



Kunnskap for en bedre verden

Utvikle monteringsvennlig innfestningsløsning for veggelementer

Rania Al-Obaidy,
Selma Dizdarevic
Murtaza Kazemi

Bachelor i ingeniørfag - bygg
Innlevert: 20. mai 2019
Veileder: Jan Steinar Egenes

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk

Oppgavens tittel: Utvikle monteringsvennlig innfestningsløsning for veggelementer	Dato: 19.05.19		
	Antall sider: 96		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	X
Navn: Rania Al-Obaidy, Selma Dizdarevic, Murtaza Kazemi			
Veileder: Jan Steinar Egenes			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Landheim Gruppen v/Espen N. Pettersen			

Innledning:

Landheim Gruppen jobber med å ferdigprodusere bygningsdeler og elementer. Kunder har opplevd utfordringer med monteringen av deres prefabrikkerte veggelementer som har ført til et ønske om en standardisert løsning. Oppgaven går ut på å utvikle en standardisert og monteringsvennlig løsning av prefabrikkerte veggelementer.

Hensikt:

Utvikle en type innfestning av veggelement for Landheim Gruppen. Løsningen for innfestningen dimensjoneres for lastene veggelementet utsettes for.

Metode:

Utforming, elementanalyse, analytiske beregninger og laboratorieforsøk er metodene som er brukt for å komme frem til løsningen for innfestning av veggelement. Løsningen er utformet for å redusere monteringstiden ved at den er standardisert.

Resultat:

Resultatene av de anvendte metodene, altså styrke- og spenningsberegninger både for hånd og i dataprogram (ANSYS Workbench), og laboratoriums tester er beskrevet og forklart i rapporten. Videre ble konklusjonen tatt i betraktning av resultatene, basert på sluttproduktet, angående oppnåelsen av problemstillingen.

Konklusjon:

Konklusjonen, trukket ut ifra problemstillingen, er at den nye innfestningen stemmer med premissene og tilfredsstiller forventningene til oppdragsgiveren.

Stikkord:

Innfestning av veggelement
DAK-verktøy
Elementanalyse
Analytiske beregninger
Laboratorieforsøk





(sign.)

Abstract

Introduction:

Landheim Gruppen develop and produce construction elements. Customers have experienced challenges assembling the prefabricated elements. This has resulted in a demand of a standardized solution. The task is to develop a standardized, easy to assembly wall elements.

Purpose:

Develop a wall element joining for Landheim Gruppen. This solution is measured to withstand the elements own weight and the proposed wind load.

Method:

Shaping, element analysis, analytic calculations and laboratory experiments has been used to develop the finished product. The product is developed to reduce assembly time and thereby reduce costs by making it a standardized solution.

Result:

The results of the methods used, i.e. strength and stress calculations, and laboratory tests, are described and explained in this report. The conclusion is based on the finished product's ability to achieve the desired result for this particular problem.

Conclusion:

Based on the main issue the conclusion confirms the product corresponds to the premises and satisfies the expectations of the contracting authority.

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet våren 2019, og utgjør 20 studiepoeng. Det er et avsluttende arbeid i utdanningen til graden Bachelor i ingeniørfag bygg-konstruksjon ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Den omhandler prefabrikkerte veggelementer, noe som har blitt mer og mer populært med årene.

Problemstillingen til oppgaven er foreslått av vår samarbeidsbedrift, Landheim Gruppen, som vi vil rette en stor takk til. De har vært svært hjelpsomme ved å holde av tid til møter, svare på spørsmål, vise oss rundt i bedriften og stille til hjelp med materialer for laboratoriet testing.

En takk rettes også til veilederen Jan Steinar Egenes ved NTNU i Gjøvik som kom med forslag, innspill og anbefalinger under arbeidet med rapporten, i tillegg til å holde møter med andre bedrifter samt ukentlige gruppemøter når det har vært nødvendig. Ikke minst vil vi også takke vår tidligere faglærer Harald Berg Fallsen for innspill og stor hjelp med ideer og forslag til arbeidet med oppgaven, samt hjelp med beregninger og svar på spørsmål om veggelementer og mer. Vi vil også takke laboratorieansvarlig ved bygg-labben i NTNU Gjøvik Tor Kristoffer Klethagen for hjelp med gjennomføringen av forsøket.

Utførelsen av denne bacheloroppgaven har vært en svært lærerik opplevelse og gruppen sitter igjen med mye kunnskap innenfor et veldig aktuelt tema innen bygg-konstruksjon.

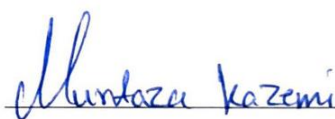
Gjøvik 19.05.2018



Rania Al-Obaidy



Selma Dizdarevic



Murtaza Kazemi

Definisjoner og ordforklaringer

- Bolt med stålkvalitet M-8.8: bruddfasthet og flytegrensen til stålmaterialet
- Mesh: nettverk av noder og element
- Node: knutepunkt i et datanett
- FEM: (Finite element method) elementmetode
- Svill: horisontale bærebjelker i et bindingsverk
- Trekvalitet C24: fasthetsklassen til trematerialet
- U-profil med stålkvalitet S355: fasthetsklassen til stålmaterialet
- Veggelement: prefabrikkert del av en vegg som monteres på byggeplass
- Motek treskrue: skruer som Landheim Gruppen benytter i mange av prosjektene sine

Medforfatterdeklarasjon for Bacheloroppgaven**Forfattere:**Student 1: Rania Al-ObaidyStudent 2: Selma DizdarevicStudent 3: Murtaza Kazemi**Tittel:** Utvikle monteringsvennlig innfestningsløsning for veggelementer**Bidrag:**

Delaktiviteter/deloppgave	Student 1	Student 2	Student 3
Planlegging	2	2	2
Teori	3	2	2
Gjennomføring	2	3	3
Analyse	2	2	3
Resultat	3	3	3
Konklusjon	3	3	3
Rapportskrivning	3	3	3

Tabellen fylles ut med delaktiviteter og størrelsen på bidraget fra den enkelt student angis med et tall mellom 0 og 4 etter følgende betydning:

- 0: Ingenting
- 1: Lite
- 2: En del
- 3: Mye
- 4: Alt

Det undertegnede studenter bekrefter herved at de har gjort følgende delaktiviteter på gjeldende bacheloroppgave.

Signatur studenter:

Rania Al-Obaidy Selma Dizdarevic Murtaza Kazemi
(sign.)

Innholdsfortegnelse

Abstract	v
Forord	vi
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn for prosjektet	1
1.2 Problemstilling.....	2
1.3 Andre studier	2
1.4 Avgrensninger	3
2 Teoretisk grunnlag.....	5
2.1 Variabeltabell.....	5
2.2 Grunnlag for valgt teori	6
2.3 Teori.....	7
2.3.1 Primær- og sekundærdata.....	7
2.3.2 Undersøkellesmetode.....	7
2.3.3 Veggelement generelt.....	9
2.3.4 Tre generelt	9
2.3.5 Stål: Skruer, bolter og U-profil	10
2.3.6 Stålets mekaniske egenskaper	11
2.3.7 Lastberegning	12
2.3.8 Laster.....	12
2.3.9 Modellering, DAK-verktøy	13
2.3.10 Elementanalyse.....	13
2.3.11 Friksjonsreduisering	14
3 Fremgangsmåte	16
3.1 Metodesammendrag.....	16
3.2 Generell fremgangsmåte.....	16
3.3 Variabler	21
3.4 Anvendt metode.....	22
3.4.1 Utforming	23
3.4.2 Elementanalyse.....	23
3.4.3 Analytisk beregning	26
3.4.4 Laboratorieforsøk	30
3.5 Usikkerheter.....	34

3.5.1	Utforming	34
3.5.2	Elementanalyse.....	34
3.5.3	Analytisk beregning	35
3.5.4	Laboratorieforsøk	35
4	Resultater.....	37
4.1	Utforming	37
4.2	Elementanalyse.....	38
4.3	Analytisk beregning.....	40
4.4	Laboratorieforsøk	42
5	Diskusjon.....	44
5.1	Utforming	45
5.2	Elementanalyse.....	46
5.3	Analystisk beregning	47
5.4	Laboratorieforsøk	48
5.5	Videre arbeid	50
6	Konklusjon	51
7	Litteraturliste	52
8	Vedlegg	55
8.1	Vedlegg 1: Prosjektplan.....	55
8.2	Vedlegg 2: Prosjektorganisering og Risikoanalyse	59
8.3	Vedlegg 3: Den endelige løsningen, bilde fra Revit og Solidworks	64
8.4	Vedlegg 4: Arbeidstegninger av løsningen	66
8.4	Vedlegg 5: Dimensjonering (Analystisk beregning).....	72
8.5	Vedlegg 7: Ove-Sletten program/ Lastberegninger.....	77
8.6	Vedlegg 8: Testresultater.....	80
8.7	Vedlegg 9: Standardavtale.....	81

Figurliste:

Figur 1: Variabler	7
Figur 2: Stålets arbeidsdiagram, forenklet. (materiallære bok s.60)	12
Figur 3: Første løsning (bilder fra forskjellige vinkler)	18
Figur 4: Andre løsning (bilder fra forskjellige vinkler)	19
Figur 5: Tredje løsning "bilder fra forskjellige vinkler"	20
Figur 6: Låste og frie variabler.....	21
Figur 7: Modell av anvendt metode	22
Figur 8: Modell av anvendt metode	22
Figur 9: Gjennomføringsmodell av elementanalyse	23
Figur 10: Viser den forenklet bilde av løsning som brukes i FEM-analyse.....	24
Figur 11: Visualisering av meshet i analysen.....	25
Figur 12: Last påført på modellen	26
Figur 13: Momentarm	27
Figur 14: Den total vindbelastning. Overtrykk	29
Figur 15: Hovedtrinnene i laboratorieforsøket.....	30
Figur 17: Prøvestykket ved endt trykktest.....	31
Figur 16: Prøvestykket under trykktest	31
Figur 18: På venstre side viser prøvestykket under oppbygging og på høyre side er prøvestykket ferdigbygd.....	32
Figur 19: Utformingen av endelige løsningen.....	37
Figur 20: Resultat fra analysen.....	38
Figur 21: Resultat fra analysen.....	39
Figur 22: Forstørret bilde av kanten av U-profil der den maksimale spenning oppstår.....	39
Figur 23: Testresultat, nedbøyningen i bunnsvill.....	42
Figur 24: Testresultat, nedbøyning i U-profil	43

Tabelloversikt

Tabell 1: Variabeltabell	5
Tabell 2: Oversikt over usikkerheter	44

Great things in business are never done by one person. They're done by a team of people.

- Steve Jobs

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for prosjektet

De siste årene har prefabrikkerte veggelementer blitt mer populære. Dette grunnet til effektivitet av byggeprosessen og ofte bedre kvalitet enn om de skulle vært bygd på byggeplassen. Det forekommer utfordringer, og de mest vanlige er transporten og monteringen. Særlig transporten, da størrelsen av veggelementet er begrenset. Likevel er det flere fordeler enn ulemper. Ferdigproduserte elementer, bygget innendørs i tørt klima, gjør at risikoen for fukt- og soppskader minimeres betraktelig. Dette, i tillegg til rask montering, mindre svinn og kapp, og lite ressursbruk ved opprydning, gjør at byggefirmaer ofte velger å ta i bruk prefabrikkerte elementer på byggeplassen.

Oppdragsgiveren Landheim Gruppen består av takstolfabrikken, bygg komponenter og element. I denne oppgaven har det blitt tatt utgangspunkt i Landheim Element AS, som produserer trebaserte veggelementer. Ferdighetsgraden av elementene produsert i Landheim bestemmes etter kundens ønske. De kan levere alt fra delvis ferdige elementer til komplett ferdig veggelementer med malt panel. Det er kunden selv som står for monteringen, da bedriften er kun produsent.

I kommunikasjon med daglig leder, Espen N. Pettersen, har det kommet fram at det kan oppstå utfordringer med innfestningen av veggelementene ute på byggeplassen, særlig tettingen rundt dekke var komplisert og tidskrevende prosess. Derfor ser bedriften etter en løsning for forenklet montering som de kan anbefale til sine kunder. Løsningen skal redusere eventuelle komplikasjoner på bekostning av byggetiden og kvaliteten på sluttresultatet. Det er behov for en standardisert metode for sammenføyning av veggelementene. Ved å tilby det forslaget til kundene satser bedriften på økt etterspørsel av deres produkt, som videre vil påvirke økonomien positivt.

1.2 Problemstilling

“Utvikle en standardisert og monteringsvennlig løsning for innfestning av trebaserte veggelementer.”

Begrunnelse for valg av problemstillingen ble tatt ut fra Landheim Gruppen sine ønsker og forutsetninger. De er kun produsent av veggelementer, og tar seg ikke av monteringen på byggeplassen. Derfor er det behov for en montasjevennlig innfestningsløsning som bedriften kan anbefale til sine kunder.

I dag er prefabrikkerte veggelementer veldig relevant i bygnings industrien. Bruk av veggelementer kan blant annet redusere byggetiden, frigi riggplass og øke kvalitet siden elementene blir produsert i tørre forhold. På bakgrunn av dette velger stadig flere bedrifter å satse på prefabrikkerte veggelementer, og derfor har forfatterne av denne oppgaven valgt å ta for seg dette temaet i denne bacheloroppgaven.

Formålet med oppgaven er å forenkle monteringen av veggelementer og komme fram til standardiserte løsninger som skal komme oppdragsgiveren til gode.

Når prosjektet er ferdig er målet at både bachelorgruppen og oppdragsgiveren, Landheim Gruppen, blir fornøyde med løsningen og resultatet.

1.3 Andre studier

Det har blitt gjort undersøkelser om hvilke andre studier som er lignende til denne problemstillingen eller eventuelt løsningen, og har kommet frem til at det ikke finnes noen. Det er vanskelig å si om det finnes allerede en slik løsning på sammenføyning, men etter masse undersøkelser og søk fremstår problemstillingen som unik. Selv om det ikke eksisterer en problemstilling ute som er identisk med den i denne oppgaven, så har det blitt studert andres bacheloroppgaver som har noen felles trekk for å skaffe informasjon.

En av løsningene til problemstillingen ble presentert for Landheim Gruppen, og det virket som en innovativ og veldig god løsning. Arbeidsgiveren hadde ikke vært borti en slik monteringsmetode for sammenføyning, med andre ord ble det oppfattet som noe nytt. Derfra

ble det gått videre med prosjektet som resulterte i totalt tre løsninger, altså to nye i tillegg til den opprinnelige som ble presentert for teamlederen. Alle tre løsningene lar seg gjennomføre ifølge kontaktpersoner, og er nye ideer sett fra den klassiske monteringsmetoden og sammenføyningen som ble brukt tidligere.

1.4 Avgrensninger

Oppgaven dreier seg om montering av prefabrikkerte veggelementer, her yttervegger. Etter vurderinger tatt med hensyn til transport, ble det avgjort at størrelsen på veggelementet i oppgaven skal være på 3,5 meter høyt og 2,8 meter bredt, og bredden på U-profilet ble satt til 30 cm. Elementene skal monteres på et bygg som er avgrenset til tre etasjer.

Etter idemyldring, dialog med oppdragsgiver og kontakt med diverse andre fagpersoner, kom vi frem til tre forskjellige og egnede måter å løse problemstillingen på.

På grunn av oppgavens størrelse og omfang falt det naturlig å fokusere kun på en av løsningene. Da det i tillegg var mangel på testutstyr i laboratoriet, falt valget på det alternativet som egnest seg best til våre kriterier som innebær at løsningen måtte kunne anvendes på en treetasjes bygning og i tillegg bli testet i laboratorium. Alle tre løsningene vil bli kort presentert under delkapittel 3.3 «*Presentasjon av løsningen på problemstilling*».

I løsningen som presenteres i oppgaven brukes limanker som er limt inn i betongdekke. På grunn av oppgavens størrelse har vi valgt kun å fokusere på lastene som sammenføyningen utsettes for, beregning for betong, branndimensjonering og tetting ble dermed valgt bort.

Avgrensninger er gjort for å forme oppgaven, og videre å få en mer presis løsning og svar på problemstillingen. Det ble tatt hensyn til skrueforhandlerne og kvaliteten på materialene som oppdragsgiveren bruker, og tilpasset denne oppgavens løsning med dem.

Vi valgte å bruke området Hvaler for å beregne vindlasten. Bedriften leverer sine ferdigelementer til områder med en omkrets på tre timer unna bedriften, noe det valgte området er innenfor. Dessuten er Hvaler området med høyest vindhastighet innenfor den gitte

avstanden. Oppdragsgiveren benytter trekvaliteten C24 på sine prefabrikkerte veggelementer, derfor brukes det samme kvalitet i oppgaven.

2 Teoretisk grunnlag

2.1 Variabeltabell

Tabell 1: Variabeltabell

	Betydning	Verdi	Enhet
A	Tverrsnittsareal		mm ²
A _s	Skruens eller boltens tverrsnittsareal for strekk		mm ²
b	Stålprofils bredde		mm
C _{pe} (E)	Utvendig formfaktor på E-veggen	0,7	
C _{pi}	Formfaktoren for det innvendige rykket		
d	Skruens nominelle diameter eller boltens diameter		mm
d _{ef}	Den effektive skruediameteren		mm
EL	Egenlast	47	kg/m ²
f _{h,2,k}	Karakteristisk hullkantfasthet		N/mm ²
F _{t,Rd}	Boltens strekkkapasitet		N
f _{ub}	Strekkfastheten	800	N/mm ²
F _{v,Rd}	Dimensjonerende motstandsevne per skjærplate per forbindelse		N
f _{v,Rd}	Skruens karakteristiske strekkfasthet		N/mm ²
F _{v,Rk}	Den karakteristiske kapasiteten per skjærplate per forbinder		N
f _y	Flytegrense		N/mm ²
g	Tyngdeakselerasjon	9,81	m/s ²
h	Høyde		mm
k _{mod}	Fasthetsfaktor for langvarighet og klimaklasse		
l	Lengde		mm
l _p	Lengden på den gjengede delen av skruen som går inn i svillen		mm
M _{Ed}	Dimensjonerende verdi for bøyemoment		Nm
q _d	Dimensjonerende last		N
q _p (z)	Vindhastighetstrykk		N/m ²
t _f	Flens tykkelse		mm
t _w	Stegets tykkelse		mm
t ₂	Inntregningsdybden i tredelen som mottar spissen i en enkeltsnittet forbindelse.		mm
V _{b,0}	Referansevindhastighet		m/s
W	Motstandsmoment		mm ³
z	Høyde over terreng		m

γ_M	Partialfaktor for materialegenskaper som tar hensyn til usikkerhet i selve materialegenskapen, i geometriske avvik og i beregningsmodellen som brukes		
ρ_k	Trevirkets karakteristiske densitet		kg/m ³
σ_{Max}	Den maksimale spenningen		N/mm ²

2.2 Grunnlag for valgt teori

I løpet av studiet har forfatterne av oppgaven dannet seg et relevant kunnskapsgrunnlag for bruk av Revit, Solidworks og Ove-Sletten (OS). I oppgaven ble Revit brukt for å fremstille modeller, Solidworks for å modellere deler, Ansys Workbench 2019 R1 som analyseverktøy og Ove-Sletten for beregning av vindlast.

I oppgaven er beregningene og teorien bak programvarene forklart på en enkel og oversiktlig måte, slik at leseren lett kan sette seg inn problemstillingen. Det skal ikke være nødvendig med relevant kunnskap for å forstå teksten. I oppgaven brukes det hjelpemidler, teknikker og metoder som forfatterne har tilegnet seg gjennom studiet. Oppgavens teoretiske grunnlag er hovedsakelig hentet fra pensumbøker, NS-EN 1993-1-8:2005+NA:2009 Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner, NS-EN 1991-1-1 (E1-1) Laster på konstruksjoner, NS-EN 1991-1-4 (E1-4) Laster på konstruksjoner og artikler i forbindelse med problemstillingen.

Fordi oppgaven tar for seg en nyskapende løsning, har det vært en utfordring å finne relevant teori. Derfor har prosessen inkludert kontakt med mange ulike fagpersoner som hjelp for å plukke opp teori og kunnskap som er aktuelt for oppgaven.

Det har også blitt gjort forsøk og eksperimenter for å dokumentere og samtidig fastslå om løsningen er god nok eller i det hele tatt lar seg gjøre.

2.3 Teori

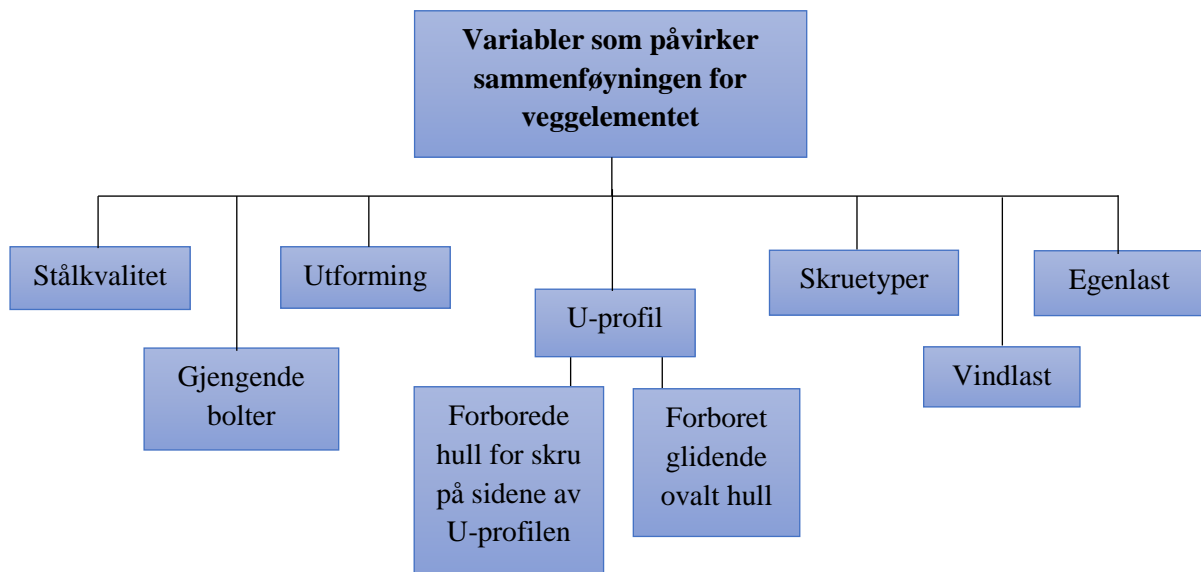
2.3.1 Primær- og sekundærdata

Datakilder som er brukt i oppgaven deles gjerne i to kategorier, primærdata og sekundærdata. Primærdata er informasjonen deltakerne samler selv for å finne svarene på egen problemstilling. Eksempel på det er data innhentet ved egen forskning eller forskjellige innsamlingsmetoder. For denne oppgaven er det relevant med resultatene fra labbtesting, elementanalysen i ANSYS, rapporten fra Ove-Sletten og analytiske beregninger i Excel.

I motsetning av primærdata er sekundærdata kilder som allerede eksisterer. Eksempler på sekundærdata er informasjon fra eksterne kilder. I rapporten kommer disse kildene fra oppdragsgiver og fagpersoner vi har vært i kontakt med. I denne oppgaven er det tatt i bruk begge typer data, men særlig primærdata da oppgaven er innovativ og dermed trengtes det mye egen forskning for å få informasjon og svar.

2.3.2 Undersøkellesmetode

Som vist under på figur 1 er det ulike variabler som påvirker innfestningen for veggelementet, altså for løsningene for problemstillingen.



Figur 1: Variabler

- **Simuleringsstudier**

Simuleringsstudier gir et bilde av hvordan undersøkelsesenheten vil oppføre seg i virkeligheten under gitte belastninger. I oppgaven ble det brukt elementanalyse for å gjennomføre studien. Her er det viktig å merke at resultatene gir kun en presentasjon av virkeligheten, siden at det er skapt i et kontrollert og kunstig miljø.

- **Analytiske beregninger**

Når det er snakk om analytisk beregninger, utføres dimensjonering med betraktning etter standarder, teknisk datablad og eventuelle fagpersoner.

- **Eksperimentell metode**

Eksperimentell metode gjør det mulig å innhente informasjonen for de undersøkelsesenheter og variabler man ønsker ved å gjennomføre laboratorieforsøk. Med utgangspunkt i variablene vist i figur 1. blir det mulig å trekke noen sammenhenger. Forsøkene gjennomføres i en bestemt situasjon i laboratoriet for å se hvordan enheten reagerer. Siden denne metoden dreier seg om et eksperiment i en kontrollert situasjon vil det dermed ikke alltid være lik en ukontrollert situasjon. Likevel er informasjonen vi får av en eksperimentell metode det nærmeste vi kommer frem til av en reel situasjon.

- **Kvantitative og kvalitative metoder**

Denne oppgaven er gjennomført med en kvalitativ undersøkelse med kvantitative elementer. Forskjellen mellom kvalitative og kvantitative metoder er at kvalitative metoder går i dybden og vektlegger betydning, mens kvantitative metoder legger vekt på utbredelse og antall (Thagaard, 2013). Oppgaven er basert på kvalitative undersøkelser, da disse undersøkelsene kjennetegnes ved at det brukes en fleksibel forskningsmetode. Det betyr at forskerne kan arbeide parallelt med de ulike delene i prosessen. Innsamlede data vil også ha enten en kvalitativ eller kvantitativ tilnærming. I denne oppgaven vil resultatene ha en kvalitativ tilnærming på grunn av oppgavens problemstilling som handler om hvorvidt en tenkt ide er mulig å gjennomføre i virkeligheten.

2.3.3 Veggelement generelt

De siste årene har prefabrikkerte veggelementer blitt svært populære i byggeplasser, og etterspørselen vokser mer med tiden. De er med på å gjøre byggeprosessen raskere og gir byggene høyere kvalitet kontra om de hadde vært bygd på byggeplassen. Det er en overgang fra den tradisjonelle måten å bygge en konstruksjon på. Nå kan man raskt og enkelt få tilsendt ferdigbygde elementer til byggeplassen klar for montering. Når det gjelder kvaliteten på veggen, er den ivaretatt hos de prefabrikkerte elementene på grunn av ingen fuktskader. De prefabrikkerte elementene er bygd i et tørt miljø som hindrer fukt i å trenge gjennom bygget, det samme gjelder tettinger. Ferdighetsgraden på veggelementene avhenger av kunden, og byggefirmaer kan levere komplett ferdige veggelementer med malte paneler. I tillegg skjer montasjen raskt i forhold til den tradisjonelle måten å bygge på.

Utfordringene knyttet til prefabrikkerte veggelementer kan være at den maksimale størrelsen er begrenset på grunn av transporten, samt at det kan forekomme noe skepsis til tettingen ved sammenføyninger av elementene hos enkelte kunder.

2.3.4 Tre generelt

Omvendt av for eksempel stål som kan nærmest være momentfrie forbindelser, er forbindelser av tre langt ifra å være verken momentfrie eller fullstendig momentstive ledd. I motsetning til andre materialer er tre et «levende» materiale, også kalt et hygroskopisk materiale, som sveller og krymper avhengig av den relative fuktigheten i luften. Det er derfor viktig å være oppmerksom på at slike bevegelser kan oppstå under forbindelser i trekonstruksjoner. Trevirke er særlig svak når den blir utsatt for krefter normalt på fiberretningen, og det er derfor viktig å minimere slike tilfeller.

For å unngå krymping etter montering og konflikter med sammenføyningen brukes det ferdigtørkede sviller. Utfra løsningen av problemstillingen ble størrelsen på svillene valgt å være 198x48 mm, som oppdragsgiveren bruker.

2.3.5 Stål: Skruer, bolter og U-profil

Skruer

Utvikling av nye skruetyper og forenkling av innskruing ved hjelp av driller, har ført til at skruer har blitt benyttet mer innen trekonstruksjoner. Valg av skruer er avhengig av hvilke typer spenninger og krefter de blir utsatt for, ut ifra den informasjonen kan vi dermed gå over til dimensjonering av skruer i forbindelsen det gjelder.

En av skruelieferandører som oppdragsgiveren benytter seg av er Motek AS. Derfor var det aktuelt for oppgaven, etter analytisk dimensjonering, å bruke deres panhode treskrue, som er helgjenget og med dimensjon 6,0x50 mm. Skruene skal gå gjennom flensene på en U-profil så inn i svillene, og på grunn av stålets tykkelse trengs det kraftige skruer. Gjengene er den delen av skruen som tåler mest belastning. Valget falt derfor på en helgjenget skrue, fremfor en delgjenget. Det er valgt en panhodet skrue fremfor senkskrue, fordi skruene skal sitte inni veggen og er ikke synlige, i tillegg til at den er et billigere alternativ. Det skal ikke forbores i svillen, da dette skal gjøres kun når skruer har diameter større enn 6 mm (SINTEF Byggforsk, 2008).

Bolter

Bolter er en type forbinder som leveres i mange forskjellige lengder og utførelser. Bolter brukes bredt i byggebransjen. Det skilles mellom bolter med skårne og valsede gjenger. I bolter med skårne gjenger blir materialfibrene kuttet som fører til svakere gjenger, mens i bolter med valsede gjenger, eller pårullet som det også kalles, blir ikke materialfibrene kuttet og resulterer til sterkere gjenger. Det er vanlig å benytte bolter og mutter i stålqualität M-8.8 i henhold til NS-EN ISO 4014, og vil bli benyttet også i denne oppgaven.

I oppgaven blir det brukt to bolter med valsede gjenger, hvor begge er blitt brukt som ankerfester i betongdekke og er i type M10. I den presenterte løsningen skal begge boltene gå gjennom to glidende ovale hull. Det skal forbores i betongen der boltene skal plasseres, slik at de skal passe best mulig i hullet.

Ankerfester er lastbærende bolter montert i forborede hull i betong. De deles hovedsakelig inn i to kategorier, ekspansjonsankre og limankre. I denne oppgaven brukes det limankre, også kjent som kjemiske ankre. «Et limanker er betegnelsen på en tokomponent klebmasse,

som for eksempel kan brukes til å sette fast en bolt eller gjengestang til murverk eller betong» (SINTEF Byggforsk, 2013).

Det bør foretas en kapasitetskontroll av eventuelle strekk- eller skjærlaste som påvirker ankrene. Det stilles krav på dokumentasjon av brannsikkerhet etter teknisk forskrift, på at lastbærende anker har tilstrekkelig bæreevne i ulykkesgrensetilstanden for brann. Utmatting av anker via dynamiske laster eller langtidslaste vil, på grunn av kryp, få deformasjon. I noen tilfeller må ankrene dimensjoneres for utmatting, særlig hvor lasten er pulserende. Som nevnt i delkapittel 1.4 «*Avgrensninger*» er det i denne oppgaven kun blitt tatt hensyn på boltens strekkkapasitet.

U-profil

Det opereres med to typer U-profiler, UNP og UPE. UNP har runde kanter, mens UPE har skarpe kanter. De skarpe kantene gjør at det er parallelle flenser, og dermed har profilen større kapasitet. I oppgaven er det brukt en U-profil til innfestningen av veggelementet, av type UPE 240 med stål kvalitet S355.

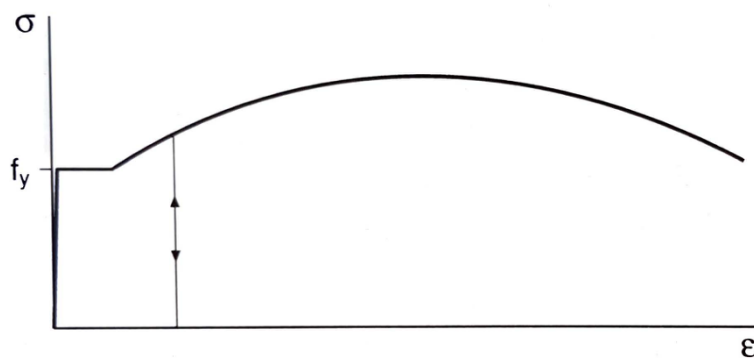
Når det gjelder dimensjonen, ble det valgt en 240 mm høy profil. Dette med tanke på at det er den oftest brukte tykkelsen på et plasstøpt betongdekke. Målet var å benytte den størst mulige U-profil grunnet større kapasitet og enklere montering. U-profilen har forborede hull i de parallelle flensene som skruene skal bores i, og to ovale hull i steget der boltene skal plasseres.

2.3.6 Stålets mekaniske egenskaper

Mekaniske egenskaper definerer hvordan materialet reagerer på ytre krefter og uttrykkes som stålets fasthet, som består av elastisitet, duktilitet, seighet, hardhet og utmattingsegenskaper. Duktilitet måler stålets evne til plastisk deformering, at form endring er varig uten at det oppstår brudd. Seighet er egenskap som gjør at stålet kan oppta en mengde energi før brudd, og inkluderer både materialets duktilitet og fasthet. Stålets hardhet er evnen til å motstå slitasje.

Nøyaktige verdier til stålets deformasjons og fasthets egenskaper blir fastslått ved laboratorieprøver. Da er det strekkprøven som er den viktigste, fordi den gir flest karakteristiske data for de forskjellige stålkalitetene.

På figuren under er det et forenklet arbeidsdiagram som viser sammenhengen mellom fasthets- og deformasjonsutviklingen i et stålstykke som påkjennes til brudd. I den første fasen er alminnelig konstruksjonsstål lineært elastisk. Stålet går så over i en plastisk fase, da spenningsnivået har nådd flytegrensen (f_y), som også kalles for flytespenning. Da tøyer stålet seg 1-4%, og denne deformasjonen er ikke reversibel. Maksimum verdi kalles bruddspenning eller strekkfasthet og vil forårsake ytterligere deformasjon. Flytegrensen er avhengig av stålets kvalitet og er i direkte sammenheng med stålets spenningskapasitet.



Figur 2: Stålets arbeidsdiagram, forenklet. (materiallære bok s.60)

2.3.7 Lastberegning

Ove-sletten Lastberegning er et program for beregning av både vindlaster og snølaster på vegger og tak. Programmet beregner etter NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009 vindlast og NS-EN 1991-1-3:2003+NA: 2008 snølast. I denne oppgaven er programmet brukt for å beregne vindlaster på vegg.

2.3.8 Laster

Oppdragsgiver fastsatte egenlasten med den tyngste kledningen som blir brukt hos dem, dette ga grunnlag for videre beregninger gruppen tok for seg.

Vindlasten er konstruksjonens nyttelast og her ble det kun fokusert på sug kreftene i E-sonen, da trykkreftene virker stabiliserende i disse beregningene. Det er også blitt tatt hensyn på overtrykk i beregningene.

2.3.9 Modellering, DAK-verktøy

Modelleringen er gjennomført ved bruk av DAK-verktøyene, Solidworks og Revit.

Revit

Revit er en programvare bygget for bygningsinformasjonsmodellering, forkortet til BIM, og brukes for å designe og forme konstruksjoner og bygningskomponenter. Ved hjelp av dets funksjoner innenfor arkitektdesign kan programmet være med på å effektivisere utførelsen av oppgaven og gi et mer oversiktlig og tydelig bilde av løsningen. Det er en veldig kjent programvare innenfor byggebransjen og fungerer godt med andre programmer. Programmets funksjonalitet av 3D-fremvisning av bygg og bygningsdeler, gjør det også svært populært.

Solidworks

Solidworks er et 3D CAD program som brukes for å modellere og styrkeberegne 3D-modeller. Dette programmet gir mulighet til å endre på design og utforming, samt utføre raske spenningsanalyser underveis i modelleringsfasen. Programmet er enkelt å bruke både til modellering og gjengivelse av påkjenningene der modellen blir utsatt for realistiske omgivelser. Programmet brukes til modellering, og deretter overføres modellen til ANSYS Workbench for simuleringsanalyse.

2.3.10 Elementanalyse

Elementmetode (FEM) er en numerisk løsningsmetode som baserer seg på elementanalyse som løses ved hjelp av matriser. Metoden brukes til å beregne spenninger og deformasjoner over mer avanserte geometrier enn det som er mulig ved konvensjonelle beregningsmetoder.

Elementanalyse baserer seg på å dele modellen opp i mange små elementer som inneholder en gitt mengde noder. Størrelsen, antallet og formen på elementet spiller en viktig rolle for hvordan hele systemet oppfører seg under en gitt last. Elementenes oppførsel blir beregnet

ved hjelp av matematiske likninger, hvor datamaskinen samler alle elementenes likninger som legges sammen for å få ett samlet sluttresultat for hele modellen. (Bell, 2009)

ANSYS Workbench

Anslys Workbench en programvare som egner seg svært godt for løsninger av FEM-analyser. Programmet er svært utbredt i både akademiske og industrielle sammenhenger over hele verden. ANSYS Workbench er en videre utviklet versjon av ANSYS Mechanical APDL. Programmet brukes for å utføre elektromagnetiske, termiske og statiske analyser (CAD Associates, u.d).

Workbench 19 R1 er effektiv og enkelt å bruke. Man har mulighet for å importere CAD-modeller, sammenlignet til den klassiske versjonen hvor man må modellere ved bruk av kommandoer i et koordinatsystem.

Nettverk

ANSYS Workbench benytter elementinndeling i form av mesh, dette gjøres enten automatisk eller egendefinert av brukeren. Mesh gjengir modellens geometri og gir grunnlaget for løsning av FEM-analysen. Størrelsen, antallet og formen på elementene spiller en viktig rolle for hvordan hele systemet oppfører seg under en gitt last. Blir mesh for stort kan det oppstå urealistiske resultater, og da kan man gå glipp av høye spenninger. Blir meshen altfor lite, kan resultatene også bli urealistiske.

2.3.11 Friksjonsreduisering

Metoden veggelementet er festet inn tar i betraktning nedbøyning av dekke. Siden at det er direkte kontakt mellom veggelementet og dekke, vil bevegelser i dekke skape glidende friksjon. Ifølge Store norske leksikon er friksjon en kraft som virker mellom to flater og hindrer dem i å bevege seg fritt i forhold til hverandre.

For å forhindre mulige skader på veggelementet og lette glidingen er det nødvendig med friksjonsreducerende tiltak. Etter konsultasjon med fagpersoner har gruppa valgt å bruke

gummimatte som har en tykkelse på 3 mm. Egenskapene til gummi er meget lave E-moduler, og høye bruddtøyninger, og er dermed veldig elastisk.

I oppgaven har gruppa valgt å bruke rent gummi mellom dekke og veggelementet for at glidningen skal skje uten å påføre skade på veggen. Med andre ord skal gummien virke som et beskyttelseslag for overflaten av veggelementet mot slitasje.

3 Fremgangsmåte

3.1 Metodesammendrag

«En metode er en fremgangsmåte, et middel til å løse problemer og komme fram til ny kunnskap. Et hvilket som helst middel som tjener dette formålet, hører med i arsenalet av metoder»
(Storsul, 2006)

Fremgangsmåten på denne bacheloroppgaven beskriver hvilke avgjørelser og valg som har blitt tatt og som har vært avgjørende for løsningen og sluttresultatet. Først forklares det prosessen bak, og så kommer presentasjon på hvordan problemstillingen er tenkt løst. Deretter blir variablene som påvirker dimensjoneringen av sammenføyningen presentert og valg av anvendt metode.

3.2 Generell fremgangsmåte

Hele prosjektet startet med en prosjektplan basert på en planleggingsprosess over hele arbeidsperioden. Prosjektplanen skulle forhindre stor tap av tid og andre viktige faktorer som var avgjørende for resultatet. Fokuset var mest rettet mot problemstillingen, og på starten av prosjektet gikk mye av tiden ut på å fastsette den. Etter møter med oppdragsgiver, deres kunder, veilederen og faglærer ble den endelige problemstillingen identifisert. Etter at utfordringene om avgrensningen av problemstillingen ble tatt hånd om, begynte det å løsne og det ble en kontinuerlig fremgang i oppgaven.

3.3 Presentasjon av løsningen på problemstilling

Denne bacheloroppgaven handler om å finne en forbedret løsning for innfesting av veggelement som oppdragsgiveren produserer. Målet er at monteringsprosessen blir forenklet og standardisert, og på den måten blir det spart tid, bemanning og eventuelt utstyr. Alle disse punktene refererer til bekostning og mål om økonomisk besparelse. Underveis i prosessen har

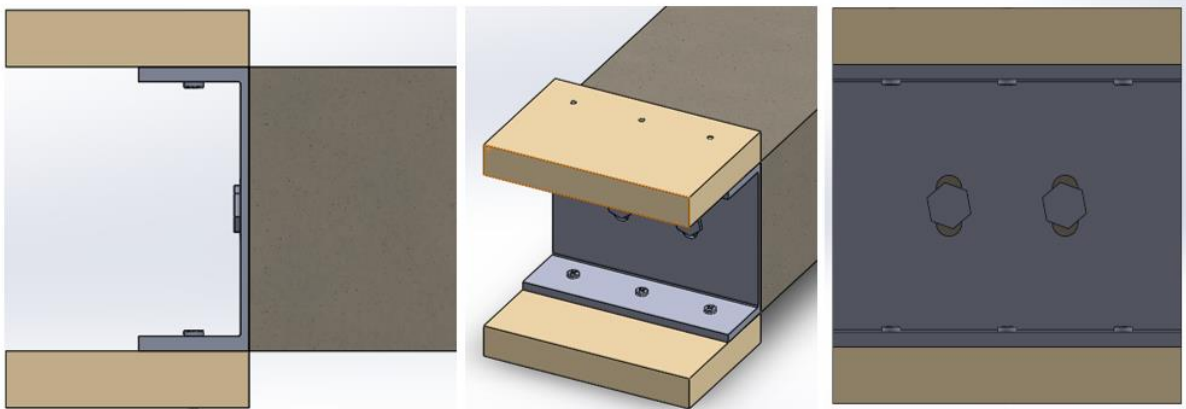
forfatterne kommet med tre løsninger på sammenføyning av veggelementer. To av alternativene er basert på at egenvekten til elementene går gjennom innfestningen og ned i fundamentet, mens det tredje alternativet går ut på at hvert betongdekke skal bære et veggelement. På grunn av oppgavens omfang har forfatterne valgt å fordype seg kun på en av løsningene. Det er denne løsningen som blir grundig beskrevet videre i taksten. Det kommer også en veldig kort beskrivelse av de to andre løsningene, selv om de er valgt vekk. Grunnen til dette er at det er to gode løsninger som det eventuelt kan forskes videre på i en annen oppgave.

3.3.1 Alternativ 1

I denne oppgaven er det valgt å forske videre på dette forslaget, derfor kommer det en grundigere forklaring på hvordan sammenføyningen vil bli gjennomført, og det illustreres med figuren på neste side.

Det blir brukt to U-profiler på hvert veggelement for stabilitet, med en senteravstand på 1,4 meter. Bredden på hvert profil er satt til 300 mm, dette både med tanke på besparing av materialer, kuldebroer og eventuelle avvik som vil kunne oppstå. Etter konsultasjon med oppdragsgiver har det kommet fram at det oftest kan forekomme små avvik ved plassering av ankerfester i betongen, noe som igjen medfører mer arbeid og tidsforbruk på grunn av etterjusteringer på byggeplassen. For å minimere dette problemet er det tenkt at avlange vertikale hull i profilet, og kortere profiler istedenfor kontinuerlige, kan øke presisjonsmargin, og dermed forenkle monteringen. De avlange hullene er til slik at veggelementene kun skal bli holdt på plass av dekke, men ikke bæret av det. På den måten kan dekke fritt få den nødvendige nedbøyningen den eventuelt trenger. For lettere montering ble det tenkt at profilet burde ha nok høyde for å kunne nås av skruene som skal bli festet i toppen og bunnen av profilet etter at elementene er på plass. Gjennomsnittshøyden for et plasstøpt betongdekke er 240 mm, og da ble det valgt UPE240. Om det fremdeles blir trangt, kan det brukes vinkeldrill, da den raskeste monteringen skjer ved bruk av drill. For å opprettholde stabilitet brukes det to limankere som blir boret og limt inn i betongen. Disse ankerene vil da gå gjennom de avlange hullene i stålprofilet og bli festet med muttere. Deretter settes elementene på plass, et under profilet og et over, og skrues med tre skruer oppe og nede.

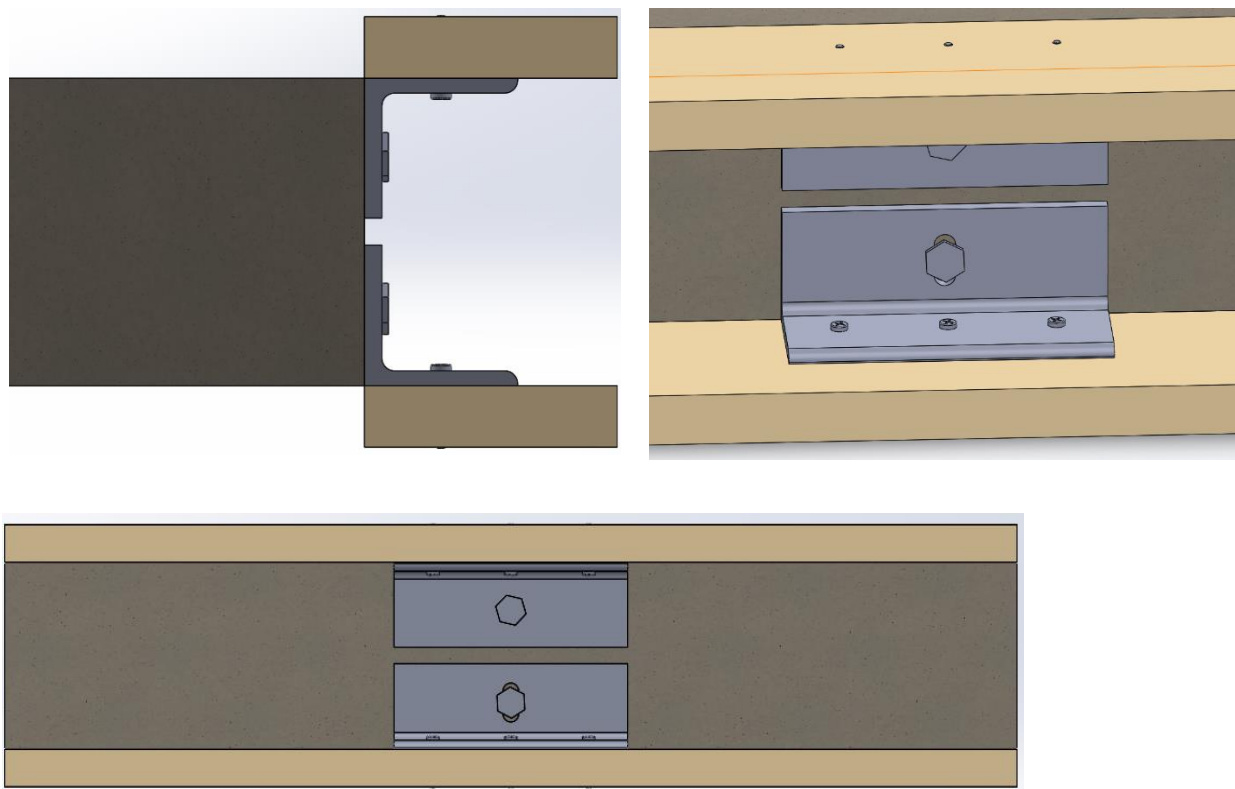
De prefabrikkerte veggelementer er lettvegger, det vil si at veggene kun tar sin egenvekt, slik at selve bygget holdes oppreist ved hjelp av bærende søyler. Lasten av elementene vil dermed gå igjennom stålprofilet og ned i fundamentet. Ved at egenlasten går direkte ned i fundamentet kan man risikere å få knusing av fibre på den nederste svillen i konstruksjonen dersom det utsettes for altfor store laster. For å være på den sikre siden ble denne løsningen dermed begrenset til et bygg på maksimalt tre etasjer.



Figur 3: Første løsning (bilder fra forskjellige vinkler)

3.3.2. Alternativ 2

Figuren under viser det alternativet der veggelementene hviler på dekke slik at lasten går ned i søylene. Det er to L-profiler i innfestningen, der den ene ligger på oversiden og den andre på undersiden av dekke. Det øverste er fastspent i dekke slik at lasten av veggelementet som hviler på det går direkte gjennom dekke. Profilen under har et ovalt hull der betongen er festet slik at det kan gli opp og ned, men samtidig holder veggen under på plass.



Figur 4: Andre løsning (bilder fra forskjellige vinkler)

3.3.3. Alternativ 3

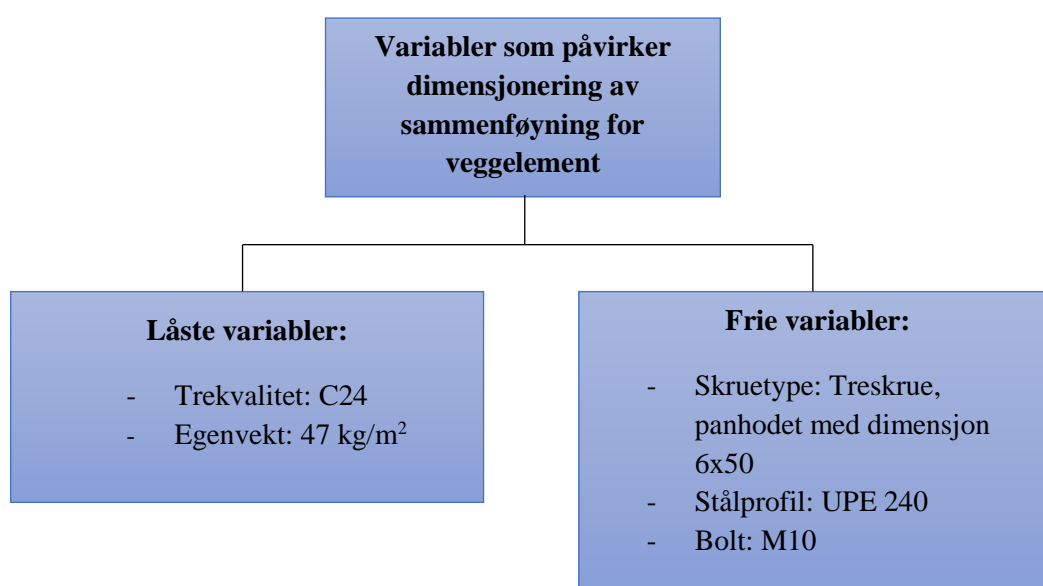
Figur 5 viser det tredje alternativet der veggelementene hviler på treklosser som fører lasten videre ned i fundamentet. Ved hjelp av en bolt festet i betongdekke og på utsiden av elementene i en stålplate, vil disse elementene bli holdt på plass horisontalt. Slik som tidligere løsninger vil også dette alternativet ha ett avlangt hull i stålplaten så dekke kan fritt bevege seg vertikalt om nødvendig. I hulrommet mellom trekloss og bolt vil det bli fylt opp med isolasjon inn i en stålplate som har et glidende ovalt hull for at veggelementet kan være i bevegelse. Denne løsningen er rask å montere da det bare er å sette på plass elementene og deretter feste platen på utsiden.



Figur 5: Tredje løsning "bilder fra forskjellige vinkler

3.3 Variabler

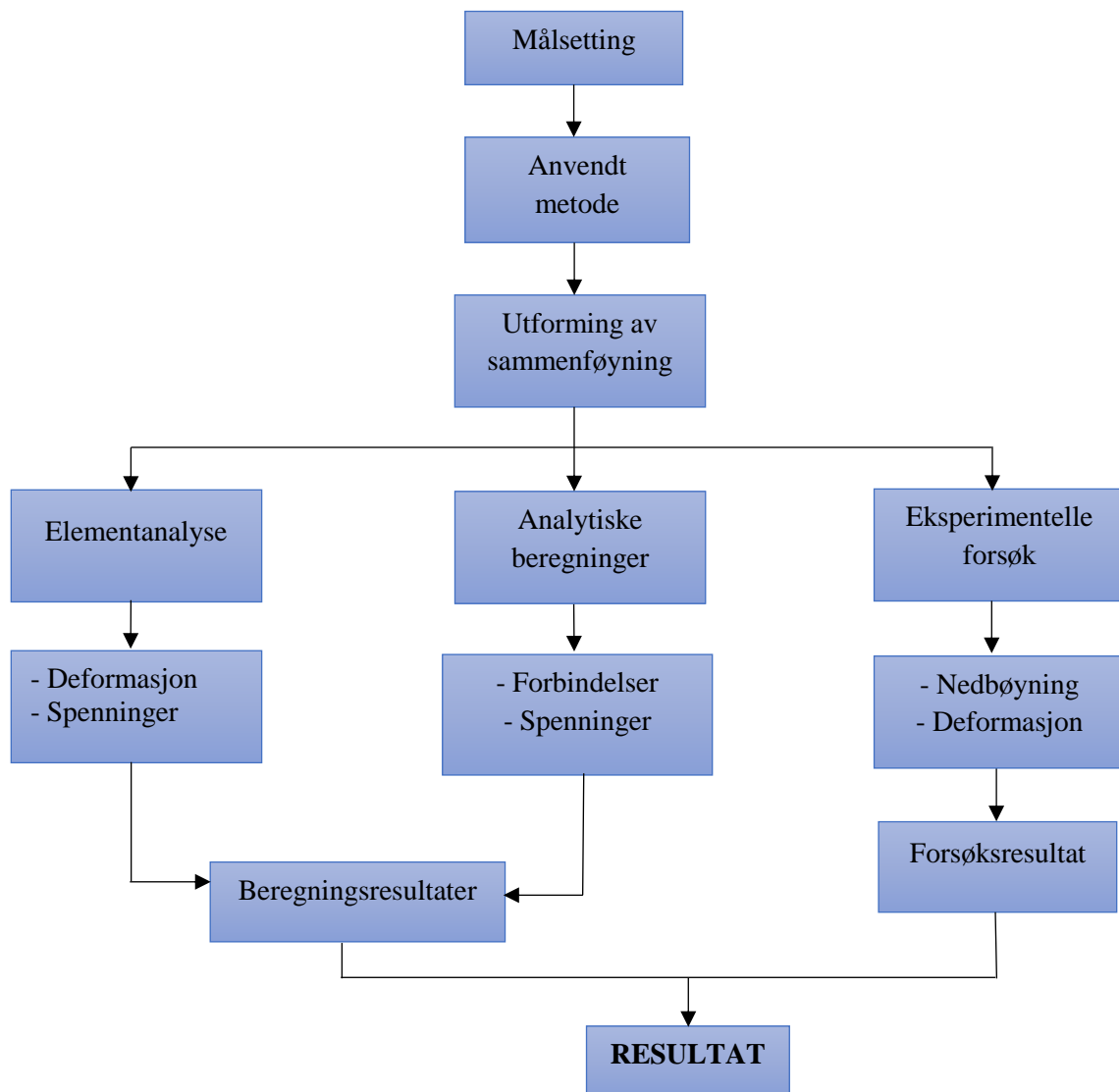
Figur 1 under teori-kapittelet viser hvilke variabler som er dominerende for dimensjonering av sammenføyningen for de prefabrikkerte veggelementene. Figuren under viser hvilke variabler som er fast og hvilke som er frie. Tre kvaliteten og elementets egenvekt er forhåndsbestemt av oppdragsgiver Landheim Gruppen. Skruetype, U-profil og ankerfeste er variablene som ble fastsatt etter flere iterasjoner.



Figur 6: Låste og frie variabler

3.4 Anvendt metode

For å komme videre fra et teoretisk til et empirisk nivå er det viktig å utarbeide et forskningsdesign, det vil si en overordnet plan over hvordan man skal gå frem for å løse problemstillingen. For å komme fram til best mulig resultat er det viktig å velge metodene som egner seg best for den spesifikke problemstillingen. I denne oppgaven ble det tatt i bruk simuleringsstudie, analytiske beregninger og eksperimentell metode for å samle alle nødvendige data og svare på oppgaven på best mulig grunnlag. Figur 7 viser en modell av den anvendte metoden. Mer utdypende beskrivelse av metodene følger i dette kapittelet



Figur 7: Modell av anvendt metode

3.4.1 Utforming

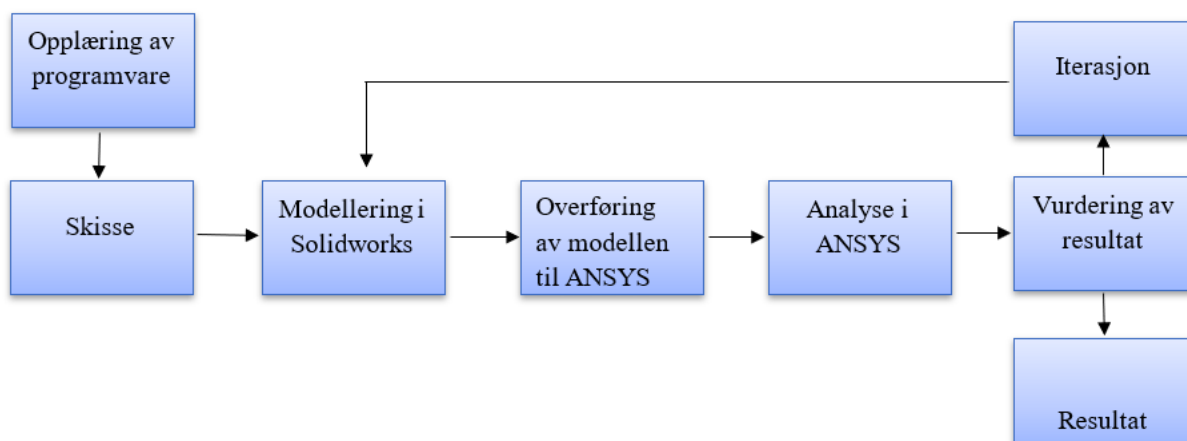
Solidworks ble brukt for å designe de forskjellige løsningsalternativene i 3D. Hver enkelt delkomponent ble designet hver for seg, så til slutt satt sammen til en modell. Etter mye undersøkelser har forfatterne funnet ut at programmet egner seg svært godt for utforming av 3D-modeller. Solidworks samarbeider også godt med programmet ANSYS Workbench, som gjør det enkelt å overføre modeller til ANSYS Workbench for simuleringsanalyse.

Programmet ble også brukt for å lage arbeidstegninger i 2D av den endelige løsningen. Målsettingen av de nødvendige målene er oppgitt i arbeidstegningene. Dette for å få et oversiktlig bilde av løsningen. Det er lagt til vedlegg under kapittel 8 (vedlegg 4).

Revit ble benyttet for å utarbeide et helhetlig bilde av løsningen som festet to veggelementer sammen i 3D. Dette ble gjort for å inkludere programmet i seg selv i oppgaven på grunn av bygge bransjenes fokus på BIM.

3.4.2 Elementanalyse

For FEM-analyse ble det brukt ANSYS Workbench. Gruppemedlemmene måtte innhente data og lære seg programvaren for å utføre analysen. Modelleringen begikk i Solidworks som er forklart under kapittel 3.4.1 «*Utforming*».

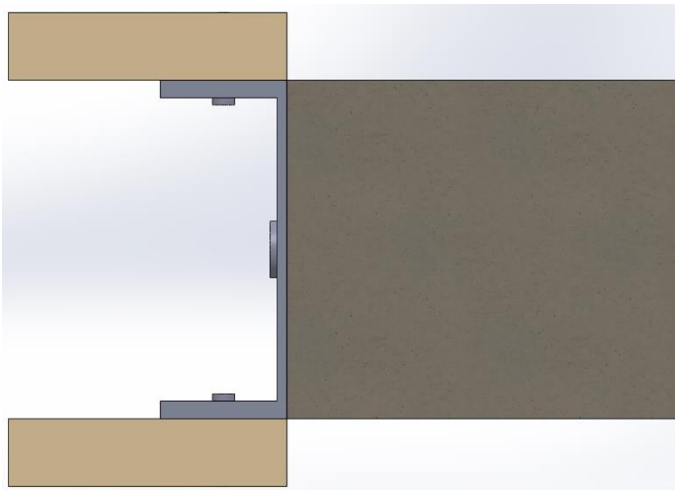


Figur 9: Gjennomføringsmodell av elementanalyse

Modellering

Under litteratursøket og skissering har gruppen valgt å analysere kun innfestningen av løsningen. Dette gjøres for å få mest mulig realistiske svar, se figur 10.

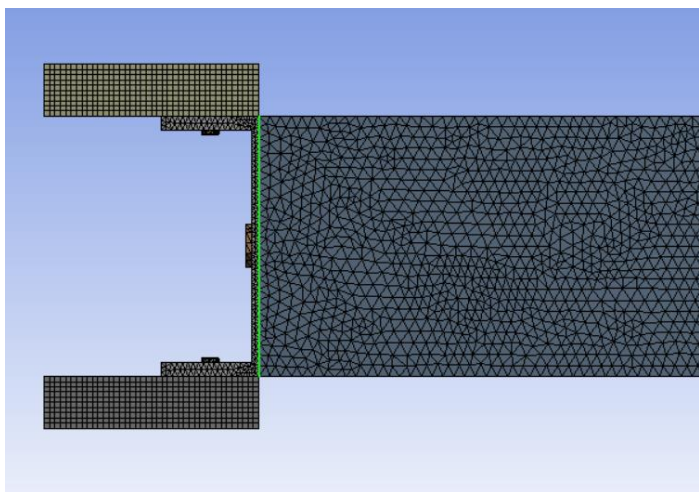
Delene av innfestningen, det vil si; U-profil, skruer, betong, toppsvill og bunnsvill, er alle modellert hver for seg i programmet Solidworks. Deretter ble de satt sammen til en helhetlig modell ved hjelp av Assembly, som er en del av Solidworks. Videre ble modellen overført til ANSYS Workbench. Som elastisitetsmodul på toppsvill og bunnsvill ble lagt 11000 N/mm^2 som tilsvarer tre, mens for U-profilen som ligger mellom topp og bunnsvill er lagt med 210000 N/mm^2 i Ansys Workbench.



Figur 10: Viser den forenklet bilde av løsning som brukes i FEM-analyse

Mesh

Etter modellen var overført til ANSYS Workbench, ble den satt på mesh. Vi lot programmet velge mesh for oss, men vi så at meshen var altfor stor. Stor mesh gir urealistisk svar og derfor valgte vi å ha egendefinert mesh på 5 mm. Det ga modellen en fin mesh, som vil si at det er tettere mellom hver node og man får et mer presist svar. Med en mesh som gjøres finere, vil også spenningen i teorien gå mot det uendelige. Mesh er en viktig parameter for grensebetingelse og lastene i de neste delkapitlene.



Figur 11: Visualisering av meshet i analysen

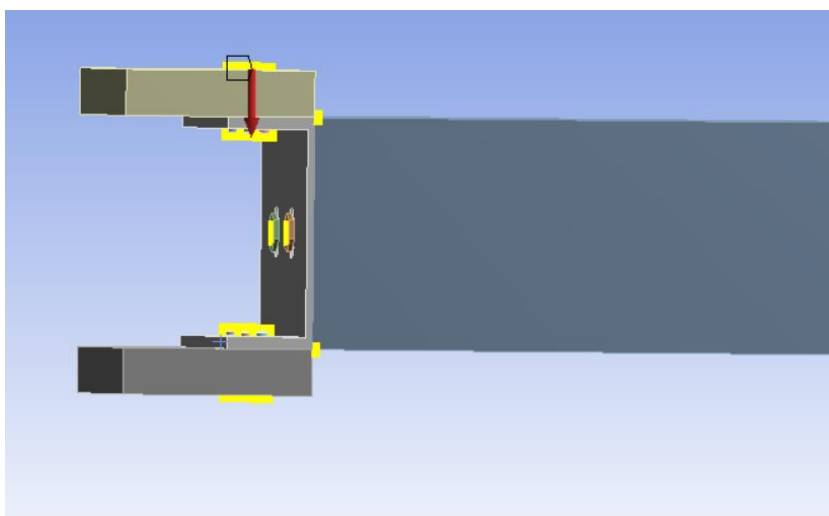
Grensebetingelser

Grensebetingelser forteller hvordan modellen er fastholdt for å sørge for mekanisk likevekt. Dette er en viktig forklaring for programmet hvordan verden fungerer. I vårt tilfelle har gruppen oppgitt toppsvillens underflate som grensebetingelse, der toppsvillen under flate er fastholdt i alle frihetsgrader. Overgangen mellom svill og U-profil skjer via seks skruer.

Last

Egenlasten er påført på toppen av bunnsvill som punktlast, dette er egenlasten fra veggelementer fra andre og tredje etasje. Denne lasten er beregnet med tyngste kledning som Landheim bruker. Dette lastbildet blir mest konservativt siden egenlasten i realiteten er fordelt likt over hele konstruksjonen.

Vinden basert på E-sone fra Ove-sletten. Denne lasten er aksialt som angriper på svillen fra horisontal side. (Se vedlegg 7)



Figur 12: Last påført på modellen

3.4.3 Analytisk beregning

Analytiske beregninger er gjennomført i Excel, og er basert på eurokodene. I Excel ble det laget et oversiktlig oppsett som lett kunne endres underveis i forskningsperioden.

Beregningene skal danne sammenligningsgrunnlag for resultater fra laboratorietesting og støtte de øvrige metodene.

Beregningene baserte seg på formler hentet hovedsakelig fra eurokode 3 og til beregning for hullkantrykk er formler hentet fra eurokode 5. Fokuset ligger på dimensjoneringen av bøyepeningen i U-profilen, strekkkapasitet på bolt, avskjærings kapasitet på skruer og kapasitet for hullkantrykk på svill.

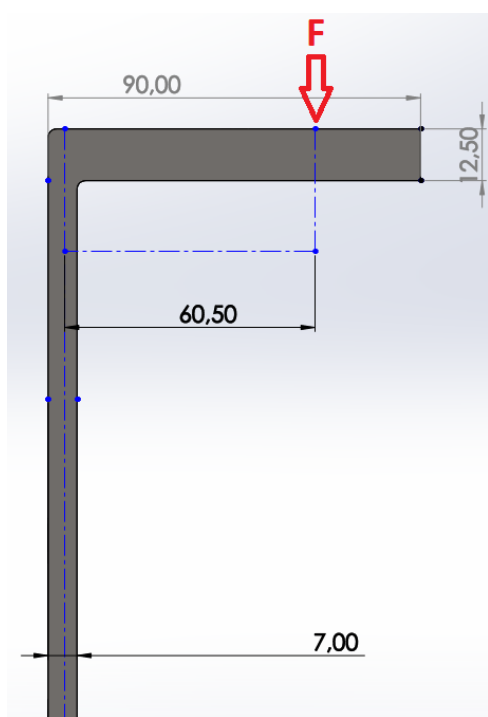
Beregningene for laster som opptrer har blitt gjort etter eurokode 1 i tillegg til beregningene gjort i Ove-Sletten.

Bøyespennning

Bøyespenningen oppstår når legemet blir utsatt for momentbelastninger. U-profilen som beregningene er gjort for er type UPE 240 med stålqualität S355.

Til beregning av momentbelastningen er det blitt brukt egenlasten, da det er kun denne lasten som skaper bøyemoment på profilet. For enkelhetens skyld er resultanten til den fordelte lasten satt midt på toppen av profilet.

Det største momentet på stålprofilet vil opptre i steget. Lengden på momentarmen vil da bli fra midten av steget og til kraften. Derfor er lasten plassert litt lenger ut for å få en mer kritisk belastning, som vist på figuren under.



Figur 13: Momentarm

For å beregne motstandsmomentet (W), eller momentkapasiteten, er det blitt tatt utgangspunkt i bredden på profilet og tykkelsen på steget.

Følgende formel (Haugan, 2013, s. 101) har blitt gjort om på og blitt brukt for å regne ut bøyespenningen på U-profilet: 2

$$\sigma = \frac{M}{W}, \quad W = \frac{1}{6} * b * t_2^2$$

Strekkapasitet

Strekkapasitet til en bolt er en verdi som forteller hvor mye strekkpåkjenning den tåler før den gir etter. Kraften bolten blir utsatt for er vindlasten som skaper sug. Boltens oppgave i konstruksjonen er å holde sammen betongdekke og U-profilen, som veggelementet er festet på. Kreftene bolten blir utsatt for oppstår når vinden drar i en retning og betongdekke i den andre.

For å regne ut strekkapasitet på bolten ble det brukt formler fra NS-EN 1993-1-8 tabell 3.2. Beregningene har blitt gjort for å dimensjonere bolten som skal kunne tåle vindlasten.

Når det monteres skal ikke bolten bli forspent, dette fordi det ikke er nødvendig med forspenning når det kun er vindlast som opptrer i forbindelsen, samt at dekke skal kunne gli opp og ned.

Avskjærings kapasitet

I konstruksjonen er skruene brukt på en slik måte at de blir utsatt for tverrbelastning. Denne lasten virker vinkelrett på skruenes gjengede del, og kan forårsake avskjæring av skruen. Derfor er det viktig å bruke skruer med tilstrekkelig kapasitet, for at det ikke skal oppstå brudd.

Ved beregninger på skruer ble det brukt formler fra NS-EN 1993-1-8 tabell 3.4. Beregningene har blitt gjort for å dimensjonere den minste verdien på tverrsnittareal av skruen som kan tåle vindlasten. På bakgrunn av disse beregninger ble det valgt type skruer som skal brukes i forbindelsen.

Hullkanttrykk

Når en forbinder påføres en tverrlast, vil den igjen påføre trevirket et trykk, som fører til en fordypning i trevirket. Denne fordypningen kalles for hullkanttrykk. Kraften fra forbinderen vil skape en hullkanttrykkspenning mot trevirket. Belastningen på forbinderen er rettet motsatt, der forbinderen kan bøyes ved store belastning over trevirkets tykkelse. Hullkantkapasitet definerer trevirkets motstand for trykk.

Hullkantfastheten ble beregnet i henhold til punkt 8.3.1.1(5) i NS-EN 1995-1-1, i dette tilfelle ble formelen for beregninger uten forboring tatt i bruk. Skruedimensjonen som er blitt brukt er 6 mm, og ifølge EK5 skal det benyttes spikerformler. I tillegg tilsier det nasjonale tillegget, punkt 8.3.1.2(7), at det ikke trengs forboring av gran og furu. I vårt tilfelle er det brukt konstruksjonstrevirke og derfor vil det nasjonale tillegget gjelde.

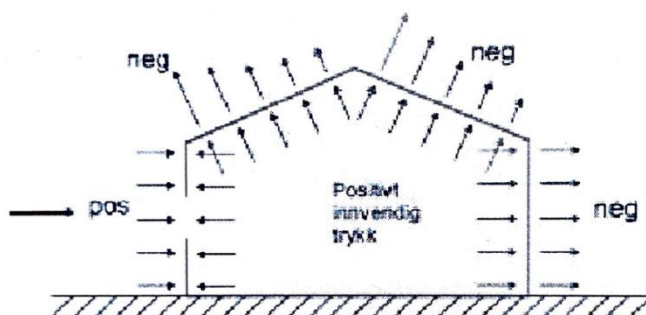
For å kontrollere hullkantkapasiteten ble det brukt formelen fra NS-EN 1995-1-1 punkt 8.2.2(b), da det er kun denne typen hullkanttrykk som vil være aktuell i vårt tilfelle.

Lasteberegning

Verdiene som det ble gjort analytiske beregninger for er egenlast for veggelementet og vindlasten. Som nevnt tidligere i delkapittel 2.3.8 «Last» er selve egenlasten blitt oppgitt av oppdragsgiveren, gruppen har derfra beregnet den dimensjonerende lasten som opptrer på U-profilen.

Til grunn for beregninger av vindlasten ble det tatt utgangspunkt terrengruhetskategori II som er hentet fra EK1 i tabell 4.1. Terrengruhetskategori II kalles for landbruksområde, som er et område med spredte små bygninger eller trær. Verdien i grafen om terrengruhet brukes videre til å beregne den dimensjonerende vindlasten. I dette tilfelle er det E-sonen fra figur 7.5 fra EK1, eller sugkraften som den også heter, som er den kritiske lasten.

Det er også blitt tatt i betraktning overtrykk som eventuelt kan oppstå inne i selve bygget i utregningene. Overtrykket oppstår hvis det er en permanent åpning i en yttervegg i retningen mot vinden. Da vil trykket i rommet innenfor bli den samme som det utvendige trykket mot veggen, som er tilsvarende trykket på D-sonen. I beregningene vil dette trykket komme i tillegg til sugkraften på E-sonen.



Figur 14: Den total vindbelastning. Overtrykk

Vindlasten er både blitt beregnet via Ove Sletten og for hånd. Gjennom alle vindberegninger er det gått ut ifra formler fra NS-EN 1991-1-4.

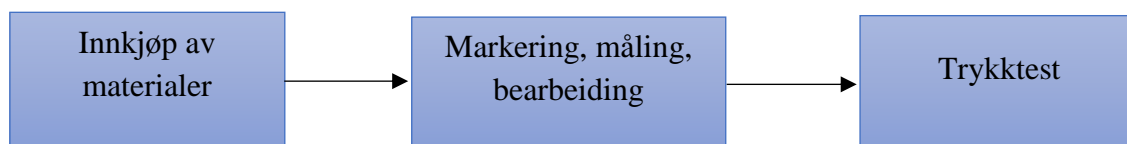
3.4.4 Laboratorieforsøk

Det ble utført en trykktest i laboratoriet på NTNU Campus Gjøvik for å kontrollere om den nye innfestningen av de prefabrikkerte veggelementene tåler den dimensjonerende lasten og nedbøyningskravet.

Formålet med dette laboratorieforsøket var å finne ut om den nye løsningen av innfestningen var god nok dimensjonert i forhold til egenlasten. Forsøket ble utført ti ganger med ti prøvestykker som var anbefalt av laboratorieansvarlig Tor Kristoffer Klethagen, med hensyn til spredning av verdier i resultatet.

Ved testing ble påført last og nedbøyningen holdt under observasjon. Gruppen brukte to nedbøyningsmålere, en mekanisk og en digital, slik at resultatet på forsøket styrkes.

Forsøkets hovedtrinn er beskrevet nedenfor i figur 15. Det første trinnet av forsøket var å kjøpe og skaffe alle materialene til forsøket, dette ble gjort i samarbeid med Landheim Gruppen, Metallco AS og Motek AS. Svillene fikk vi ferdigkuttet etter ønsket størrelse fra Landheim, U-profilen ble bestilt etter valgt dimensjon fra Metallco AS og skruene fra Motek AS. Neste trinn var å forbore hullene i U-profilen med hjelp av laboratorieansvarlig Tor Kristoffer Klethagen. Deretter ble svillene og U-profilen satt sammen til prøvestykker. Det gjorde gruppa ved å skru delene på plass med skruene fra Motek AS. Til slutt ble trykktestingen utført.

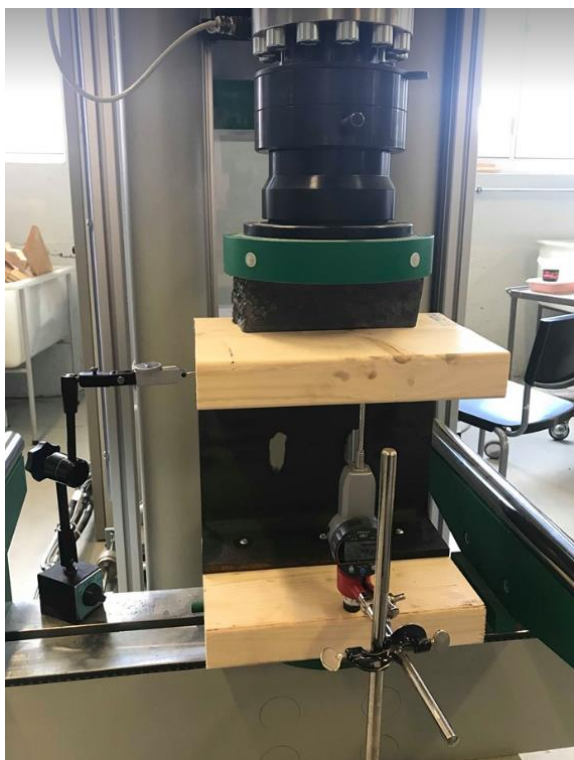


Figur 15: Hovedtrinnene i laboratorieforsøket

Laboratoriet

Laboratoriet som forsøkene ble utført i er bygg-laben som tilhører NTNU i Gjøvik. Labben har ingen konstant temperatur eller relativ fuktighet. Ifølge måleinstrumentet som gruppen målte med i forkant av forsøket, lå temperaturen på 22 grader Celsius og relativ fuktighet på 27,5%.

Maskinen som testene ble utført på heter Mega 6 og er en elektrisk universalprøvemaskin som brukes hovedsakelig for å teste trykk i betong og tre. Prøvemaskinen trykker med en konstant hastighet og konstant kraft. Påført kraft på prøvestykkene er valgt etter beregningene og ble tastet inn i maskinens programvare, samt tiden på varighet av trykket ble også valgt. Trykket var på rundt 6,9 kN og varte i 10 minutter. Nedbøyningen ble notert i bestemte tider under de 10 minuttene.



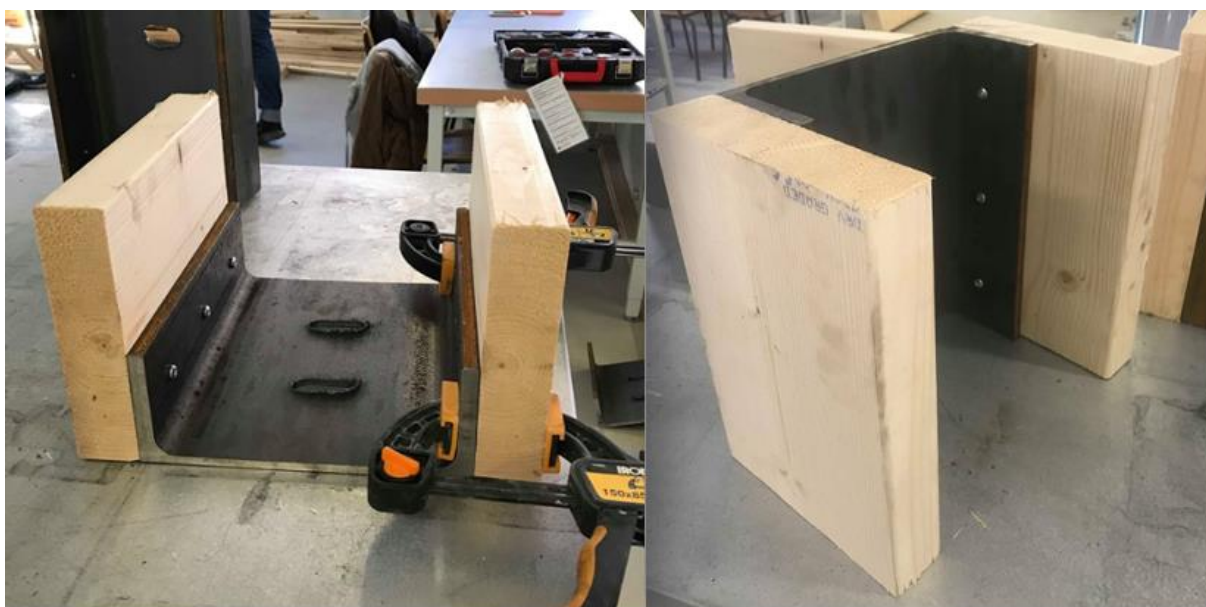
Figur 17: Prøvestykket under trykktest



Figur 16: Prøvestykket ved endt trykktest

Prøvestykkene

Svillene som ble benyttet under forsøket var av gran med trekvalitet C24 i størrelse 198x48 mm, og hentet fra oppdragsgiveren Landheim Gruppen. U-profilen med stålqualitet S355 og type UPE240, var kjøpt fra Metallco AS. Det ble brukt seks antall skruer på hvert prøvestykke og skruetyper som ble brukt var helgjenget treskrue med panhode og dimensjon på 6,0x50 mm. Skruelieferandøren ble valgt ettersom oppdragsgiveren forhandler med dem, og skruetyper ble bestemt etter konsultasjon og anbefaling fra leverandøren. Bildene under viser hvordan prøvestykkene ser ut.



Figur 18: På venstre side viser prøvestykket under oppbygging og på høyre side er prøvestykket ferdigbygd

Forsøksmetode

Forsøket bestod av ti prøvestykker. Sammenføyningen, som var basert av to sviller satt sammen med en U-profil ved hjelp av skruer, skulle utsettes for en konstant last. Lasten ble påført tvers på svillens fiberretning. Den påførte lasten, på omtrent 6,9 kN, var bestemt på forhånd etter analytiske beregninger. Prøvestykkene ble utsatt for trykkbelastning under en tidsperiode på 10 minutter.

Under forsøket har gruppen valgt å måle nedbøyningen av både svill og stålprofil. Gruppen brukte to typer nedbøyningsmålere, hvor den ene var mekanisk og den andre digital. Dette ble gjort for å få et klarere bildet av resultatet.

Den mekaniske måleren ble plassert under stålprofilen, mens den digitale under svillen, se figur 16. Da prøvestykket var under belastning ble det nedbøyning på både bunnsvill og U-profil, der svillen fikk den største nedbøyningen. Gruppen noterte verdiene for deformasjonen ved fem bestemte tidspunkter for hvert prøvestykke, se vedlegg 8.

3.5 Usikkerheter

Det kan forekomme en del usikkerheter til de forskjellige metodene som ble brukt i løpet av prosjektet. Et forskningsprosjekt vil alltid bli påvirket av usikkerheter på den måten at usikkerhetene reduserer resultatenes pålitelighet. Det er derfor viktig å identifisere hvor usikkerheter kan opptre og hvordan de virker inn på resultatet.

3.5.1 Utforming

Under utforming ble det brukt Solidworks og Revit. Her er menneskelig svikt hovedsakelig grunnen til usikkerheten. Programmene gjør jobben sin ved at brukeren setter inn verdier og rammebetingelser, men her kommer muligheter for at brukeren, som ansvarligfører for de innsatte dataene, kan ha gjort feil. Med andre ord så svikter ikke programmene i seg selv, men at det heller er selve brukeren som er ansvarlig for sluttresultatet og dermed årsaken for usikkerhetene.

Dimensjonene av alle modellene oppgis av brukeren manuelt i programmene. I Solidworks ble hver enkel del av modellen tegnet hver for seg, og til slutt satt sammen til en modell som representerer oppgavens løsning. Dette er forklart nærmere under delkapittel 3.4.1 «*Utforming*». For den manuelle delen av arbeidet er det muligheter for feil.

Gruppemedlemmene har gjennom hele prosjektet kontrollert hverandres arbeid, også i dette tilfelle når det gjelder bruk av dataprogrammer. Dette for å sikre mindre sannsynlighet for feilmarginer. Alt tatt i betraktning vil ikke utførelsen av arbeidet kunne bli fullstendig sikret, grunnet forfatterens kompetansenivå innenfor de anvendte programmene. Resultatet, altså modellene, var akseptable og ut ifra 3D-fremvisningen var det slik gruppen så for seg løsning. Dermed synes gruppen at arbeidet var vellykket.

3.5.2 Elementanalyse

Elementanalyse er den analysen i oppgaven som gir et realistisk bilde av virkeligheten.

Usikkerheten i vil hovedsakelig være menneskelig svikt. Programmet i seg selv er pålitelig og gjør jobben presist, dermed er det kun brukeren som kan gjøre feil.

Likevel er det viktig å merke seg også usikkerheter rundt lastene. De er påført og beregnet som punktlaster på svillen, og vil ikke gi et realistisk bilde av virkeligheten. I realiteten er det jevnfordelt last utover svillen, i tillegg er vindlast også påført som punktlast. Noe som er også greit å merke seg er den største spenningen som ankom som resultat. Denne spenningen er høy sammenlignet med spenninger ellers i konstruksjonen. Dette fremkommer av singulariteter fra noder som er belastet mer enn det det gjøres i virkeligheten. Singulariteter har ingen praktisk betydning. Dette er en svakhet for ANSYS som gir kunstig høye spenninger.

3.5.3 Analytisk beregning

De analytiske beregningene ble gjennomført i Excel, og er basert på formler fra standarder. Formler hentet fra norsk standard anses som en sikker kilde, slik at usikkerheter knyttet til standarder er minimal.

Usikkerheter ved analytisk beregning er først og fremst knyttet til menneskelig svikt. I tillegg til dette kan det også oppstå feil ved anvendelse av teori og formler.

I Excel skal alle formler legges inn manuelt, slik at det er mulighet feil i dimensjoneringen. Dessuten er det flere formler som bygger på hverandre og på den måten kan det forekomme følgefeil. Videre er det mange tall som er hentet fra tabeller, som vil kunne føre til både feilregistrering og feiltolkning.

For å minimere feilene på best mulig måte har det vært jevnlig kontakt underveis med veileder og andre fagpersoner, i tillegg til at alle beregningene er blitt sjekket og kvalitetssikret av alle gruppe-medlemmer.

3.5.4 Laboratorieforsøk

Det er viktig å vurdere mulige svakheter eller feilkilder som kan ha påvirket laboratorieforsøket og dermed dataene gruppen fikk fra testene. Først og fremst kan kvaliteten av prøvestykkene variere. Selv om de er bygd på samme måte og har like størrelser er de likevel ikke helt identiske. Det er også mulighet for skadet skrue, ulikt fuktinnhold i svillene, skadet svill eller ujevne hull på U-profilen som kan ha påvirket resultatet.

Etter lagring av svill i bygg-laben observerte gruppen riss i noen av svillene. Det er mulig at sprekke ble til under oppbevaringen i bygg-labben, i og med at laboratoriet i Gjøvik ikke har en kontrollert oppbevaringsplass.

Prøvemaskinen Mega 6, som gruppen benyttet seg av i utførelsen av forsøket, er heller ikke den beste nedbøyningsmaskinen når det kommer til nøyaktighet. Det kan dermed konkluderes med at det finnes flere faktorer som kan ha påvirket utfallet.

Prøvestykkene ble dessuten montert for hånd av gruppemedlemmene, dermed kan dette også være en usikkerhet som kan ha påvirket resultatet.

Menneskelig svikt er en av de største feilkildene, da testene ikke lar seg utføres identisk med gruppedeltakernes ulike evner. Derimot anses verken prøvemaskinen eller utstyret ved laboratoriet som noe særlig sannsynlig svakhet, i og med at de ble kontrollert av laboratorieansvarlig etter faste rutiner.

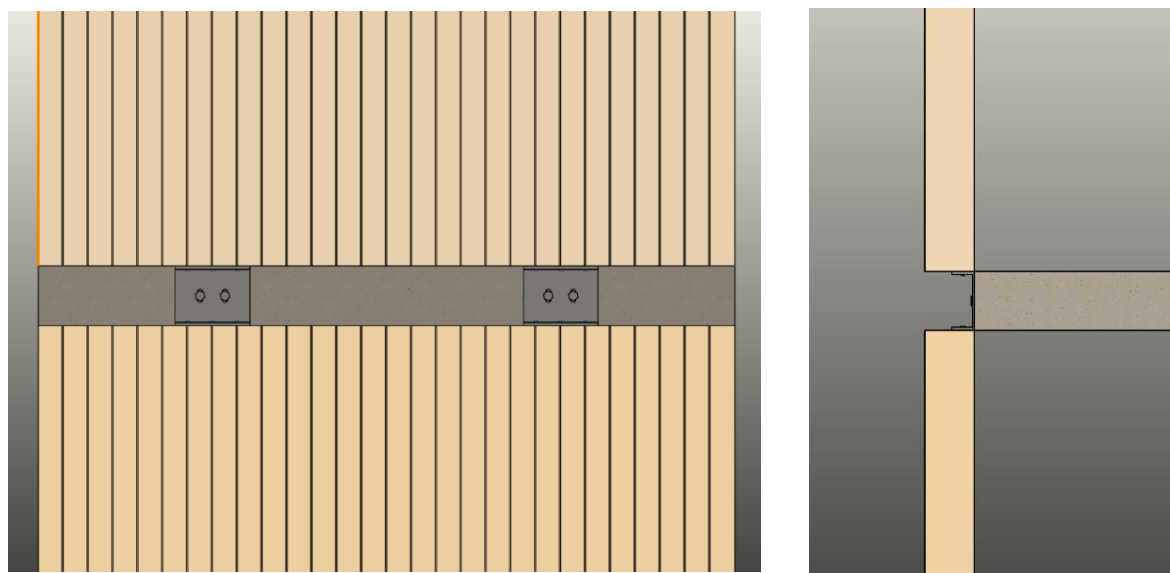
4 Resultater

I forrige kapittel ble det nevnt hvilke metoder som har blitt tatt i bruk for å sjekke styrken av innfestningen. Dette kapittelet representerer resultatene av de anvendte metodene. Resultatene vil bli diskutert grundigere i kapittel 5 under diskusjonsdelen.

4.1 Utforming

Under utformingsfasen har gruppen satt søkelys på montasjevennlig løsning. Dette førte til at forfatterne kom med tre forskjellige løsninger som resultat, der den ene ble valgt som den endelige løsningen. Valget ble diskutert med Landheim Gruppens teamleder med fokus på effektivisering av monteringstiden. Utformingen av alle tre løsninger ble utført ved hjelp av Solidworks og Revit.

Under ser du løsningen som ble valgt som resultat. Tydeligere modeller er lagt til som vedlegg nr. 3.



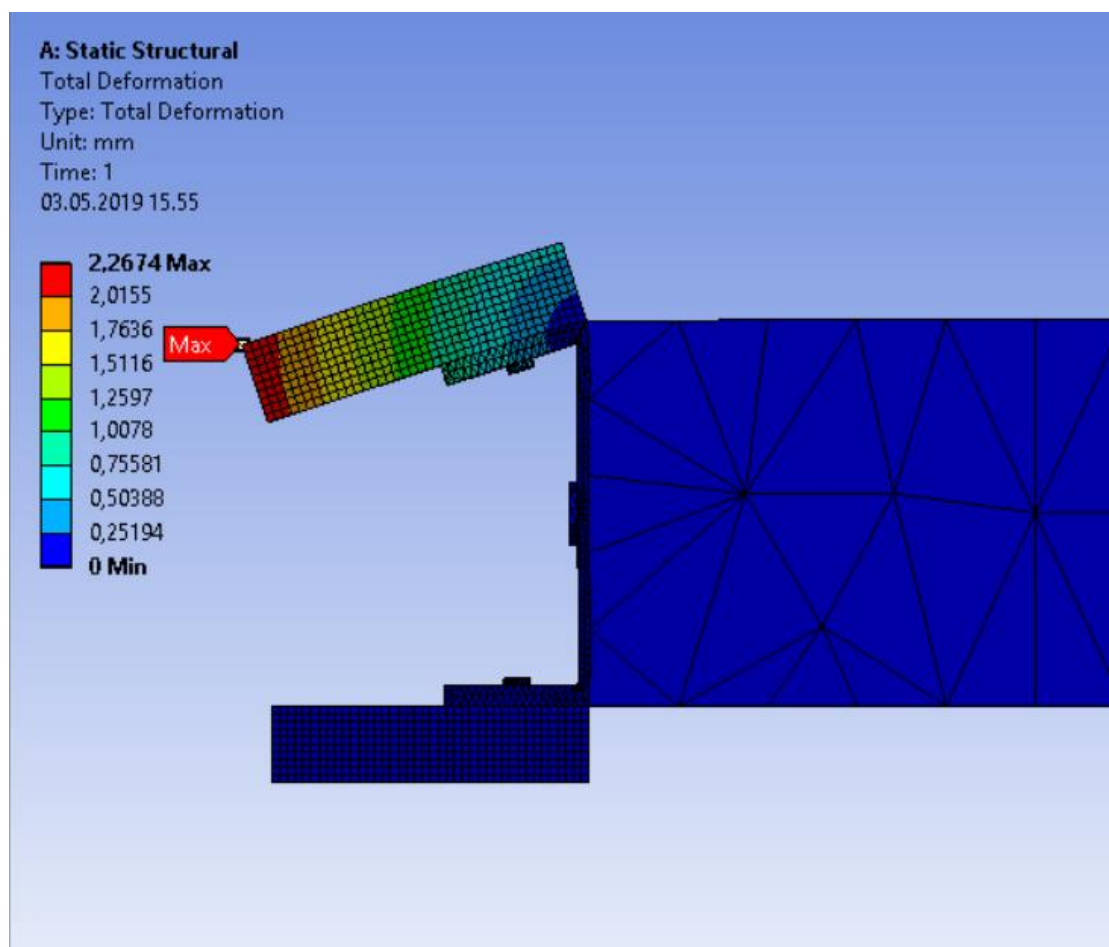
Figur 19: Utformingen av endelige løsningen

4.2 Elementanalyse

I dette kapittelet beskrives resultatene av elementanalyse som representerer de maksimale spenningene, samt den maksimale deformasjonen som oppstår under den oppgitte lasten.

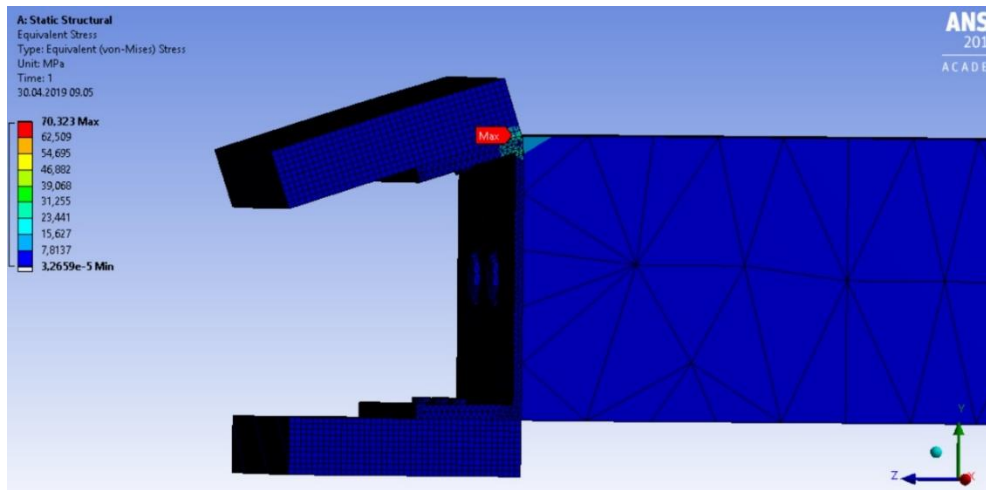
Resultatene baserer seg på metoder som er beskrevet under delkapittel 4.2.1

«*Elementanalyse*». Nedenfor på figur 20 fremstilles den største deformasjonen som er på 2,26 mm, som oppstår på bunnsvillen. U-profilen får også en nedbøyning på 1,12 mm.

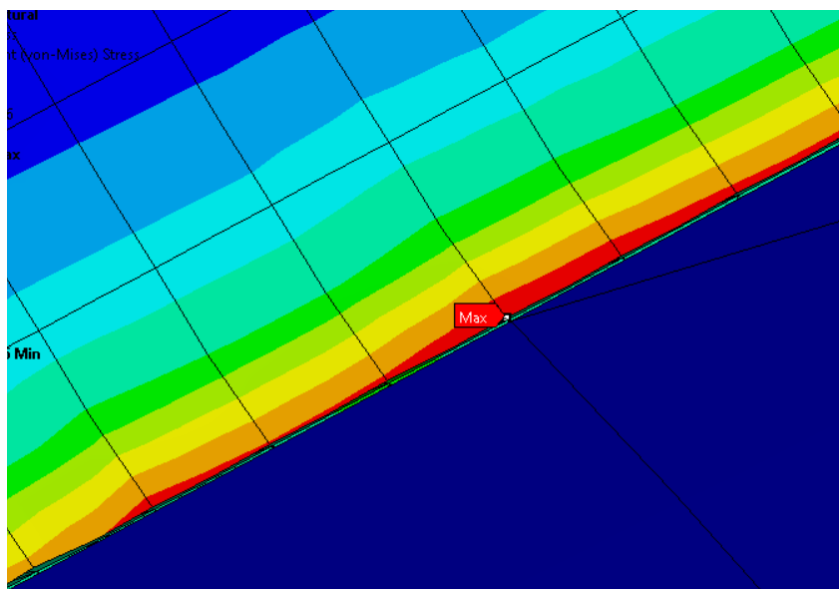


Figur 20: Resultat fra analysen

På figur 21 og 22 ser vi den maksimale spenningen som oppstår på modellen. Største spenningen befinner seg på hjørnet av U-profilen som ligger på 70 N/mm. Dette er en spenningssingularitet som vanligvis oppstår ved skarpe overganger. Denne spenningen oppstår av egenlasten fra etasjene over. Spenningen er også høy rundt skrueforbindelsene, men mindre enn den maksimale. Dette oppstår av egenlasten og den aksiale vindlasten.



Figur 21: Resultat fra analysen



Figur 22: Forstørret bilde av kanten av U-profil der den maksimale spenning oppstår

4.3 Analytisk beregning

Resultatene som fremkommer fra de analytiske beregningene er basert på definerte standarder. Verdiene skal ses i sammenheng med resultater fra elementanalysen og laboratorieforsøket. Alle beregningene er gjort i Excel og finnes i vedlegg 8.5.

4.3.1 Bøyespennning

Ut ifra forutsetninger som ble beskrevet og formler som er presentert i delkapittel 3.4.3 «*Analytisk beregning*», fikk gruppen beregnet en spenning på $169,4 \text{ N/mm}^2$ som den maksimale bøyespenningen. Det har blitt gjort beregninger med utgangspunkt i egenlasten, da det er kun egenlasten som er årsaken til at det oppstår bøyespennning. Med utgangspunkt at stålqualiteten er S355 ble stålets kapasitet beregnet til 338 N/mm^2 . Med dette ser vi at kapasiteten på stålet er tilfredsstillende.

4.3.2. Strekkapasitet

Beregningene som er gjort er basert på EK3 tabell 3.4, der kom vi fram til at kapasiteten per bolt er på $33,4 \text{ kN}$, og da det er blitt brukt to bolter i forbindelsen blir den totale kapasiteten på $66,8 \text{ kN}$. Det anbefales å bruke skive mellom mutter og U-profil både med tanke på at den skal hjelpe forbindelsen til med å gli, og for å minimere muligheten for gjennomllocking av materialet.

4.3.2. Avskjæringskapasitet

Den maksimale strekkspenningen ble regnet ut til å bli 384 N/mm^2 . Ved hjelp av dette og verdien av den strekklasten skruene blir utsatt for ble det fastsatt den miste verdien for spenningsareal som ble $8,1 \text{ mm}^2$. Vi fant ut at ved bruk av en skrue med en diameter på 6 mm får vi et spenningsareal på $9,24 \text{ mm}^2$ som tilfredsstiller vårt krav.

En diameter på 6 mm vil ikke gi noen form for glidning da det er såpass smal klaring at bevegelsen til skruen er minimal. Den nøyaktige klaringen ble fastslått etter denne utregningen: $0,1 * d$. Da fikk vi et resultat på $6,6 \text{ mm}$.

I dette tilfelle ville en skrue være tilstrekkelig, men for stabilitetens skyld er det anbefalt å bruke minimum to skruer per forbindelse.

4.3.3 Hullkanttrykk

Analytiske beregninger for hullkantkapasitet er gjort for å kontrollere at treverket skal kunne motstå trykket det utsettes for ved forbindelsen. For beregning av hullkantfastheten tas i bruk den effektive diameter på skruen og trevirkets densitet. Hullkantfasthet ble regnet ut til å være $18,7 \text{ N/mm}^2$. Sammen med inntrekningsdybden i tredelen som mottar skruespissen i en enkeltsnittet forbindelse, danner verdien for hullkantfasthet grunnlag for beregninger av hullkantkapasiteten. Med disse parameterne ble hullkantkapasiteten beregnet til $5,59 \text{ kN}$.

Lengden på skruen i treverket skal være større enn $6 * d$. Med dette som utgangspunkt og ved bruk av beregningene ble den minste skruelengden fastsatt til 50 mm .

I utgangspunktet var det planlagt å benytte seg av to skruer, men beregningene viste at forbindelsen blir for svak. Derfor har det blitt gjort nye beregninger med utgangspunkt i forbindelser med tre skruer.

Ifølge EK5 gjelder regler for spiker når treskruen har diameter på mindre eller lik 6 mm . Derfor har det blitt brukt formler for spiker i beregningene.

4.3.4 Lastberegning

Som nevnt tidligere er det blitt gjort beregninger for de dimensjonerende kreftene som påvirker innfestningen, i dette tilfellet vindlast og egenlast.

Verdien for egenlast som er blitt opplyst av oppdragsgiver er på 47 kg/m^2 . Denne lasten er blitt konvertert til kN og gjort om til en konsentrert punktlast for enkelhetens skyld, som ble til $6,86 \text{ kN}$.

Referansevindhastigheten ($v_{b,0}$) er tatt fra Hvaler, i Østfold, og er blitt brukt som et grunnlag for resten av vindlast beregningene. Denne verdien var på 27 m/s . Det ble gjort en antakelse for å få den størst mulige lasten på E-sonen, $C_{pe}(E) = 0,7$, mens overtrykket som en fast verdi på $C_{pi} = 0,2$. Den dimensjonerende vindlasten ble på $1,48 \text{ kN/m}^2$. Lasten boltene blir utsatt for er til sammen $7,25 \text{ kN}$, mens en skrueforbindelse blir utsatt for en last på $3,12 \text{ kN}$.

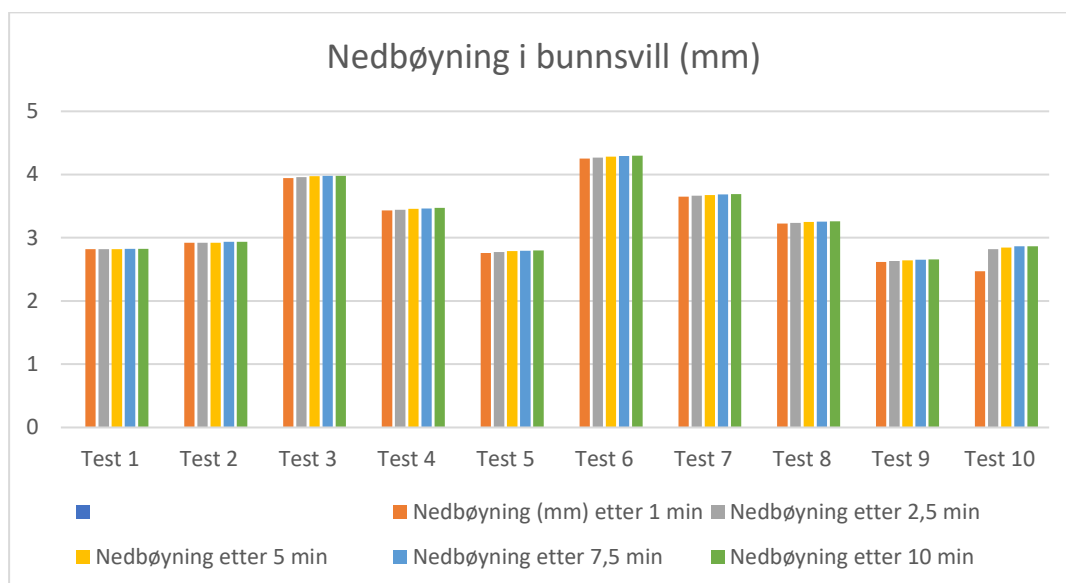
4.4 Laborieforsøk

Utførelsen av laborieforsøket er beskrevet i delkapittel 3.4.4 «*Laborieforsøk*».

Testene ble gjennomført for å avdekke om den nye løsningen av innfestningen av prefabrikkerte veggelementer holder påkjenningen fra egenlast, som antydnet i problemstillingen.

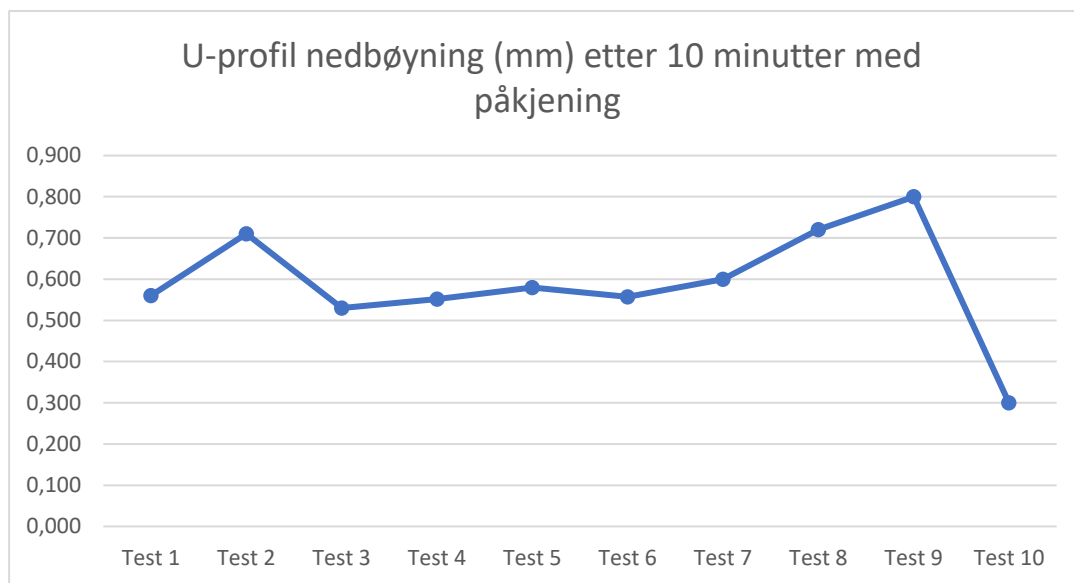
Som nevnt tidligere har vi brukt to type nedbøyningsmålere for å kunne måle nedbøyningen av både bunnsvill og U-profilen samtidig. Figur 23 viser nedbøyningen av bunnsvill i mm etter påført last på 6,9 KN. Lasten var påført som punktlast ettersom det ikke var mulighet for å simulere en jevnt fordelt last.

Nedbøyningen ble målt fem ganger i bestemte tidspunkter for hvert prøvestykke. Testresultatene viser gjennomsnittlig nedbøyning for bunnsvill på 3,3 mm.



Figur 23: Testresultat, nedbøyningen i bunnsvill

Figur 24 viser nedbøyningen av U-profil i mm med påført last på 6,9 kN. Trykk-påkjenningen varte i 10 minutter, deretter ble nedbøyningen målt. Dette ga en gjennomsnittlig nedbøyning på 0,6 mm.



Figur 24: Testresultat, nedbøyning i U-profil

5 Diskusjon

Det ble nevnt tidligere under delkapittel 3.5 «Usikkerheter» at det er fullt mulig med usikkerheter og svakheter gjennom dette prosjektet som kan ha påvirket resultatene. I tabell 2 nedenfor er det listet opp faktorer under punktet usikkerheter. Dette er faktorer tatt i betraktning for de ulike metodene brukt i prosjektet for å komme til den endelige løsningen.

Tabell 2: Oversikt over usikkerheter

	Usikkerheter
Utforming	<ul style="list-style-type: none">• Menneskelig svikt i DAK- verktøy• Vanskelig å se feil
Elementanalyse	<ul style="list-style-type: none">• Menneskelig svikt• Singulariteter• Laster
Analytisk beregning	<ul style="list-style-type: none">• Menneskelig svikt• Feil anvendelse av teori og formler• Feil antagelser
Laboratorieforsøk	<ul style="list-style-type: none">• Menneskelig svikt• Materialsvikt/ulik kvalitet av materialene og prøvestykkene

5.1 Utforming

I og med at oppgaven går ut på å utvikle en ny type innfestning for oppdragsgiveren, måtte det til en ny utforming. Utformingen av innfestningen er standardisert og kan innføres i alle bygg som er på maksimalt tre etasjer. Dette etter det oppgaven har bevist ut ifra begrensningene som er gjort. Med en standardisert løsning kan Landheim anbefale kundene sine en sikker og monteringsvennlig innfestningsmetode for veggelementer. Oppgavens løsning vil føre til effektivisering av monterings tid og kvaliteten på sluttresultatet. Dette vil være til gode for bedriften ved at det kan bli økt etterspørsel som igjen leder videre til positiv økonomi. Alt i alt er dette en positiv spiral.

Under klargjøring av materialene til laboratorieforsøket, merket gruppen noen negative sider. Det særlig bruken av U-profil da det var krevende med bearbeiding av hullene, i tillegg til kappingen. Hvis oppdragsgiveren velger å bruke denne type løsning videre i fremtiden vil det være nyttig å investere tid og nytt utstyr for bearbeiding av denne delen av innfestningen. En del av kundene til Landheim har hatt behov for veggelementer til bruk i bygg på mer enn tre etasjer, og siden oppgavens løsning er begrenset til tre etasjer vil dette også være en negativ side.

Et prosjekt vil som regel ofte ha både negative som positive sider. Det er opp til oppdragsgiveren å veie dem opp mot hverandre og komme til en endelig avgjørelse om de vil bruke løsningen til tross for dens negative sider, eller om de ikke vil bruke den fordi de ikke vil risikere noe på grunn av ulempene.

Under delkapittel 3.5 «Usikkerheter» er det nevnt usikkerhetene for de anvendte metodene som har spilt en stor rolle for sluttresultatet. Alle metodene som er tatt i bruk i oppgaven har hatt særlig en usikkerhet som fellestrekk, og det er menneskelig svikt. Både når det gjelder bruk av dataprogrammene Revit, Solidworks og ANSYS Workbench i tillegg til laboratorieforsøket, har det som hovedgrunn til feilkildene vært menneskebasert. En del av verdiene som er satt inn er gjort manuelt, som også kan føre til feil. Modellene som er gjort i programmene ble brukt som arbeidstegninger under bearbeiding og montering av prøvestykkene. Som følge av dette kan det resultere til påvirkning av sluttproduktet.

Gruppemedlemmene har underveis gjennom prosjektet sjekket på hverandres arbeid og sikret at det er gjort korrekt, i tillegg til at gruppa har hatt kontakt med fagpersoner samt veileder

ved NTNU for å sikre arbeidet. Med dette kan resultatene ses på som gyldige sett fra gruppens synspunkt.

5.2 Elementanalyse

I FEM-analysen ble det bestemt tidlig i skisseringsfasen at gruppen kun skal se på innfestningen av løsningen. Dette ble valgt for å se nærmere på områdene der som lastene opptrer, i tillegg for å få mest mulig realistiske resultater.

Påført last opptrer som punktlast og gjør at modellen får den maksimale nedbøyningen på 2,26 mm. Nedbøyningen kommer til å bli enda mindre hvis lasten jevnt fordeles, slik den er i virkeligheten. Bruken av punktlast påvirker analysens pålitelighet. Deformasjonen vil være lavere ved riktig lastoverføring, likevel anser forfatterne at den maksimale nedbøyningen er lav. I treverk vil det alltid oppstå deformasjon under en viss last, men oppdragsgiver må selv vurdere om den opptredende nedbøyningen er kritisk med tanke på valg av kledning og fasade.

Den maksimale spenningen forekom på toppkanten av U-profilen. Dette er høyt sammenlignet med resten av konstruksjonen. Spenningen oppstod som sagt på grunn av singulariteter som vanligvis oppstår i skarpe hjørner der arealet er lavt. *Lee (2012, s.157)*. Store spenninger trenger flere og dermed mindre elementer for at det skal presist uttrykkes. Elastiskteorien sier at når radiusen på hjørnet er null, vil spenningene vokse mot uendelig. Singulære spenninger representerer en utelukkende teoretisk størrelse, da en ikke finner ideelle rette hjørner i den virkelige verden. Også rundt selve skrueforbindelsen er spenningen høy, her på grunn av vindlasten som angriper aksialt. Likevel er den fremdeles relativt lavere enn den maksimale spenningen.

Uskikketheten som er nevnt i delkapittel 3.5 «*Usikkerheter*» handler om menneskelig svikt ved bruk av programmet ANSYS Workbench. Det krever en del data som må legges inn manuelt og vil kunne føre til menneskelig svikt. Gruppemedlemmene har alltid kvalitet sjekket hverandres arbeid. Med dette mener gruppen at resultatene er akseptable.

På bakgrunn av resultatene som kom fra elementanalysen anses nedbøyningen som gyldig. Modellen ble testet i laboratorieforsøk, der den ble belastet med den aktuelle lasten. Den fikk

en tilnærmet lik nedbøyning som gruppa hadde fra resultatene av elementanalysen. Testene ble gjort med samarbeid med fagkyndig, Tor Kristoffer Klethagen, og derfor anses resultatene som gyldige. Spenningen er også beregnet under analytiske beregninger, der den maksimale spenningen ble mye større enn det som ble simulert i elementanalysen. Gruppen mener at spenningsbildet som er beregnet i FEM-analysen er mer riktig og fremstår som gyldig. Denne analysen ligger nært den teorien som ble lagt til grunn ved litteratursøk og skissering, og anses som et godt resultat.

5.3 Analytisk beregning

De analytiske beregningene er basert på definerte standarder som er EK1, EK3 og EK5. Siden denne metoden for innfesting av veggelement er noe som ikke er vanlig å bruke i dagens byggeteknikker, var det nødvendig å foreta noen antagelser og forutsetninger.

Valg av teori og formler for bruk i beregningene ble ved flere anledninger drøftet med både faglærer Harald Berg Fallsen og veileder Jan Steinar Egenes for å utelukke denne usikkerheten.

I metodekapittelet omtales utregning av bøyespenning i u-profilet. Formlene som er blitt tatt i bruk på bøyespennings beregning er basert på vanlige statikkberegninger og er derfor noe forenklet. Resultatene som kom etter beregninger viser kapasiteten til stålprofilet og denne er større enn den opptredende spenningen, slik at dette er innenfor kravet.

Måten boltene blir brukt på i konstruksjonen gjør at den ikke blir utsatt for kombinert spenning, men kun for en strekkspenning. Dette fører til at boltens restkapasitet blir stor og er dermed overdimensjonert i forhold til strekkspenning. Selv om det faktumet ble oversett underveis i prosessen, og kan ses på som menneskelig svikt, vil resultatet regnes som fremdeles gyldig da kapasiteten er tilstrekkelig.

Da denne oppgaven ikke fokuserer på det økonomiske aspektet, anses bruk av denne boltene som forsvarlig. Da kun 10,8 % av boltkapasiteten blir brukt er det så god margin at oppdragsgiver kan selv vurdere å gå ned i dimensjoner på boltene.

Det er skruens skjærfasthet som er lagt til grunn ved dimensjonering av skruer, slik at avskjæringskapasiteten vil være tilstrekkelig for tverrlasten som forbindelsen blir utsatt for.

Hulkantrykk ble beregnet med utgangspunkt i skruens dimensjoner. Her kan det forekomme følgefeil hvis skruer er feildimensjonert, men da hele gruppen allerede har kontrollert beregningen, så ser vi på disse resultatene som troverdige.

Lastene danner grunnlaget for all dimensjonering i de analytiske beregningene, der egenlasten er sentral ved dimensjonering av U-profilet, mens forbindelsene ble kun dimensjonert for vindlasten.

For å kvalitet sikre ble lastberegninger gjort på to forskjellige metoder, og resultatene hadde tilnærmet same verdi. Derfor anses disse resultatene som tilfredsstillende.

En mulig usikkerhet i analytiske beregninger i denne oppgaven feil data ved utfylling i Excel, da alle tall skrives inn manuelt.

For å minimere feilene på best mulig måte har det vært jevnlig kontakt underveis med veileder og andre fagpersoner, i tillegg til at alle beregningene er blitt sjekket og kvalitetsikret av alle gruppemedlemmer.

5.4 Laboratorieforsøk

Laboratoriet i NTNU Gjøvik er begrenset med prøvemaskiner og utstyr, derfor var det ikke mulig å utføre en test på hele sammenføyningen som gruppa kom opp med. Dermed måtte det gjøres forenklinger ved å utføre testen kun på den vertikale delen, da det ikke var mulighet å belaste aksialt. Forbindelsen ble utsatt for en vertikallast ved bruk av maskinen som nevnt tidligere Mega 6.

Det er også muligheter for materialsvikt eller at det kan ha vært ulike kvaliteter på materialene. I tillegg har ikke laboratoriet i Gjøvik muligheter for en kontrollert oppbevaring av prøvestykkene. Gruppen merket at det var noen riss på svillene etter noen dagers oppbevaring av prøvestykkene i laboratoriet. Dette kan ha påvirkning på sluttresultatet.

Noe annet som kan ha påvirket testresultatene er at prøvestykkene ble satt sammen av gruppemedlemmene og ikke fagfolk. Det kan ha ført til dårligere kvalitet på prøvestykkene, som igjen fører til påvirkning på resultatene. På en annen side er det veldig lite spredning på

verdiene av resultatene på prøvestykkene. I tillegg kontrollerte laboratorieansvarlig prøvestykkene kontinuerlig. Med dette anses materialene som ingen alvorlig svikt.

Laboratorieansvarlig Tor Kristoffer Klethagen var tilstede under forsøksperioden og dette minker sjansen for menneskelig svikt. I tillegg til at resultatene samsvarer med elementanalyse, ble de diskutert med faglærere, labansvarlig og veileder, og anses som tilfredsstillende. Allikevel anbefales det at oppdragsgiven tar egne vurderinger ved bruk av profilet med den nedbøyningen i forhold til type kledning som skal benyttes.

5.5 Videre arbeid

Etter arbeidet med oppgaven har gruppen kommet frem til hele tre løsninger for utvikling av innfestningen til trebaserte veggelementer, selv om oppgaven har her blitt begrenset og gruppen har valgt å fokusere på kun en av løsningene. Som videre arbeid kan oppdragsgiveren eventuelt ta de andre løsningene til vurdering og utvikle dem videre eller sette dem ut i arbeid.

Som tidligere nevnt under kapittel 5.1 «*Utforming*», har løsningen som denne oppgaven er basert på noen negative sider. Det kan ta tid å bearbeide profilen, men ved bruk av rett utstyr kan denne tiden forkortes. Det anbefales at oppdragsgiveren skaffer nødvendig utstyr for bearbeidingen av U-profil, eventuelt samarbeide med en stål-leverandør som kan utføre bearbeidingen av dette.

Gruppen har også tenkt for muligheter av å videreutvikle løsningen og kommet med å bruke en skive mellom mutter og U-profilen for å minimere muligheten for gjennomklokking av materialet, i tillegg for å hjelpe til med å gli. På grunn av tidsgrensen av perioden for prosjektet, samt tilgjengeligheten, har gruppen ikke hatt mulighet for å jobbe videre med det, men som sagt er det åpent for mange muligheter for videre utvikling.

6 Konklusjon

Konklusjonen blir trukket ut ifra problemstillingen:

“Utvikle en standardisert og monteringsvennlig løsning for innfestning av trebaserte veggelementer.”

Det resulterende designet av innfestningen av trebaserte veggelementer oppfyller ønskene fra Landheim Gruppen med tanke på monteringsvennlig løsning. Alle resultatene fra elementanalyse, analytiske beregninger og laboratorieforsøket viser til gode kapasiteter i forhold til de dimensjonerende kreftene som opptrer. Disse beregningene er utført i henhold til standarder og programvarer som er godt brukt i både akademiske og industrielle sammenhenger over hele verden.

Svakheter kommer særlig frem under laboratorieforsøket, der gruppe medlemmene anså hvor krevende det var å bearbeide U-profilen, men ved bruk av riktig utstyr kan det føre til at både svakheter og vanskelighetsgraden minimeres. Selv om bearbeidingsfasen av profilen kan være noe komplisert uten det nødvendige utstyret, vil den montasjevennlige løsningen fremdeles kompensere for dette. Det fordi monteringen vil bli forenklet og samtidig effektivisert, og samsvarer med det ønskede utfallet av forskningen med tanke på problemstillingen.

Nedbøyningen ses på som akseptabel ut ifra gruppens synspunkt, allikevel anbefales det videre vurdering med tanke på kledningen og fasaden. Dermed konkluderer vi at det nye designet stemmer med de betingelsene som har blitt satt, og oppfyller oppdragsgiverens forventninger.

7 Litteraturliste

Bell, K. (2009) *Elementmetoden*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/elementmetoden> (Hentet: 19. Februar 2018)

CAE Associates, u.d. Introduction to Ansys Mechanical Workbench. Tilgjengelig fra: <https://caeai.com/courses/introduction-ansys-mechanical-workbench> (Hentet: 15. April 2019)

Gjerp, Opsahl og Smeplass (2004) *Betongkompetanse: Grunnleggende betongteknologi*. 2. utg. Lillestrøm: Byggenæringens Forlag AS.

Gjør det selv (2015) *Limanker: Hvordan virker et limanker?*. Tilgjengelig fra: <https://gjoerdetselv.com/materialer/lim/hvordan-virker-et-limanker> (Hentet: 16. mars 2019)

Guro Varvin Hjelseng (2014) *Plasstøpt vs. prefabrikkert betong: Valg av løsning*. Tilgjengelig fra: <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/233214> (Hentet: 18. mars 2019)

Haugan, J. (2013) *Formler og tabeller*. 2. utg. Oslo: NKI Forlaget AS

Henning Johansen (u.å.) *Styrkeberegning -Skrueforbindelser*. Tilgjengelig fra: <http://www.ansatt.hig.no/henningj/materialteknologi/Styrkeberegning/arbeidsplan/sb-Skrueforbindelser-forelesningsnotater-15.pdf> (Hentet: 27. mars 2019)

Lee, H. H. (2012) *Finite Element Simulation with ANSYS Workbench 14: Theory, Applications, Case Studies*. S.I.: SDC Publications, Schroff Development Corp.

Norske Limtreprodusenters Forening (2015) *Limtreboka*. Moelv: Norske Limtreprodusenters Forening.

Sandaker, Sandvik og Vik (2003) *Materialkunnskap*. 2. utg. Lillestrøm: Byggenæringens Forlag AS.

SINTEF Byggforsk (2013) 573.144 *Ankerfester i betong*: https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/fagartikler/04_2013_betong.pdf (Hentet: 15. mars 2019)

SINTEF Byggforsk (2013) *Ankerfester i betong*. Tilgjengelig fra:»:
https://www.byggforsk.no/dokument/600/ankerfester_i_betong#i866 (Hentet: 15. mars 2019)

SINTEF Byggforsk (2008) 573.151 *Mekaniske treforbindelsesmidler*. Tilgjengelig fra:
https://www.byggforsk.no/dokument/601/mekaniske_treforbindelsesmidler#i3 (Hentet: 29. mars 2019)

SINTEF Byggforsk (2019) 571.803 *Plastmaterialer i bygg. Typer og egenskaper*.
Tilgjengelig fra:
https://www.byggforsk.no/dokument/579/plastmaterialer_i_bygg_typer_og_egenskaper#i11
(Hentet: 09. mars 2019)

Standard Norge (2009) NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009 *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner – Del 1-4: Allmenne laster – Vindlaster*. Tilgjengelig fra:
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=392208> (Hentet: 24. Februar 2019)

Standard Norge (2010) NS-EN 1995-1-1:2004+A1:2008+NA:2010 *Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger*.
Tilgjengelig fra:
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=436137> (Hentet: 25. Februar 2019)

Standard Norge (2015) NS-EN 1993-1-1:2005+A1:2014+NA:2015
Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner - Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger. Tilgjengelig fra:
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=755701> (Hentet: 27. Februar 2019)

Standard Norge (2009) NS-EN 1993-1-8:2005+NA:2009
Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner - Del 1-8: Knutepunkter og forbindelser.
Tilgjengelig fra:
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=396860> (Hentet: 26. Februar 2019)

Storsul, T. (2006) *Metode og etikk, veien videre*. Tilgjengelig fra:

<https://www.uio.no/studier/emner/hf/imk/MEVIT4000/v06/undervisningsmateriale/siste.pdf>

(Hentet: 25. Mars 2019)

Søvik, S (2017) *Solid eller vakkert? Velg rett skrue til rett formål*. Tilgjengelig fra:

<https://www.dinside.no/bolig/solid-eller-vakkertnbspvelg-rett-skrue-til-rett-formal/65373433>

(Hentet: 29. mars 2019)

Thagaard, T. (2013) *Systematikk og innlevelse: En innføring I kvalitative metoder*. 4. utg.

Bergen: Fagbokforlag

Toft Sundbye, L. M., Nisted, I. M. (2017) *Primære og sekundære datakilder*. Tilgjengelig fra:

<https://ndla.no/subjects/subject:7/topic:1:183191/topic:1:105795/resource:1:93370> (Hentet:

25. mars 2019)

Toft Sundbye, L. M. (2017) *Eksperimentmetoden*. Tilgjengelig fra:

<https://ndla.no/subjects/subject:7/topic:1:183191/topic:1:105795/resource:1:93372> (Hentet:

25. mars 2019)

Trefokus *Elementer -Byggesystemer*. Tilgjengelig fra:

<http://www.trefokus.no/treveilederen/temaer/byggesystemer/elementer> (Hentet: 19. Februar

2019)

8 Vedlegg

8.1 Vedlegg 1: Prosjektplan

Tema

Tematikken på denne oppgaven tar for seg veggelementer. Med et ønske fra Landheim Gruppen har vi valgt å utvikle innfestningen for veggelementer. Dette blir valgt med fokus på forenkling og effektivisering av monteringen.

Bakgrunn

Landheim gruppen produserer ferdig elementer og takstoler. Per dags dato sliter håndverkerne med innfestningen av veggelementer. Dermed ønsker Landheim Gruppen en standardisert løsning for veggelementene. Bachelorgruppen har tatt på seg ansvaret for å finne en god løsning på problemet.

Problemstilling

Utvikle en standardisert og monteringsvennlig løsning for innfestning av trebaserte veggelementer.

Når prosjektet er ferdig ønsker vi at både gruppen og firmaet, Landheim Gruppen, blir fornøyde med løsningen eller resultatet.

Gjennomføring og fremdrift

Hovedaktiviteter

Aktivitet	Navn	Hensikt	Resultat
A	Forprosjektet	Med forprosjekt vil det være lettere å avdekke eventuelle problemer som	Forprosjektet vil lage et grunnlag for hovedprosjektet,

		kan forekomme under hovedprosjektet. Dersom det vises å være problemer så har vi tid til å avbryte prosjektet før det har startet.	sluttr resultatet vil da avhenge av dette.
B	Kartlegging av Standarder	Sette oss inn i diverse Norske Standarder og få en god oversikt og forståelse	Få en forståelse for dagens beregning og testing ved hjelp av standardiserte regnemetoder
C	Kartlegging av teori	De teoretiske og fysiske begrensningene vil være avgjørende for å få på plass riktige rammebetingelser, og disse må vi få en dypere forståelse for.	Korrekte rammebetingelser og teoretiske begrensninger
D	Videreutvikling av Sammenføyning på veggelementer	Utvikle en forbedret løsning av overgangene på veggelementer	Forbedre sammenføyningen av flere veggelementer, slik at monteringen på byggeplassen blir både mer forståelig og forenklet. Dette vil føre til mindre usikkerhet hos kunden.
E	Opplæring i aktuell programvare	Vite hvilke avvik programmet eventuelt har og hvordan sette opp analyser som er relevant i forhold til prosjektet	Få realistiske resultater og verdier med tanke på oppgaven

F	Gjennomføre teoretiske analyser i aktuelle programvarer	Få realistiske verdier som vi kan legge til grunn for videre i prosjektet	Å undersøke om den nye utformingen av innfestningen for veggelementer er forbedret på en måte slik at monteringen er blitt forenklet.
G	Tolke, drøfte, konkludere og organisere	Tolke og drøfte om verdiene, som vi har regnet ut fra analyser i aktuelle programvarer, er troverdige	For å komme med en konklusjon til problemstillingen må vi benytte verdiene som er funnet
H	Skrive bachelorrapport	Besvare problemstillingen og komme frem til resultater vi har fått fra de teoretiske analysene	Fremlegge en rapport som vil kunne legge grunnlag for fremtidige undersøkelser og forskning, og som både Landheim gruppen og bachelorgruppen er fornøyd med.
I	Lage plakat	Lage en A3 plakat som på en oversiktlig måte presenterer problemstillingen og resultatene	Ved hjelp av tekst, bilder og grafer blir presentasjonen av problemstillingen mer helhetlig og oversiktlig.
J	Muntlig presentasjon	Holde muntlig presentasjon om problemstilling og konklusjon	Fremlegge og forsvare problemstilling for sensorer

Fremdriftsplan:

Aktivitet/Uke	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Velge tema																														
Innlevering problemstilling																														
Innlevering prosjektplan																														
Jobbing med selve prosjektet																														
Brainstorming																														
Les om stoff relevant for oppgaven																														
Fordype seg i masseprodusert skreddersøm																														
Kartlegging av teori																														
Kartlegge Norsk Standarder																														
Forbredelser for laboratorieforsøk																														
Eventuell testing i laboratorium																														
Opplæring i aktuelt programvare																														
Gjennomføre teoretisk analyse i aktuell programvare																														
Beregninger																														
PÅSKE																														
Rapportskriving																														
Sette oss inn i Harvard-stil og IMROD-struktur																														
Innledning																														
Teori																														
Metode																														
Resultat																														
Diskusjon																														
Konklusjon																														
Kilder, figurer, modeller, bilder																														
Finjustering og korrekturlesning av rapport																														
Innlevering bacheloroppgave																														
Fremføring																														
Trekke ut viktigste punkter fra rapport																														
Lage PowerPoint																														
Øve																														

8.2 Vedlegg 2: Prosjektorganisering og Risikoanalyse

Prosjektorganisering

Ansvarsforhold

Oppdragsgiver: Landheim Gruppen

Kontaktperson/info: Espen N. Pettersen og Marianne Sundbakken

Prosjektleder: Murtaza Kazemi

Nestleder/ møteansvarlig: Selma Dizdarevic

Logg/kvalitet ansvarlig: Rania Al-Obaidy

Øvrige roller og bemanning

Veileder: Jan Steinar Egenes

Planlegging, oppfølging og rapportering

Det er avtalt tre arbeidsdager (mandag, onsdag og fredag) til samarbeid. Den totale arbeidsmengden på de tre gitte dagene ligger på minst 21 timer (referer til vedlegg «Gruppregler»). Vi har møte med veilederen, Jan Steinar Egenes, annen hver torsdag. Statusmøte med eventuelle beslutninger tas hver mandag. Møtereferat med generell fremdrift og arbeidsoppgave(r) skrives ned i eget dokument til neste uke.

Kvalitetssikring

Kritiske suksessfaktorer

Avgjørende faktorer for en vellykket gjennomføring av bacheloroppgaven:

- Ansvarsforhold
 - Koordineringen og organiseringen avhenger av ansvarsforholdet.
 - Konflikter kan unngås, og løses enklere med tydelig ansvar.
- Tilgang til ressurser/kompetanse
 - Tilgangen til bedriftens ressurser og kompetanse er nødvendig for et tilfredsstillende og relevant resultat.
 - Veileders kompetanse er verdifull for utformingen og kontroll av bacheloroppgaven.
- Informasjonsflyt
 - Kontinuerlig kommunikasjon gir effektiv dialog og koordinering. Det vil også redusere uenigheter.
- Holdning

- En positiv holdning bidrar til bedre arbeidsmiljø, og gir høyere kvalitet på arbeidet som blir gjennomført.
- Tilpasningsevne
 - Tilpasningsevne sikrer at arbeidet forsinkes minimalt av uforutsette hendelser (f.eks sykdom).
 -

Tiltak for kritiske suksessfaktorer

Medlemmene har iverksatt følgende tiltak for å sikre suksessfaktorene:

- Ansvarsforhold
 - Det er satt opp en tydelig ansvarsfordeling som sikrer styringen og organiseringen av både prosjektet og bacheloroppgaven.
- Tilgang til ressurser/kompetanse
 - Gruppen vil sikre hyppig dialog og tett samarbeid med Landheim Gruppen som vil bedre tilgangen til deres ressurser og kompetanse.
 - Gruppeleder skal holde regelmessig kommunikasjon med veileder, som fører til en presis oppgave
- Informasjonsflyt
 - Møteansvarlig har ansvar for å opprettholde fast møtetid hver uke og reservere gruppe rom. Slik øker informasjonsflyten og koordineringen.
- Holdning
 - Gruppemedlemmene skal fordele oppgaven ved personlige interesser, slik at en positiv holdning blir opprettholdt.
- Tilpasningsevne
 - Alt arbeid, både felles og individuelle oppgaver lagres kontinuerlig på en «One-Drive NTNU». Alle medlemmers arbeid er dermed tilgjengelig til enhver tid.

Risikoevaluering

Feilhendelser

Hendelser som fører til at suksessfaktoren feiler:

- Ansvarsforhold
 - Mangelfull planlegging
 - Misholdt ansvar
 - Misforståelser
- Tilgang til ressurser/kompetanse
 - Lite dialog med bedriften og veileder
- Informasjonsflyt
 - Få møter
 - Mangelfull planlegging
- Holdning
 - Lavt engasjement

- Manglende samhold
- Tilpasningsevne
 - Negativ holdning
 - Mangelfull planlegging

Risikoanalyse

Analyserer risiko for inntreff av feilhendelser:

Konsekvenser:

- i. Ulempe
 - Redusert effektivitet
- ii. Alvorlig
 - Redusert arbeidskapasitet
- iii. Kritisk
 - Redusert kvalitet mtp. sluttproduktet

Sannsynlighet:

- i. Lav
- ii. Middels
- iii. Høy

Risikomatrise

		Konsekvens		
		1 (i.)	2 (ii.)	3 (iii.)
Sannsynlighet	1 (i.)	1	2	3
	2 (ii.)	2	4	6
	3 (iii.)	3	6	9
Hendelse som kan feile		Sannsynlighet	Konsekvensfaktor	Risikofaktor (S*K)
Mangelfull planlegging		3	3	9
Misholdt ansvar		2	3	6
Misforståelse		3	2	6
Lite dialog med bedriften og veileder		2	2	4
Få møter		2	1	2
Lavt engasjement		2	2	4
Manglende samhold		1	2	2
Negativ holdning		1	1	1

Risikotiltak

Tiltak mot feilhendelse

Av risikoanalysen går det tydelig frem at «Mangelfull planlegging» er en hendelse med høy risikofaktor. Etterfulgt av både «Misholdt ansvar» og «Misforståelse». Derfor iverksettes det tiltak for å redusere sannsynligheten for disse.

- Mangelfull planlegging
 - Det er utarbeidet en fremdriftsplan for hele bacheloroppgaven fra start til slutt.

- Misholdt ansvar
 - Ansvarsfordeling i bacheloroppgaven skal fordels tydelig både ved prosjektarbeidet og rapportskrivningen.

- Misforståelse
 - Statusmøter er satt opp til fast tid hver uke, hvor fremdrift og arbeidsoppgaver dokumenteres.

Tiltaksanalyse

Analyserer risikofaktor for feilhendelse etter iverksatte tiltak:

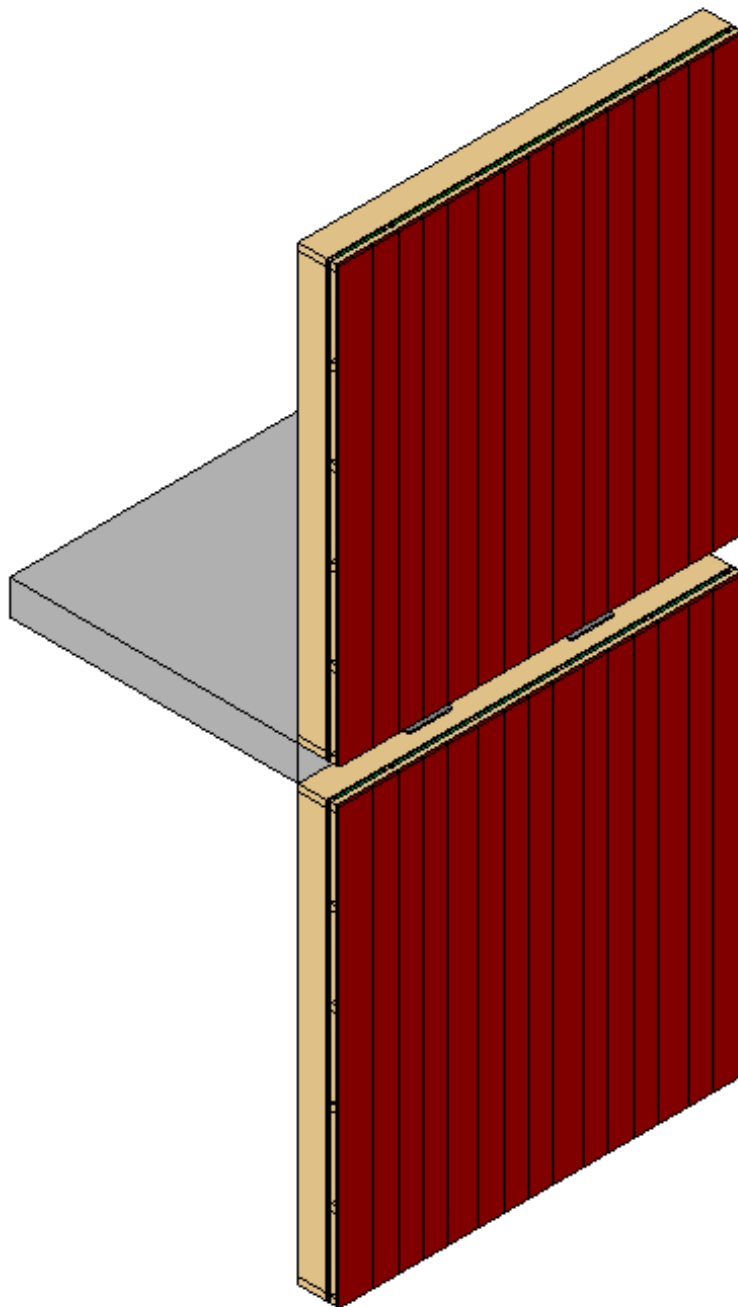
Risikomatrise

		Konsekvens		
		1 (i.)	2 (ii.)	3 (iii.)
Sannsynlighet	1 (i.)	1	2	3
	2 (ii.)	2	4	6
	3 (iii.)	3	6	9
Hendelse som kan feile	Sannsynlighet	Konsekvensfaktor	Risikofaktor (S*K)	
Mangelfull planlegging	1	3	3	
Misholdt ansvar	1	3	3	
Misforståelse	2	2	4	
Lite dialog med bedriften og veileder	1	2	2	
Få møter	1	1	1	
Lavt engasjement	2	2	4	
Manglende samhold	1	2	2	
Negativ holdning	1	1	1	

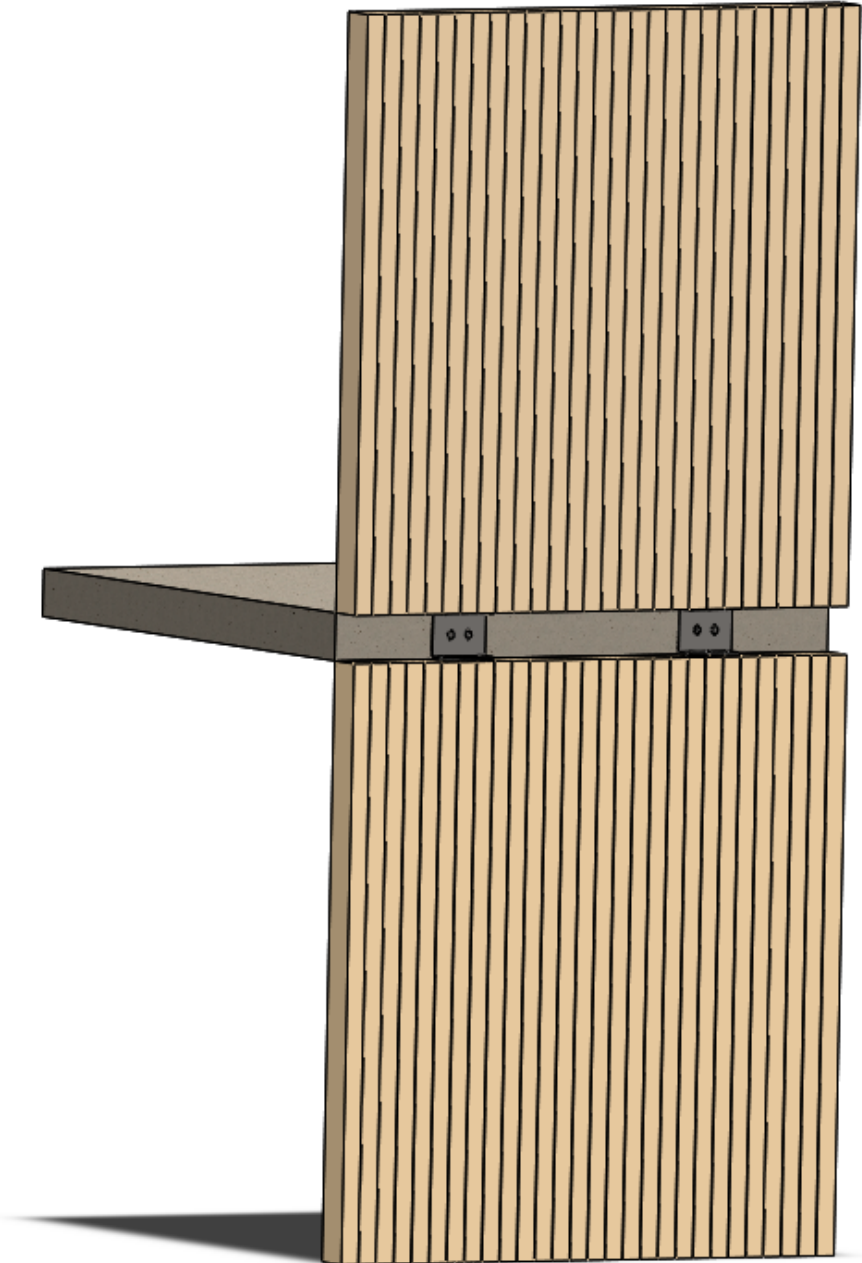
Risikofaktorene for feilhendelsene er nå innenfor et akseptabelt nivå.

8.3 Vedlegg 3: Den endelige løsningen, bilde fra Revit og Solidworks

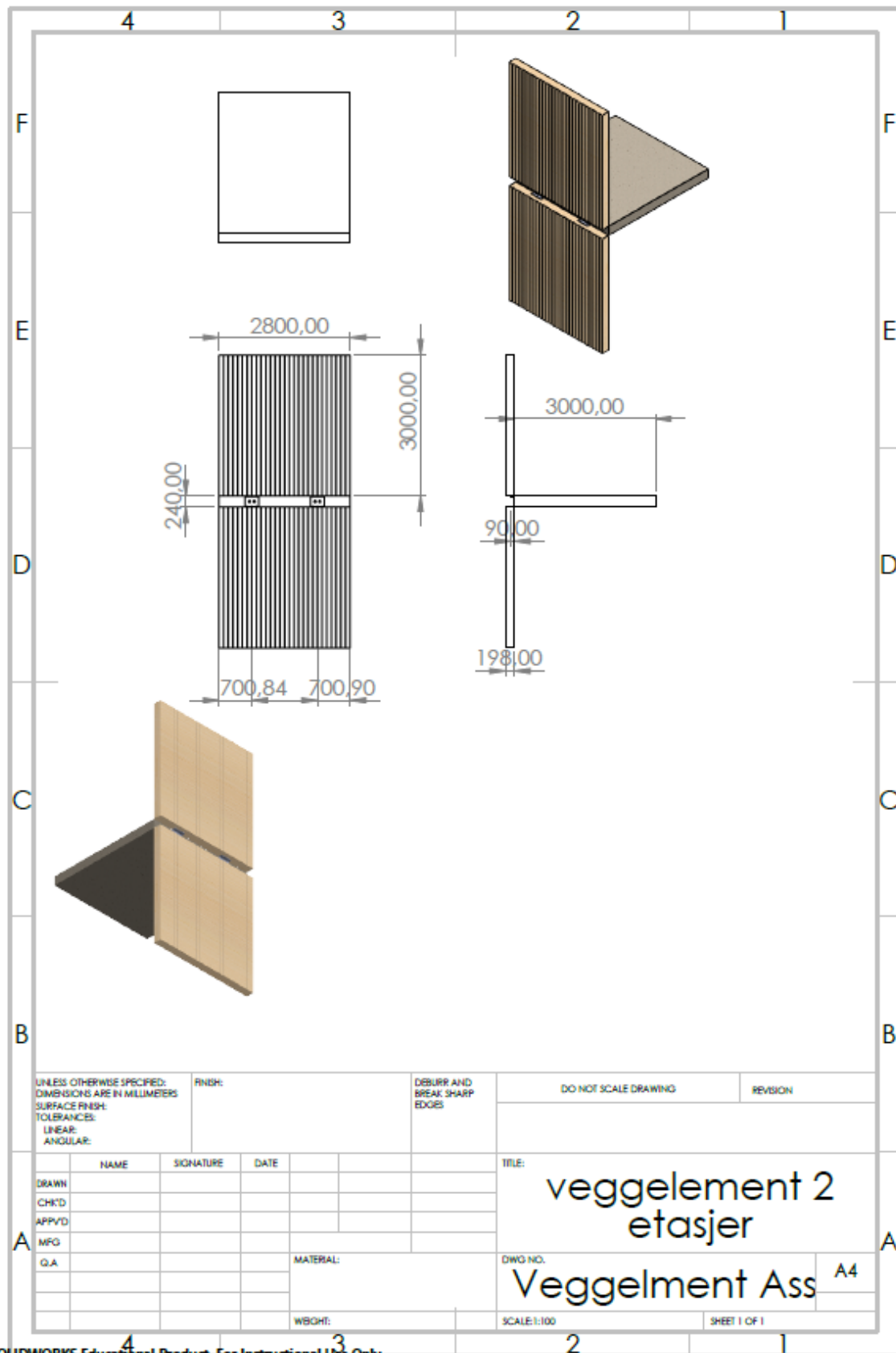
Bilde fra Revit



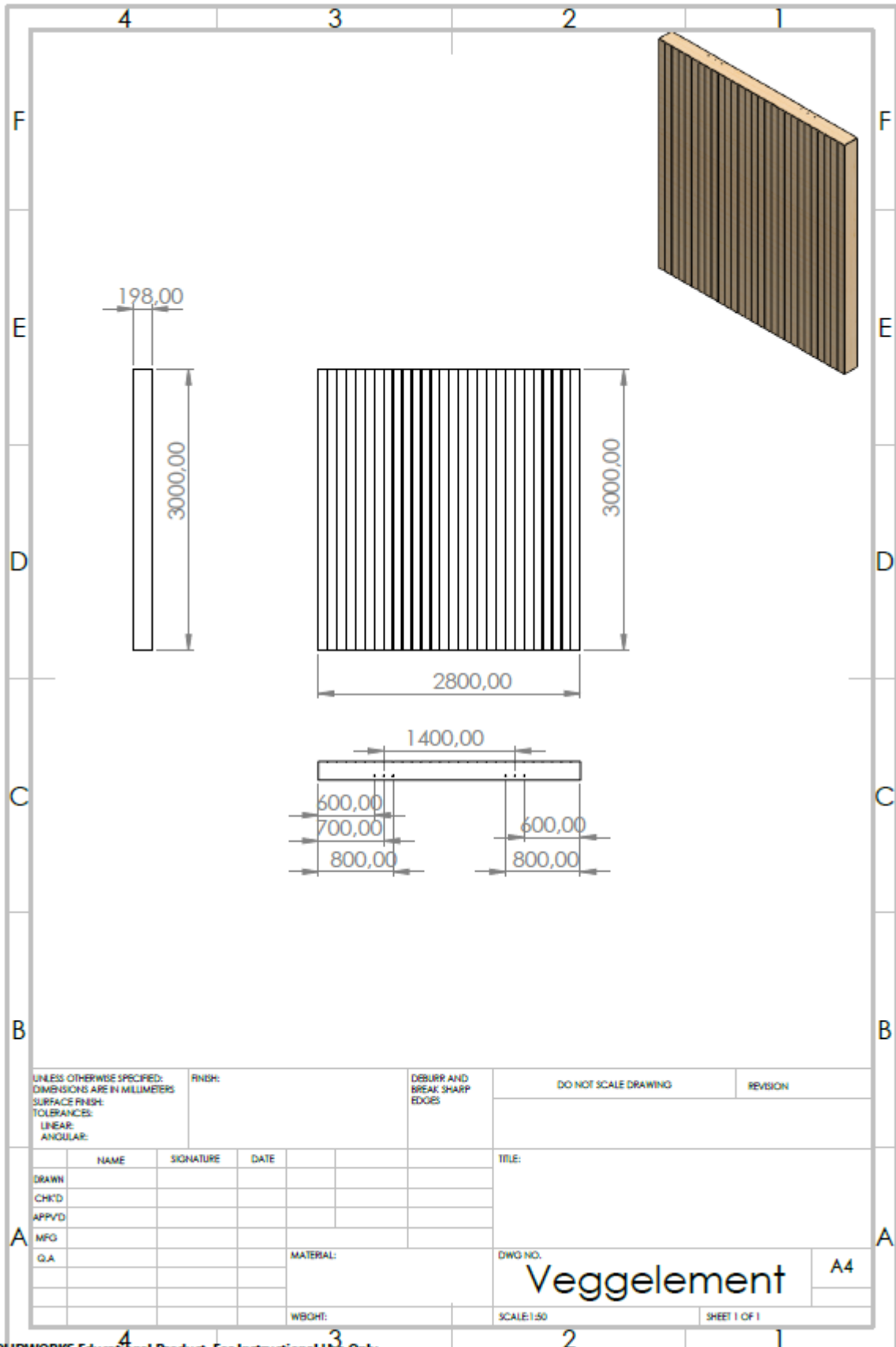
Bilde fra Solidworks



8.4 Vedlegg 4: Arbeidstegninger av løsningen

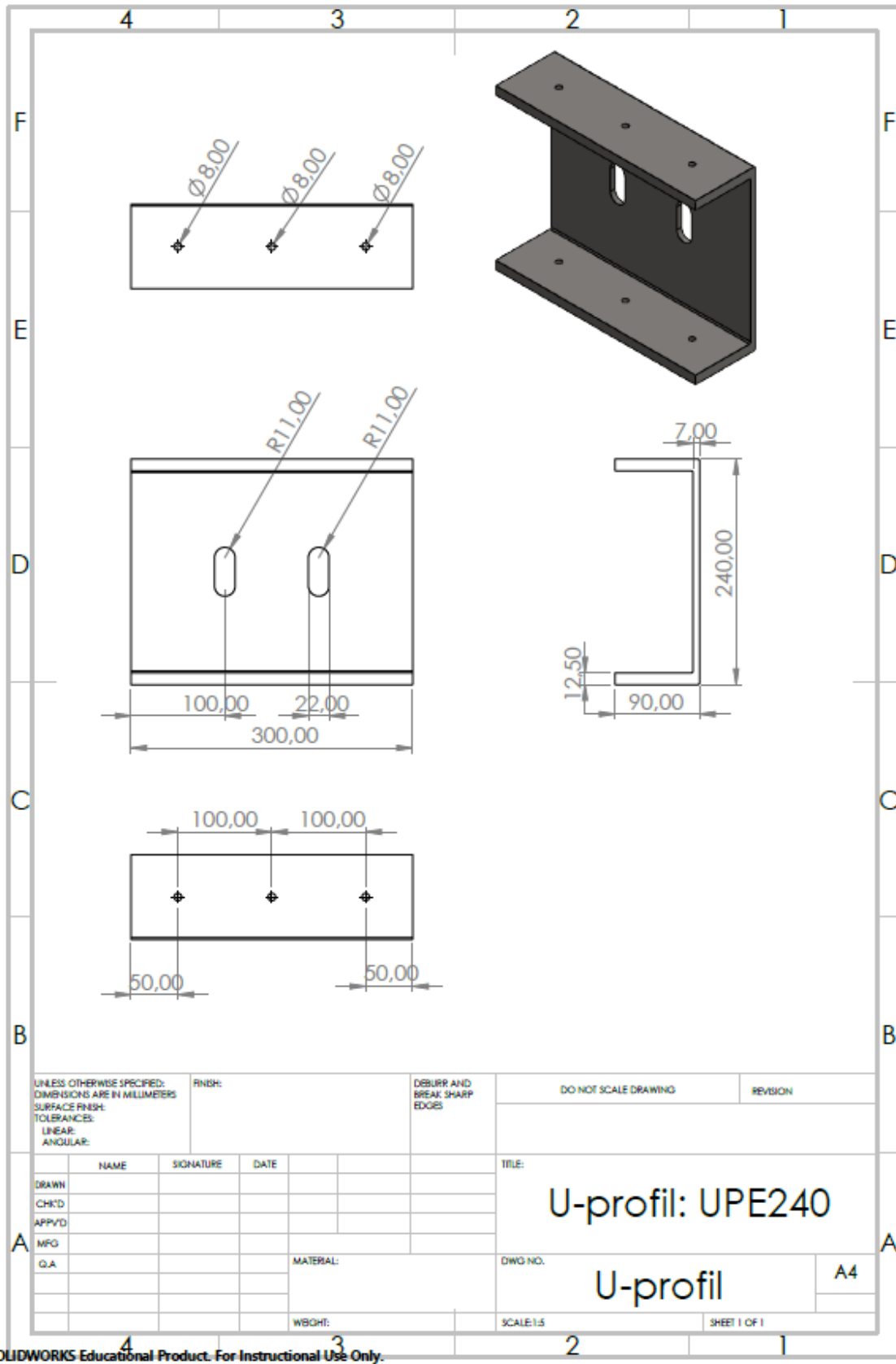


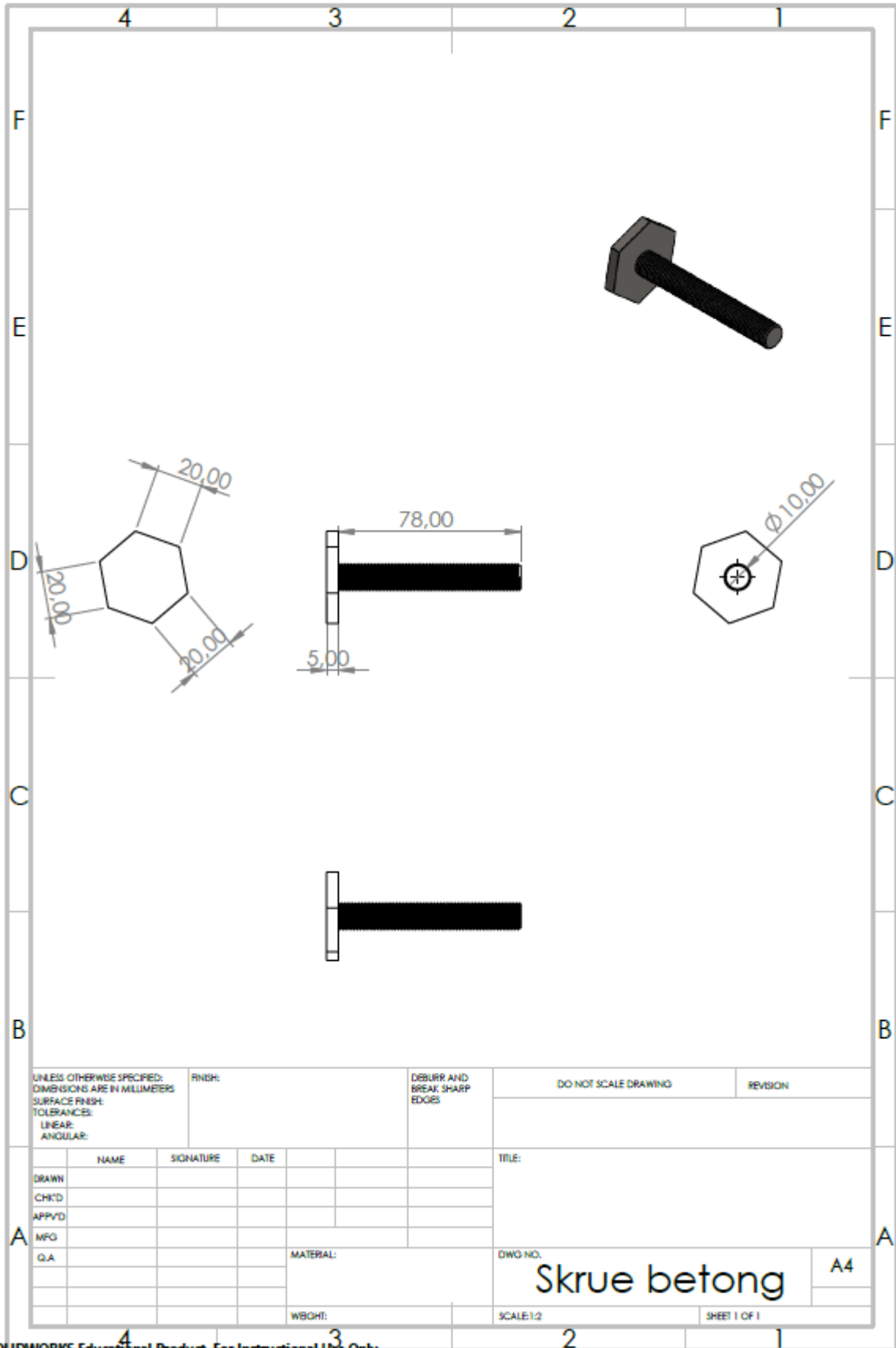
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



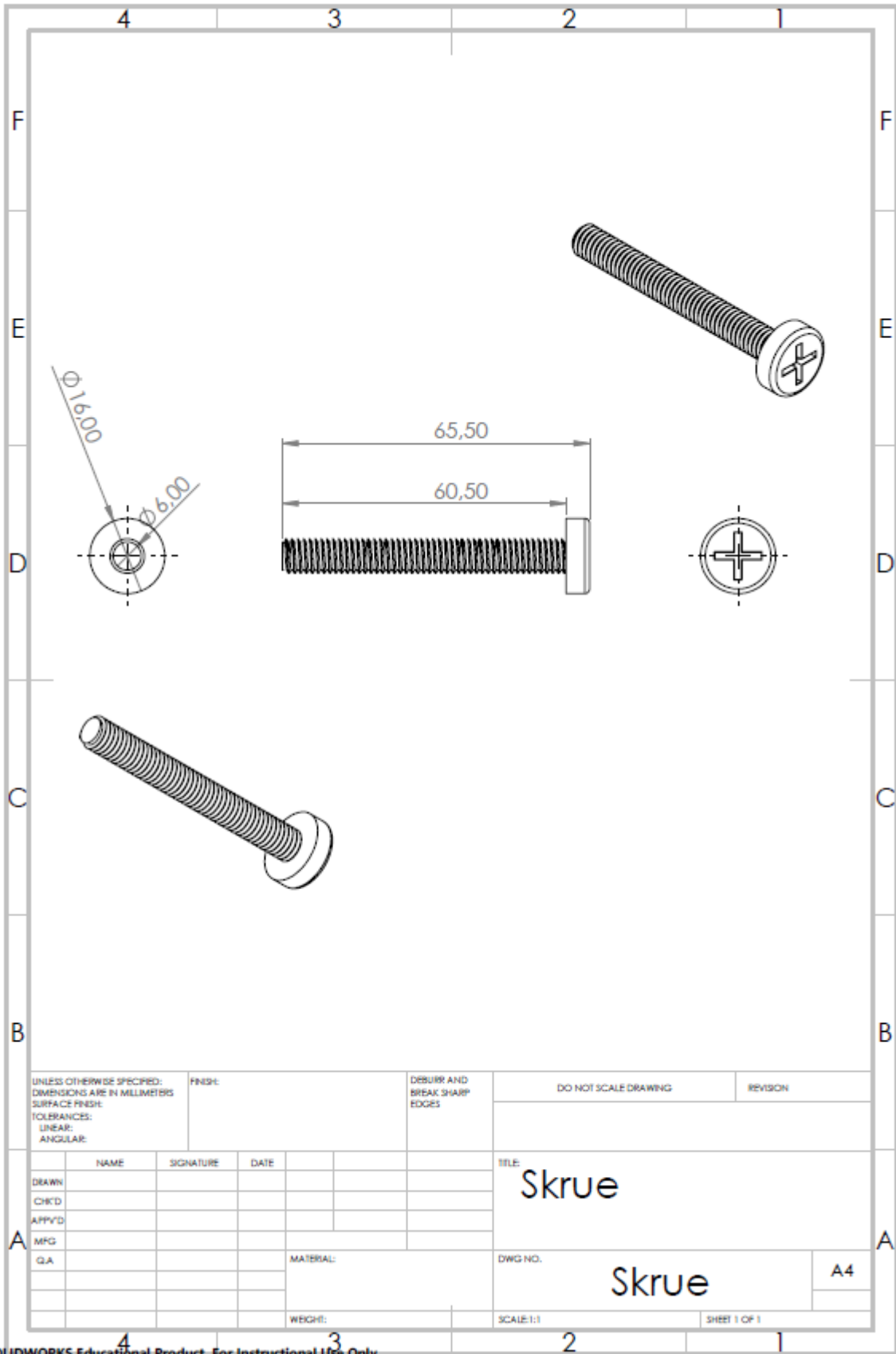
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN		SIGNATURE	DATE		TITLE:	
CHK'D						
APP'VD						
MFG						
QA				MATERIAL:	DWG NO.	
					Veggelement	A4
				WGHT:	SCALE: 1:50	SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



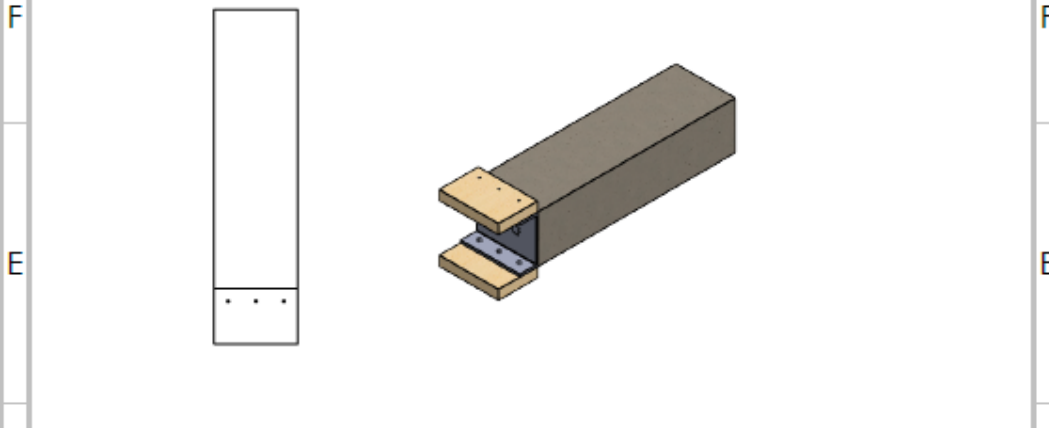
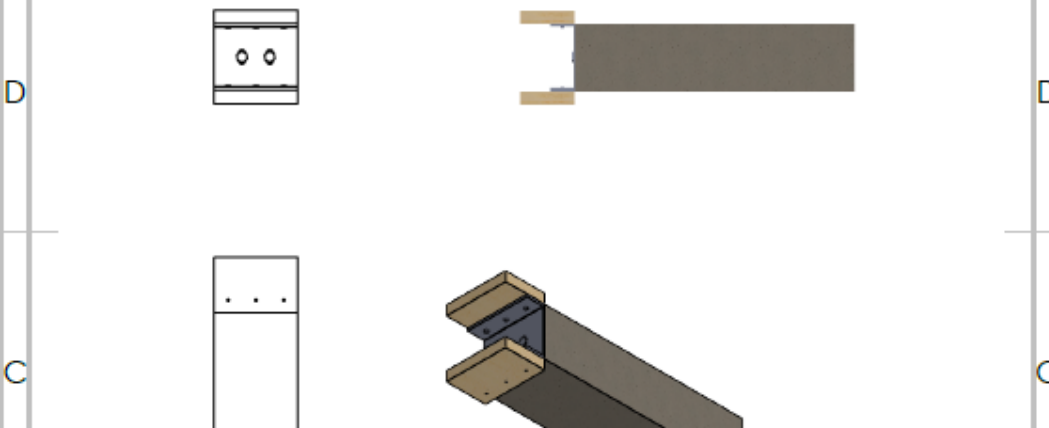


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
NAME	SIGNATURE	DATE		TITLE:	
DRAWN				DWG NO. Skruer betong A4	
CHK'D					
APP'VD					
MFG					
Q.A			MATERIAL:	SCALE: 1:2	SHEET 1 OF 1
			WBOHT:		



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN				TITLE: Skruer			
CHK'D							
APP'VD							
MFG							
Q.A.				MATERIAL:		DWG NO. Skruer	
				WEIGHT:		SCALE:1:1	
						SHEET 1 OF 1	

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

	4	3	2	1																																										
F				F																																										
E				E																																										
D				D																																										
C				C																																										
B				B																																										
A	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%; font-size: 8px;">UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:</td> <td style="width: 25%; font-size: 8px;">FINISH:</td> <td style="width: 25%; font-size: 8px;">DEBURR AND BREAK SHARP EDGES</td> <td style="width: 25%; font-size: 8px;">DO NOT SCALE DRAWING</td> <td style="width: 25%; font-size: 8px;">REVISION</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;">DRAWN</td> <td style="font-size: 8px;">NAME</td> <td style="font-size: 8px;">SIGNATURE</td> <td style="font-size: 8px;">DATE</td> <td rowspan="4" style="font-size: 14px; text-align: center;">TITLE: Innfestningsløsning</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;">CHK'D</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;">APP'VD</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;">MFG</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;">Q.A.</td> <td></td> <td></td> <td style="font-size: 8px;">MATERIAL:</td> <td style="font-size: 14px; text-align: center;">DWG NO. Løsning 1</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="font-size: 8px;">WBCHT:</td> <td style="font-size: 14px; text-align: center;">A4</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="font-size: 8px;">SCALE: 1:20</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="font-size: 8px;">SHEET 1 OF 1</td> </tr> </table>			UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:	FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION	DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE: Innfestningsløsning	CHK'D				APP'VD				MFG				Q.A.			MATERIAL:	DWG NO. Løsning 1				WBCHT:	A4					SCALE: 1:20					SHEET 1 OF 1	A
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:	FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION																																										
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE: Innfestningsløsning																																										
CHK'D																																														
APP'VD																																														
MFG																																														
Q.A.			MATERIAL:	DWG NO. Løsning 1																																										
			WBCHT:	A4																																										
				SCALE: 1:20																																										
				SHEET 1 OF 1																																										
4	3	2	1																																											

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

8.4 Vedlegg 5: Dimensjonering (Analytisk beregning)

Laster

k_w	1,5
$C_{pe}(E)$	0,7
C_{OT}	0,2
Momentarm	60,5 mm

Egenlast		47 kg/m ²
$q_d = \text{kg/m}^2 * g * 1,5$	→	0,69 kN/m ²
<i>Egenlasten U-profilet blir utsatt for</i>		
$F_{\text{egenlast,d}} = \text{kN/m}^2 * \text{Lastbredde} * \text{Lasthøyde}$	→	6,86 kN

Vindlast		27 m/s
$q_p(z = 10,5 \text{ m}) = k_w * V_{b,0}^2$	→	1,09 kN/m ²
$q_{\text{vind,d}} = q_p(z) * 1,5 * (C_{pe}(E) + C_{OT})$	→	1,48 kN/m ²
<i>Vindlast på boltgruppe</i>		
$Q_{\text{vindlast,d}} = \text{kN/m}^2 * \text{Lastbredde} * \text{Lasthøyde}$	→	7,25 kN
<i>Vindlast på skrueforbindlse</i>		
$Q_{\text{vindlast,d}} = \text{kN/m}^2 * \text{Lastbredde} * \text{Lasthøyde}$	→	3,12 kN

Moment		
$M_{\text{egenlast,d}} = F_{\text{egenlast,d}} * \text{Momentarm}$	→	415 kNmm

Bøyespenning

t_w	7 mm
f_y	355 N/mm ²
γ_m	1,05

Bøyespenning

$$W = \frac{1}{6} * b * t_w^2 \longrightarrow 2450 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{Egenlast, d}}{W} \longrightarrow 169,4 \text{ N/mm}^2$$

$$f_d = \frac{f_y}{\gamma_m} \longrightarrow 338 \text{ N/mm}^2$$

$$f_d > \sigma_{\max} \longrightarrow \text{OK}$$

Avskjæringskapasitet

α_v	0,6
f_{ub}	800 N/mm ²
γ_{m2}	1,25

EK3-1-8, Tabell 3.4

$$f_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub}}{\gamma_{m2}} \longrightarrow 384 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{s,min} = \frac{Q_{vindlast,d}}{f_{v,Rd}} \longrightarrow 8,1 \text{ mm}^2$$

Prøver med 6 mm skrue

$$A_s = \frac{\pi * (0,7 * d)^2}{4} \longrightarrow 9,24 \text{ mm}^2$$

$A_s > A_{s,min} \longrightarrow \text{OK}$

Hullkantrykk

ρ_k	350 kg/m ²
l	50 mm
t_f	12,5 mm
k_{mod}	1,1
γ_{m3}	1,3

EK5-1-1, punkt 8.3.1.1

$d = 6\text{ mm} \rightarrow$ Regler for spiker gjelder

$$d_{ef} = 0,7 * d \rightarrow 4,2 \text{ mm}$$

$$(8.15) f_{h,2,k} = \frac{0,082 * \rho_k}{d_{ef}^{0,3}} \rightarrow 18,7 \text{ N/mm}^2$$

EK5-1-1, punkt 8.2.2(b)

$$l_p = l - t_f \rightarrow 37,5 \text{ mm}$$

$$l_p > 6 * d \rightarrow \text{OK}$$

$$t_2 = l_p - (1,5 * d) \rightarrow 28,5 \text{ mm}$$

$$F_{v,Rk} = f_{h,2,k} * t_2 * d_{ef} \rightarrow 2,2 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk} * 3 \text{ skruer} \rightarrow 6,6 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk} * k_{mod}}{\gamma_{m3}} \rightarrow 5,59 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} > Q_{vindlast,d} \rightarrow \text{OK}$$

Boltkapasitet

k ₂	0,9
A _s	58 mm ²
snitt	2
γ _{m2}	1,25

EK3-1-8, Tabell 3.4

Ikke senkskrue → k₂ → 0,9

$$F_{tRd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s * \text{snitt}}{\gamma_{m2}} \rightarrow 66,8 \text{ kN}$$

F_{t,Rd} > Q_{vindlast,d} → OK

8.5 Vedlegg 7: Ove-Sletten program/ Lastberegninger

Hvaler vindlast

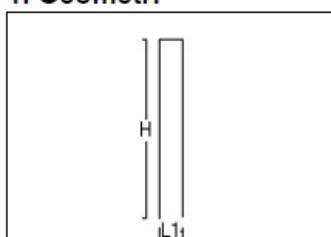
Titel Vindlast		Side 1	
Prosjekt	Ordre	Sign Murtaz	Dato 13-03-2019

Dataprogram: LastBeregning versjon 6.2.4 Laget av Sletten Byggdata AS

Standard NS-EN 1991-1-4: Vindlaster

Data er lagret på fil:

1. Geometri



H 10500 mm
L1 2800 mm

Byggets lengde, L2: 10000 mm
Takvinkel : 0,00 (grader)

Parapet: hp/h=0,025

Vertikalsnitt

2. Vindhastighet

Fylke: Østfold Kommune: Hvaler Referansevindhastighet: 27 m/s

Byggested, høyde over havet (m): 74,2 Calt: 1

Returperiode (år):50 Cprob: 1

Årstidsfaktoren, Cseason: 1 hele året

Vindretning (region):Bruker retningsfaktoren C-ret: 1

Basisvindhastighet: 27 m/s

Høyde Z over grunnivået: 10,5 m

BYGGESTEDETS TERRENGDATA

Terrengkategorikategori II: Landbruksområde, område med spredte små bygninger eller trær.

Terrengkategorifaktoren Kt: 0,19 Ruhetslengden Zo (m): 0,05 Zmin (m): 4 Vm (m/s): 27,43 Cr: 1,02

TOPOGRAFI: Ingen topografisk påvirkning.

Terrengformfaktor Co(z): 1 Turbulensfaktor Ki: 1

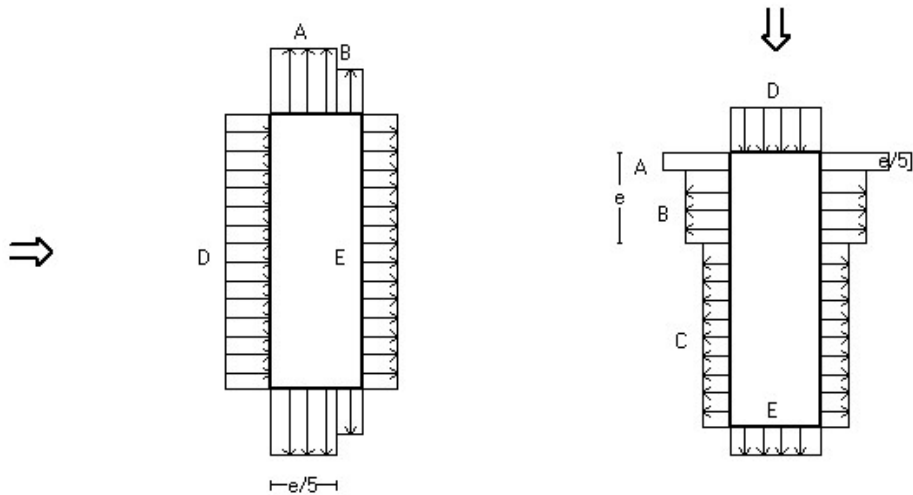
Vkast: 41,68 m/s

Qkast: 1,086 kN/m²

Titel Vindlast		Side 2
Prosjekt	Ordre	Sigm Murtaz Dato 13-03-2019

3. Yttervegger

3.1 Utvendig vindlast



Vindretning 0 grader. $e=10000$ mm

Vindretning 90 grader. $e=2800$ mm

Vindinnfallsretning på 0 grader.

	A	B	C	D	E
Formfaktor $C_{pe,10}$	-1,20	-0,80		0,80	-0,64
Utvendig last (kN/m ²)	-1,30	-0,87		0,87	-0,69
Formfaktor $C_{pe,1}$	-1,40	-1,10		1,00	-0,64
Utvendig last (kN/m ²)	-1,52	-1,19		1,09	-0,69
Utstrekning (mm)	2000	800		10000	10000

Vindinnfallsretning på 90 grader.

	A	B	C	D	E
Formfaktor $C_{pe,10}$	-1,20	-0,80	-0,50	0,80	-0,50
Utvendig last (kN/m ²)	-1,30	-0,87	-0,54	0,87	-0,55
Formfaktor $C_{pe,1}$	-1,40	-1,10	-0,50	1,00	-0,50
Utvendig last (kN/m ²)	-1,52	-1,19	-0,54	1,09	-0,55
Utstrekning (mm)	560	2240	7200	2800	2800

Positiv verdi for last gir trykk. Negativ verdi hvis last er sug.

3.2 Innvendig vindlast

Bygning uten dominerende vindfasade

Beregnet innvendig vindlast for $u=0.2$ overtrykk og $u=-0.3$ (undertrykk)

	Undertrykk	Overtrykk
Formfaktor	-0,30	0,20
Innvendig last (kN/m ²)	-0,33	0,22

Titel Vindlast		Side 3	
Prosjekt	Ordre	Sign Murtaz	Dato 13-03-2019

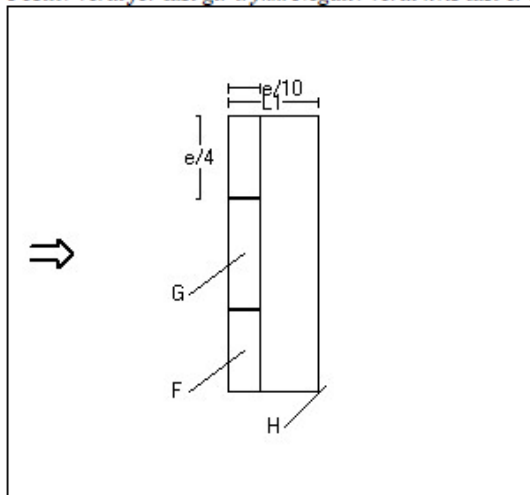
4 Overside av tak

Taktype: Flatt tak

L1=2800 mm L2=10000 mm

Cpe,10 Gjelder for hele bygget. (>=10m2)

Positiv verdi for last gir trykk. Negativ verdi hvis last er sug.



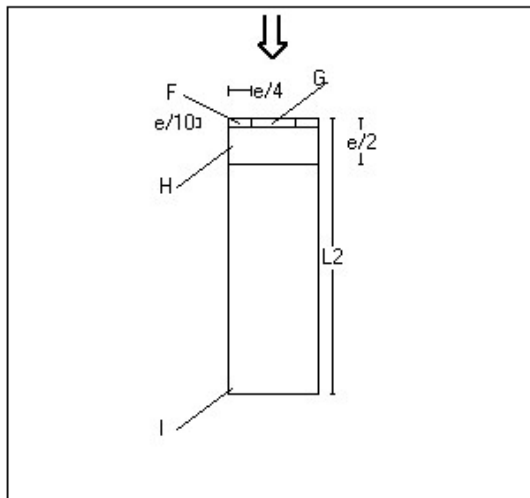
Utstrekning (mm)

e=10000

e/4=2500

e/10=1000

	Cpe,10	Last (kN/m2)	Hor.projeksjon (mm)
F	-1,60	-1,74	2500x1000
G	-1,10	-1,19	5000x1000
H	-0,70	-0,76	10000x1800



Utstrekning (mm)

e=2800

e/4=700

e/10=280

	Cpe,10	Last (kN/m2)	Hor.projeksjon (mm)
F	-1,60	-1,74	700x280
G	-1,10	-1,19	1400x280
H	-0,70	-0,76	2800x1120
I	+/-0,20	+/-0,22	2800x8600

8.6 Vedlegg 8: Testresultater

Vedlegg nr Testresultatene (nedbøyning)

Bunnsvill

Test	Påført last i kN	Nedbøyning (mm) etter 1 min	Nedbøyning (mm) etter 2,5 min
Test 1	6,930	2,820	2,820
Test 2	6,940	2,920	2,920
Test 3	6,940	3,945	3,960
Test 4	6,940	3,431	3,441
Test 5	6,930	2,757	2,773
Test 6	6,980	4,251	4,269
Test 7	6,960	3,650	3,666
Test 8	6,970	3,224	3,237
Test 9	6,970	2,619	2,632
Test 10	6,960	2,471	2,820
Gjennomsnitt		2,927	2,972

Test	Nedbøyning (mm) etter 5 min	Nedbøyning (mm) etter 7,5 min	Nedbøyning (mm) etter 10 min
Test 1	2,821	2,825	2,825
Test 2	2,920	2,937	2,937
Test 3	3,973	3,980	3,980
Test 4	3,460	3,464	3,471
Test 5	2,788	2,797	2,798
Test 6	4,283	4,293	4,299
Test 7	3,678	3,685	3,690
Test 8	3,249	3,256	3,262
Test 9	2,642	2,651	2,658
Test 10	2,843	2,866	2,866
Gjennomsnitt	2,984	2,993	3,279

U-profil

Test	U-profil nedbøyning (mm) etter 10 minutter med påkjenning
Test 1	0,560
Test 2	0,710
Test 3	0,530
Test 4	0,552
Test 5	0,580
Test 6	0,557
Test 7	0,600
Test 8	0,720
Test 9	0,800
Test 10	0,300
Gjennomsnitt	0,591

8.7 Vedlegg 9: Standardavtale



Fastsatt av Rektor 20.01.2012

STANDARDAVTALE

om utføring av masteroppgave/prosjektoppgave (oppgave) i samarbeid med bedrift/ekstern virksomhet (bedrift).

Avtalen er ufravikelig for studentoppgaver ved NTNU som utføres i samarbeid med bedrift.

Partene har ansvar for å klarere eventuelle immaterielle rettigheter som tredjeperson (som ikke er part i avtalen) kan ha til prosjektbakgrunn før bruk i forbindelse med utførelse av oppgaven.

Avtale mellom *Rania Al-Obaidy* *24.01.96*
Seima Dizdarevic *05.04.95*
Student: *Murtaza Kazemi* født: *16.04.94*

Veileder ved NTNU: *Jan Steinar Egenes*

Bedrift/ekstern virksomhet: *Landheim*

og

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) v/instituttleder

om bruk og utnyttelse av resultater fra masteroppgave/prosjektoppgave.

1. Utførelse av oppgave

Studenten skal utføre

Masteroppgave	
Prosjektoppgave	<input checked="" type="checkbox"/> <i>Bacheloroppgave</i>

(sett kryss)

i samarbeid med

Landheim
bedrift/ekstern virksomhet

1. januar 2019 — 1. juni 2019

startdato – slutt dato

Oppgavens tittel er:

Ansvarlig veileder ved NTNU har det overordnede faglige ansvaret for utforming og godkjenning av prosjektbeskrivelse og studentens læring.

2. Bedriftens plikter

Bedriften skal stille med en kontaktperson som har nødvendig veiledningskompetanse og gi studenten tilstrekkelig veiledning i samarbeid med veileder ved NTNU. Bedriftens kontaktperson er:

Espen N Rottersen

Formålet med oppgaven er studentarbeid. Oppgaven utføres som ledd i studiet, og studenten skal ikke motta lønn eller lignende godtgjørelse fra bedriften. Bedriften skal dekke følgende utgifter knyttet til utførelse av oppgaven:

3. Partenes rettigheter

a) Studenten

Studenten har opphavsrett til oppgaven. Alle immaterielle rettigheter til resultater av oppgaven skapt av studenten alene gjennom oppgavearbeidet, eies av studenten med de reserverasjoner som følger av punktene b) og c) nedenfor.

Studenten har rett til å inngå egen avtale med NTNU om publisering av sin oppgave i NTNUs institusjonelle arkiv på internett. Studenten har også rett til å publisere oppgaven eller deler av den i andre sammenhenger dersom det ikke i denne avtalen er avtalt begrensninger i adgangen til å publisere, jf punkt 4.

b) Bedriften

Der oppgaven bygger på, eller videreutvikler materiale og/eller metoder (prosjektbakgrunn) som eies av bedriften, eies prosjektbakgrunnen fortsatt av bedriften. Eventuell utnyttelse av videreutviklingen, som inkluderer prosjektbakgrunnen, forutsetter at det inngås egen avtale om dette mellom student og bedrift.

Bedriften skal ha rett til å benytte resultatene av oppgaven i egen virksomhet dersom utnyttelsen faller innenfor bedriftens virksomhetsområde. Dette skal fortolkes i samsvar med begrepets innhold i Arbeidstakeroppløsningsloven¹ § 4. Retten er ikke-eksklusiv.

Bruk av resultatet av oppgaven utenfor bedriften sitt virksomhetsområde, jf avsnittet ovenfor, forutsetter at det inngås egen avtale mellom studenten og bedriften. Avtale mellom bedrift og student om rettigheter til oppgaveresultater som er skapt av studenten, skal inngås skriftlig og er ikke gyldig inngått før NTNU har mottatt skriftlig gjenpart av avtalen.

Dersom verdien av bruken av resultatene av oppgaven er betydelig, dvs overstiger NOK 100.000 (kommentert i veiledningen² til avtalen), er studenten berettiget til et rimelig vederlag. Arbeidstakeroppløsningsloven § 7 gis anvendelse på vederlagsberegningen. Denne vederlagsretten gjelder også for ikke-patenterbare resultater. Fristbestemmelsene i § 7 gis tilsvarende anvendelse.

c) NTNU

De innleverte eksemplarer/filer av oppgaven med vedlegg, som er nødvendig for sensur og arkivering ved NTNU, tilhører NTNU. NTNU får en vederlagsfri bruksrett til resultatene av oppgaven, inkludert vedlegg til denne, og kan benytte dette til undervisnings- og forskningsformål med de eventuelle begrensninger som fremgår i punkt 4.

4. Utsatt offentliggjøring

Hovedregelen er at studentoppgaver skal være offentlige. I særlige tilfeller kan partene bli enig om at hele eller deler av oppgaven skal være undergitt utsatt offentliggjøring i maksimalt 3 år, dvs. ikke tilgjengelig for andre enn student og bedrift i denne perioden.

Opgaven skal være undergitt utsatt offentliggjøring i

ett år	
to år	
tre år	

(sett kryss bak antall år hvis dette punktet er aktuelt)

Behovet for utsatt offentliggjøring er begrunnet ut fra følgende:

De delene av oppgaven som ikke er undergitt utsatt offentliggjøring, kan publiseres i NTNUs institusjonelle arkiv, jf punkt 3 a), andre avsnitt.

¹ Lov av 17. april 1970 om retten til oppfinnelser som er gjort av arbeidstakere
<http://www.lovdata.no/all/hl-19700417-021.html>

² Veiledning til NTNUs standardavtale om masteroppgave/prosjektoppgave i samarbeid med bedrift
<http://www.ntnu.no/studier/standardavtaler>

Selv om oppgaven er undergitt utsatt offentliggjøring, skal bedriften legge til rette for at studenten kan benytte hele eller deler av oppgaven i forbindelse med jobbsøknader samt videreføring i et doktorgradsarbeid.

5. Generelt

Denne avtalen skal ha gyldighet foran andre avtaler som er eller blir opprettet mellom to av partene som er nevnt ovenfor. Dersom student og bedrift skal inngå avtale om konfidensialitet om det som studenten får kjennskap til i bedriften, skal NTNUs standardmal for konfidensialitetsavtale benyttes. Eventuell avtale om dette skal vedlegges denne avtalen.

Eventuell uenighet som følge av denne avtalen skal søkes løst ved forhandlinger. Hvis dette ikke fører frem, er partene enige om at tvisten avgjøres ved voldgift i henhold til norsk lov. Tvisten avgjøres av sorenskriveren ved Sør-Trøndelag tingrett eller den han/hun oppnevner.

Denne avtale er underskrevet i 4 - fire - eksemplarer hvor partene skal ha hvert sitt eksemplar. Avtalen er gyldig når den er godkjent og underskrevet av NTNU v/instituttleder.

Gjøvik, 13.02.19	Rania Al-Obaidy
sted, dato	student

sted, dato	veileder ved NTNU

Gjøvik 18/2-19		
sted, dato	instituttleder, NTNU	institutt

Gjøvik 4/2-19	
sted, dato	for bedriften/institusjonen stempel og signatur

LANDHEIM