$$

Talet komponent 1 det er plass til på ei elementbreidde  $B$ ,  $n_1$

Test:

$$k_2 \geq \frac{b_1}{b_1 + b_2 + b_3 + b_4}$$

SANN:

$$n_1 = k_1 + 1$$

USANN:

$$n_1 = k_1 + k_2 \cdot \frac{b_1}{b_1 + b_2 + b_3 + b_4}$$

Talet komponent 2 det er plass til på ei elementbreidde  $B$ ,  $n_2$

Test:

$$k_2 \geq \frac{b_1}{b_1 + b_2 + b_3 + b_4}$$

Viss JA:

$$n_2 = k_1 + \left( k_2 - \frac{b_1}{b_1 + b_2 + b_3 + b_4} \right) \cdot \frac{b_2}{b_1 + b_2 + b_3 + b_4}$$

Viss NEI:

$$n_2 = k_1$$

Talet komponent 3 det er plass til på ei elementbreidde  $B$ ,  $n_3$

Test:

$$k_2 \geq \frac{b_1 + b_2}{b_1 + b_2 + b_3 + b_4}$$

Viss JA:

$$n_3 = k_1 + \left( k_2 - \frac{b_1 + b_2}{b_1 + b_2 + b_3 + b_4} \right) \cdot \frac{b_3}{b_1 + b_2 + b_3 + b_4}$$

Viss NEI:

$$n_3 = k_1$$

Talet komponent 4 det er plass til på ei elementbreidde  $B$ ,  $n_4$

Test:

$$k_2 \geq \frac{b_1 + b_2 + b_3}{b_1 + b_2 + b_3 + b_4}$$

Viss JA:

$$n_4 = k_1 + \left( k_2 - \frac{b_1 + b_2 + b_3}{b_1 + b_2 + b_3 + b_4} \right) \cdot \frac{b_4}{b_1 + b_2 + b_3 + b_4}$$

Viss NEI:

$$n_4 = k_1$$

## Kommentar

Element 2 og 4 representerer limfuger. I praksis vil ein aldri avslutte med ein del av ei limfuge på høgre side av elementet, men det er ikkje lagt inn nokon kontroll av dette i utrekningane. Det er for det fyrste veldig liten sjanse at for at dette skjer sidan desse er om lag 0,1 mm breie, og for det andre vil det utgjera veldig lite.

*Vedlegg D*

***Utleddning av generell  
beregning av første  
arealmoment for  
dimensjoneringsverktøyet***



# Beregning av statistisk moment

Generell metode

## Innhold

Opplysninger om tverrsnitt .....	2
Generelle opplysninger .....	2
1. Komponent 1 .....	3
1.1. For $h < NA$ .....	3
1.1.1. $h < NA; h < \emptyset G_1$ .....	3
1.1.2. $h < NA; h \geq \emptyset G_1$ .....	3
1.2. For $h \geq NA$ .....	4
1.2.1. $h \geq NA; h < \emptyset G_1$ .....	4
1.2.2. $h \geq NA; h \geq \emptyset G_1$ .....	4
2. Komponent 2 .....	5
2.1. For $h < NA$ .....	5
2.1.1. $h < NA; h < NG_2$ .....	5
2.1.2. $h \geq NG_2$ .....	5
2.2. For $h \geq NA$ .....	6
2.2.1. $h \geq NA; h < NG_2$ .....	6
2.2.2. $h \geq NA; h \geq NG_2$ og $NG_2 < NA$ .....	6
2.2.3. $h \geq NA; h \geq NG_2$ og $NG_2 \geq NA$ .....	6
3. Komponent 3-5 .....	7
3.1. For $h < NA$ .....	7
3.1.1. $h < NA; h < NG_i$ .....	7
3.1.2. $h < NA; h \geq NG_i$ og $h < \emptyset G_i$ .....	7
3.1.3. $h < NA; h \geq NG_i$ og $h \geq \emptyset G_i$ .....	7
3.2. For $h \geq NA$ .....	8
3.2.1. $h \geq NA; h < NG_i$ .....	8
3.2.2. $h \geq NA; h \geq NG_i, h < \emptyset G_i$ og $NG_i < NA$ .....	8
3.2.3. $h \geq NA; h \geq NG_i, h < \emptyset G_i$ og $NG_i \geq NA$ .....	8
3.2.4. $h \geq NA; h \geq NG_i$ og $h \geq \emptyset G_i$ .....	9

## Opplysninger om tverrsnitt

Fig fra side 1

Komponent	Bredde	Høyde	Nedre grense (NG)	Øvre grense (ØG)
Helt element	$B$	$H$	0	$H$
Nøytralakse	-	-	NA	NA
Komponent 1	$b_1$	$h_1$	0	$h_1$
Komponent 2	$b_2$	$h_2$	$h_1 + h_3 - h_5 + h_4$	$h_1 + h_3 - h_5 + h_4 + h_2$
Komponent 3	$b_3$	$h_3$	$h_1$	$h_1 + h_3$
Komponent 4	$b_4$	$h_4$	$h_1 + h_3 - h_5$	$h_1 + h_3 - h_5 + h_4$
Komponent 5	$b_5$	$h_5$	$h_1 + h_3 - h_5$	$h_1 + h_3$

Mulige plassering av nøytralaksen med tanke på komponentene:

- For komponent 1: N.A. må gå over eller gjennom
- For komponent 2: N.A. må gå under eller gjennom
- For komponent 3-5: N.A. kan gå under, over eller gjennom

## Generelle opplysninger

NA er avstanden fra bunnen av element og opp til nøytralaksen

NG er nedre grense til komponent, verdi fra bunnen av element og opp til denne grensen.

ØG er nedre grense til komponent, verdi fra bunnen av element og opp til denne grensen.

Forutsetninger:

1 og 2 har bredder lik elementbredden.

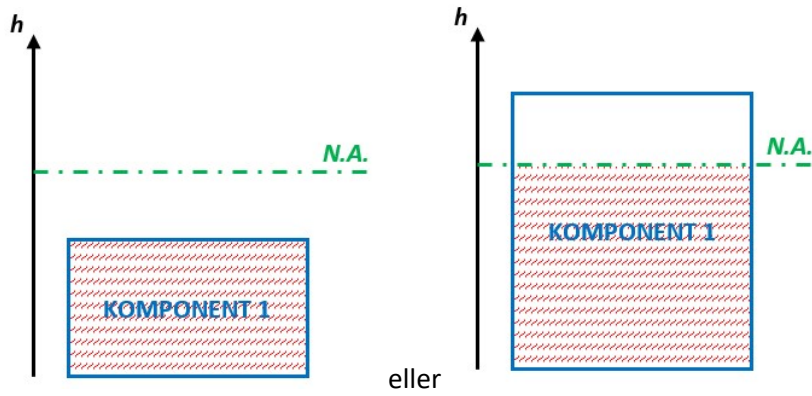
Alltid mellomrom ..., se forutsetninger skrevet i rapport.

# 1. Komponent 1

## 1.1. For $h < NA$

### 1.1.1. $h < NA; h < \emptyset G_1$

Aktuelt område:



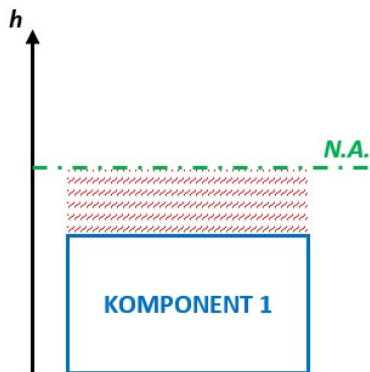
Areal og afstand:

$$A_1 = b_1 \cdot h$$

$$a_1 = NA - \frac{h}{2}$$

### 1.1.2. $h < NA; h \geq \emptyset G_1$

Aktuelt område:



Areal og afstand:

$$A_1 = b_1 \cdot \emptyset G_1$$

$$a_1 = NA - \frac{\emptyset G_1}{2}$$

1.2. For  $h \geq NA$

1.2.1.  $h \geq NA; h < \emptyset G_1$

Aktuelt område:

Areal og afstand:

$$A_1 = b_1 \cdot (NA - (h - NA)) = b_1 \cdot (2NA - h)$$

$$a_1 = \frac{h}{2}$$

1.2.2.  $h \geq NA; h \geq \emptyset G_1$

Aktuelt område:

Areal og afstand:

$$A_1 = 0$$

$$a_1 = 0$$

## 2. Komponent 2

### 2.1. For $h < NA$

#### 2.1.1. $h < NA; h < NG_2$

Aktuelt område:

Areal og avstand:

$$A_2 = 0$$

$$a_2 = -$$

#### 2.1.2. $h \geq NG_2$

Aktuelt område:

Areal og avstand:

$$A_2 = b_2 \cdot (h - NG_2)$$

$$a_2 = NA - \left( \frac{h - NG_2}{2} + NG_2 \right)$$

## 2.2. For $h \geq NA$

### 2.2.1. $h \geq NA; h < NG_2$

Aktuelt område:

Areal og avstand:

$$A_2 = b_2 \cdot (\emptyset G_2 - NG_2)$$
$$a_2 = \left( \frac{\emptyset G_2 - NG_2}{2} + NG \right) - NA$$

### 2.2.2. $h \geq NA; h \geq NG_2$ og $NG_2 < NA$

Aktuelt område:

Areal og avstand:

$$A_2 = b_2 \cdot ((NA - NG_2) - (h - NA)) = b_2 \cdot (2NA - NG_2 - h)$$
$$a_2 = \frac{h - NG_2}{2}$$

*Sjekk a-en, egentlig kun tippa på den.*

### 2.2.3. $h \geq NA; h \geq NG_2$ og $NG_2 \geq NA$

Aktuelt område:

Areal og avstand:

$$A_2 = b_2 \cdot (\emptyset G_2 - h)$$
$$a_2 = \left( \frac{\emptyset G_2 - h}{2} + h \right) - NA$$

### 3. Komponent 3-5

#### 3.1. For $h < NA$

##### 3.1.1. $h < NA; h < NG_i$

Aktuelt område:

Areal og avstand:

$$A_i = 0$$

$$a_i = -$$

##### 3.1.2. $h < NA; h \geq NG_i$ og $h < \emptyset G_i$

Aktuelt område:

Areal og avstand:

$$A_i = b_i \cdot (h - NG_i)$$

$$a_i = NA - \left( \frac{h - NG_i}{2} + NG_i \right)$$

##### 3.1.3. $h < NA; h \geq NG_i$ og $h \geq \emptyset G_i$

Aktuelt område:

Areal og avstand:

$$A_i = b_i \cdot (\emptyset G_i - NG_i)$$

$$a_i = NA - \left( \frac{\emptyset G_i - NG_i}{2} + NG_i \right)$$

### 3.2. For $h \geq NA$

#### 3.2.1. $h \geq NA; h < NG_i$

Aktuelt område:

Areal og avstand:

$$A_i = b_i \cdot (\emptyset G_i - NG_i)$$
$$a_i = \left( \frac{\emptyset G_i - NG_i}{2} + NG_i \right) - NA$$

#### 3.2.2. $h \geq NA; h \geq NG_i, h < \emptyset G_i$ og $NG_i < NA$

Aktuelt område:

Areal og avstand:

$$A_i = b_i \cdot ((NA - NG_i) - (h - NA)) = b_i \cdot (2NA - NG_i - h)$$
$$a_i = \frac{h - NG_i}{2}$$

*Sjekk a-en, egentlig kun tippa på den.*

#### 3.2.3. $h \geq NA; h \geq NG_i, h < \emptyset G_i$ og $NG_i \geq NA$

Aktuelt område:

Areal og avstand:

$$A_i = b_i \cdot (\emptyset G_i - h)$$
$$a_i = \left( \frac{\emptyset G_i - h}{2} + h \right) - NA$$



3.2.4.  $h \geq NA; h \geq NG_i$  og  $h \geq \emptyset G_i$

Aktuelt område:

Areal og afstand:

$$A_i = 0$$

$$a_i = 0$$

Vi har tre mulige plasseringer av arealet i forhold til nøytralaksen:

1. Hele arealet ligger under nøytralaksen
2. Hele arealet ligger over nøytralaksen
3. Arealet ligger slik at nøytralaksen går gjennom det

Vi definerer statistisk moment til å være positivt for arealer under nøytralaksen og negativt for over. Vi går nedenfra og oppover langs en H-akse, som tilsier høyder i elementet. Før vi treffer nedre kant på arealet, når vi er under det, er det statiske momentet null. Så fort vi beveger oss inn i arealet vil det statiske momentet begynne å endre seg, øke hvis vi går inn i arealet under nøytralaksen og minke (og være negativt) hvis vi går inn over arealets nedre grense på oversiden av nøytralaksen. Mens h vokser og vi er inne i arealet vil det statiske endre seg – vokse eller minker avhengig av hvor vi er i forhold til nøytralaksen. Når vi går ut av arealet, ved dets øvre grense, vil vi etterpå ha en verdi for det statiske momentet ved større h-er enn øvre grense som er lik det statiske momentet ved øvre grense.

For tilfelle 1 vil vi ha null under arealet og en positiv konstant verdi over, gjennom så er det voksende verdi.

For tilfelle 2 vil vi ha null under arealet og en negativ konstant verdi over, gjennom så er det en minkende verdi.

For tilfelle 3 vil vi ha null under arealet, og verdien over er konstant, men om den er positiv eller negativ kommer an på om det er størst andel av arealet over eller under nøytralaksen. Ved størst andel under vil verdien over bli positiv. Ved størst andel over nøytralaksen vil verdien over bli negativ. Ved like stort areal på hver side av nøytralaksen vil verdien for det statiske momentet være null både over og under arealet.

Ser på hele elementet, men komponentvis. Derfor vil areal 1 ha et moment på høyeste H, selv om det ikke er noe areal der. Til gjengjeld vil det når man ser på hele elementet utlignes av areal 2 som er negativt der.

Testnivå					Areal	Arm	Figur
1	2	3	4	5			
H < NA	H < NG				0	0	
	H ≥ NG	H < ØG	ØG < NA		B*(H-NG)	NA-(0,5*(H-NG)+NG)	
			ØG ≥ NA	NG < NA	B*(H-NG)	NA-(0,5*(H-NG)+NG)	
				NG ≥ NA	0	0	
		H ≥ ØG	ØG < NA		B*(ØG-NG)	NA-(0,5*(ØG-NG)+NG)	
			ØG ≥ NA	NG < NA	B*(NA-NG)	NA-(0,5*(NA-NG)+NG)	
				NG ≥ NA	0	0	
	H ≥ NA	H < NG				0	0
H ≥ NG		H < ØG	ØG < NA		0	0	
			ØG ≥ NA	NG < NA	B*(NA-NG)-B*(H-NA)	0,5*(H-NG)	
				NG ≥ NA	-B*(H-NA)	(0,5*(H-NG)+NG)-NA	
		H ≥ ØG	ØG < NA		B*(ØG-NG)	NA-(0,5*(ØG-NG)+NG)	
			ØG ≥ NA	NG < NA	B*(NA-NG)-B*(ØG-NA)	0,5*(ØG-NG)	
				NG ≥ NA	-B*(ØG-NA)	(0,5*(ØG-NG)+NG)-NA	

1a 2b 3a 4b 5b er egentlig en umulig kombinasjon, siden at man sier h skal være mindre enn NA og større en NG henholdsvis i nivå 1 og 2, mens på nivå 5 sier man at NG er større enn NA. Det blir ikke feil i koden så lenge at svaret settes til null, men det er en logisk feil. Denne er tatt med bevisst for å lage koden helt generelle. For på det andre alternativet på nivå 1 vil dette være en gyldig kombinasjon, mens en annen vil være ugyldig. Resultatet er at koden kan brukes for alle (men excel looper ikke nødvendigvis innom de testene for de kategoriene der de blir umulige). Da dette gir mindre sjanse for å gjøre feil (siden man kopierer formelen og ikke setter inn for hver enkelt gang.)

Tester per nivå										Areal	Arm	Figur
1	2		3	4		5						
H < NA	SANT (H < NA)	H < NG	SANT (H < NG)							0	0	
			USANT (H ≥ NG)	H < ØG	SANT (H < ØG)	ØG < NA	SANT (ØG < NA)			B*(H-NG)	NA-(0,5*(H-NG)+NG)	
							USANT (ØG ≥ NA)	NG < NA	SANT (NG < NA)	B*(H-NG)	NA-(0,5*(H-NG)+NG)	
			USANT (NG ≥ NA)	0	0							
		USANT (H ≥ NG)	H < ØG	USANT (H ≥ ØG)	ØG < NA	SANT (ØG < NA)			B*(ØG-NG)	NA-(0,5*(ØG-NG)+NG)		
						USANT (ØG ≥ NA)	NG < NA	SANT (NG < NA)	B*(NA-NG)	NA-(0,5*(NA-NG)+NG)		
				USANT (NG ≥ NA)	0	0						
				USANT (NG ≥ NA)	0	0						
	USANT (H ≥ NA)	H < NG	USANT (H ≥ NG)	H < ØG	SANT (H < ØG)	ØG < NA	SANT (ØG < NA)			0	0	
							USANT (ØG ≥ NA)	NG < NA	SANT (NG < NA)	B*(NA-NG)-B*(H-NA)	0,5*(H-NG)	
			USANT (NG ≥ NA)	-B*(H-NG)	(0,5*(H-NG)+NG)-NA							
			USANT (H ≥ ØG)	ØG < NA	SANT (ØG < NA)			B*(ØG-NG)	NA-(0,5*(ØG-NG)+NG)			
					USANT (ØG ≥ NA)	NG < NA	SANT (NG < NA)	B*(NA-NG)-B*(ØG-NA)	0,5*(ØG-NG)			
			USANT (NG ≥ NA)	-B*(ØG-NG)	(0,5*(ØG-NG)+NG)-NA							

*Vedlegg E*

# ***Løsningskombinasjoner fra dimensjoneringen***

H-mål	Bordhøyde	Platetykkelse	Fugehøyde	Kvalitet	Spennlengde	Pris	EI	A	L/kr	EI/kr	EIA/kr	A/kr	EI/A
350	148	27	80	C18	<b>5500</b>	4670	1,49E+13	2,42E+05	<b>1,178</b>	3,191E+09	7,721E+14	5,182E+01	6,157E+07
350	148	27	80	C24	<b>5600</b>	4993	1,60E+13	2,42E+05	<b>1,122</b>	3,204E+09	7,755E+14	4,847E+01	6,612E+07
350	148	27	80	C30	<b>5600</b>	5216	1,65E+13	2,42E+05	<b>1,074</b>	3,163E+09	7,655E+14	4,640E+01	6,818E+07
400	148	27	30	C18	<b>6200</b>	5261	2,32E+13	2,42E+05	<b>1,178</b>	4,410E+09	1,067E+15	4,600E+01	9,587E+07
400	148	33	42	C18	<b>6300</b>	5824	2,48E+13	2,57E+05	<b>1,082</b>	4,258E+09	1,094E+15	4,413E+01	9,650E+07
400	148	27	30	C24	<b>6400</b>	5702	2,51E+13	2,42E+05	<b>1,122</b>	4,402E+09	1,065E+15	4,244E+01	1,037E+08
400	148	27	30	C30	<b>6400</b>	5958	2,61E+13	2,42E+05	<b>1,074</b>	4,381E+09	1,060E+15	4,062E+01	1,079E+08
400	148	33	42	C24	<b>6400</b>	6188	2,34E+13	2,57E+05	<b>1,034</b>	3,782E+09	9,718E+14	4,153E+01	9,105E+07
400	148	39	54	C18	<b>6400</b>	6403	2,61E+13	2,71E+05	<b>1,000</b>	4,076E+09	1,105E+15	4,232E+01	9,631E+07
400	148	33	42	C30	<b>6500</b>	6545	2,72E+13	2,57E+05	<b>0,993</b>	4,156E+09	1,068E+15	3,927E+01	1,058E+08
400	148	39	54	C24	<b>6500</b>	6779	2,76E+13	2,71E+05	<b>0,959</b>	4,071E+09	1,103E+15	3,998E+01	1,018E+08
400	148	39	54	C30	<b>6500</b>	7038	2,83E+13	2,71E+05	<b>0,924</b>	4,021E+09	1,090E+15	3,851E+01	1,044E+08
400	148	45	66	C18	<b>6500</b>	6997	2,74E+13	2,85E+05	<b>0,929</b>	3,916E+09	1,116E+15	4,073E+01	9,614E+07
400	148	51	78	C18	<b>6500</b>	7490	2,86E+13	3,00E+05	<b>0,868</b>	3,818E+09	1,146E+15	4,005E+01	9,533E+07
400	148	45	66	C24	<b>6600</b>	7384	2,87E+13	2,85E+05	<b>0,894</b>	3,887E+09	1,108E+15	3,860E+01	1,007E+08
400	148	45	66	C30	<b>6600</b>	7648	2,93E+13	2,85E+05	<b>0,863</b>	3,831E+09	1,092E+15	3,726E+01	1,028E+08
400	148	51	78	C24	<b>6600</b>	7886	2,97E+13	3,00E+05	<b>0,837</b>	3,766E+09	1,130E+15	3,804E+01	9,900E+07
400	148	51	78	C30	<b>6600</b>	8149	3,02E+13	3,00E+05	<b>0,810</b>	3,706E+09	1,112E+15	3,681E+01	1,007E+08

H-mål	Bordhøyde	Platetykkelse	Fugehøyde	Kvalitet	Spennlengde	Pris	EI	A	L/kr	EI/kr	EIA/kr	A/kr	EI/A
450	198	27	80	C18	6900	7013	3,46E+13	3,02E+05	0,984	4,934E+09	1,490E+15	4,306E+01	1,146E+08
450	223	27	130	C18	6900	7533	3,54E+13	3,32E+05	0,916	4,699E+09	1,560E+15	4,407E+01	1,066E+08
450	198	33	92	C18	7000	7646	3,69E+13	3,17E+05	0,916	4,826E+09	1,530E+15	4,146E+01	1,164E+08
450	198	27	80	C24	7100	7482	3,78E+13	3,02E+05	0,949	5,052E+09	1,526E+15	4,036E+01	1,252E+08
450	198	27	80	C30	7100	8013	3,94E+13	3,02E+05	0,886	4,917E+09	1,485E+15	3,769E+01	1,305E+08
450	198	39	104	C18	7100	8294	3,90E+13	3,31E+05	0,856	4,702E+09	1,556E+15	3,991E+01	1,178E+08
450	223	27	130	C24	7100	8319	3,88E+13	3,32E+05	0,853	4,664E+09	1,548E+15	3,991E+01	1,169E+08
450	198	33	92	C24	7200	8134	3,98E+13	3,17E+05	0,885	4,893E+09	1,551E+15	3,897E+01	1,256E+08
450	198	33	92	C30	7200	8673	4,12E+13	3,17E+05	0,830	4,750E+09	1,506E+15	3,655E+01	1,300E+08
450	198	39	104	C24	7200	8681	4,16E+13	3,31E+05	0,829	4,792E+09	1,586E+15	3,813E+01	1,257E+08
450	223	27	130	C30	7200	8849	4,04E+13	3,32E+05	0,814	4,565E+09	1,516E+15	3,752E+01	1,217E+08
450	198	45	116	C18	7200	8958	4,10E+13	3,45E+05	0,804	4,577E+09	1,579E+15	3,851E+01	1,188E+08
450	148	57	40	C18	7300	8962	4,35E+13	3,14E+05	0,815	4,854E+09	1,524E+15	3,504E+01	1,385E+08
450	198	39	104	C30	7300	9348	4,29E+13	3,31E+05	0,781	4,589E+09	1,519E+15	3,541E+01	1,296E+08
450	198	45	116	C24	7300	9356	4,33E+13	3,45E+05	0,780	4,628E+09	1,597E+15	3,687E+01	1,255E+08
450	198	45	116	C30	7300	9902	4,45E+13	3,45E+05	0,737	4,494E+09	1,550E+15	3,484E+01	1,290E+08
450	148	57	40	C24	7400	9399	4,51E+13	3,14E+05	0,787	4,798E+09	1,507E+15	3,341E+01	1,436E+08
450	148	57	40	C30	7400	9694	4,60E+13	3,14E+05	0,763	4,745E+09	1,490E+15	3,239E+01	1,465E+08
450	148	63	52	C18	7400	9647	4,49E+13	3,29E+05	0,767	4,654E+09	1,531E+15	3,410E+01	1,365E+08
450	148	63	52	C24	7400	9961	4,63E+13	3,29E+05	0,743	4,648E+09	1,529E+15	3,303E+01	1,407E+08
450	148	69	64	C18	7400	10209	4,62E+13	3,43E+05	0,725	4,525E+09	1,552E+15	3,360E+01	1,347E+08
450	148	63	52	C30	7500	10395	4,71E+13	3,29E+05	0,722	4,531E+09	1,491E+15	3,165E+01	1,432E+08
450	148	69	64	C24	7500	10665	4,75E+13	3,43E+05	0,703	4,454E+09	1,528E+15	3,216E+01	1,385E+08
450	148	69	64	C30	7500	10965	4,81E+13	3,43E+05	0,684	4,387E+09	1,505E+15	3,128E+01	1,402E+08
450	148	75	76	C18	7500	10917	4,74E+13	3,57E+05	0,687	4,342E+09	1,550E+15	3,270E+01	1,328E+08
450	148	75	76	C24	7500	11235	4,85E+13	3,57E+05	0,668	4,317E+09	1,541E+15	3,178E+01	1,359E+08
450	148	75	76	C30	7500	11534	4,90E+13	3,57E+05	0,650	4,248E+09	1,517E+15	3,095E+01	1,373E+08

H-mål	Bordhøyde	Platetykkelse	Fugehøyde	Kvalitet	Spennlengde	Pris	EI	A	L/kr	EI/kr	EIA/kr	A/kr	EI/A
500	198	27	30	C18	7600	7720	4,86E+13	3,02E+05	0,984	6,295E+09	1,901E+15	3,912E+01	1,609E+08
500	223	27	80	C18	7600	8293	4,88E+13	3,32E+05	0,916	5,884E+09	1,954E+15	4,003E+01	1,470E+08
500	198	33	42	C18	7700	8406	5,15E+13	3,16E+05	0,916	6,127E+09	1,936E+15	3,759E+01	1,630E+08
500	223	33	92	C18	7700	8987	5,18E+13	3,46E+05	0,857	5,764E+09	1,994E+15	3,850E+01	1,497E+08
500	198	27	30	C24	7800	8215	5,35E+13	3,02E+05	0,949	6,512E+09	1,967E+15	3,676E+01	1,772E+08
500	198	39	54	C18	7800	9108	5,42E+13	3,31E+05	0,856	5,951E+09	1,970E+15	3,634E+01	1,637E+08
500	223	27	80	C24	7800	9134	5,37E+13	3,32E+05	0,854	5,879E+09	1,952E+15	3,635E+01	1,617E+08
500	223	39	104	C18	7800	9696	5,46E+13	3,61E+05	0,804	5,631E+09	2,033E+15	3,723E+01	1,512E+08
500	198	27	30	C30	7900	8911	5,59E+13	3,02E+05	0,887	6,273E+09	1,894E+15	3,389E+01	1,851E+08
500	198	33	42	C24	7900	8920	5,59E+13	3,16E+05	0,886	6,267E+09	1,980E+15	3,543E+01	1,769E+08
500	198	33	42	C30	7900	9511	5,81E+13	3,16E+05	0,831	6,109E+09	1,930E+15	3,322E+01	1,839E+08
500	223	27	80	C30	7900	9704	5,62E+13	3,32E+05	0,814	5,791E+09	1,923E+15	3,421E+01	1,693E+08
500	198	45	66	C18	7900	9824	5,67E+13	3,45E+05	0,804	5,772E+09	1,991E+15	3,512E+01	1,643E+08
500	223	33	92	C24	7900	9851	5,63E+13	3,46E+05	0,802	5,715E+09	1,977E+15	3,512E+01	1,627E+08
500	223	33	92	C30	7900	10304	5,85E+13	3,46E+05	0,767	5,677E+09	1,964E+15	3,358E+01	1,691E+08
500	223	39	104	C24	7900	10451	5,87E+13	3,61E+05	0,756	5,617E+09	2,028E+15	3,454E+01	1,626E+08
500	223	45	116	C18	7900	10420	5,73E+13	3,75E+05	0,758	5,499E+09	2,062E+15	3,599E+01	1,528E+08
500	198	39	54	C24	8000	9641	5,82E+13	3,31E+05	0,830	6,037E+09	1,998E+15	3,433E+01	1,758E+08
500	198	39	54	C30	8000	10239	6,02E+13	3,31E+05	0,781	5,879E+09	1,946E+15	3,233E+01	1,819E+08
500	198	45	66	C24	8000	10248	6,03E+13	3,45E+05	0,781	5,884E+09	2,030E+15	3,367E+01	1,748E+08
500	198	51	78	C18	8000	10556	5,91E+13	3,60E+05	0,758	5,599E+09	2,016E+15	3,410E+01	1,642E+08
500	223	39	104	C30	8000	11043	6,07E+13	3,61E+05	0,724	5,497E+09	1,984E+15	3,269E+01	1,681E+08
500	223	45	116	C24	8000	11191	6,10E+13	3,75E+05	0,715	5,451E+09	2,044E+15	3,351E+01	1,627E+08
500	223	45	116	C30	8000	11650	6,29E+13	3,75E+05	0,687	5,399E+09	2,025E+15	3,219E+01	1,677E+08
500	223	51	128	C18	8000	11160	5,98E+13	3,90E+05	0,717	5,358E+09	2,090E+15	3,495E+01	1,533E+08
500	198	45	66	C30	8100	10982	6,21E+13	3,45E+05	0,738	5,655E+09	1,951E+15	3,142E+01	1,800E+08
500	198	51	78	C24	8100	10991	6,23E+13	3,60E+05	0,737	5,668E+09	2,041E+15	3,275E+01	1,731E+08
500	198	51	78	C30	8100	11598	6,40E+13	3,60E+05	0,698	5,518E+09	1,987E+15	3,104E+01	1,778E+08
500	223	51	128	C24	8100	11946	6,32E+13	3,90E+05	0,678	5,290E+09	2,063E+15	3,265E+01	1,621E+08
500	223	51	128	C30	8100	12411	6,50E+13	3,90E+05	0,653	5,237E+09	2,043E+15	3,142E+01	1,667E+08
500	198	45	66	C30	8106	10991	6,21E+13	3,45E+05	0,738	5,650E+09	1,949E+15	3,139E+01	1,800E+08
500	223	51	128	C30	8153	12492	6,50E+13	3,90E+05	0,653	5,203E+09	2,029E+15	3,122E+01	1,667E+08
500	198	51	78	C30	8154	11675	6,40E+13	3,60E+05	0,698	5,482E+09	1,973E+15	3,084E+01	1,778E+08



H-mål	Konfigurasjon				Spennlengde	Pris	EI	A	L/kr	EI/kr	EIA/kr	A/kr	EI/A
	Bordhøyde	Platetykkelse	Fugehøyde	Kvalitet									
350	148	27	80	C18	6000	10190	2,99E+13	4,84E+05	0,589	2,934E+09	1,420E+15	4,750E+01	6,178E+07
350	148	27	80	C24	6100	10877	3,20E+13	4,84E+05	0,561	2,942E+09	1,424E+15	4,450E+01	6,612E+07
350	148	27	80	C30	6200	11551	3,30E+13	4,84E+05	0,537	2,857E+09	1,383E+15	4,190E+01	6,818E+07
400	148	27	30	C18	6800	11540	4,65E+13	4,84E+05	0,589	4,029E+09	1,950E+15	4,194E+01	9,607E+07
400	148	33	42	C18	6900	12758	4,95E+13	5,13E+05	0,541	3,880E+09	1,990E+15	4,021E+01	9,649E+07
400	148	27	30	C24	7000	12474	5,03E+13	4,84E+05	0,561	4,032E+09	1,952E+15	3,880E+01	1,039E+08
400	148	27	30	C30	7000	13032	5,21E+13	4,84E+05	0,537	3,998E+09	1,935E+15	3,714E+01	1,076E+08
400	148	33	42	C24	7000	13537	5,28E+13	5,13E+05	0,517	3,900E+09	2,001E+15	3,790E+01	1,029E+08
400	148	39	54	C18	7000	14007	5,23E+13	5,42E+05	0,500	3,734E+09	2,024E+15	3,869E+01	9,649E+07
400	148	33	42	C30	7100	14297	5,44E+13	5,13E+05	0,497	3,805E+09	1,952E+15	3,588E+01	1,060E+08
400	148	39	54	C24	7100	14809	5,52E+13	5,42E+05	0,479	3,727E+09	2,020E+15	3,660E+01	1,018E+08
400	148	39	54	C30	7100	15376	5,66E+13	5,42E+05	0,462	3,681E+09	1,995E+15	3,525E+01	1,044E+08
400	148	45	66	C18	7100	15285	5,49E+13	5,71E+05	0,465	3,592E+09	2,051E+15	3,736E+01	9,615E+07
400	148	45	66	C24	7200	16111	5,73E+13	5,71E+05	0,447	3,557E+09	2,031E+15	3,544E+01	1,004E+08
400	148	45	66	C30	7200	16686	5,86E+13	5,71E+05	0,431	3,512E+09	2,005E+15	3,422E+01	1,026E+08
400	148	51	78	C18	7200	16594	5,72E+13	6,00E+05	0,434	3,447E+09	2,068E+15	3,616E+01	9,533E+07
400	148	51	78	C24	7200	17205	5,94E+13	6,00E+05	0,418	3,452E+09	2,071E+15	3,487E+01	9,900E+07
400	148	51	78	C30	7200	17780	6,05E+13	6,00E+05	0,405	3,403E+09	2,042E+15	3,375E+01	1,008E+08
450	198	27	80	C18	7600	15448	6,93E+13	6,04E+05	0,492	4,486E+09	2,710E+15	3,910E+01	1,147E+08
450	223	27	130	C18	7600	16595	7,08E+13	6,64E+05	0,458	4,266E+09	2,833E+15	4,001E+01	1,066E+08
450	198	33	92	C18	7700	16821	7,38E+13	6,33E+05	0,458	4,387E+09	2,777E+15	3,763E+01	1,166E+08
450	198	27	80	C24	7800	16439	7,57E+13	6,04E+05	0,474	4,605E+09	2,781E+15	3,674E+01	1,253E+08
450	198	27	80	C30	7800	17606	7,89E+13	6,04E+05	0,443	4,481E+09	2,707E+15	3,431E+01	1,306E+08
450	198	33	92	C24	7800	17623	7,95E+13	6,33E+05	0,443	4,511E+09	2,856E+15	3,592E+01	1,256E+08
450	198	39	104	C18	7800	18224	7,80E+13	6,62E+05	0,428	4,280E+09	2,833E+15	3,633E+01	1,178E+08
450	223	27	130	C24	7800	18277	7,75E+13	6,64E+05	0,427	4,240E+09	2,816E+15	3,633E+01	1,167E+08
450	223	27	130	C30	7800	19173	8,09E+13	6,64E+05	0,407	4,219E+09	2,802E+15	3,463E+01	1,218E+08
450	198	33	92	C30	7900	19032	8,24E+13	6,33E+05	0,415	4,330E+09	2,741E+15	3,326E+01	1,302E+08
450	198	39	104	C24	7900	19049	8,32E+13	6,62E+05	0,415	4,368E+09	2,891E+15	3,475E+01	1,257E+08
450	198	45	116	C18	7900	19658	8,20E+13	6,91E+05	0,402	4,171E+09	2,882E+15	3,515E+01	1,187E+08
450	198	39	104	C30	8000	20488	8,58E+13	6,62E+05	0,390	4,188E+09	2,772E+15	3,231E+01	1,296E+08
450	198	45	116	C24	8000	20506	8,67E+13	6,91E+05	0,390	4,228E+09	2,922E+15	3,370E+01	1,255E+08
450	198	45	116	C30	8000	21703	8,90E+13	6,91E+05	0,369	4,101E+09	2,834E+15	3,184E+01	1,288E+08
450	148	57	40	C18	8100	19884	8,69E+13	6,28E+05	0,407	4,370E+09	2,745E+15	3,158E+01	1,384E+08
450	148	57	40	C24	8100	20576	9,03E+13	6,28E+05	0,394	4,389E+09	2,756E+15	3,052E+01	1,438E+08
450	148	57	40	C30	8100	21223	9,20E+13	6,28E+05	0,382	4,335E+09	2,722E+15	2,959E+01	1,465E+08
450	148	63	52	C18	8100	21119	8,98E+13	6,57E+05	0,384	4,252E+09	2,794E+15	3,111E+01	1,367E+08

450	148	63	52 C24	<b>8200</b>	22076	9,27E+13	6,57E+05	<b>0,371</b>	4,199E+09	2,759E+15	2,976E+01	1,411E+08
450	148	63	52 C30	<b>8200</b>	22730	9,42E+13	6,57E+05	<b>0,361</b>	4,144E+09	2,723E+15	2,890E+01	1,434E+08
450	148	69	64 C18	<b>8200</b>	22626	9,24E+13	6,86E+05	<b>0,362</b>	4,084E+09	2,801E+15	3,032E+01	1,347E+08
450	148	69	64 C24	<b>8200</b>	23321	9,49E+13	6,86E+05	<b>0,352</b>	4,069E+09	2,792E+15	2,942E+01	1,383E+08
450	148	69	64 C30	<b>8200</b>	23976	9,62E+13	6,86E+05	<b>0,342</b>	4,012E+09	2,752E+15	2,861E+01	1,402E+08
450	148	75	76 C18	<b>8200</b>	23871	9,48E+13	7,15E+05	<b>0,344</b>	3,971E+09	2,840E+15	2,995E+01	1,326E+08
450	148	75	76 C24	<b>8200</b>	24567	9,70E+13	7,15E+05	<b>0,334</b>	3,948E+09	2,823E+15	2,910E+01	1,357E+08
450	148	75	76 C30	<b>8200</b>	25222	9,81E+13	7,15E+05	<b>0,325</b>	3,889E+09	2,781E+15	2,835E+01	1,372E+08
500	223	27	80 C18	<b>8300</b>	18114	9,76E+13	6,64E+05	<b>0,458</b>	5,388E+09	3,578E+15	3,666E+01	1,470E+08
500	198	27	30 C18	<b>8400</b>	17064	9,72E+13	6,04E+05	<b>0,492</b>	5,696E+09	3,441E+15	3,540E+01	1,609E+08
500	198	33	42 C18	<b>8500</b>	18558	1,03E+14	6,33E+05	<b>0,458</b>	5,550E+09	3,513E+15	3,411E+01	1,627E+08
500	223	27	80 C24	<b>8500</b>	19907	1,08E+14	6,64E+05	<b>0,427</b>	5,425E+09	3,602E+15	3,336E+01	1,627E+08
500	223	33	92 C18	<b>8500</b>	19841	1,04E+14	6,93E+05	<b>0,428</b>	5,242E+09	3,632E+15	3,493E+01	1,501E+08
500	198	27	30 C24	<b>8600</b>	18114	1,07E+14	6,04E+05	<b>0,475</b>	5,907E+09	3,568E+15	3,334E+01	1,772E+08
500	198	27	30 C30	<b>8600</b>	19401	1,12E+14	6,04E+05	<b>0,443</b>	5,773E+09	3,487E+15	3,113E+01	1,854E+08
500	198	33	42 C24	<b>8600</b>	19420	1,12E+14	6,33E+05	<b>0,443</b>	5,767E+09	3,651E+15	3,260E+01	1,769E+08
500	198	39	54 C18	<b>8600</b>	20083	1,08E+14	6,62E+05	<b>0,428</b>	5,378E+09	3,560E+15	3,296E+01	1,631E+08
500	223	27	80 C30	<b>8600</b>	21128	1,12E+14	6,64E+05	<b>0,407</b>	5,301E+09	3,520E+15	3,143E+01	1,687E+08
500	223	33	92 C24	<b>8600</b>	21448	1,13E+14	6,93E+05	<b>0,401</b>	5,269E+09	3,651E+15	3,231E+01	1,631E+08
500	223	39	104 C18	<b>8600</b>	21381	1,09E+14	7,22E+05	<b>0,402</b>	5,098E+09	3,681E+15	3,377E+01	1,510E+08
500	198	33	42 C30	<b>8700</b>	20949	1,16E+14	6,33E+05	<b>0,415</b>	5,537E+09	3,505E+15	3,022E+01	1,833E+08
500	198	39	54 C24	<b>8700</b>	20968	1,16E+14	6,62E+05	<b>0,415</b>	5,532E+09	3,662E+15	3,157E+01	1,752E+08
500	198	45	66 C18	<b>8700</b>	21638	1,13E+14	6,91E+05	<b>0,402</b>	5,222E+09	3,609E+15	3,193E+01	1,635E+08
500	223	33	92 C30	<b>8700</b>	22696	1,17E+14	6,93E+05	<b>0,383</b>	5,155E+09	3,572E+15	3,053E+01	1,688E+08
500	198	51	78 C18	<b>8700</b>	22960	1,18E+14	7,19E+05	<b>0,379</b>	5,139E+09	3,695E+15	3,132E+01	1,641E+08
500	223	39	104 C24	<b>8700</b>	23019	1,17E+14	7,22E+05	<b>0,378</b>	5,083E+09	3,670E+15	3,137E+01	1,620E+08
500	223	45	116 C18	<b>8700</b>	22951	1,15E+14	7,51E+05	<b>0,379</b>	5,011E+09	3,763E+15	3,272E+01	1,531E+08
500	223	51	128 C18	<b>8700</b>	24273	1,20E+14	7,80E+05	<b>0,358</b>	4,944E+09	3,856E+15	3,213E+01	1,538E+08
500	198	39	54 C30	<b>8800</b>	22526	1,20E+14	6,62E+05	<b>0,391</b>	5,327E+09	3,527E+15	2,939E+01	1,813E+08
500	198	45	66 C24	<b>8800</b>	22546	1,21E+14	6,91E+05	<b>0,390</b>	5,367E+09	3,708E+15	3,065E+01	1,751E+08
500	198	45	66 C30	<b>8800</b>	23863	1,24E+14	6,91E+05	<b>0,369</b>	5,196E+09	3,591E+15	2,896E+01	1,795E+08
500	223	39	104 C30	<b>8800</b>	24293	1,22E+14	7,22E+05	<b>0,362</b>	5,022E+09	3,626E+15	2,972E+01	1,690E+08
500	198	57	90 C18	<b>8800</b>	24560	1,23E+14	7,48E+05	<b>0,358</b>	5,008E+09	3,746E+15	3,046E+01	1,644E+08
500	223	45	116 C24	<b>8800</b>	24620	1,22E+14	7,51E+05	<b>0,357</b>	4,955E+09	3,721E+15	3,050E+01	1,625E+08
500	223	45	116 C30	<b>8800</b>	25630	1,26E+14	7,51E+05	<b>0,343</b>	4,916E+09	3,692E+15	2,930E+01	1,678E+08
500	198	51	78 C24	<b>8900</b>	24154	1,25E+14	7,19E+05	<b>0,368</b>	5,175E+09	3,721E+15	2,977E+01	1,739E+08
500	198	51	78 C30	<b>8900</b>	25486	1,28E+14	7,19E+05	<b>0,349</b>	5,022E+09	3,611E+15	2,821E+01	1,780E+08
500	198	57	90 C24	<b>8900</b>	25506	1,29E+14	7,48E+05	<b>0,349</b>	5,058E+09	3,783E+15	2,933E+01	1,725E+08
500	198	57	90 C30	<b>8900</b>	26838	1,32E+14	7,48E+05	<b>0,332</b>	4,918E+09	3,679E+15	2,787E+01	1,765E+08
500	198	63	102 C18	<b>8900</b>	26192	1,27E+14	7,77E+05	<b>0,340</b>	4,849E+09	3,768E+15	2,967E+01	1,634E+08
500	223	51	128 C24	<b>8900</b>	26252	1,26E+14	7,80E+05	<b>0,339</b>	4,800E+09	3,744E+15	2,971E+01	1,615E+08

500	223	51	128 C30	<b>8900</b>	27273	1,30E+14	7,80E+05	<b>0,326</b>	4,767E+09	3,718E+15	2,860E+01	1,667E+08
500	198	69	114 C18	<b>8900</b>	27544	1,31E+14	8,06E+05	<b>0,323</b>	4,756E+09	3,833E+15	2,926E+01	1,625E+08
500	198	63	102 C24	<b>9000</b>	27159	1,32E+14	7,77E+05	<b>0,331</b>	4,860E+09	3,776E+15	2,861E+01	1,699E+08
500	198	63	102 C30	<b>9000</b>	28507	1,35E+14	7,77E+05	<b>0,316</b>	4,736E+09	3,680E+15	2,726E+01	1,737E+08
500	198	69	114 C24	<b>9000</b>	28527	1,36E+14	8,06E+05	<b>0,315</b>	4,767E+09	3,843E+15	2,825E+01	1,687E+08
500	198	69	114 C30	<b>9000</b>	29874	1,38E+14	8,06E+05	<b>0,301</b>	4,619E+09	3,723E+15	2,698E+01	1,712E+08
500	198	63	102 C30	<b>9030</b>	28602	1,35E+14	7,77E+05	<b>0,316</b>	4,720E+09	3,667E+15	2,717E+01	1,737E+08
500	198	69	114 C30	<b>9070</b>	30106	1,38E+14	8,06E+05	<b>0,301</b>	4,584E+09	3,695E+15	2,677E+01	1,712E+08
450	198	51		<b>FOR STOR LIMFUGE</b>								

H-mål	Konfigurasjon				Spennlengde	Pris	EI	A	L/kr	EI/kr	EIA/kr	A/kr	EI/A
	Bordhøyde	Platetykkelse	Fugehøyde	Kvalitet									
450	198	27	80	C18	7600	15448	6,93E+13	6,04E+05	0,492	4,486E+09	2,710E+15	3,910E+01	1,147E+08
450	223	27	130	C18	7600	16595	7,08E+13	6,64E+05	0,458	4,266E+09	2,833E+15	4,001E+01	1,066E+08
450	198	33	92	C18	7700	16821	7,38E+13	6,33E+05	0,458	4,387E+09	2,777E+15	3,763E+01	1,166E+08
450	198	27	80	C24	7800	16439	7,57E+13	6,04E+05	0,474	4,605E+09	2,781E+15	3,674E+01	1,253E+08
450	198	27	80	C30	7800	17606	7,89E+13	6,04E+05	0,443	4,481E+09	2,707E+15	3,431E+01	1,306E+08
450	198	33	92	C24	7800	17623	7,95E+13	6,33E+05	0,443	4,511E+09	2,856E+15	3,592E+01	1,256E+08
450	198	39	104	C18	7800	18224	7,80E+13	6,62E+05	0,428	4,280E+09	2,833E+15	3,633E+01	1,178E+08
450	223	27	130	C24	7800	18277	7,75E+13	6,64E+05	0,427	4,240E+09	2,816E+15	3,633E+01	1,167E+08
450	223	27	130	C30	7800	19173	8,09E+13	6,64E+05	0,407	4,219E+09	2,802E+15	3,463E+01	1,218E+08
450	198	33	92	C30	7900	19032	8,24E+13	6,33E+05	0,415	4,330E+09	2,741E+15	3,326E+01	1,302E+08
450	198	39	104	C24	7900	19049	8,32E+13	6,62E+05	0,415	4,368E+09	2,891E+15	3,475E+01	1,257E+08
450	198	45	116	C18	7900	19658	8,20E+13	6,91E+05	0,402	4,171E+09	2,882E+15	3,515E+01	1,187E+08
450	198	39	104	C30	8000	20488	8,58E+13	6,62E+05	0,390	4,188E+09	2,772E+15	3,231E+01	1,296E+08
450	198	45	116	C24	8000	20506	8,67E+13	6,91E+05	0,390	4,228E+09	2,922E+15	3,370E+01	1,255E+08
450	198	45	116	C30	8000	21703	8,90E+13	6,91E+05	0,369	4,101E+09	2,834E+15	3,184E+01	1,288E+08
450	148	57	40	C18	8100	19884	8,69E+13	6,28E+05	0,407	4,370E+09	2,745E+15	3,158E+01	1,384E+08
450	148	57	40	C24	8100	20576	9,03E+13	6,28E+05	0,394	4,389E+09	2,756E+15	3,052E+01	1,438E+08
450	148	57	40	C30	8100	21223	9,20E+13	6,28E+05	0,382	4,335E+09	2,722E+15	2,959E+01	1,465E+08
450	148	63	52	C18	8100	21119	8,98E+13	6,57E+05	0,384	4,252E+09	2,794E+15	3,111E+01	1,367E+08
450	148	63	52	C24	8200	22076	9,27E+13	6,57E+05	0,371	4,199E+09	2,759E+15	2,976E+01	1,411E+08
450	148	63	52	C30	8200	22730	9,42E+13	6,57E+05	0,361	4,144E+09	2,723E+15	2,890E+01	1,434E+08
450	148	69	64	C18	8200	22626	9,24E+13	6,86E+05	0,362	4,084E+09	2,801E+15	3,032E+01	1,347E+08
450	148	69	64	C24	8200	23321	9,49E+13	6,86E+05	0,352	4,069E+09	2,792E+15	2,942E+01	1,383E+08
450	148	69	64	C30	8200	23976	9,62E+13	6,86E+05	0,342	4,012E+09	2,752E+15	2,861E+01	1,402E+08
450	148	75	76	C18	8200	23871	9,48E+13	7,15E+05	0,344	3,971E+09	2,840E+15	2,995E+01	1,326E+08
450	148	75	76	C24	8200	24567	9,70E+13	7,15E+05	0,334	3,948E+09	2,823E+15	2,910E+01	1,357E+08
450	148	75	76	C30	8200	25222	9,81E+13	7,15E+05	0,325	3,889E+09	2,781E+15	2,835E+01	1,372E+08
500	223	27	80	C18	8300	18114	9,76E+13	6,64E+05	0,458	5,388E+09	3,578E+15	3,666E+01	1,470E+08
500	198	27	30	C18	8400	17064	9,72E+13	6,04E+05	0,492	5,696E+09	3,441E+15	3,540E+01	1,609E+08
500	198	33	42	C18	8500	18558	1,03E+14	6,33E+05	0,458	5,550E+09	3,513E+15	3,411E+01	1,627E+08
500	223	27	80	C24	8500	19907	1,08E+14	6,64E+05	0,427	5,425E+09	3,602E+15	3,336E+01	1,627E+08
500	223	33	92	C18	8500	19841	1,04E+14	6,93E+05	0,428	5,242E+09	3,632E+15	3,493E+01	1,501E+08
500	198	27	30	C24	8600	18114	1,07E+14	6,04E+05	0,475	5,907E+09	3,568E+15	3,334E+01	1,772E+08
500	198	27	30	C30	8600	19401	1,12E+14	6,04E+05	0,443	5,773E+09	3,487E+15	3,113E+01	1,854E+08
500	198	33	42	C24	8600	19420	1,12E+14	6,33E+05	0,443	5,767E+09	3,651E+15	3,260E+01	1,769E+08
500	198	39	54	C18	8600	20083	1,08E+14	6,62E+05	0,428	5,378E+09	3,560E+15	3,296E+01	1,631E+08
500	223	27	80	C30	8600	21128	1,12E+14	6,64E+05	0,407	5,301E+09	3,520E+15	3,143E+01	1,687E+08
500	223	33	92	C24	8600	21448	1,13E+14	6,93E+05	0,401	5,269E+09	3,651E+15	3,231E+01	1,631E+08

500	223	39	104 C18	<b>8600</b>	21381	1,09E+14	7,22E+05	<b>0,402</b>	5,098E+09	3,681E+15	3,377E+01	1,510E+08
500	198	33	42 C30	<b>8700</b>	20949	1,16E+14	6,33E+05	<b>0,415</b>	5,537E+09	3,505E+15	3,022E+01	1,833E+08
500	198	39	54 C24	<b>8700</b>	20968	1,16E+14	6,62E+05	<b>0,415</b>	5,532E+09	3,662E+15	3,157E+01	1,752E+08
500	198	45	66 C18	<b>8700</b>	21638	1,13E+14	6,91E+05	<b>0,402</b>	5,222E+09	3,609E+15	3,193E+01	1,635E+08
500	223	33	92 C30	<b>8700</b>	22696	1,17E+14	6,93E+05	<b>0,383</b>	5,155E+09	3,572E+15	3,053E+01	1,688E+08
500	198	51	78 C18	<b>8700</b>	22960	1,18E+14	7,19E+05	<b>0,379</b>	5,139E+09	3,695E+15	3,132E+01	1,641E+08
500	223	39	104 C24	<b>8700</b>	23019	1,17E+14	7,22E+05	<b>0,378</b>	5,083E+09	3,670E+15	3,137E+01	1,620E+08
500	223	45	116 C18	<b>8700</b>	22951	1,15E+14	7,51E+05	<b>0,379</b>	5,011E+09	3,763E+15	3,272E+01	1,531E+08
500	223	51	128 C18	<b>8700</b>	24273	1,20E+14	7,80E+05	<b>0,358</b>	4,944E+09	3,856E+15	3,213E+01	1,538E+08
500	198	39	54 C30	<b>8800</b>	22526	1,20E+14	6,62E+05	<b>0,391</b>	5,327E+09	3,527E+15	2,939E+01	1,813E+08
500	198	45	66 C24	<b>8800</b>	22546	1,21E+14	6,91E+05	<b>0,390</b>	5,367E+09	3,708E+15	3,065E+01	1,751E+08
500	198	45	66 C30	<b>8800</b>	23863	1,24E+14	6,91E+05	<b>0,369</b>	5,196E+09	3,591E+15	2,896E+01	1,795E+08
500	223	39	104 C30	<b>8800</b>	24293	1,22E+14	7,22E+05	<b>0,362</b>	5,022E+09	3,626E+15	2,972E+01	1,690E+08
500	198	57	90 C18	<b>8800</b>	24560	1,23E+14	7,48E+05	<b>0,358</b>	5,008E+09	3,746E+15	3,046E+01	1,644E+08
500	223	45	116 C24	<b>8800</b>	24620	1,22E+14	7,51E+05	<b>0,357</b>	4,955E+09	3,721E+15	3,050E+01	1,625E+08
500	223	45	116 C30	<b>8800</b>	25630	1,26E+14	7,51E+05	<b>0,343</b>	4,916E+09	3,692E+15	2,930E+01	1,678E+08
500	198	51	78 C24	<b>8900</b>	24154	1,25E+14	7,19E+05	<b>0,368</b>	5,175E+09	3,721E+15	2,977E+01	1,739E+08
500	198	51	78 C30	<b>8900</b>	25486	1,28E+14	7,19E+05	<b>0,349</b>	5,022E+09	3,611E+15	2,821E+01	1,780E+08
500	198	57	90 C24	<b>8900</b>	25506	1,29E+14	7,48E+05	<b>0,349</b>	5,058E+09	3,783E+15	2,933E+01	1,725E+08
500	198	57	90 C30	<b>8900</b>	26838	1,32E+14	7,48E+05	<b>0,332</b>	4,918E+09	3,679E+15	2,787E+01	1,765E+08
500	198	63	102 C18	<b>8900</b>	26192	1,27E+14	7,77E+05	<b>0,340</b>	4,849E+09	3,768E+15	2,967E+01	1,634E+08
500	223	51	128 C24	<b>8900</b>	26252	1,26E+14	7,80E+05	<b>0,339</b>	4,800E+09	3,744E+15	2,971E+01	1,615E+08
500	223	51	128 C30	<b>8900</b>	27273	1,30E+14	7,80E+05	<b>0,326</b>	4,767E+09	3,718E+15	2,860E+01	1,667E+08
500	198	69	114 C18	<b>8900</b>	27544	1,31E+14	8,06E+05	<b>0,323</b>	4,756E+09	3,833E+15	2,926E+01	1,625E+08
500	198	63	102 C24	<b>9000</b>	27159	1,32E+14	7,77E+05	<b>0,331</b>	4,860E+09	3,776E+15	2,861E+01	1,699E+08
500	198	63	102 C30	<b>9000</b>	28507	1,35E+14	7,77E+05	<b>0,316</b>	4,736E+09	3,680E+15	2,726E+01	1,737E+08
500	198	69	114 C24	<b>9000</b>	28527	1,36E+14	8,06E+05	<b>0,315</b>	4,767E+09	3,843E+15	2,825E+01	1,687E+08
500	198	69	114 C30	<b>9000</b>	29874	1,38E+14	8,06E+05	<b>0,301</b>	4,619E+09	3,723E+15	2,698E+01	1,712E+08
500	198	63	102 C30	<b>9030</b>	28602	1,35E+14	7,77E+05	<b>0,316</b>	4,720E+09	3,667E+15	2,717E+01	1,737E+08
500	198	69	114 C30	<b>9070</b>	30106	1,38E+14	8,06E+05	<b>0,301</b>	4,584E+09	3,695E+15	2,677E+01	1,712E+08
450	198	51		<b>FOR STOR LIMFUGE</b>								

H-mål	Konfigurasjon				Spennlengde	Pris	EI	A	L/kr	EI/kr	EIA/kr	A/kr	EI/A
	Bordhøyde	Platetykkelse	Fugehøyde	Kvalitet									
500	223	27	80	C18	8300	18114	9,76E+13	6,64E+05	0,458	5,388E+09	3,578E+15	3,666E+01	1,470E+08
500	198	27	30	C18	8400	17064	9,72E+13	6,04E+05	0,492	5,696E+09	3,441E+15	3,540E+01	1,609E+08
500	198	33	42	C18	8500	18558	1,03E+14	6,33E+05	0,458	5,550E+09	3,513E+15	3,411E+01	1,627E+08
500	223	27	80	C24	8500	19907	1,08E+14	6,64E+05	0,427	5,425E+09	3,602E+15	3,336E+01	1,627E+08
500	223	33	92	C18	8500	19841	1,04E+14	6,93E+05	0,428	5,242E+09	3,632E+15	3,493E+01	1,501E+08
500	198	27	30	C24	8600	18114	1,07E+14	6,04E+05	0,475	5,907E+09	3,568E+15	3,334E+01	1,772E+08
500	198	27	30	C30	8600	19401	1,12E+14	6,04E+05	0,443	5,773E+09	3,487E+15	3,113E+01	1,854E+08
500	198	33	42	C24	8600	19420	1,12E+14	6,33E+05	0,443	5,767E+09	3,651E+15	3,260E+01	1,769E+08
500	198	39	54	C18	8600	20083	1,08E+14	6,62E+05	0,428	5,378E+09	3,560E+15	3,296E+01	1,631E+08
500	223	27	80	C30	8600	21128	1,12E+14	6,64E+05	0,407	5,301E+09	3,520E+15	3,143E+01	1,687E+08
500	223	33	92	C24	8600	21448	1,13E+14	6,93E+05	0,401	5,269E+09	3,651E+15	3,231E+01	1,631E+08
500	223	39	104	C18	8600	21381	1,09E+14	7,22E+05	0,402	5,098E+09	3,681E+15	3,377E+01	1,510E+08
500	198	33	42	C30	8700	20949	1,16E+14	6,33E+05	0,415	5,537E+09	3,505E+15	3,022E+01	1,833E+08
500	198	39	54	C24	8700	20968	1,16E+14	6,62E+05	0,415	5,532E+09	3,662E+15	3,157E+01	1,752E+08
500	198	45	66	C18	8700	21638	1,13E+14	6,91E+05	0,402	5,222E+09	3,609E+15	3,193E+01	1,635E+08
500	223	33	92	C30	8700	22696	1,17E+14	6,93E+05	0,383	5,155E+09	3,572E+15	3,053E+01	1,688E+08
500	198	51	78	C18	8700	22960	1,18E+14	7,19E+05	0,379	5,139E+09	3,695E+15	3,132E+01	1,641E+08
500	223	39	104	C24	8700	23019	1,17E+14	7,22E+05	0,378	5,083E+09	3,670E+15	3,137E+01	1,620E+08
500	223	45	116	C18	8700	22951	1,15E+14	7,51E+05	0,379	5,011E+09	3,763E+15	3,272E+01	1,531E+08
500	223	51	128	C18	8700	24273	1,20E+14	7,80E+05	0,358	4,944E+09	3,856E+15	3,213E+01	1,538E+08
500	198	39	54	C30	8800	22526	1,20E+14	6,62E+05	0,391	5,327E+09	3,527E+15	2,939E+01	1,813E+08
500	198	45	66	C24	8800	22546	1,21E+14	6,91E+05	0,390	5,367E+09	3,708E+15	3,065E+01	1,751E+08
500	198	45	66	C30	8800	23863	1,24E+14	6,91E+05	0,369	5,196E+09	3,591E+15	2,896E+01	1,795E+08
500	223	39	104	C30	8800	24293	1,22E+14	7,22E+05	0,362	5,022E+09	3,626E+15	2,972E+01	1,690E+08
500	198	57	90	C18	8800	24560	1,23E+14	7,48E+05	0,358	5,008E+09	3,746E+15	3,046E+01	1,644E+08
500	223	45	116	C24	8800	24620	1,22E+14	7,51E+05	0,357	4,955E+09	3,721E+15	3,050E+01	1,625E+08
500	223	45	116	C30	8800	25630	1,26E+14	7,51E+05	0,343	4,916E+09	3,692E+15	2,930E+01	1,678E+08
500	198	51	78	C24	8900	24154	1,25E+14	7,19E+05	0,368	5,175E+09	3,721E+15	2,977E+01	1,739E+08
500	198	51	78	C30	8900	25486	1,28E+14	7,19E+05	0,349	5,022E+09	3,611E+15	2,821E+01	1,780E+08
500	198	57	90	C24	8900	25506	1,29E+14	7,48E+05	0,349	5,058E+09	3,783E+15	2,933E+01	1,725E+08
500	198	57	90	C30	8900	26838	1,32E+14	7,48E+05	0,332	4,918E+09	3,679E+15	2,787E+01	1,765E+08
500	198	63	102	C18	8900	26192	1,27E+14	7,77E+05	0,340	4,849E+09	3,768E+15	2,967E+01	1,634E+08
500	223	51	128	C24	8900	26252	1,26E+14	7,80E+05	0,339	4,800E+09	3,744E+15	2,971E+01	1,615E+08
500	223	51	128	C30	8900	27273	1,30E+14	7,80E+05	0,326	4,767E+09	3,718E+15	2,860E+01	1,667E+08
500	198	69	114	C18	8900	27544	1,31E+14	8,06E+05	0,323	4,756E+09	3,833E+15	2,926E+01	1,625E+08
500	198	63	102	C24	9000	27159	1,32E+14	7,77E+05	0,331	4,860E+09	3,776E+15	2,861E+01	1,699E+08
500	198	63	102	C30	9000	28507	1,35E+14	7,77E+05	0,316	4,736E+09	3,680E+15	2,726E+01	1,737E+08
500	198	69	114	C24	9000	28527	1,36E+14	8,06E+05	0,315	4,767E+09	3,843E+15	2,825E+01	1,687E+08

500	198	69	114 C30	<b>9000</b>	29874	1,38E+14	8,06E+05	<b>0,301</b>	4,619E+09	3,723E+15	2,698E+01	1,712E+08
500	198	63	102 C30	<b>9030</b>	28602	1,35E+14	7,77E+05	<b>0,316</b>	4,720E+09	3,667E+15	2,717E+01	1,737E+08
500	198	69	114 C30	<b>9070</b>	30106	1,38E+14	8,06E+05	<b>0,301</b>	4,584E+09	3,695E+15	2,677E+01	1,712E+08
450	198	51		<b>FOR STOR LIMFUGE</b>								

*Vedlegg F*

***Numerisk beregning:  
Kommandoliste og  
diskusjon***



TESTMODELL: SOLID187 elementstørrelse 40 mm

/PREP7	
/UNITS, SI	
ET, 1, 187	For C24
MP, EX, 1, 3.7e8	C24: Normalt på fiber
MP, EY, 1, 3.7e8	C24: Normalt på fiber
MP, EZ, 1, 1.1e10	C24: Lengderetning
MP, GXY, 1, 6.5e8	
MP, GYZ, 1, 6.5e7	
MP, GXZ, 1, 6.5e7	
MP, PRXY, 1, 0.0034	
MP, PRYZ, 1, 0.0034	Opprinnelig 0.0034
MP, PRXZ, 1, 0.0034	
ET, 2, 187	For LVL
MP, EX, 2, 3e9	LVL: edgewise
MP, EY, 2, 2.5e9	LVL: Flatwise
MP, EZ, 2, 1.4e10	LVL: Lengderetning
MP, GXY, 2, 1.5e8	
MP, GYZ, 2, 1.5e8	
MP, GXZ, 2, 6.0e8	
MP, PRXY, 2, 0.0034	
MP, PRYZ, 2, 0.0034	
MP, PRXZ, 2, 0.0034	
BLC4, 0, 0.027, 0.024, 0.148	
BLC4, 0.024, 0.105, 0.048, 0.148	0.105 tiliser 70 mm overlapp
BLC4, 0.072, 0.027, 0.048, 0.148	
AGEN, 2, 2, 3, 1, 0.096, 0, 0	
BLC4, 0.216, 0.105, 0.048, 0.148	
BLC4, 0.264, 0.027, 0.024, 0.148	
AADD, ALL	Kjerne: A8
BLC4, 0, 0, 0.288, 0.027	Bunnplate: A1
BLC4, 0, 0.253, 0.288, 0.027	Topplate: A2

K, 200, 0,0,0	
K, 201, 0,0,5	5 m langt element
L, 200, 201	Styringslinje: L20
VDRAG, 1, 2, 8, , , , 20	
VGLUE, ALL	
ALLSEL	
VSEL, S, VOLU,,4,5,1	
VPLOT	
VATT, 2, 2, 2	
ALLSEL	
VPLOT	
VSEL, S, VOLU, , 6	
VPLOT	
VATT, 1, 1, 1	
ALLSEL	
VPLOT	
ESIZE, 0.04	
VMESH, ALL	
	OPPLAGER
NSEL, S, LOC, Y, 0	
NPLOT	
NSEL, R, LOC, Z, 0, 0.15	150 mm frå endene
D, ALL, ALL	
ALLSEL	
NPLOT	
NSEL, S, LOC, Y, 0	
NPLOT	
NSEL, R, LOC, Z, 4.85, 5	150 mm
NPLOT	
D, ALL, UY	
ALLSEL	
NPLOT	
	LASTER
	EGENLAST
	58711 noder skal samla bære 1278,2 N
F, ALL, FY, -0.0218	
ALLSEL	
NPLOT	
NSEL, S, LOC, Y, 0.28	Påført last
NSEL, R, LOC, Z, 2.485, 2.515	
NSEL, U, LOC, X, 0, 0.024	

NSEL, U, LOC, X, 0.072, 0.120	
NSEL, U, LOC, X, 0.168, 0.216	
NSEL, U, LOC, X, 0.264, 0.288	
F, ALL, FY, -769.2	10 kN på 13 noder
ALLSEL	
NPLOT	
EPLOT	
ALLSEL	
	SOLUTION → SOLVE

# ANSYS

## Introduksjon

Som en kontroll av de analytiske beregningene og forsøkene på lab, er det ønskelig å gjøre en numerisk beregning for å kunne sammenligne resultatene. Det søkes da å finne nedbøyning midt på testelementet.

For å finne svar på dette har elementet blitt analysert med elementmetoden. Dataverktøyet ANSYS Mechanical APDL 17.2 ble brukt, og en «standard prosedyre» på åtte trinn er fulgt.

Videre er det gitt inngangsverdier og grunnlagt valgene for disse.

### *Trinn 1: Oppsett av dataprogram*

Analysetyperen er ved å huke av «Structural» valgt at det skal gjøres en statisk, strukturell analyse av modellen.

Det legger ellers til at det skal brukes SI-enheter i beregningene.

### *Trinn 2: Definere basisdata*

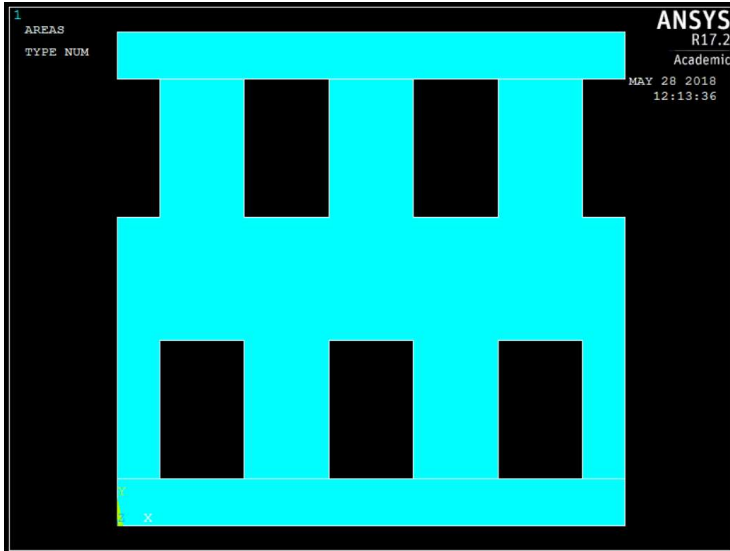
Det er valgt å bruke basiselementet SOLID187. Dette er et 3D-element med 10-noder. Nodene har tre frihetsgrader. Elementet er passende for konstruksjoner med uregelmessig elementnett. Problematisk område: Kan i enkelte tilfeller være noe stivere enn realistisk, slik at mindre deformasjoner vises. Det ville slik sett vært bedre å bruke basiselementet BEAM188, som gir mer nøyaktige deformasjonsberegninger, men da måtte man beregne og lagt inn tverrsnittsdata selv siden et tverrsnitt av denne typen ikke er integrert i programmet. Noe av poenget med analysen er nettopp å sjekke hvordan elementets stivhet blir ved numeriske beregninger. SOLID186 kunne også vært brukt, dette er fint for regulær geometri, som er her, og man har mulighet til å plassere nodene på eksakt ønskede lokasjoner, men det er ikke så stort poeng i denne omgang egentlig – og for at alle mål skal gå opp i elementstørrelsen må man bruke 1 mm elementer, noe som gav veldig lang beregningstid.

Videre i dette trinnet er materialeegenskapene bestemt. Det er da lagt inn E-modul, G-modul og tverrkontraksjon for begge materialene i tre forskjellige retninger. E- og G-modulene er hentet fra datablad og standard for henholdsvis de to materialene, mens for tverrkontraksjon er det bare lagt inn en verdi. For trematerialer vil denne neppe være særlig høy uansett, iogmed treverk består av en

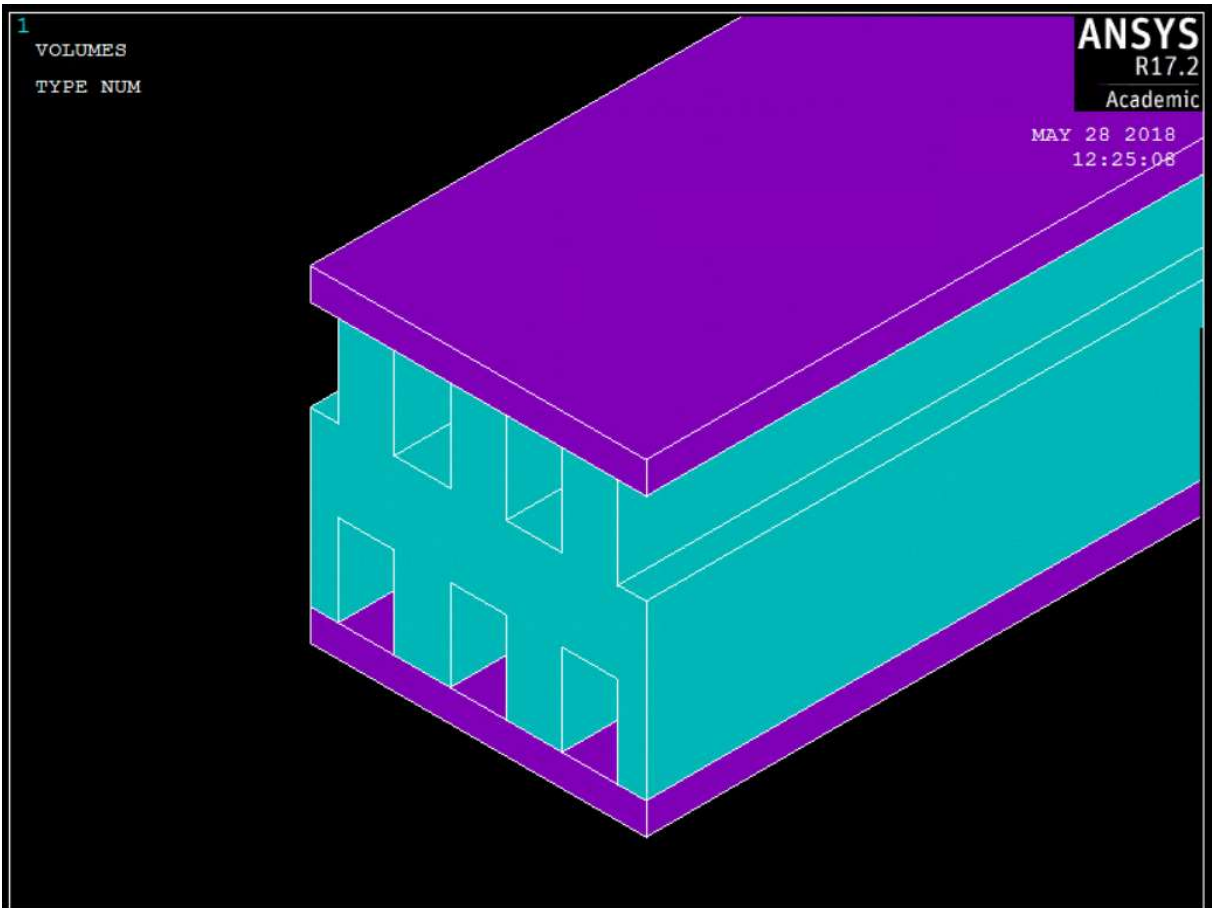
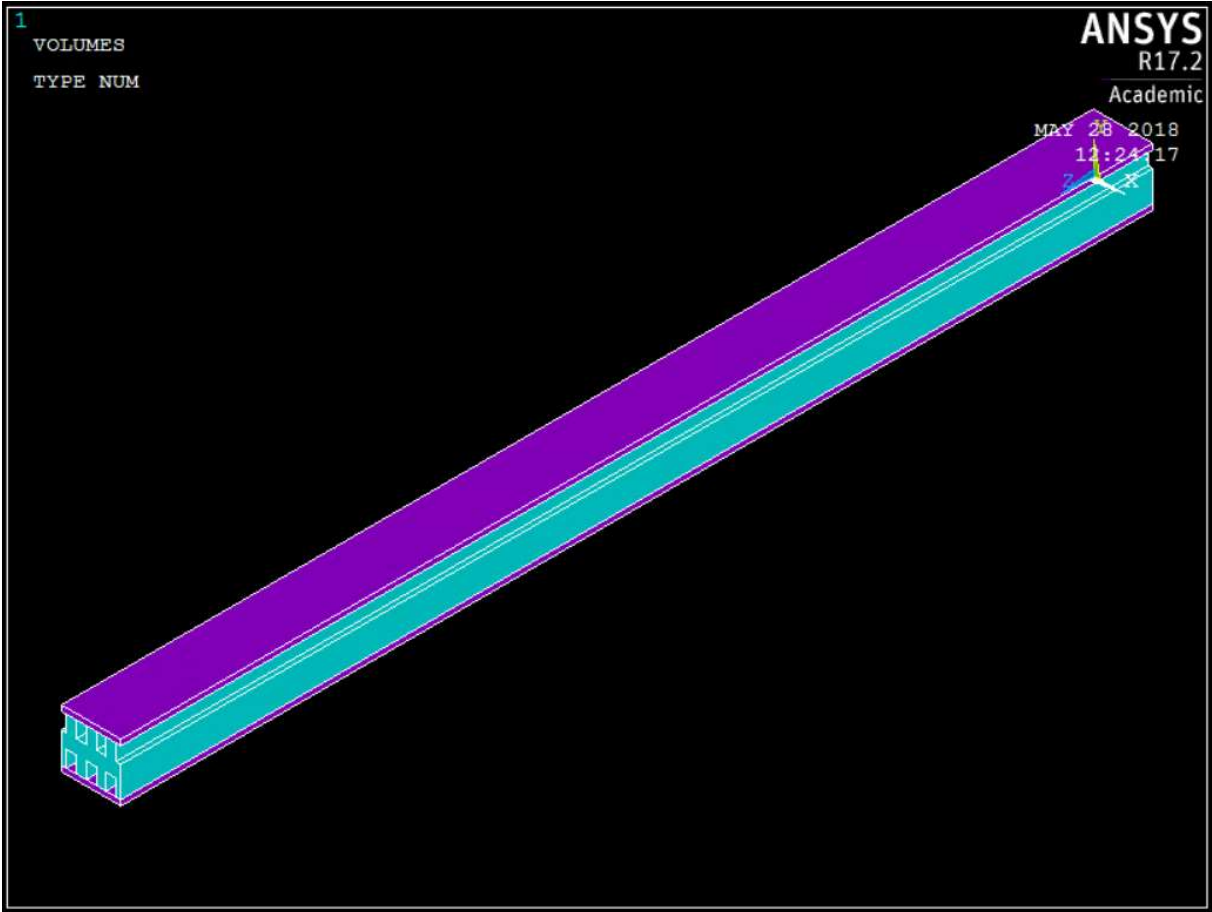
del tomrom som har mulighet til å presses sammen. Det ble uansett gjort en test med to verdier, 0,0034 og 0,000000000000000034, forskjellen i nedbøyning var 0,2 prosent.

### Trinn 3: Modellering

I figur k er det vist et utklipp fra modellert tverrsnitt i elementet

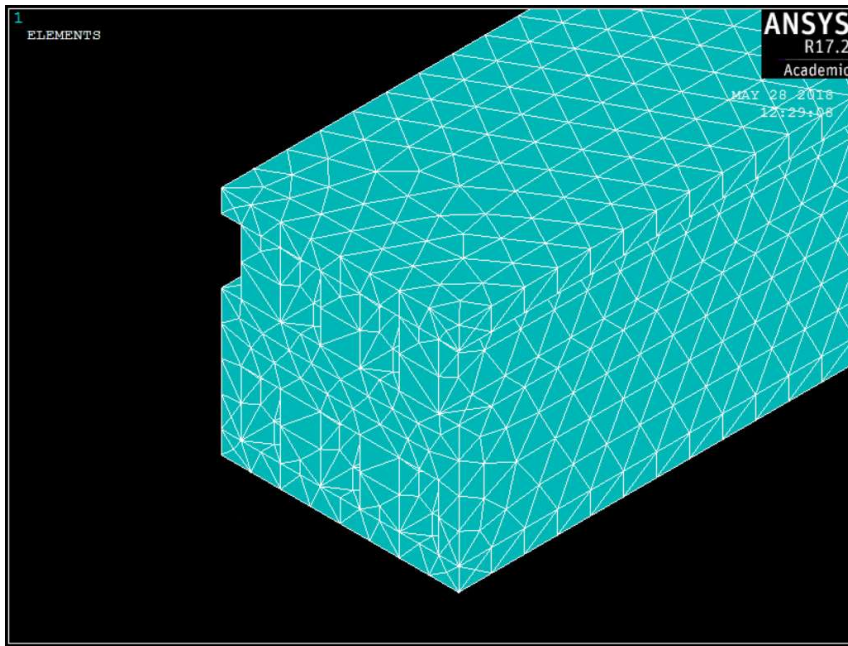


Det er i denne sammen modellert hele kjernens tverrsnitt i et areal. Dette betyr at limfugene ikke tas hensyn til på annen måte enn at de oppfører seg eksakt likt som trevirket. Flensene er to andre arealer, for å kunne skille mellom materialdataene.

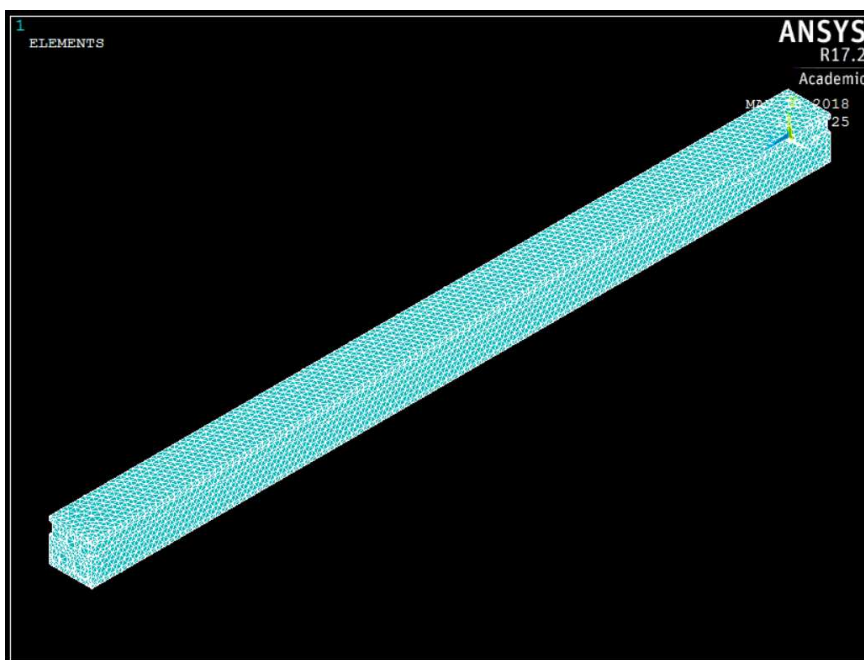


#### Trinn 4: Nettverksgenerering

Det er ikke valgt å forfine elementnettet noe sted, siden geometri som krever dette er ganske tett plassert uansett. Det er gjort noen forsøk med ulike elementnettstørrelser, 20 mm til 50 mm, men dette er også i størrelses orden 0,2 prosent forskjell på nedbøyning. I beregningstid var det derimot stor forskjell. Det ble valgt å benytte et elementnett på 40 mm. Dette vil si at lengste avstand i et element er 40 mm. Nettverket er vist i figurene:

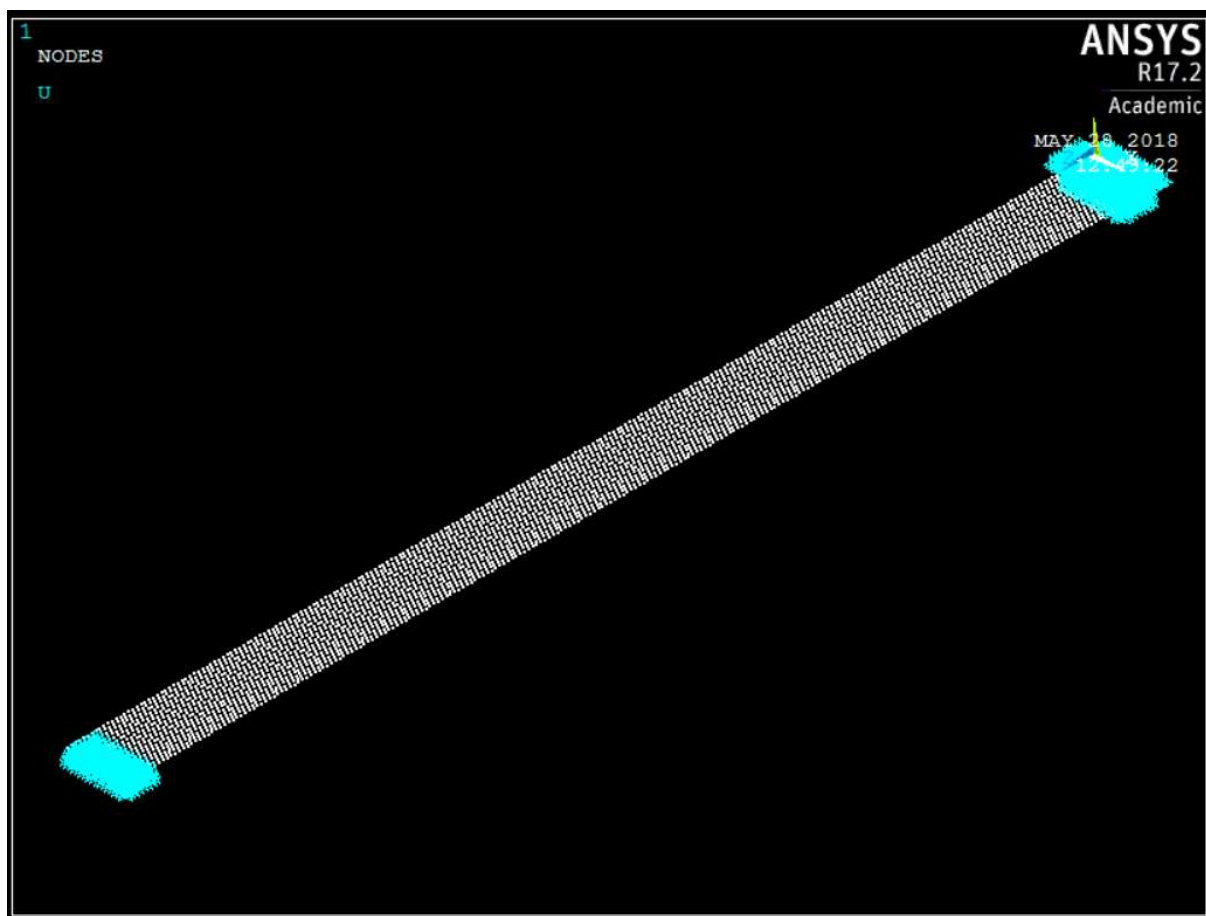


#### Fint og regulært nettverk



### Trinn 5: Grensebetingelser

Opplager gjøres ved å holde fast noder i nedre flate. Elementet lå under testen på betongklosser som var 15 cm dype, og samme størrelse innover bjelken settes i ansys. En forskjell er at i ansys settes alle noder til å være helt fast. På testen kunne de ytre vippe opp, men det skal nok uansett mye til og i tillegg vil nok kanten på betongen trykke seg inn i trematerialet. Man klarer ikke simulere virkeligheten helt nøyaktig, men det anses at det med disse opplagrene er så nær man kommer. Verifisering er vist i figurene:

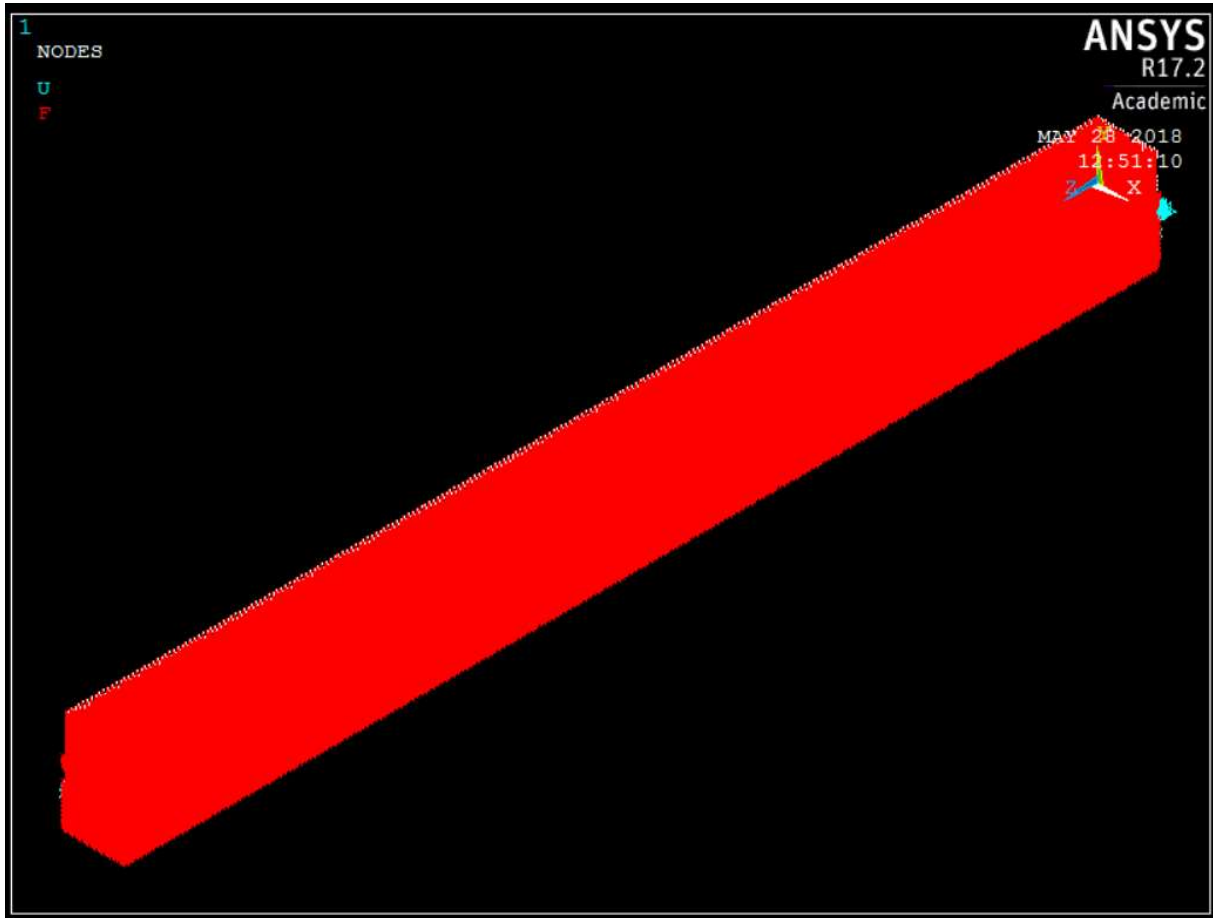


I ene enden er opplagrene hold fast i alle tre retninger, mens nærmest holdes nodene bare fast i vertikalretningen.



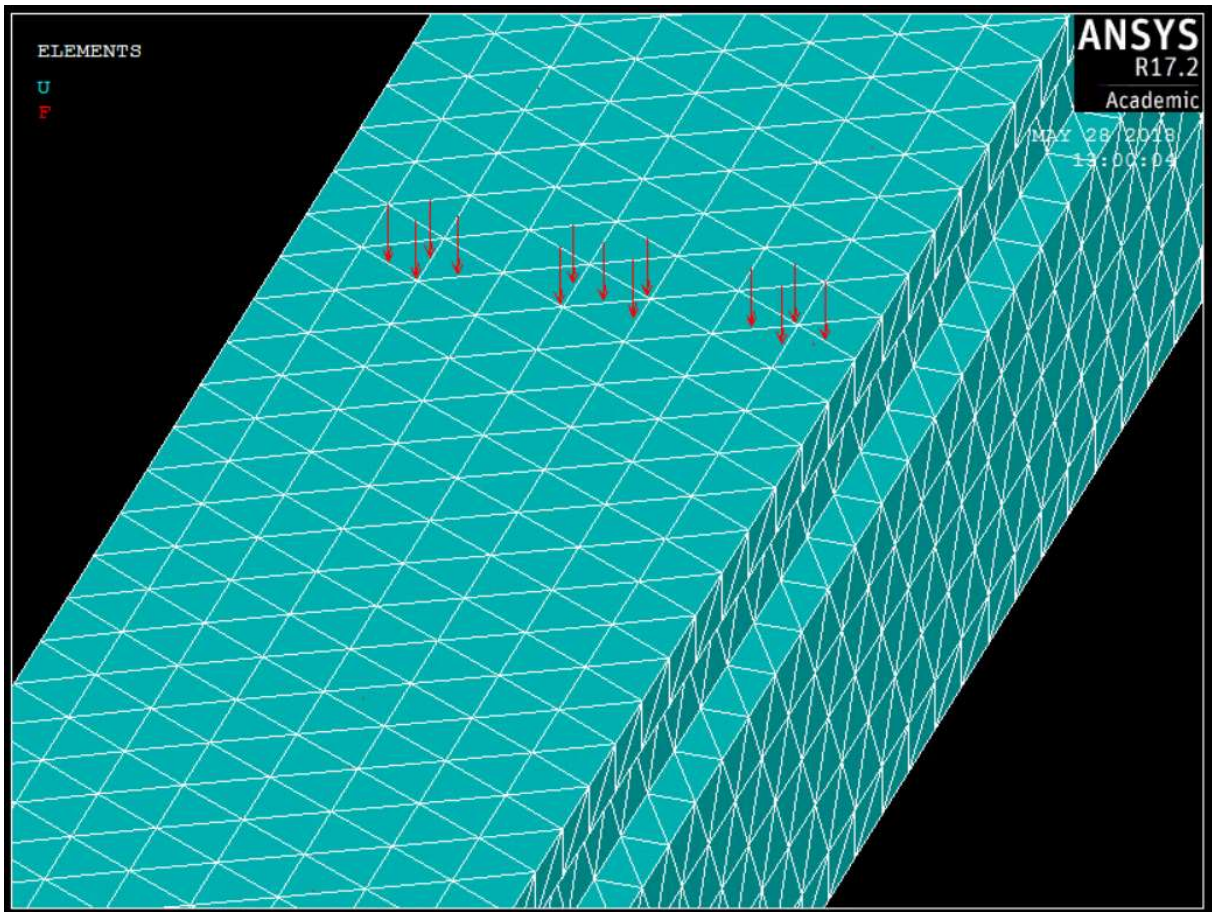
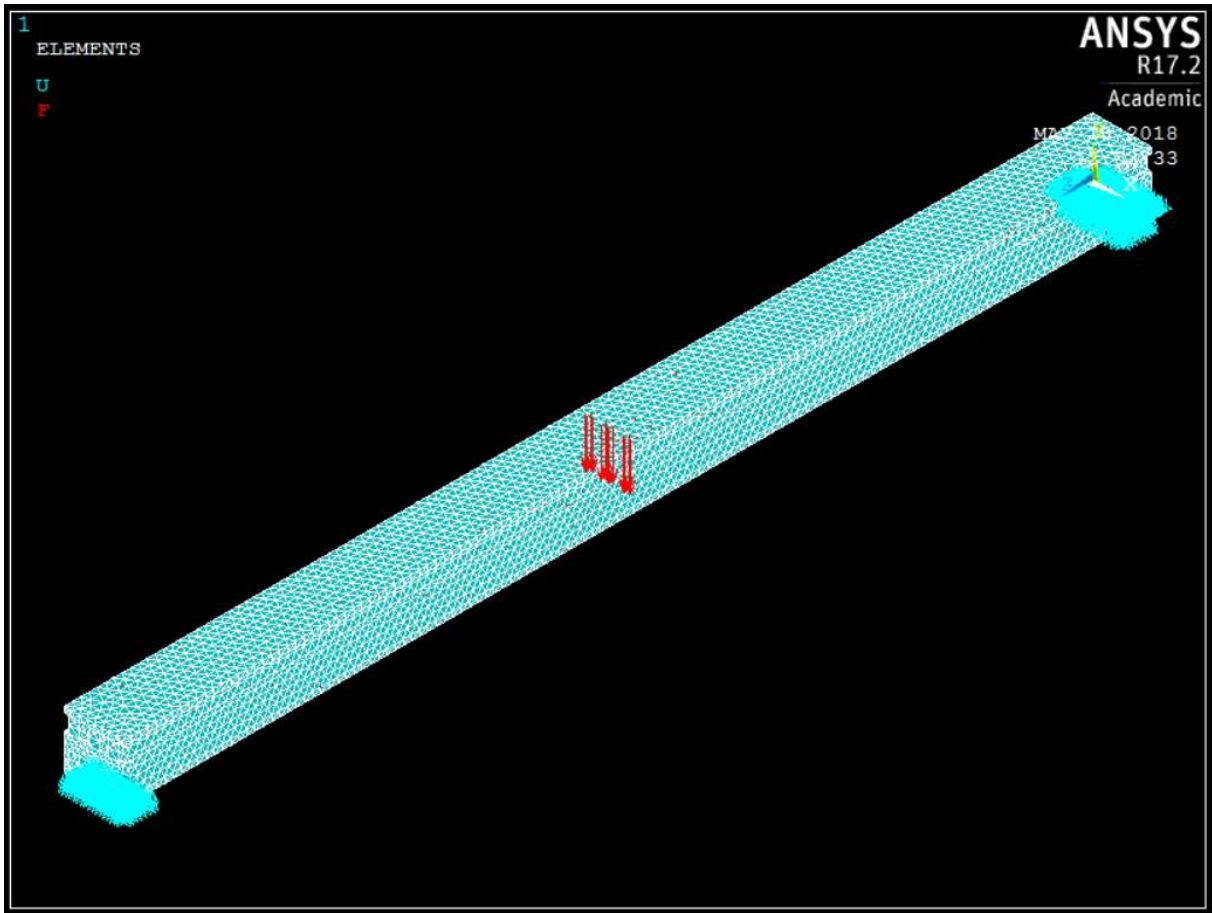
## Trinn 6: Laster

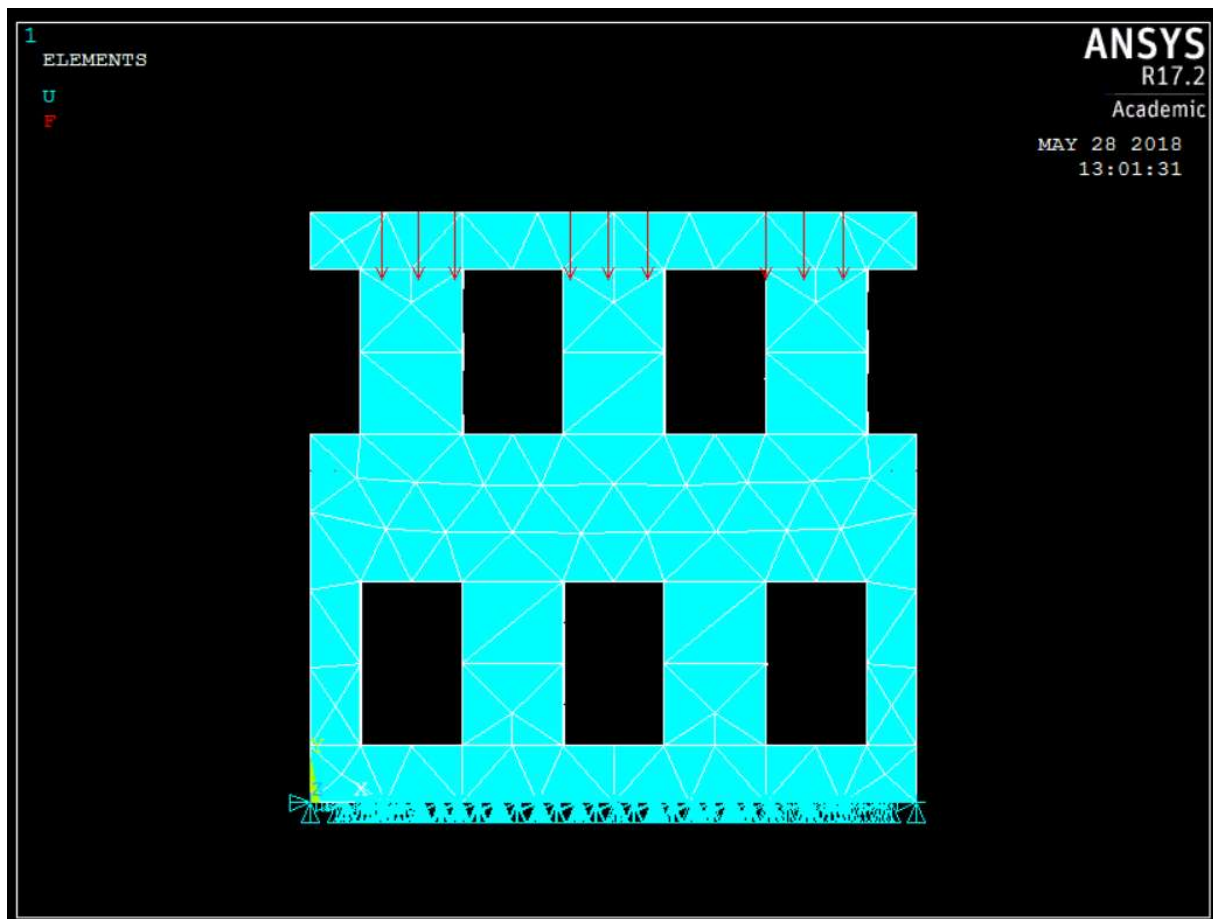
Egenlast. Størrelse er hentet ut fra dimensjoneringen i Excel, og denne er fordelt på alle nodene.



«punktlasten» er lagt på elementet på midten, slik som under testen. Bredden lasten settes på er satt til 30 mm. Rullen på testmaskinen var 40, men så var denne avrundet, slik at ikke hele flaten presset. Det bør presiseres at det ikke er tett nok med noder til at listen for fordeler seg på mange nok. Det skal sies at det ble prøvd med sterkt overdreven bredde også, 60 cm, men det gav omtrent samme utslag.

Her er 10 kN fordelt på 13 noder.





Lastene er kun lagt over bordene, slik at lasten skal gå direkte i materialet som har stor stivhet. Faren med å legge lasten på platen i «luften» er at platen kan bøye seg ned mellom bjelkene, noe som ikke vil skje ved en slik belastning i virkeligheten, da vil linjelasten ligge igjen oppå bordene. Dette vil vise en falsk deformasjon.

Det ble teste ut, og var liten forskjell, men det vakt å gjøre det slik likevel, siden det er mest korrekt sett ut fra et simuleringsstådsted.

Trinn 7: Ligningsløsning

Trinn 8: Resultat

1

DISPLACEMENT

STEP=1

SUB =1

TIME=1

DMX =.008676

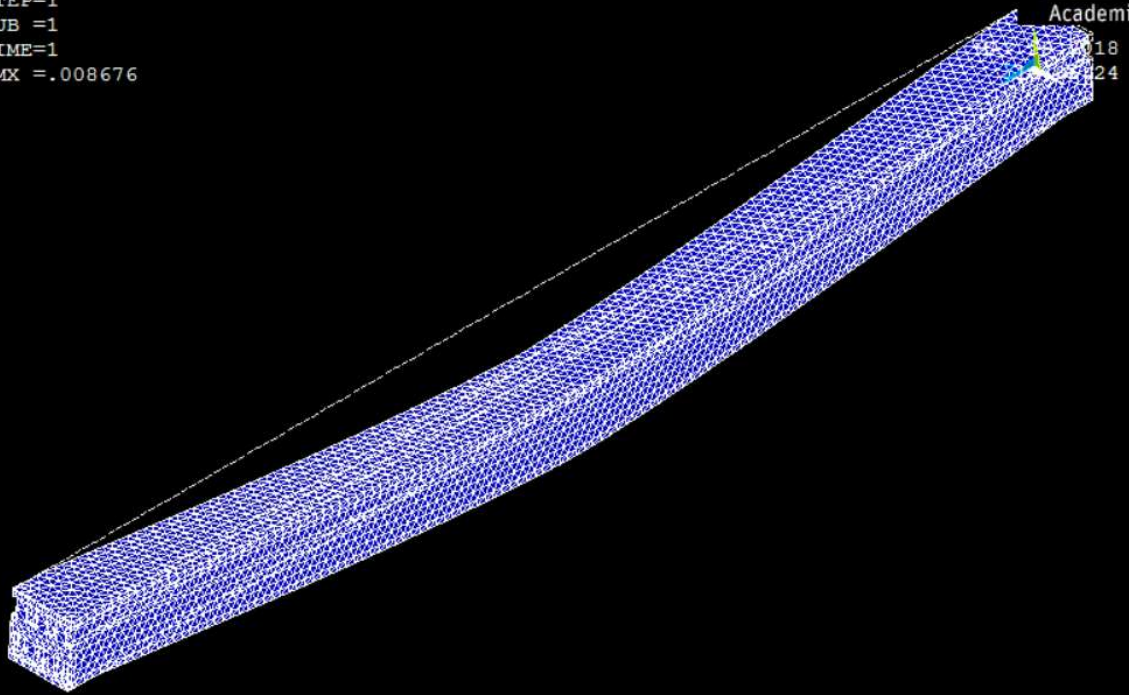
ANSYS

R17.2

Academic

18

24



1

DISPLACEMENT

STEP=1

SUB =1

TIME=1

DMX =.008676

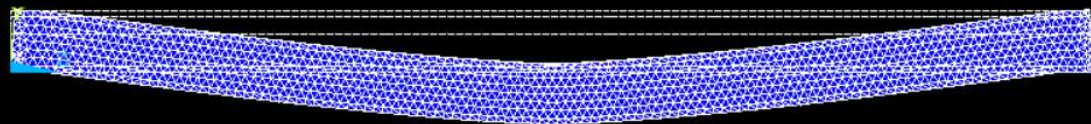
ANSYS

R17.2

Academic

MAY 28 2018

13:06:58

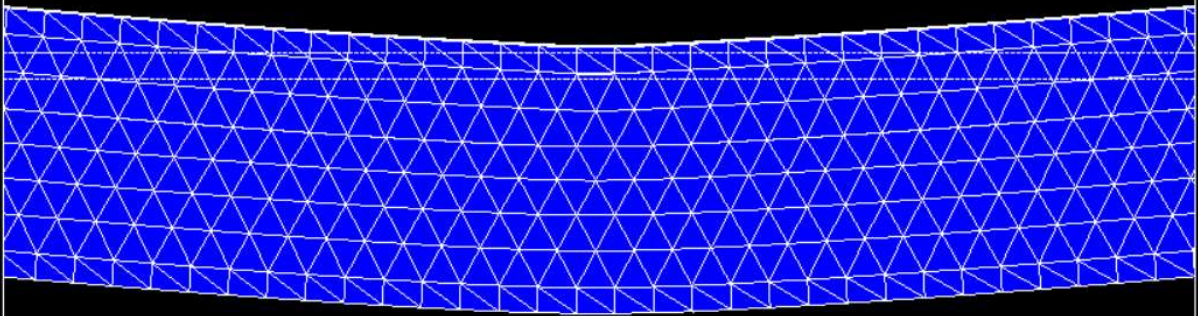


1

DISPLACEMENT  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
DMX =.008676

**ANSYS**  
R17.2  
Academic

MAY 28 2018  
13:07:48

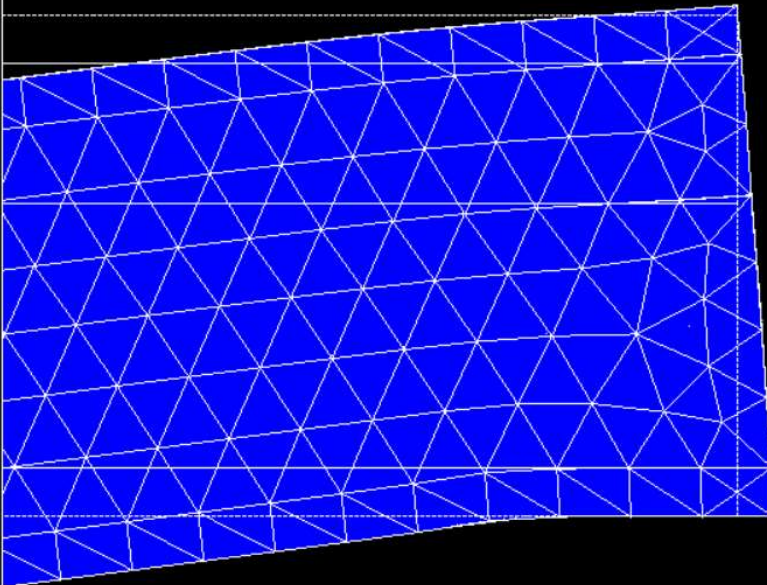


1

DISPLACEMENT  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
DMX =.008676

**ANSYS**  
R17.2  
Academic

MAY 28 2018  
13:08:27



1  
DISPLACEMENT  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
DMX =.008676

**ANSYS**  
R17.2  
Academic  
MAY 28 2018  
13:09:05

