

Oskars Erikis  
Max Alexander Hanche

## Usynlig innfestning av ferdigbehandlet kledning.

*Videreutvikling av klipsløsning i samarbeid med Gausdal Treindustrier.*

**Mai 2022**

### **NTNU**

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk

**Bacheloroppgave**

**2022**





Oskars Erikis  
Max Alexander Hanche

## **Usynlig innfestning av ferdigbehandlet kledning.**

*Videreutvikling av klipsløsning i samarbeid med Gausdal Treindustrier.*

Bacheloroppgave  
Mai 2022

**NTNU**  
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk

 **NTNU**  
Kunnskap for en bedre verden



Oppgavens tittel: Usynlig innfestning av ferdigbehandlet kledning. <i>Videreutvikling av klipsløsning i samarbeid med          Gausdal Treindustrier</i>	Dato: 19.05.2022		
	Antall sider: 65		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	X
Navn: Oskars Erikis og Max Alexander Hanche			
Veileder: Jan Steinar Egenes			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Oskar Aarnes			

**Sammendrag:**

I 2018 ble det skrevet en bachelor for Gausdal Treindustrier, en trelastprodusent. Oppgaven var å finne en løsning for usynlig innfestning av ferdigbehandlet ytterkledning i tre. I 2022 ønsker Gausdal Treindustrier å fortsette arbeidet med prototypen som Sindre Eriksen og Vegar Larsen utarbeidet. Vårt mål er å forbedre designet, og gjennomføre en test i større skala enn tidligere for å ta løsningen et steg nærmere et ferdig produkt.

Det har blitt brukt en metode for prøving og feiling for å utvikle prototypen. Når utviklingen var gjennomført, ble prototypen sammen med kledningen satt i et tørkekammer og systemet gjennomgikk en strekktest. Utenom de praktiske forsøkene ble det gjennomført en livsløpsanalyse, og beregning for vindtrykk.

Utviklet prototype gjennomgikk tre steg av forbedringer, inkludert endelige form. Resultatene fra tørkekammeret var positive. Prototypen motstår mye av vridningen til kledningen forårsaket gjennom forsøket. LCA resultatene varierer avhengig av materialvalg og levetiden til panelet, men plastbasert materiale ser ut til å være det beste materialvalget både med tanke på miljø og materialteori. Ved bruk av dataene fra strekktesten og beregninger for vindtrykk, viser resultatene at prototypen kan holde panelet på plass og motstå store vindtrykk.

Utviklet klipsløsning for usynlig innfestning av ferdigbehandlet kledning gir forbedret resultater med hensyn på belastning fra et realistisk vindtrykk, og vridning fra treverk. Fjærmekanisme i klipsen gjør gjenbruk av kledning mulig. Miljøpåvirkninger er avhengig av materialet som benyttes og levetiden til panelet, men prototypen bidrar til sirkulærøkonomi gjennom gjenbruk. Designet gir gode nok resultater for å kunne produseres og testes under reelle forhold.

Stikkord:

Usynlig innfestning
Ferdigbehandlet kledning
Forsøk
Simulering

*O. Erikis*

*M. Hande*

(sign.)



# Forord

Denne oppgaven er et samarbeid mellom NTNU i Gjøvik og Gausdal Treindustrier, og er en avsluttende bacheloroppgave ved Institutt for vareproduksjon og byggtknikk. Oppgaven fikk vi presentert som et forslag fra NTNU, der prosjektet går ut på å videreføre en løsning for usynlig innfestning av utvendig kledning, utarbeidet av Eriksen og Larsen i 2018. Vi har begge erfaring fra byggebransjen tidligere og setter pris på å skrive om noe vi kan relatere til i praksis.

Gausdal Treindustrier har vært oppdragsgiver, og vi ønsker å takke Oskar Aarnes som har veiledet oss underveis. Vi besøkte anlegget til Gausdal Treindustrier på Gausdal og fikk se produksjonen. Her fikk vi også med nødvendige materialer for gjennomføring av forsøkene i oppgaven.

Vi takker Jan Steinar Egenes ved IVB for veiledning gjennom hele prosjektet. Vi takker Tor Kristoffer Klethagen, Kenneth Kalvåg og Alf Dalby for støtte og hjelp til praktiske forsøk. Vi takker Sindre Aune for hjelp og råd til produksjon av prototype, og Johan Berg Pettersen for veiledning innen miljøberegninger.

# Abstract

In 2018 there was written a bachelor for a company called Gausdal Treindustrier, a lumber manufacturing firm. The bachelor's goal was to find a solution for invisible fastening for outdoor wooden panels that have already been painted in the production process, so the fastening wouldn't be visible. In 2022 Gausdal Treindustrier wants to keep working on the prototype that Sindre Eriksen, and Vegar Larsen concluded with. Our goal is to improve their design and conduct a larger scale test than before in order to make the prototype a step closer to a finished product.

There has been used a standard trial and error method for improving the product. When the final design was concluded, together with the finished wooden panel it went through a drying proses in a closed chamber. In addition, went the product itself through a stretch test using a designated machine. Besides the practical results, the products life-cycle assessment and wind drag resistance is calculated.

The prototype went through three stages of improved mechanics, including its final stage. Results from the drying chamber are positive, and the prototype withstands a lot of the twisting the wooden panel has caused throughout the process. Life-cycle assessment results are varying due to materials and the lifetime of the panel, but plastic based material seems to be the better choice for the product from environmental and material perspective. Using the data from the stretch test and putting it up against simulated wind drag, shows that the product can hold the panel in place and withstand tough winds.

Development of the earlier prototype shows improvement compared to its earlier stages. The product withstands wind drag, and twisting caused by the panel, and the spring mechanism in the product allows the panel to be reused. The environmental impacts are dependent on the material used and the lifetime of the panel, but the product contributes to circular economy. The design gives good enough results to be produced and tested under conventional conditions.

Forord .....	iii
Abstract .....	iv
Tabelliste .....	viii
1 Innledning.....	9
1.1 Bakgrunn for oppgaven .....	9
1.2 Tema og problemstilling.....	9
1.3 Oppgavens rammer.....	10
1.4 Prosjektorganisering .....	11
1.5 Begreper.....	12
2 Teori .....	14
2.1 Materialer.....	14
2.1.1 Tre .....	14
2.1.2 Plast.....	15
2.1.3 Metall .....	16
2.2 Teoretisk vindtrykk.....	17
2.3 Livsløpsanalyse .....	18
3 Metode.....	19
3.1 Prosessen .....	19
3.1.1 Analyse.....	19
3.1.2 Kreativ Prosess .....	20
3.1.3 Videre utvikling av klipsløsning .....	21
3.1.4 Test i tørkekammer med utviklet klipsløsning.....	22
3.1.5 Strekktest med utviklet klipsløsning .....	26
3.1.6 Beregning av vindtrykk.....	27
3.1.7 Beregning av livsløpsanalyse .....	27
4 Resultater.....	31
4.1 Prototyper .....	31
4.2 Endelig løsning .....	34
4.3 Resultater fra tørkekammer .....	37
4.4 Resultater fra strekktest .....	42
4.5 Resultater fra beregninger av vindtrykk .....	44
4.6 Resultater fra livsløpsanalyse .....	45
4.7 Feilkilder.....	47

5	Diskusjon og analyse.....	48
5.1	Systemløsning.....	48
5.1.1	Vektbelastning på nederste klips.....	50
5.1.2	Fresespor .....	50
5.1.3	Valg av materialer .....	52
5.2	Forsøk og beregninger .....	54
5.2.1	Tørkekammer .....	54
5.2.2	Strekktest og vindtrykk .....	55
5.2.3	Miljø og sirkulær økonomi.....	56
6	Konklusjon .....	59
7	Videre arbeid .....	60
	Litteraturliste .....	61
	Vedlegg .....	64

# Figurliste

Figur 1 – Prosjektorganisering .....	11
Figur 2 – Fase fremstilling for plast (Johansen, 2012).....	15
Figur 3 – Oppførsel for plast under gitte faser (Johansen, 2012).....	15
Figur 4 – Fremgangsmåte.....	19
Figur 5 – Digital framstilling av kreativ prosess.....	20
Figur 6 – Digital framstilling av kreativ prosess.....	20
Figur 7 – Modellen av lekta og kledningen.....	21
Figur 8 – Testmaskinen Zwick, med montert testobjekt.....	26
Figur 9 – Framstilling av hovedprosessene i LCA.....	29
Figur 10 – Fysisk mål for endelig klipsløsning.....	35
Figur 11 – Fysiske mål for munnstykket.....	35
Figur 12 – Fysiske mål for fresesporet i bordet .....	36
Figur 13 – Digital illustrasjon av munnstykket i fresesporet .....	36
Figur 14 – Visuelt resultat etter 6 netter.....	37
Figur 15 – Visuelt resultat etter 6 netter.....	38
Figur 16 – Visuelt resultat etter 6 netter.....	38
Figur 17 – Visuelt resultat etter 6 netter.....	39
Figur 18 – Visuelt resultat etter 6 netter.....	39
Figur 19 – Visuelt resultat etter 6 netter.....	40
Figur 20 – Visuelt resultat etter 6 netter.....	40
Figur 21 – Grafisk framstilling av strekkraften.....	42
Figur 22 – System 1 etter gjennomført strekktest .....	43
Figur 23 – System 2 etter gjennomført strekktest .....	43
Figur 24 – System 3 etter gjennomført strekktest .....	43
Figur 25 – Simulering av årlige miljøpåvirkninger.....	46
Figur 26 – Bidragsanalyse for gitte aktivitet.....	46
Figur 27 – Foreslått løsning for montering av nederste panel.....	50
Figur 28 – Fremstilling av krefter som kan opptre på kledningen .....	51

# Tabelliste

Tabell 1 – Oppklaring av begreper.....	13
Tabell 2 – Mekaniske egenskaper til metaller ved 20 °C (SINTEF, 2013) .....	16
Tabell 3 – Fremgangsmåte for test i tørkekammer .....	25
Tabell 4 – Prototyper.....	33
Tabell 5 – Sammenligning av løsningene .....	34
Tabell 6 – Beregnet vindtrykk.....	44
Tabell 7 – Miljøpåvirkninger for gitte produkt .....	45

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn for oppgaven

I 2018 ble det skrevet en bachelor oppgave på NTNU Gjøvik i samarbeid med Gausdal Treindustrier som omhandlet utvikling av et skjult produkt for innfestning av ferdigbehandlet ytterkledning i tre. Prototypen skulle løse problemet med synlige spiker etter innfestning av kledning. Oppgaven «Skjult innfestning av utvendig panel» skrevet av Sindre Eriksen og Vegar Larsen konkluderte med en prototype som kunne arbeides videre med. Denne løsningen blir videre i oppgaven beskrevet som en klipsløsning, og gjenspeiler et produkt som klipes rundt lekta og i kledningen. I 2022 ønsker Gausdal Treindustrier å videreutvikle denne prototypen, og komme nærmere en løsning som kan testes i reelle forhold.

## 1.2 Tema og problemstilling

Dersom leseren ønsker å finne mer generell kunnskap om usynlig innfestning er det anbefalt å lese bacheloroppgaven «Skjult innfestning av utvendig panel» av Eriksen og Larsen skrevet i 2018.

Grunnet videreføring av et konsept vil temaene snare seg inn mot de konkrete områdene på bakgrunn av prototypen, og dermed ikke dekke et helhetlig aspekt innen usynlig innfestning av ytterkledning. Dette innebærer testing av en prototype der det i tillegg inkluderes miljømessige konsekvenser for det aktuelle produktet.

Problemstillingen defineres som følger:

*Kan det videreutvikles en prototype for usynlig innfestning av kledning som er god nok til å testes i realistiske forhold? Hvilke utfordringer har en slik løsning i forhold til miljø og bærekraft?*

## 1.3 Oppgavens rammer

Videreutvikling av prototypen i dette prosjektet baserer seg på Eriksen og Larsen sine resultater.

Utvalget av materialene til prototypen baserte seg på det labben til NTNU Gjøvik hadde tilgjengelig. Test materialene for klips blir ikke gjennomgått fordi disse materialene kun brukes til testing, og ikke vurderes som materialblandinger som er aktuelle for et sluttprodukt. Testmaterialene er listet opp i 1.5. Diskusjon av produksjonsmateriale vil kun ta utgangspunkt fra teorien, og derfor ikke bli konkludert da testing av materialene ikke gjennomføres. Materialvalg vil kun komme som en anbefaling for videre arbeid.

Oppgaven tar ikke hensyn til hjørnekasser eller toppbord. Lektene brukt i denne oppgaven er 48x48mm, og kledningsbordene er 19x148mm dobbelfalls. Det blir ikke gjort undersøkelser om løsningen fungerer for annen type kledning.

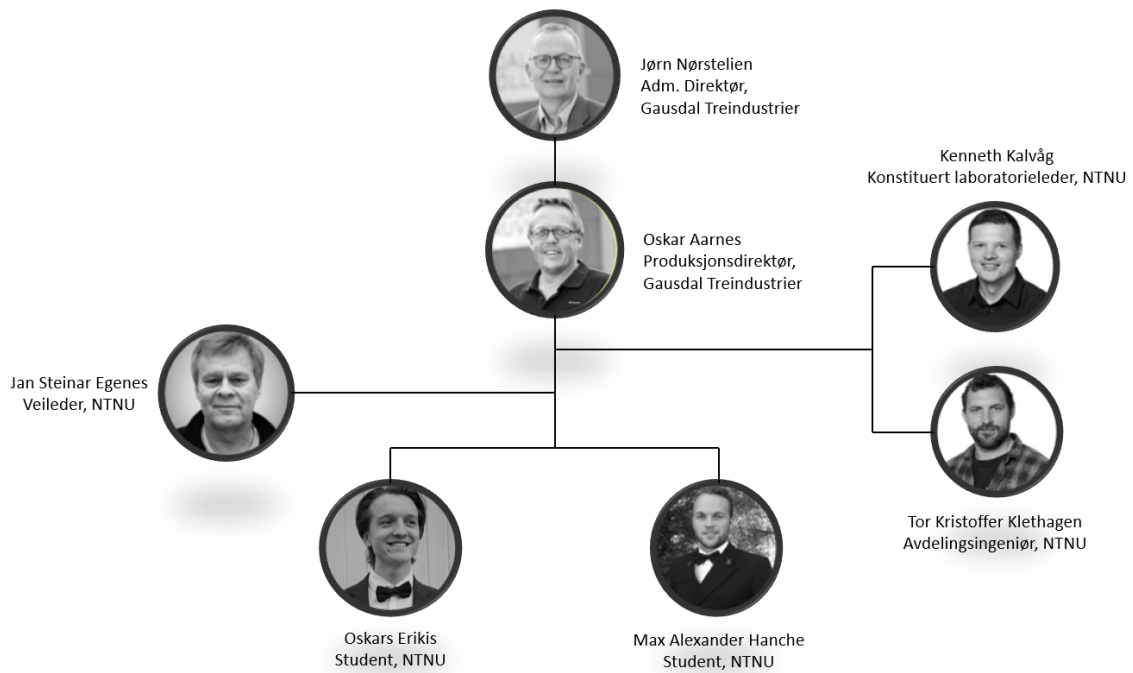
Verktøy og maskiner brukt i oppgaven er begrenset til det NTNU Gjøvik har tilgjengelig, og systemets design er tilpasset deretter.

Beregninger for vindtrykk må gjøres for en spesifikk bygning, for en spesifikk plassering. Derfor kan faktisk vindtrykk i et område variere stort lokalt.

Siden aktuelle materialer kun vil bli behandlet teoretisk, vil klipsen bli betraktet som en enhet med et gitt volum med hensyn på miljøberegningene. Livsløpsanalysen tar ikke hensyn til direkte produksjonsutslipp for produktene. Dette betyr at det blir sett på materialets framstilling, men ikke produktets produksjonsfase. Valget om å se bort fra direkte produksjonsutslipp begrunnes med at feltet er svært komplisert og har mange interne prosesser som ikke finnes i databasen brukt for simuleringen. Når miljømessige beregninger bruker gjennomsnittsverdier ellers, anses det som forsvarlig å se bort ifra en konkret produksjonsmåte.



## 1.4 Prosjektorganisering



Figur 1 – Prosjektorganisering

## 1.5 Begreper

Begrepene listet under blir ikke forklart underveis i teksten.

Begrep	Forklaring
Kledningsbord	Bordkledning brukes utendørs. Den beskytter huset mot påkjenninger.
Lekt	Lekt er en bygningsdel i veggen som kledningen monteres på. Lekta sørger for luftgjennomstrømming bak kledningen.
Dobbelfals	Overlappende kledningsbord. Partiet som overlappes blir kalt for not og fjær.
c/c 60	Senteravstand på 60cm.
Munnstykket	Mekanismen i klipsen som går i kledningen.
Klemmestykke	Mekanismen i klipsen som går rundt lekta.
PLA	Polymelkesyre, testmaterialet i plast.
PETG	Polyetylentereftalat glykol, tilnærmet plasttypen PET. Testmaterialet i plast.
Onyx Pro 410	Betegnes som industrielt resin. Testmaterialet brukt for printing.
Siraya Tech BLU	Betegnes som ingeniørresin. Testmaterialet brukt for printing.
Allokering	Allokering er et annet ord for fordeling. Innen miljø brukes ordet ofte innen livsløpsanalyser.

Kg CO <sub>2</sub> -eq	Karbondioksid ekvivalent er en målenhet som brukes til å kunne sammenligne klimagassutslipp direkte, da alle vil ha samme enhet (Lahn, 2020, avsnitt 1).
GWP100	Globale oppvarmingspotensialet brukes til å sammenligne gassens oppvarmingseffekt over en gitt tidsperiode. Den vanligste brukte perioden er 100 år (Lahn, 2020, avsnitt 2).
F <sub>max</sub>	Den maksimale kraften i Newton som strekkmaskinen har utført på gjenstanden. Cirka 10 Newton representerer 1 kg.
Stemjern	Håndverktøy for høvling/skjæring/tilpasning av treverk.

Tabell 1 – Oppklaring av begreper

# 2 Teori

## 2.1 Materialer

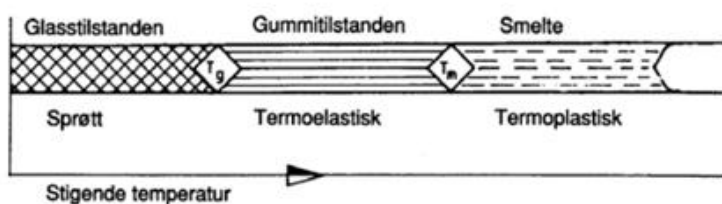
### 2.1.1 Tre

Treverk er hygroskopisk, hvilket betyr at den har evne til å suge til seg, og avgi fuktighet. Denne prosessen fører til at treverk kryper ved tørking, og utvider seg ved oppfukning. Som følge av tørking kan det også oppstå sprekke-dannelser, spesielt hvis trevirke er låst fast med spiker eller tilsvarende. Hvor mye treverk krymper avhenger av klimaet det står i og graden av fuktighet det har før montering. I Norge vil treverk som har et fuktinnhold lavere enn 17-18% ta opp fuktighet store deler av året i stedet for å tørke (Treteknisk, 2000). Massetetthet for gran ved 12% fuktighet er  $470 \text{ kg/m}^3$  (SINTEFF, 2015).

Treverk er et organisk materiale som vil brytes ned og råtne over tid. Hvor lang tid det tar før det råtner avhenger av mange faktorer. Spesielt viktig er de klimatiske påkjenningene med tanke på lufting og fukt. Tre kan også behandles for å forsinke forråtnelsesprosessen.

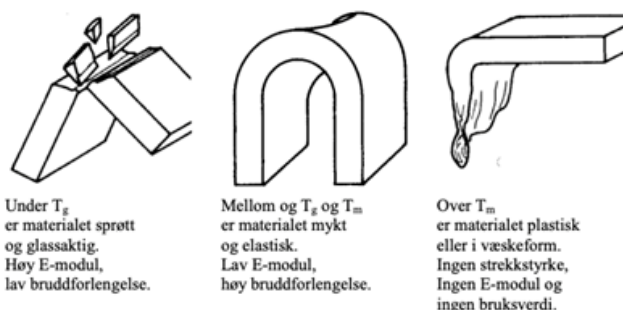
## 2.1.2 Plast

Egenskapene til plast avhenger av temperaturen på grunn av bevegelse i molekylene. Bevegelsene øker med temperaturen som fører til at materialet utvider seg og mykner. I lavere temperaturer er materialet som regel sprøtt og hardt. I middeltemperaturer kalles det gummitilstanden eller termoelastisk, fordi platen oppleves som nettopp gummiaktig. I enda høyere temperaturer går materialet over til å være termoplastisk. Her er materialet flytende, som regel svært tyktflytende (Johansen, 2012).



$T_g$  = glasstemperaturen,  $T_m$  = smeltetemperaturen og  $\leq$  nedbryting

Figur 2 – Fase fremstilling for plast (Johansen, 2012)



Figur 3 – Oppførsel for plast under gitte faser (Johansen, 2012)

Plast er et petroleumprodukt og vil ikke råtne på lik linje som treverk, men det vil med tiden brytes ned. UV-stråling er en faktor som påvirker nedbrytningstiden i stor grad. Fuktighet og andre klimatiske påkjenninger utover UV-stråling påvirker plastens levetid i mindre grad. Alle egenskapene avhenger av type plast.

## 2.1.3 Metall

### Jernholdig metall

Jernholdige metaller har som regel en høyere massetetthet og styrke, som igjen fører økt vekt. Det er også som regel mindre fleksibelt enn et ikke jernholdig metall. I tillegg er det mer utsatt for korrosjon, selv om dette er avhenger av type legering (SINTEF, 2013).

### Aluminium

Aluminium er et produkt som brukes mye i byggebransjen, blant annet som alternativ til stenderverk som ikke er bærende. Nøkkelegenskaper er lav vekt, fleksibilitet og evne til å motstå atmosfærisk korrosjon. Aluminium reagerer med luft og det dannes et overflatelag som hindrer videre korrosjon. Ulemper med aluminium er reduserte styrkeegenskaper i forhold til jernholdig metall (SINTEF, 2013).

### Titan

Titan brukes i bygg, men gjerne der det kreves utvidet holdbarhet i forhold til varme og der det kreves mye styrke (SINTEFF, 2013).

Metall kategori	Densitet	Elastitetsmodul	Spesifikk styrke
	kg/m <sup>3</sup>	Pa	kNm/kg
Konstruksjonsstål	7 850	210,0	65,0
Aluminium	2 720	69,0	58,8
Titan	4 500	116,0	74,4

Tabell 2 – Mekaniske egenskaper til metaller ved 20 °C (SINTEF, 2013)

## 2.2 Teoretisk vindtrykk

Vindtrykk er en kraft som kommer av vind og virker på en konstruksjon. Den opptrer som både trykkraft (positiv tallverdi) og strekkraft (negativ tallverdi), avhengig av vindretning og formen på konstruksjon.

### Formel for vindtrykk på overflater:

$$W_e = q_p(Z_e) * C_{pe} \text{ (Standard Norge, 2009)}$$

$C_{pe}$ : formfaktor (Standard Norge, 2009)

$q_p(Z_e)$ : vindhastighetstrykk/topphastighetstrykk (Standard Norge, 2009)

### Formel for vindhastighetstrykk/topphastighetstrykk:

$$q_p = q_{p0(z)} * k_1 * k_2 * k_R \text{ (N/m}^2\text{) (SINTEFF, 2011)}$$

$q_{p0(z)}$ : grunnverdi for hastighetstrykk, basert på vindhastighet. (SINTEFF, 2011)

$k_1$ : faktor for vindakserelasjon over åser (SINTEFF, 2011)

$k_2$ : faktor for vinkastøkning nær fjelltopper eller bratt terreng (SINTEFF, 2011)

$k_R$ : ruhetsfaktor (SINTEFF, 2011)

Standard Norge bruker benevnelsen  $q_p(Z_e)$  for vindhastighetstrykk. Sinteff Byggforsk bruker benevnelsen  $q_p$  for vindhastighetstrykk.

## 2.3 Livsløpsanalyse

Livsløpsanalyser gjennomføres for å danne et grunnlag for miljømessige aspekter av henholdsvis en aktivitet eller et produkt. Livsløpsanalyse kan tolkes og skaleres på flere forskjellige måter, men kjennetegnet er at analysen bruker en såkalt *vugge til grav* metodikk, og er dermed også komparativ. Det vil si at metodikken avdekker miljøbelastninger for produktet fra materialene blir hentet ut til den blir resirkulert, og har sammenlignings metoder som fundament (Dramstad, Timmermann, Gobakken og Dibdiakova, 2015). Livsløpsanalyser bruker også forskjellige type indikatorer, perspektiv, og allokering for å best mulig tilpasse seg problemstillingene som blir gitt.

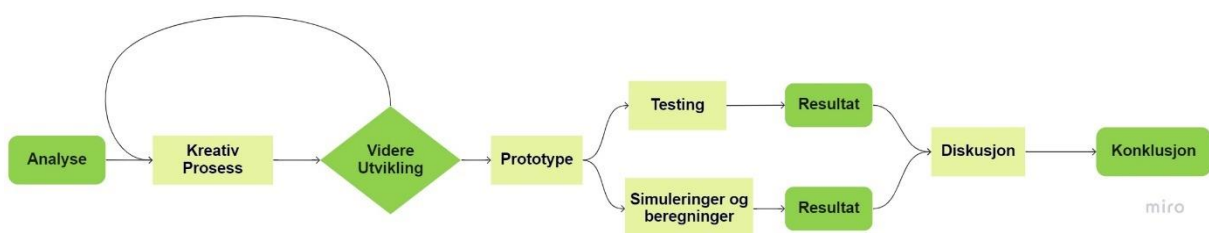
Det kan argumenteres for at de mest presise dataene blir hentet direkte fra for eksempel en aluminiumsleverandør, men det er også mulig å bruke databaser. Bruk av godkjente databaser sørger for at det ikke oppstår usikkerhet i dataens troverdighet og størrelse. Verdimanipulering av bedrifter er bedre kjent som *greenwashing* (Kenton, 2022).



# 3 Metode

## 3.1 Prosessen

Tidligere oppgave blir analysert, og brukt i en kreativ prosess for å videreutvikle løsningen. Prototypen gjennomgår deretter to tester, en i tørkekammer og en i strekkmaskin. Prototypen gjennomgår i tillegg simuleringer innen miljø, og beregninger innen vindtrykk. Resultatene danner grunnlag for diskusjon og konklusjon.



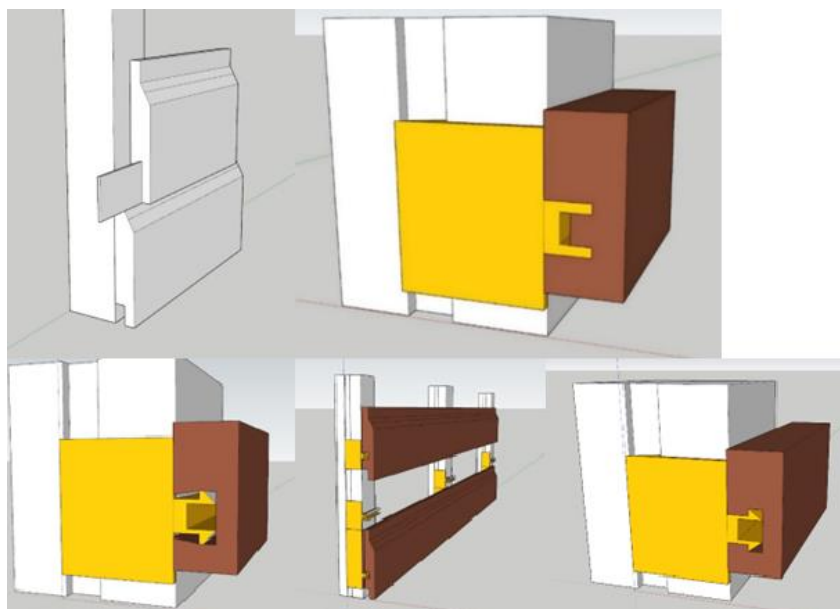
Figur 4 – Fremgangsmåte

### 3.1.1 Analyse

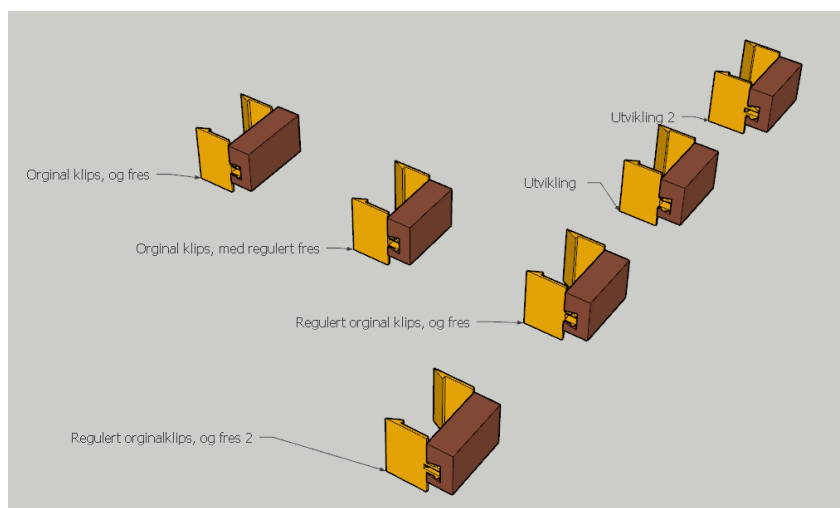
Resultatene i «Skjult innfestning av utvendig panel» skrevet av Eriksen og Larsen ble analysert. Det ble sett på både svake og sterke sider ved løsningen og oppgaven, som ble brukt som grunnlagt for videre arbeid i dette prosjektet. Det gjelder selve løsningen, miljø og sirkulærøkonomiske aspekter. Det ble avholdt møter med Oskar Aarnes, Jørn Nørstelien, og Jan Steinar Egenes for å avklare nye mål og forventninger om prosjektet.

### 3.1.2 Kreativ Prosess

Programmet *SketchUp 2022* blir brukt for visualisering og fremstilling. Eriksen og Larsen sine funn i «Skjult innfestning av utvendig kledning» dannet grunnlaget for den kreative prosessen. Bildene under gir et innblikk i hvordan den kreative prosessen foregitt digitalt.



*Figur 5 – Digital framstilling av kreativ prosess*



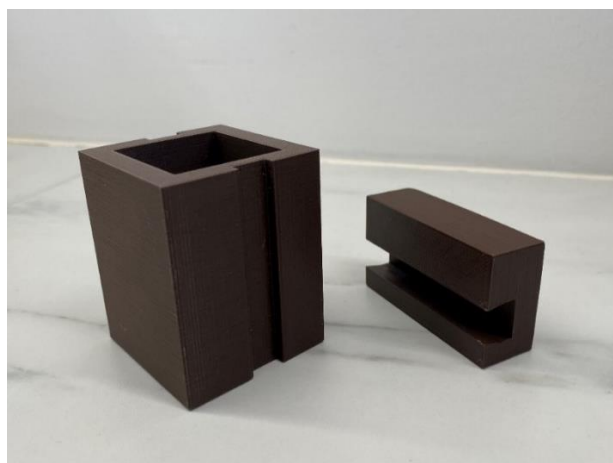
*Figur 6 – Digital framstilling av kreativ prosess*

Den kreative prosessen omhandlet ikke bare konseptet og dens framstilling, men også idémyldring om hvilke områder som burde bli utforsket av oppgaven. I dette prosjektet skjer 3D-printingen i plast med 20% fyll. Det vil si at 80% av volumet er luft. Printingen gjøres med *Original Prusa i3 MK3s+*, slike typer printere har en nøyaktighet på +/- 0.2 mm (Nutma, 2019, avsnitt 10). I tillegg benyttes det Phrozen Sonic Mighty 4K som printer i resin, slik type printere har derimot en nøyaktighet på +/- 0.01 mm (Nutma, 2019, avsnitt 12). Resin printere bruker flytende resin, og UV stråling for å smelte lagene sammen. Nøyaktigheten bidrar til mindre ruhet enn 3D-printer for plast, som smelter plasttråder sammen.

### 3.1.3 Videre utvikling av klipsløsning

For å få et bedre innblikk i løsningen fra Eriksen og Larsen, ble prototypen deres tegnet etter gitte mål og 3D-printet i PLA. Den ble deretter analysert, og funnene ble brukt for å utvikle en ny løsning.

*Sketchup 2022* ble benyttet til å designe en modell av lekt og kledning med et revidert fresespor slik at den kunne brukes til å vurdere egenskapene til prototypene. Overflatene til 3D-printet plast har ulik overflateruhet og styrkeegenskaper enn treverk, men delene ble kun benyttet for å se etter tendenser til styrker og svakheter for å kunne utvikle en prototype som kunne testes i større skala. Grunnet økt hastighet på testing av prototyper ved hjelp av modellene, blir unøyaktigheter som ruhet oversett.



*Figur 7 – Modellen av lekta og kledningen*

Prosessen for utvikling av prototypene baserte seg på en prøving og feiling metode. Etter at første prototype var 3D-printet ble den testet sammen med modellen av lekt og kledning. Dette ble gjort med PLA. Svakheter ble funnet og modellen ble revidert. Det ble jobbet på denne måten frem til at en prototype viste tilfredsstillende nok egenskaper til at det var verdt å teste prototypen i PETG og resin. De første prototypene designet digitalt ble designet med egendefinert fresespor i kledningen. Mot ferdigstilling av endelig klips ble det gått over til et design som tilpasset seg standard fresehodet som NTNU hadde tilgjengelig.

Etter en rekke revideringer ble prototypen ferdigstilt. Prototypen i PETG og resin virket lovende, og dermed ble resten av nødvendige klips printet og den planlagte testingen ble iverksatt i større skala.

### **3.1.4 Test i tørkekammer med utviklet klipsløsning**

Forsøkets formål er å tørke konstruksjonen i et lukket område med høy temperatur og lav relativ fuktighet. Dette vil forårsake vridning i treverket slik teorien tilsier. Forsøket vil også gi resultat for brukervennlighet. Trevirket som Gausdal Treindustrier selger skal som regel ligge på 16-18% fuktinnhold.

Det blir bestemt at veggen skal være 1.85 meter lang, og ha fem kledningsbord i høyden. Testveggens størrelse kan begrunnes med størrelsen på kammeret, og tidsbruken ved produksjon av klips. Kammerets lengde tillater kun 1.85 m lengde, fordi det er ønske om å beholde c/c 60 for konstruksjonen. Det ble ikke dedikert en egen printer for dette forsøket, og printing i plast og resin tar lang tid som gjør at man må beregne et døgn per printing. For å gjøre forsøkets gjennomføring så oversiktlig som mulig vil det bli satt opp en tabell som kronologisk forklarer fremgangen med bilder og tekst.

## Forklaring

## Bilde

**Første steget er å sette opp rammen til veggen. De fire lektene blir skrudd fast med to skruer i hver ende. Rammen blir deretter vatret opp, skudd, og plassert i tørkekammeret for å se om det er behov for eventuelle tilpasninger.**



**Deretter blir konstruksjonen satt ut igjen for å gi bedre rom å arbeide med. Før klipsene kan klipses på er det behov for bruk av stemjern for å tilpasse sporet slik at klemmemekanismen fungerer best mulig. Deretter blir systemet klipset sammen.**





**Da konstruksjonen er ferdigstilt blir den løftet inn i tørkekammeret som har blitt slått på tidligere for å oppnå ønsket temperatur. Veggen vil stå i kammeret i seks netter, i en temperatur på 25 varmegrader.**

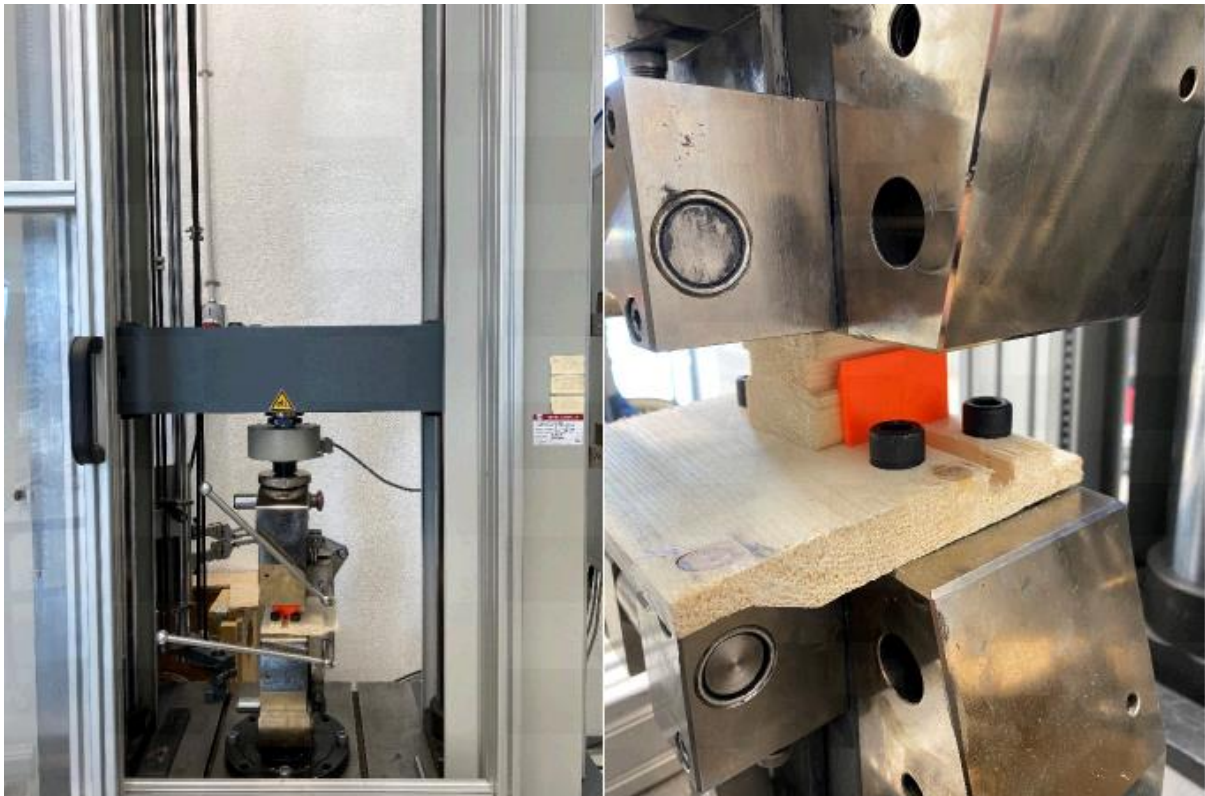


*Tabell 3 – Fremgangsmåte for test i tørkekammer*

### 3.1.5 Strekktest med utviklet klipsløsning

Hensikten med strekktesten er å kartlegge hvor mye strekkstyrke systemet tåler. Dataene fra forsøket brukes for å sammenlikne med tidligere løsning utviklet av Eriksen og Larsen, samt måle det opp mot dimensjonerende vindtrykk beregnet i 3.1.1. For strekktesten var det nødvendig å utarbeide en spesifikt lekt, fordi maskinen må ha nok overflate å gripe i. Resultatene til strekktesten vil bli presentert grafisk.

En bit av kledningen blir tilpasset for å passe i Zwick strekkmaskin som benyttes til forsøket. Forsøket gjennomføres i tre omganger. Hver enkelt omgang får tildelt sin klednings bit, og klips. Dette skal hjelpe med å unngå slarket i systemet som tidligere gjennomføring kan ha laget. Lekta som maskinen drar i brukes i alle tre omganger. Lekt, klipp og kledning strekkes fra hverandre til det oppstår brudd i et ledd. Maskinen blir satt til å oppnå en dra-kraft på 300 Newton, og strekkmaskinens mekanisme drar med 1,5 N/s. Som formidlet til oss fra Kenneth Kalvåg er det viktig at gjennomføringen foregår i minst to minutter.



*Figur 8 – Testmaskinen Zwick, med montert testobjekt*



### 3.1.6 Beregning av vindtrykk

Det settes opp en egen case for å beregne vindtrykk og sammenlikne med strekkreftene som måles i strekktesten. Caset settes til Gjøvik og Træna, som er samme lokasjoner brukt i «Skjult innfesting av utvendig panel» av Eriksen og Larsen. Dette gjøres for å kunne sammenlikne resultatene. Træna er i tillegg lokasjonen i Norge med høyeste hastighetstrykk, og presenterer dermed et ytterpunkt (SINTEF, 2011).

#### Case

Et rektangulært hus med en høyde på 4 meter over bakken. Huset plasseres på Gjøvik og Træna, og beregnes både med kupert og åpent terreng. Det gir fire verdier for vindtrykk, to ytterpunkter på begge lokasjoner. Plassering i forhold til åser og bratt terreng villet gitt et utslag, men i dette caset er terrenget satt til helt flatt.

Formfaktoren ( $C_{pe}$ ) settes til -1,4. Det representerer fasaden på bygget som er mest utsatt for negativt vindtrykk basert på vindretning (Standard Norge, 2009).

For Gjøvik og Træna beregnes det vindtrykk med ruhetsfaktor på både 1,33 og 1. Det representerer da begge ytterpunktene. 1,33 for plassering under 500 meter fra åpent terreng som vann eller vidde. 1 for plassering i tettbygd strøk eller skog.

Faktor for vindakselerasjon over åser ( $k_1$ ) og faktor for vindkastøkning nær fjelltopper og bratt terreng ( $k_2$ ) medregnes ikke i dette caset.

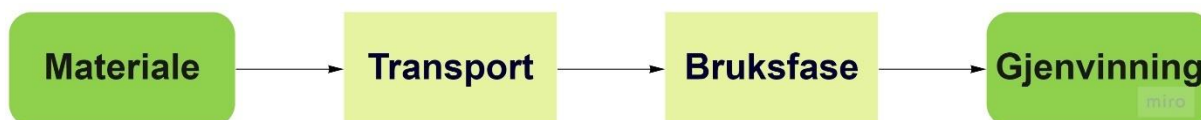
### 3.1.7 Beregning av livsløpsanalyse

*Eibrowser* er en database som er tilgjengelig for NTNU studenter og ansatte, og inneholder kalkulerte innvirkninger som baserer seg på dataene til *Ecoinvent* (*Ecoinvent Impact Browser*, u.å). Ved å gjøre for eksempel søk etter aluminium vil det komme resultater om forskjellige aktiviteter som inneholder dette produktet; hvor det skjer geografisk, og målenheten. For denne oppgaven, og dens analyse vil det bli lagt til grunn den vanligst brukte målenheten: Kg CO<sub>2</sub>-eq, GWP100.

Analysen vil danne et grunnlag for diskusjon om hva slags type materiale som er mest egnet til bruk for klipsen med vekt på miljø, og hvordan klipsen gjenspeiler seg mot bruk av spiker. Ettersom klipsen medfører at det ikke blir synlige hull i kledningen, vil det også bli undersøkt hvordan bruk av klips påvirker livsløpet til kledning. Det vil dermed bli gjort beregninger for følgende materialer: metall, plast, og tre.

Perspektiv, og allokering må defineres for å unngå feil sammenligninger. *Eibrowser* bruker et *cut-off* allokering, og perspektiv som kalles for hierarkisk. Slik perspektiv tar i betraktning at naturen er i stand til å motstå noen forstyrrelser, og foretrekker at økonomisk aktivitet befinner seg innen grenser (Bakshi, 2019, s. 308). *Cut-off* allokering sier at hvert enkelt produkt skal kun tildeles miljøpåvirkninger som er direkte knyttet til produktet (Nicholson, Olivetti, Gregory, Field og Kirchain, 2009). Indikatoren for denne beregningen vil være en midtpunkts indikator. Det betyr at det kun blir lagt søkelys på ett område, som er klimagassutslipp i dette tilfellet (National Insitute for Public Health and the Environment, 2018).

Det må defineres en funksjonell enhet til systemet for å kunne simulere påvirkningene. Analysen vil legge vekt på prosessene som anses som de med størst påvirkning. Prosesser som ikke har mye usikkerhetsmomenter rundt seg, og verdiene hentet defineres som enten globale eller europeiske. For å kunne betrakte hele livsløpet må det tas med miljøberegninger for selve kledningen også, og hvor lenge den er brukbar. Den funksjonelle enheten vil derfor være *1 år\*meter kledning*. Det vil med andre ord bli beregnet miljøpåvirkninger - Kg CO<sub>2</sub>-eq, GWP100 for en meter med kledning inkludert klips eller spiker. Ved å dividere på levetiden bestemmes det hvilken av løsningene som er den mest rimelige. Jo lengere levetid konstruksjonen har, desto bedre og lavere verdi vil bli oppnådd fordi systemet kan brukes i lengre tid før den blir gjenvunnet.



Figur 9 – Framstilling av hovedprosessene i LCA

For klipsens materiale har det blitt valgt markedet for den, som gjenspeiler et gjennomsnitt av de forskjellige måtene materialet kan bli fremstilt på. Verdien vil da bli multiplisert med vekten av produktet. Samme metodikk har blitt brukt for kledning.

Vekten av metallklipsen er basert på materialets densitet fra kapittel 2, og klipsens volum. Vekten for spiker blir satt til 8 gram, som gjenspeiler en standardisert spiker (Motek, u.å). For spiker blir CO<sub>2</sub>-eq, GWP100 verdi for legert stål brukt. Samme verdi blir brukt for stålklips. Aluminiumklips ble tildelt AlMg3 som er legert aluminium. Plast ble tildelt verdi for flaskegradert PET plast, som har en densitet på 1,38 g/cm<sup>3</sup> (Polymer Properties Database, 2018). Treverkets verdi ble hentet for solid tre, altså tremasse uten bark.

Påvirkninger av transport kan deles inn i forskjellige kategorier avhengig av midlene som blir brukt. Det anses at produktet vil bli transportert enten med båt eller lastebil.

Miljøkonsekvensene for transport er avhengig av avstanden produktet blir transportert, og vekten av den. Det blir satt at spiker og metallklips blir produsert i Tyskland, da det er der største produksjonen av metallinnfestninger foregår (Wanza, 2018, avsnitt 2). Plastklips vil komme fra Kina. For å gi en indikasjon måles luftavstanden fra Norge til Tyskland til 1200km, og 7000km til Kina (Google Maps, 2022). Det legges til 10% km til luftavstanden for å gjøre verdien mer tilpasset transportvalget. Gausdal Treindustrier legger stor vekt på lokalt trevirke, da 60% av trevirke kommer lokalt. Analysen betrakter derfor at treverket for produksjonen kommer fra en 100km luftradius.

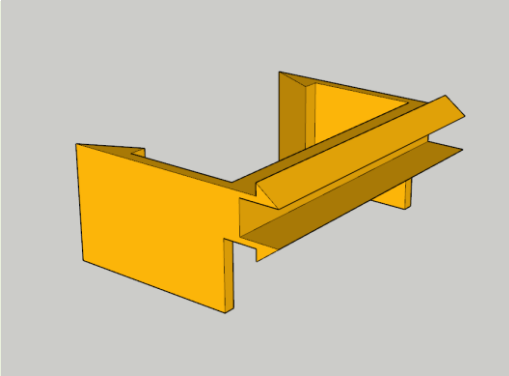
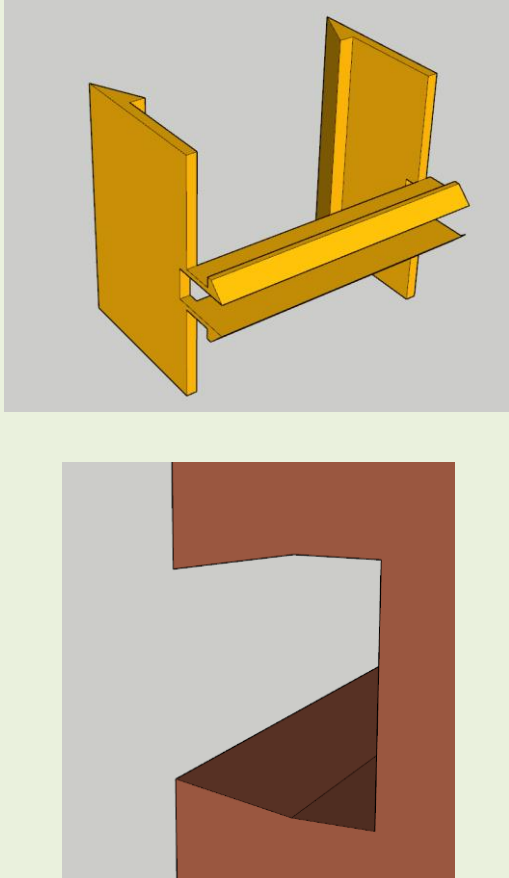
Det finnes ingen direkte utslipp for kledning, spiker, eller klips under bruksfasen. Likevel har denne fasen stor innvirkning. Her blir levetiden bestemt, og dette vil påvirke resultatene i simuleringen. Gausdal Treindustrier opplyser at kledningens levetid kan være opp til 100 år, men det betyr at treverket må behandles helt riktig og tas vare på. Årsaker til hvorfor kledning må byttes ut tidligere enn dette kan være mange. Det kan være på grunn av råte, bygget skal rives, eller estetiske grunner. Casen i simuleringen legger til grunn en levetid på 60 år for ferdigbehandlet kledning med spiker.

Gjenvinning legger til grunn samme tankegang som materiale. Det blir altså valgt marked for resirkulering for de gitte materialene som gjenspeiler gjennomsnittsverdi for måtene det er mulig å gjenvinne materialet på. Deretter blir de multiplisert med vekten av produktet.

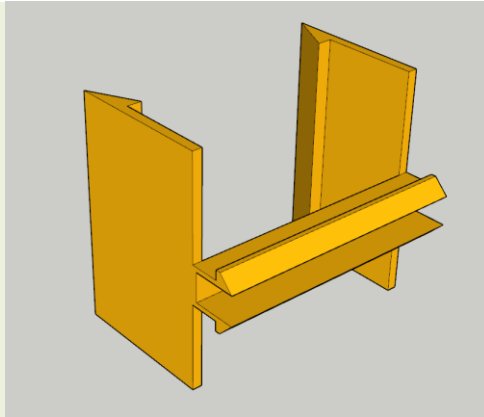
For å gjøre innhenting av resultatene så enkel som mulig vil disse bli presentert i en tabell. Diverse verdier vil gjennomgå en simulering grafisk og presentert. Fordi verdiene er basert på mengde materialer som inngår i en meter med kledning, kan det simuleres større mengder om ønskelig.

# 4 Resultater

## 4.1 Prototyper

Navn	Bilde	Forklaring/funn
<b>Prototype 0</b>		<p><b>Forklaring:</b> Dette er klipsen til Eriksen og Larsen som er brukt som grunnlag for ny løsning.</p> <p><b>Funn:</b> Arealet som klipsen angriper kledningen og lekta med, er liten. Munnstykket er stivt.</p>
<b>Prototype 1</b>		<p><b>Forklaring:</b> Klemmestykket er hevet for å skape større anleggsflate rundt lekta. Luftrommet i munnstykket er trukket inn med 5 mm for å øke fleksibiliteten. Den skarpe kanten på munnstykket er flatet ut for å skape større anleggsflate i fresesporet. Fresesporet gjennomgår første modifikasjon.</p> <p><b>Funn:</b> Munnstykket viser en svakhet der den er festet i klemmestykket. Flexibiliteten har økt.</p>

## Prototype 2

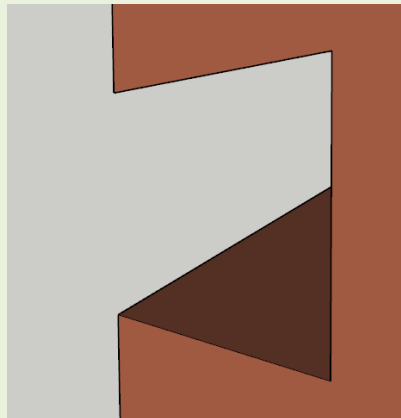
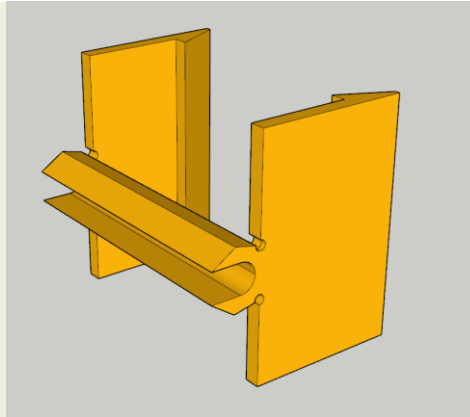


**Forklaring:** Klemmestykket beholder formen fra prototype 1. Luftrommet i munnstykket blir redusert med 3 mm for å øke stabilitet, men samtidig beholde fleksibilitet. Prototype 2 er første prototypen printet i resin.

**Funn:** Stivheten i munnstykket har økt, som gjør at munnstykket klemmer bedre i sporet. Munnstykket viser fortsatt en svakhet i 90-graders vinkelen der munnstykket er festet i klemmestykket. Onyx Pro 410 resin viser seg til å være for stiv til formålet.

### Prototype 3

(Endelig løsning)



#### **Forklaring:** Godset i

klemmestykket er økt med 1 millimeter. Munnstykket er tilpasset et nytt kjegleformet spor. 90 graders vinkel der munnstykket er festet er erstattet med en rund form. Luftrommet i munnstykket er endret til en oval form. Endringene i formene har generelt ført til økt masse. Fresesporet blir tilpasset fresehodet. Prototypen blir printet i en ny type resin

**Funn:** Økt masse fører til økt stivhet. Ovale og runde former fører til større bruddstyrke. Ny utforming av munnstykke tilpasset nytt fresehode fører til økt stabilitet og mindre slark. Siraya Tech BLU er mer egnet resin, da den oppleves mer lik PETG plasten.

Tabell 4 – Prototyper

## 4.2 Endelig løsning

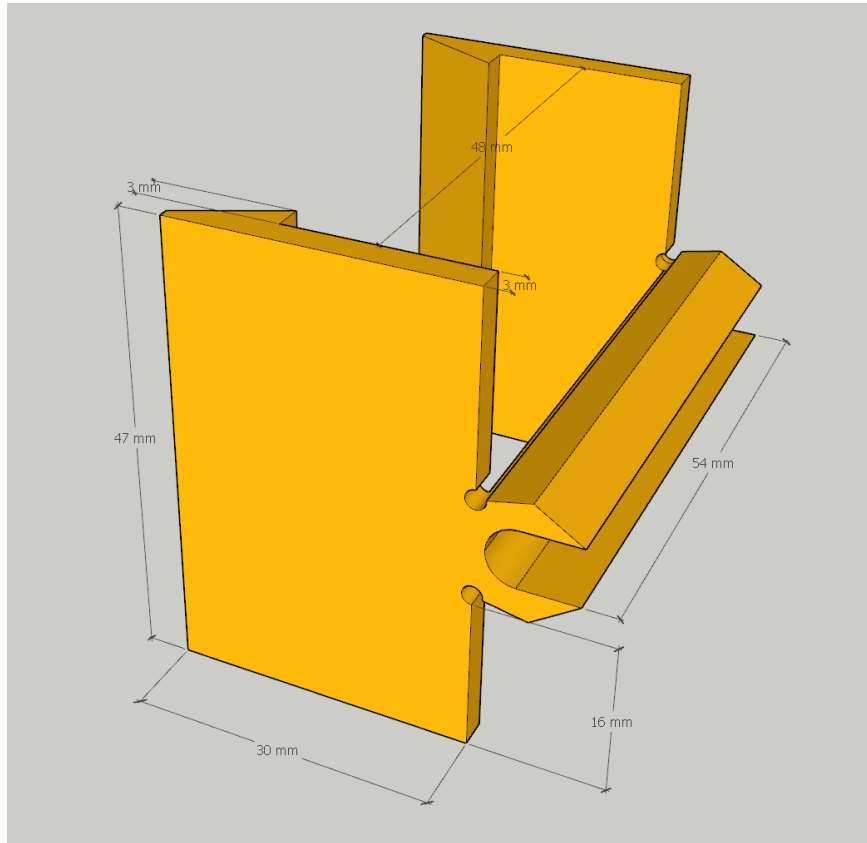
Den endelige prototypen utarbeidet har både gjennomgått forandring i volum, klipsform, og materialet klipset har blitt printet i. Det er utarbeidet en tabell som presenterer data for løsningen for klipsen til Eriksen og Larsen satt opp mot løsning i dette prosjektet.

Volumenhetene er hentet fra *Sketchup 2022*, og 3D-printer programmet *Prusa Slicer*. Form og fresepor beskrives fra visuell framstilling.

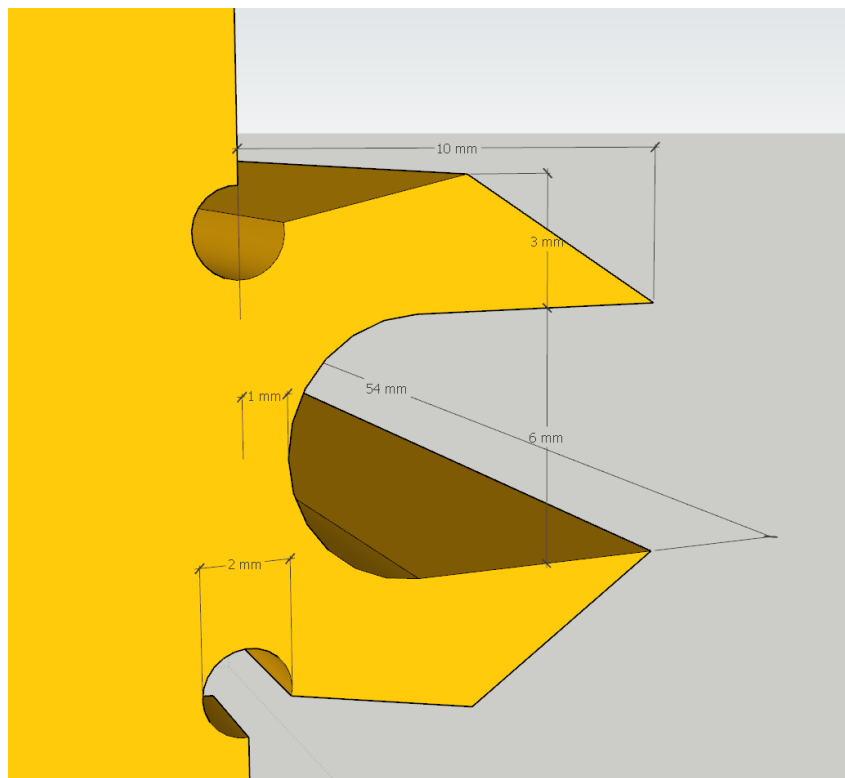
Område	Klipsløsning til Eriksen, og Larsen	Klipsløsning til Erikis, og Hanche
<b>Kubisk volum</b>	45,76 cm <sup>3</sup>	101,52 cm <sup>3</sup>
<b>Reelt volum</b>	4,91 cm <sup>3</sup>	12,12 cm <sup>3</sup>
<b>Testmateriale</b>	PLA	PETG og resin
<b>Munnstykkets form</b>	Firkantet	Oval
<b>Fresespor</b>	Firkantet	Kjegle

Tabell 5 – Sammenligning av løsningene

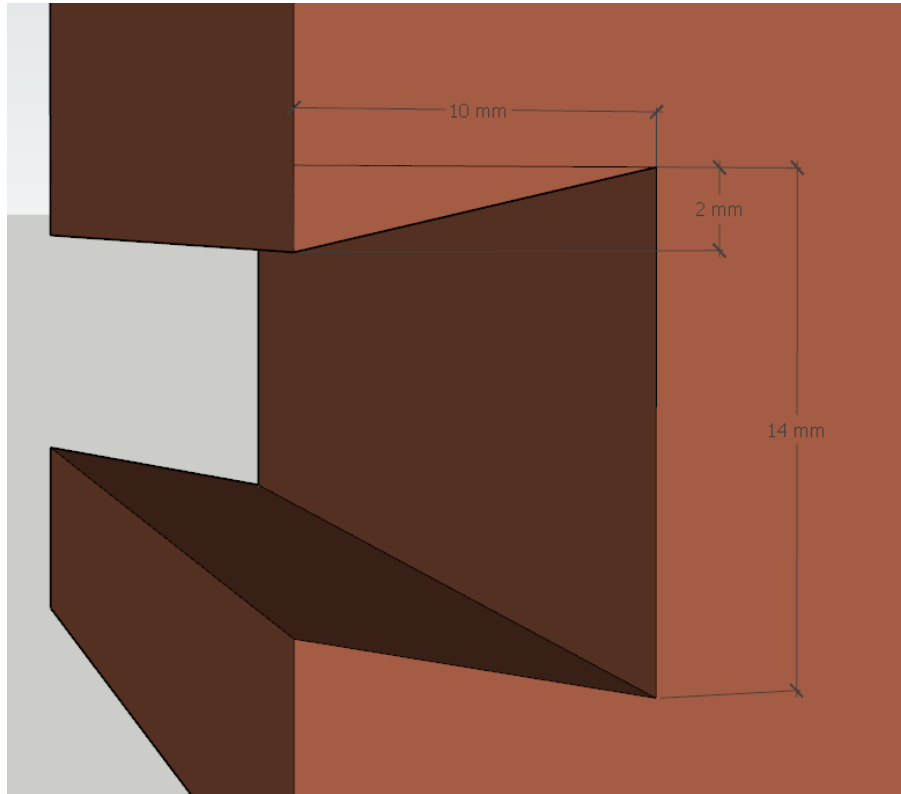




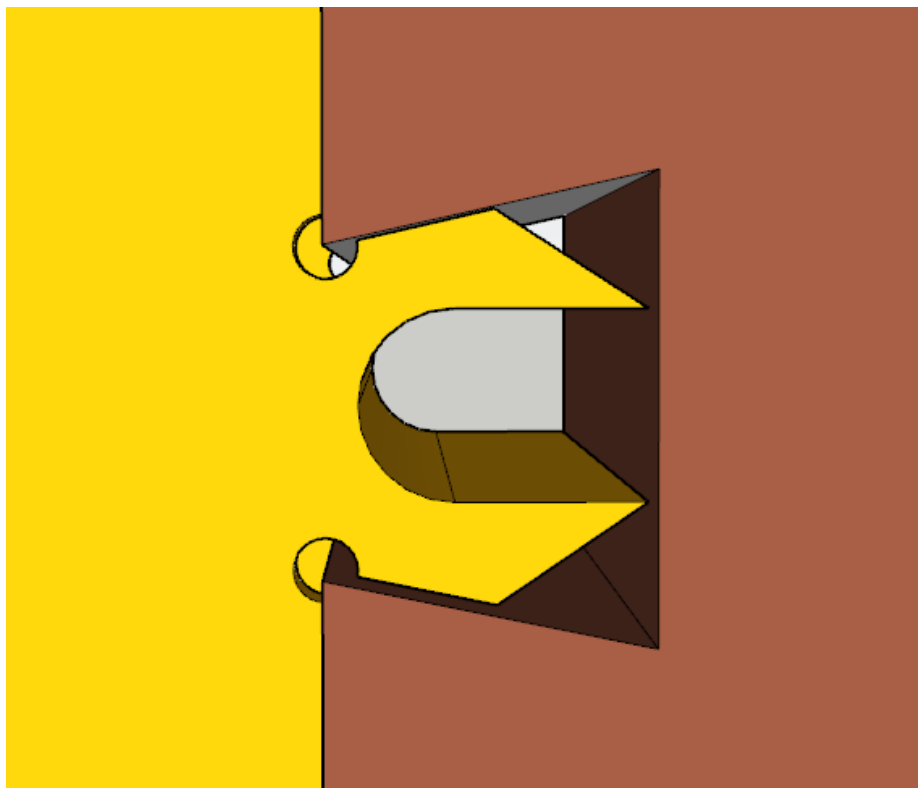
Figur 10 – Fysisk mål for endelig klipsløsning



Figur 11 – Fysiske mål for munestykket



*Figur 12 – Fysiske mål for fresesporet i bordet*



*Figur 13 – Digital illustrasjon av munnstykket i fresesporet*

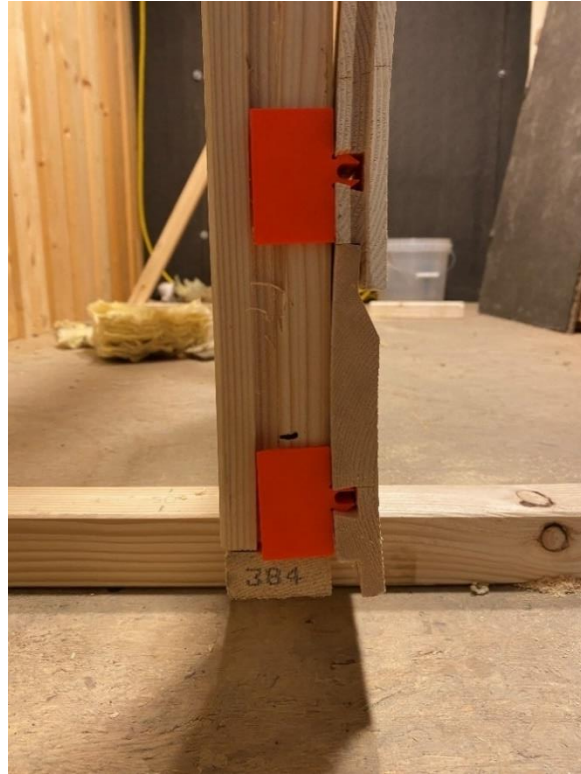
### 4.3 Resultater fra tørkekammer

Resultater av veggen i tørkekammeret vil bli fremvist ved hjelp av bilder, da ved et slikt forsøk er det det visuelle som gir resultater og grunnlag for diskusjon.

Under monteringen viser klipp i resin og PETG en svakhet i ledd mellom munnstykket og klemmestykket. Klippsen hadde en tendens til å sprekke opp. Det medførte at det ble brukt flere klipp i PETG enn resin i testveggen enn planlagt. I tillegg medførte det til vanskeligheter med monteringen, fordi svakheten i de 3D-printede klipsene måtte hensyntas og det måtte utøves stor forsiktighet. Etter forsøket ga måleren ingen utslag på fuktighet i treverket. Dette betyr at kledning har under 7,8% fuktinnhold.



*Figur 14 – Visuelt resultat etter 6 netter*



*Figur 15 – Visuelt resultat etter 6 netter*



*Figur 16 – Visuelt resultat etter 6 netter*



*Figur 17 – Visuelt resultat etter 6 netter*



*Figur 18 – Visuelt resultat etter 6 netter*





*Figur 19 – Visuelt resultat etter 6 netter*



*Figur 20 – Visuelt resultat etter 6 netter*

Midterste partiet viser særdeles gode resultater, og figur 20 er en indikasjon på dette. Partiet klarer godt å motstå vridning, og har veldig få preg av bord som drar seg ut av klipsen. Det er tydelig at det er klipsen som står i hver ende som har ikke klart å motstå treets tørking, og vridning like bra. Likevel ble det gjort en observasjon på at klipsene i disse lektene kun har ikke tålt stresset den ene retningen. Ved å se på Figur 16, og 17 kan dette ses visuelt. Klipsens side som peker mot midten av konstruksjonen ligger jevnt og godt med lekt og kledning, mens siden som peker bort fra midten har veldig synlige preg av vridning. Det øverste bordet lå jevnt inntil lekta utenom øverste delen av den, da det er ingenting som holder igjen vridningen der.

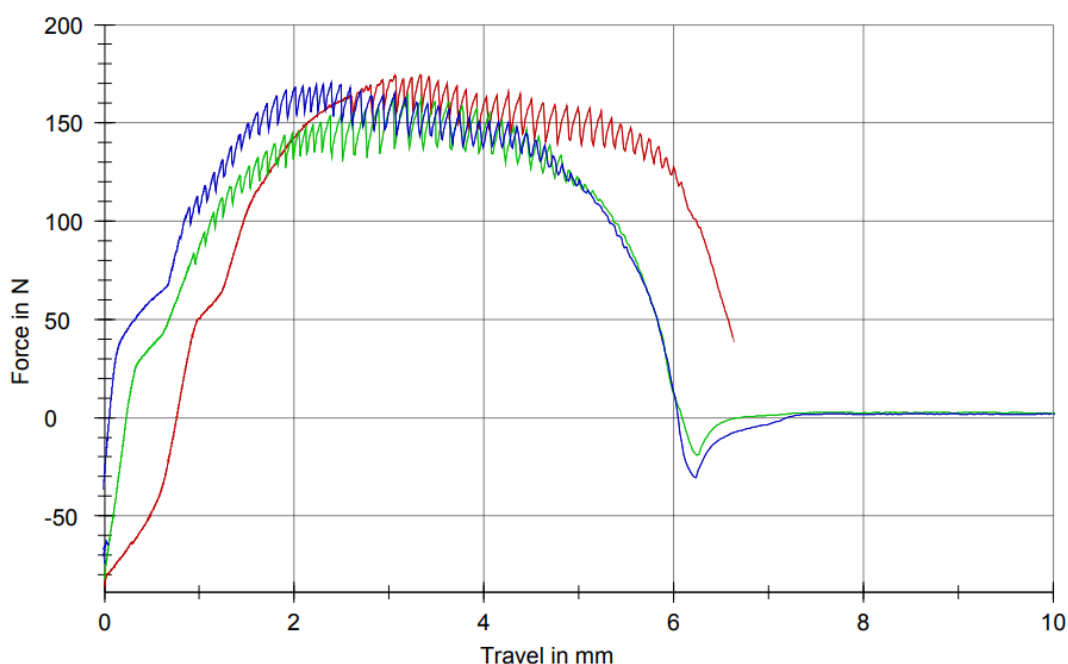
Etter forsøket var veggen like stødig. Kledningen følte mer sprø ut, og ved berøring oppsto det knirking. Konstruksjonens heft er like god som før forsøket med unntak der heften var mye lavere allerede før testen. Dette omtales videre i feilkilder.

Totalt av de 19 monterte klipsene, hadde syv av de tydelige tegn på at bordet har presset seg ut av klipsen og det dermed har oppstått luftrom mellom lekta og kledningen. Tre av disse syv klipsene hadde dette som tilfellet allerede før testen. Luftrommet mellom klednings bordet og lekta i disse stedene var tilnærmet lik. Dette skyldes at ingen av bordene har klart å presse seg lengre ut enn det høyeste partiet i munnstykket.

Testingen viser at klipsen kan enkelt monteres, og sitter stabilt og godt der fresesporet er bra og riktig i forhold til klipsen. Helhetlig sett kan det sies at tørkeprosessen ikke har hatt stor påvirkning på systemet, hvert fall der fresesporet stemte overens med digitale tegningen.

## 4.4 Resultater fra strekktest

Det oppsto ikke noen direkte brudd under forsøket. Når strekk kraften passerte ca. 120 Newton begynte det å oppstå knirking i prøvestykket. Det var ingen synlige tegn, men grafen viste dette ved å lenger ikke være jevnt økende. Når dra-kraften nærmet seg 150 Newton oppsto det synlige tegn, da klipsen begynte å skli ut av sporet. Gjennomføringen ble avsluttet da klipsen hadde sklidd helt ut av fresesporet ved ca. 170 Newton.



Figur 21 – Grafisk framstilling av strekkraften

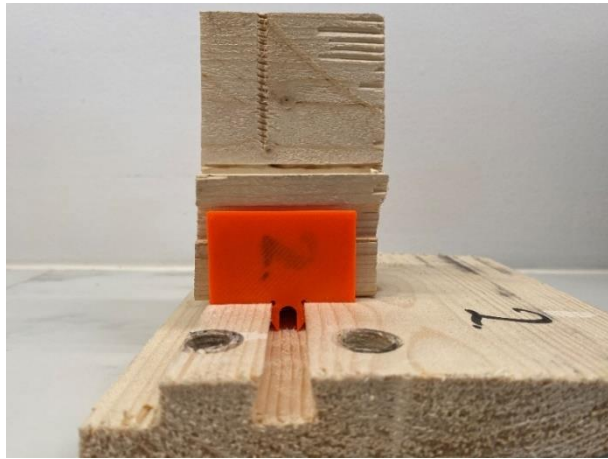
Kledningen ble først skrudd fast og så ble strekk komponenten klemt rundt lekta. Dette er årsaken til hvorfor grafen framstilt i resultater starter på negativ verdi - fordi armen som skal dra klipsen ut utfører en skyvekraft mot systemet. Dette har ikke påvirkning for  $F_{\max}$ .

Det kunne ses noen få synlige tegn på bordet fra første omgang der klipsen hadde blitt dratt ut, da åpningen av fresesporet var mer avrundet enn før. Ellers virket klipsens munnstykke lik ved påkjenning etter testen som før. Klemmestykket virket solid, men punktet der klemmestykket møter munnstykket tillatte mer vridnings moment etter forsøket. Ved å prøve å dra ut klipsen manuelt med hånd fra samme sted som strekktesten foregikk, viser seg dette til å nå være gjennomførbart. Likevel må det brukes kraft, og dermed er det fortsatt heft til stedet.





*Figur 22 – System 1 etter gjennomført strekktest*



*Figur 23 – System 2 etter gjennomført strekktest*



*Figur 24 – System 3 etter gjennomført strekktest*

## 4.5 Resultater fra beregninger av vindtrykk

Lokasjon	Plassering i terreng	Høyde på vegg	Vindhastighet	Maksbelastning per kvadratmeter	Maksbelastning per klips
<b>Gjøvik</b>	Under 500 meter fra åpent terreng	4	24 m/s	-1210 N/m <sup>2</sup>	-75 N
<b>Gjøvik</b>	I tett bebyggelse eller skog	4	24 m/s	-910 N/m <sup>2</sup>	-56 N
<b>Træna</b>	Under 500 meter fra åpent terreng	4	31m/s	-2123 N/m <sup>2</sup>	-131 N
<b>Træna</b>	I tett bebyggelse eller skog	4	31m/s	-1596 N/m <sup>2</sup>	-98 N

Tabell 6 – Beregnet vindtrykk

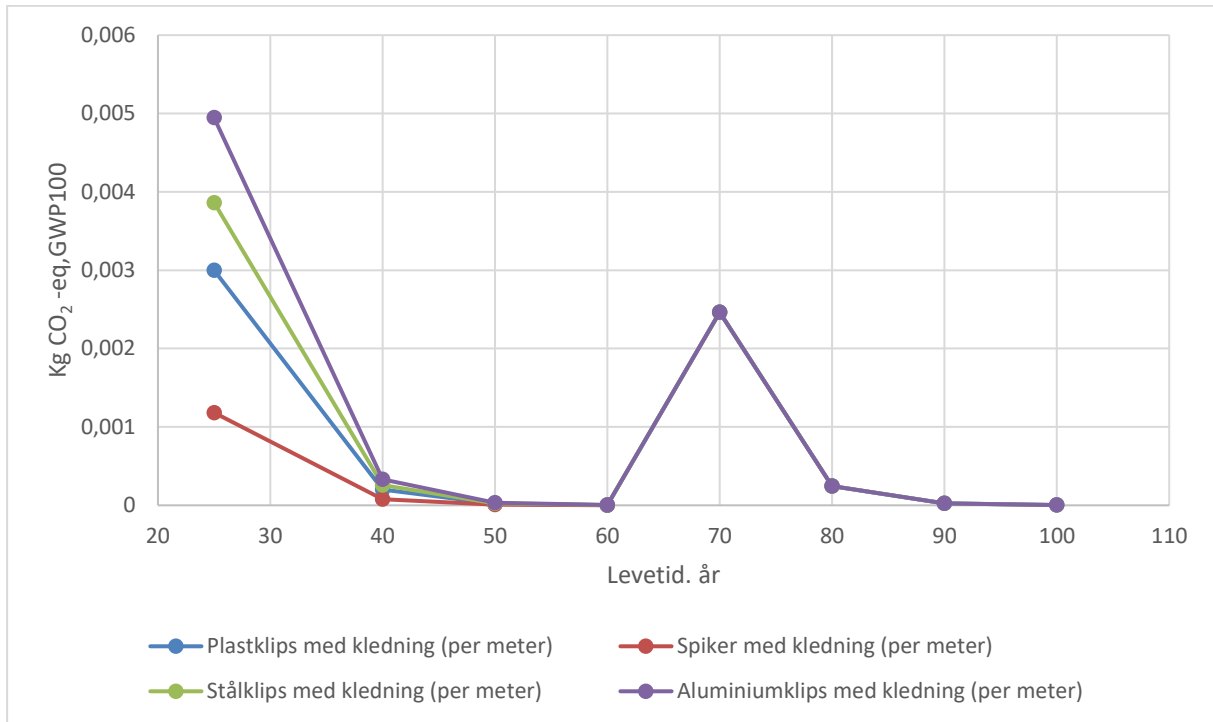
## 4.6 Resultater fra livsløpsanalyse

Beskrivelse	Verdi - Kg CO <sub>2</sub> -eq, GWP100
Spiker (per stykk)	0,014759926
Plast klips (per stykk)	0,123735535
Stål klips (per stykk)	0,175536107
Aluminium klips (per stykk)	0,24052185
Kledningsbord (per meter)	0,093664269

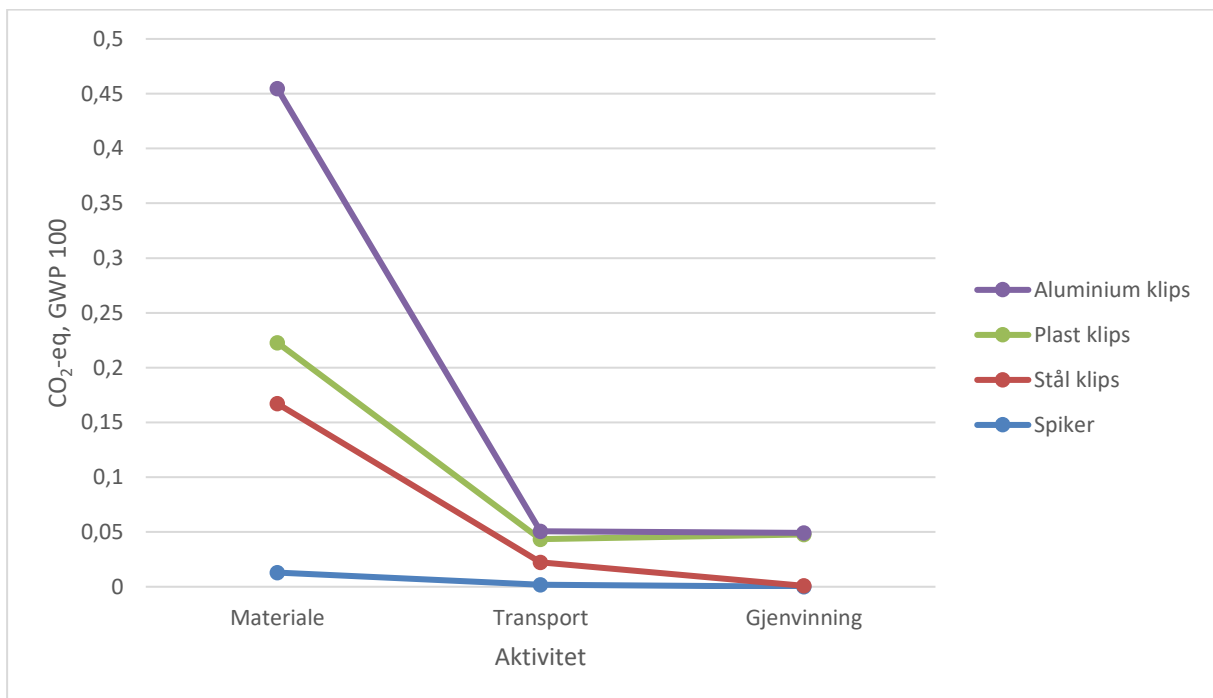
Tabell 7 – Miljøpåvirkninger for gitte produkt

Figur 25 illustrerer levetiden og årlige miljøpåvirkninger til kledning med spiker, og klips. Etter 60 år vil bordet som inneholder klips bli fjernet og bordets innfestning går over til bruk av spiker, dette forårsaker hoppet i figuren ved år 60. Verdiene for livsløpet videre vil ikke være like, men grafisk er dette vanskelig å se da differansen til verdiene minker i forhold til levetiden. For eksakte verdier se vedlegg 1.

Fordi standardløsning med spiker danner hull, anses det at kledningen har nådd sitt livsløp etter 60 år. Siden spiker har lavest startverdi er dens miljømessige bidrag lavest etter 60 år. Bidragsanalysen presenterer hver aktivitet og hvor stort utslag den har i forhold til de andre, bruksfasen er ikke tatt med her.



Figur 25 – Simulering av årlige miljøpåvirkninger



Figur 26 – Bidragsanalyse for gitte aktivitet

## 4.7 Feilkilder

### **Tørkekammer**

En feilkilde som har hatt stor betydning for gjennomføring av test i tørkekammer har vært fresing av sporet i kledningsbordet og lekta. Det oppsto problemer med å ha fresesporet parallelt med bordet, da bordet er lengre enn arbeidsflata fresen sto montert på. Dette ble til en viss grad løst ved å montere en rett og langt nok komponent langs fresen. Likevel var det vanskelig å trykke bordet jevnt gjennom hele freselengden som medfører ulik dybde. Fresingen medføre at tørkeprosessen har et mer unøyaktig resultat da det noen steder oppstår mer slark. Dette medførte derfor at det øverste bordet bare er halve lengden.

Siden det ikke var mulig å få 100% nøyaktig mål for avstand for fresingen av lekta ble den frest så nærme som mulig, og deretter tilpasset med stemjern. Slik beskrevet i prosessen måtte dette gjøres for alle klips og medfører dermed stort faremoment for feil. Likevel anses dette som mer nøyaktig enn å frese langs lekta med cirka mål.

### **Strekktest**

En feilkilde ved strekktest kan være at klipsen ikke er sentrert midt under armen til strekkmaskinen, og at den dermed vil strekkes skjevt. Klipsen kunne beveges sideveis i fresesporet, og dermed tilpasses så nøyaktig som mulig før hver gjennomføring. Feilmarginen til strekkmaskinen er ukjent.

### **Livsløpsanalyse**

Miljømessig er feilkildene avhengig av hvor nøyaktig informasjon det er ønske om å hente ut. For å indikere størrelsen, og retningen disse verdiene går mot er gjennomføringen gyldig. Materialene valgt i denne beregningen er så nær materialene beskrevet i teorien som mulig.

# 5 Diskusjon og analyse

## 5.1 Systemløsning

Det blir anbefalt for videre arbeid å montere fjær i munnstykket på klipsen (Eriksen og Larsen, 2018). Under intern diskusjon ble det gjort en antagelse om at bruk av en fjær i deres prototype ikke kommer til å gi gevinst verken for forsøket eller produksjonen. Eriksen og Larsen har testet prototypen i PLA og fra tidligere erfaringer innen bruk av denne type plast ble det anslått at plasten er stiv nok for at fjær ikke hadde gitt noe utslag. Åpningen i munnstykket er så liten at fjæra måtte vært unaturlig anspent for å gi utslag og dermed også gjøre innfestningen i bordet vanskelig. Utviklingen baserte seg på å skape en form for fjær-effekt i selve klipsen og forandre på fresesporet til kledningen.

Ved å ekskludere fjær som et element vil løsningen ha færre komponenter og det antas at det vil gi en løsning som er mer holdbar. Dette gjør altså at videreutviklingen vender bort fra firkantet fresespor, som etter vår tolkning fra tidligere oppgave får klipsen til å oppnå en form for fiskekrokmekanisme i sporet. Forandring av fresesporet til en mer egnet form for generell klipsmekanisme medfører bedre heft.

I den kreative prosessen kom det frem at printing i resin vil gi glattere og dermed bedre overflate å arbeide med enn det PETG gjør. Under monteringen av testveggen viser det seg at dette hadde mindre betydning enn først antatt. Årsaken til dette kan være at de første prototypene ble printet liggende i 3D-printeren. Da får de horisontale flatene noe mer ruhet enn de vertikale. De videre testobjektene ble printet stående som medfører at munnstykket blir vertikalt i printeren og dermed også få noe mindre ruhet. Et endelig produkt som skal produseres blir sannsynligvis ikke 3D-printet da dette er lite hensiktsmessig, dermed vil ikke ruhet på klippsoverflaten være en problemstilling.

Elastisiteten til materiale vil ha stor betydning. Under videre utvikling av klipsen kommer det frem at balansen mellom stivhet og elastisitet er essensielt. Klipsen må være stiv nok til at kledningen og lekten holdes sammen med tilfredsstillende styrke, samtidig som den må være bevegelig nok til å kunne klipses uten at styrkeegenskapene til klipsen reduseres. Resultatene fra strekktesten viser at testmaterialene oppnår tilfredsstillende styrke, og det antas at et endelig materiale som er tilpasset løsningen vil få enda bedre styrkeegenskaper fordi testmaterialene er lette og tilpasset generelt bruk. Resultater fra tidligere oppgave peker mot at det oppstår for lite heft mellom munnstykket og fresesporet i kledningen (Eriksen og Larsen, 2018). I den nye løsningen er luftrommet mellom munnstykket og fresesporet redusert kraftig og slarken er eliminert.

Gjennom testing viste det seg at 90-graders vinkler er utsatt for oppsprekking og reduserte klipsens styrkeegenskaper. Dette gjaldt spesielt i leddet mellom klemmestykket og munnstykke, samt luftrommet i munnstykket. For å øke styrken i hele konstruksjonen til klipsen ble de utsatte områdene med 90-graders vinkler redesignet med runde former. Resultatene gjennom flere prøvinger av løsningen viser at dette fungerte og at styrken i klipsen har økt. Utviklingen er gjennomført med fire forskjellige materialer hvorav to er plast og to er resin. Endringen av de skarpe vinklene har vist seg å fungere godt for de ulike testmaterialene og man kan dermed anta at dette vil gjelde flere materialer.

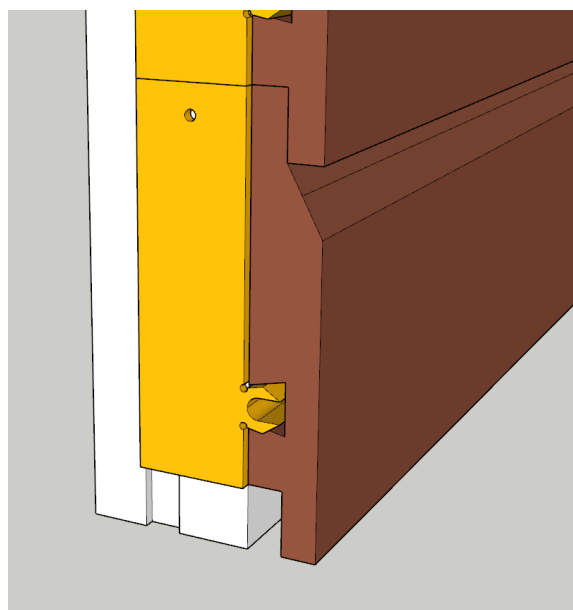
Mekanismen som har blitt utviklet kan monteres på to forskjellige måter. Enten ved at klipsen monteres fast i lekta først, deretter i bordet. Eller ved at klipsen blir dyttet inn i bordet, og deretter klipset fast i lekta. Det antas at begge metodene vil gi like gyldig resultat, men at det kan oppstå behov for ekstra justeringer ved å bruke metodikken der klipsen blir skyvet inn i kledningen. Gitt materialene som klipsene er produsert i var det mest hensiktsmessige å bruke den sist nevnte metoden. Likevel ble begge to metodene prøvd og lot seg gjennomføre.

Slik tabell 3 viser har innfestningen foregått på en frittstående vegg. På en reel vegg vil lektene bli skrudd fast i veggen, som medfører at innfestning av klips og bord foregår mye stødigere. Ved et frittstående oppsett oppstår det større faremomenter innen montering, fordi oppsettet er mer ustødig og dermed kan større unøyaktigheter oppstå som påvirker klipsens egenskaper ved at den for eksempel blir vridd.

Det antas at løsningen fungerer for alle typer liggende kledning med overlapp, men dette er ikke testet eller undersøkt.

### 5.1.1 Vektbelastning på nederste klips

Det er ikke gjort undersøkelser på om prototypen klarer å holde vekten av kledningsbordene oppe, men dette kan løses ved at nederste klips skrues fast i lekta. Klemmestykket som går rundt lekta bør være vesentlig høyere slik at montøren får tilgang. Denne type klips er ikke printet eller testet, men festemekanismen er uendret. Designet skal kun bidra til enkel montering, ved at verktøyet for montering får enklere tilgang.



*Figur 27 – Foreslått løsning for montering av nederste panel.*

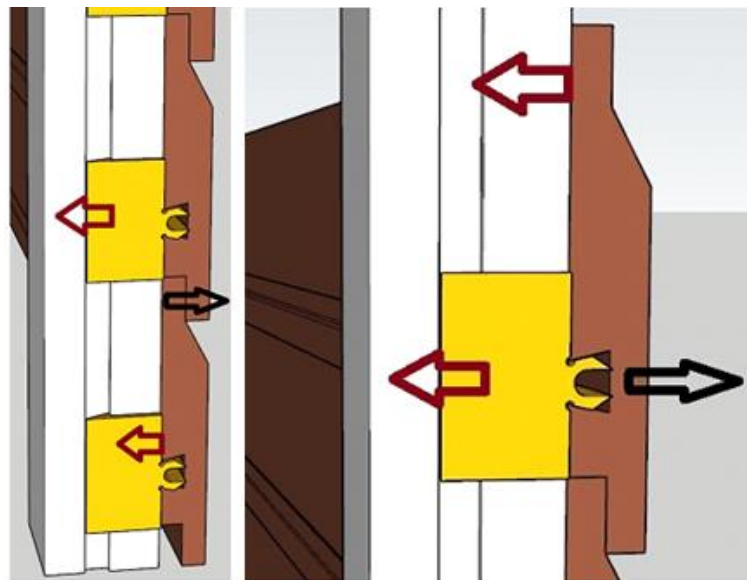
### 5.1.2 Fresespor

Under forsøket måtte noen av de skarpe kantene i smaleste del av fresesporet slipes litt grunnet vanskeligheter med å montere klipsen, selv om små prøvestykker ikke viste til slike vanskeligheter. Forskjellene skyldes fresesporets nøyaktighet. Der fresesporet er dypere blir åpningen smalere og det blir vanskeligere å klippe munnstykket inn. Dette anses ikke som en problemstilling som kan oppstå ved automatisert fresing.



Det kjegleformede fresesporet bidrar til økt styrke fra start og reduserer risikoen for at uttørking av kledningen fører til dårligere heft. Selv om uttørking fører til at vinkelen i det kjegleformede sporet endres til fordel for det negative, skal det mye til før styrken på løsningen reduseres i så stor grad at det får konsekvenser for innfestingen av bordet. Det er fordi den kjegleformede vinkelen er såpass stor og det antas at tørking ikke vil få konsekvenser slik at vinkelen blir for liten til å opprettholde heften mellom kledningen og klipsen.

Not- og fjærmekanismen i bordet vil sørge for at den ikke vrir seg utover på oversiden, som klipsen på bordet ovenfor også skal hjelpe til med. Fresesporet blir derfor frest slik at klemmestykket som går rundt lekta starter der bordet under slutter.



*Figur 28 – Fremstilling av krefter som kan opptre på kledningen*

Ved å se på figur 28 kan det visuelt forklares hvordan krefter som oppstår i kledningen skal kunne motvirkes. De sorte pilene gjenspeiler en kraft bort fra bygget, mens de røde pilene gjenspeiler krefter som peker mot bygget. Om det opptrer krefter i bunnen eller toppen av bordet vil denne kraften være motvirket i to punkter. Kraftene bort fra bygget kan skyldes både vind og vridning.

### 5.1.3 Valg av materialer

Det antas at svakhetene i prototypene skyldes selve 3D-printingen. For plast kan en årsak være at den har en fyllgrad på 20%. En annen årsak kan være at denne måten å 3D-printe på generelt gir svakere konstruksjoner enn ved for eksempel støping. Det er ikke gjort undersøkelser på dette. Svakheter ved 3D-printet resin kan skyldes at det er brukt en uegnet type resin som er for stiv. Det er ikke gjort undersøkelser på egenskapene til resin generelt.

Basert på tidligere erfaringer med bruk av plast i bygg, verktøy, hverdagsremedier og lignende, antas det at det finnes et plastmateriale som ikke har de svakhetene som kommer frem ved 3D-printing. Plast anses derfor som et egnet materiale for en endelig løsning.

Plastens egenskaper som gjør at den får endret fasthet med variasjon i temperatur anses ikke som en problemstilling så lenge plastblandingen som benyttes er tilpasset formålet. Det må velges en type som har tilfredsstillende fasthet i det temperaturspennet som den utsettes for i en yttervegg. Hvis det velges en plastblanding som ikke er tilpasset formålet risikerer man at den blir for myk i høye temperaturer og styrkeegenskapene kan svekkes. Ved for lave temperaturer kan man risikere oppsprekking.

Når klipsen er montert vil den være skjermet for UV-stråling, men den kan bli utsatt for UV-stråling før montering og under lagring. Dette vil potensielt svekke egenskapene til klipsen og det bør derfor velges en noe UV bestandig plast.

#### **Metall**

Oppgaven tar ikke for seg noen form for testing i metall. Metall vurderes allikevel som godt egnet til formålet, basert på dens egenskaper. På lik linje med plast finnes det mange ulike typer som har ulike egenskaper.

Metall kan, uavhengig av type, være for stivt for en klips slik den er designet i denne oppgaven. Det kan derfor tenkes at et eventuelt sluttprodukt i metall må redesignes litt for at den skal være fleksibel nok. Det kan i tilfelle være nok å redusere tykkelsen på de stedene som skal være fleksible for at det skal kunne klipses.

Det kan være mer omfattende å produsere klipsen i metall enn det er med plast.

Aluminiumsprofiler kan som regel ekstruderes, noe som gjør produksjonen effektiv. Klipsen slik den er designet vil trolig ikke kunne ekstruderes, fordi den ikke har et homogent tverrsnitt. En løsning kan være å skille munnstykket og klemmestykket slik at man får to homogene tverrsnitt og aluminium i klipsen ekstruderes. Da må det riktig nok designes en ny måte å sette de to delene sammen på. Aluminium er sannsynligvis det mest egnede materialet for et eventuelt produkt i metall. Dette er kun basert på aluminiums høye fleksibilitet og lave vekt, ikke pris, tilgjengelighet, eller miljøfaktorer. I tillegg har det høy motstandsdyktighet mot korrosjon som gjør at det får lang holdbarhet.

Titan har likhetstrekk med aluminium, men det er en del stivere med en elastisitesmodul på 116 Pa mot aluminiums 69 Pa. Det betyr at materialet er tilnærmet 50% mindre elastisk, som anses som en ulempe. Til gjengjeld har titan vesentlig høyere spesifikk styrke. Den forhøyede styrken i titan i forhold til aluminium anses som ikke nødvendig. Dermed vurderes titan som mindre egnet enn aluminium.

Konstruksjonsstål vurderes ikke som godt egnet, fordi egenskaper som stivhet, densitet og elastisitet ikke tilfredsstillende det den endelige løsningen krever. Det kan være flere metaller som egner seg, som ikke er nevnt i oppgaven.

## 5.2 Forsøk og beregninger

### 5.2.1 Tørkekammer

Tørkingen av kledningsbordet gjort i dette forsøke gjenspeiler ikke en reel tørkeprosess. En reel tørkeprosess vil foregå over lenger tid og treverket vil dermed oppføre seg annerledes, men det forteller oss i hvor stor grad klipsløsningen fungerer med bevegelser i trevirket. Ved en hurtig tørkeprosess er det større risiko for skader på trevirket. Dessuten vil treverk levert fra Gausdal Treindustrier eller en annen produsent sannsynligvis ligge på 16-18%, dermed vil ikke kledningsbordene fortsette tørkeprosessen etter at det er montert på en yttervegg i Norge. De synlige vridningene oppstått i hver ende av veggen kan også bli mindre da hjørnebord blir montert fast. Indikasjon på dette er Figur 18 der det kan ses at det øverste bordet har motstått mye mindre vridning bare fordi det er tomrom over panelet.

Figurene under kapittel 4.3 viser at kledningsbordene har noe vridning. Det kommer da frem at der fresesporet er nøyaktig holdt den kledningsbordet på plass, men der fresesporet var mindre nøyaktig begynte bordet å løsne noe men satt fortsatt fast. Det forteller oss i utgangspunktet at løsningen fungerer selv om trevirke utsettes for urealistiske påkjenninger. Forsøket forteller også at løsningen er følsom for unøyaktighet i det freste sporet.

Mengde heft kan variere for klemmestykket fordi lekta kan krympe. Testingen har ikke gitt noen tydelige utslag for klemmestykkets heft, men for å øke sikkerhetsmarginen kan angrepsflata for klemmestykket økes slik at den tåler mer ujevnheter i sporet.

## 5.2.2 Strekktest og vindtrykk

Klips	Brudd, gjennomsnitt
Eriksen og Larsen	166 Newton
Erikis og Hanche	169 Newton

Det er lite hensiktsmessig å diskutere Eriksen og Larsens strekktest resultat opp mot resultatet presentert i dette prosjektet. Deres resultat for gjennomsnittsbruddet er beregnet ved å summere  $F_{\max}$  til to kompositt løsninger og to heltreløsninger (Eriksen og Larsen, 2018). Dersom en manuelt beregner gjennomsnittet til heltreløsning for deres test blir gjennomsnittet på 162 Newton, og dette er ved bruk av to verdier som er veldig ulike. Henholdsvis en test på 128 N og en på 195 N (Eriksen og Larsen 2018). Det er verdt å merke seg at heltreløsning i deres oppgave representerer klipsløsningen.

Uansett kan man se en forbedring og ønske om å danne en fjærmekanisme i klipsen kan sies til å være løst. Ved gjennomføring av strekktesten oppsto det ikke ødeleggelser i klips eller treverk. Det kan dermed sies at ved store krefter vil ikke kledningen bli ødelagt, det er kun klipsen som vil klipses ut. Forsøket tilsier at dette skjer ved omtrent 169 N. Det er også enklere å ødelegge bordet dersom dra kraften oppstår når klipsen er parallelt med fibre og ikke på tvers. Siden klipsen sto parallelt med fibre, styrker dette resultatet positivt.

Helhetlig sett bidrar forsøkets resultat positivt fordi en vil ha mulighet til å bruke kledningen om igjen etter en eventuell demontering. Det anes som lite gunstig å montere panelet med klips på nytt etter at det er demontert, fordi heften i fresespolet er redusert.

## Vindtrykk

Beregning av vindtrykk viser at klipsen er i stand til å stå imot påkjenningene fra vind. Med høyeste påkjenning fra vind per klips på 131 N er det en differanse på 38 N i forhold resultatene fra strekktesten, som viser at klipsen holder imot 169 N i snitt. Dette bør være godt nok, med tanke på at beregnet vindtrykk her er et ytterpunkt med vindstyrke på 31 m/s i åpent terreng. Det er flere faktorer som kan øke maksverdien for vindtrykk. For eksempel formen på huset, høyden på huset, åser eller bratt terreng.

I beregningene til Eriksen og Larsen er vindtrykket lavere enn det som er beregnet i dette prosjektet, henholdsvis 755 N/m<sup>2</sup> for Gjøvik og 1499 N/m<sup>2</sup> for Træna (Eriksen og Larsen, 2018). Det er fordi i deres beregning er det brukt formfaktor på -1,2, i stedet for -1,4. I tillegg er det brukt et vindhastighetstrykk i Gjøvik basert på 22 m/s, i stedet for 24 m/s. Deres verdier gir dermed enda større sikkerhetsmargin.

### 5.2.3 Miljø og sirkulær økonomi

Metodikken som blir brukt dekker de store områdene innen framstilling av produktene. Likevel er de indirekte prosessene veldig mange og på mange måter uendelige. Det er selvfølgelig en viss usikkerhet i hvor stort utslag disse prosessene kan gi. Prosessene som krever energi som for eksempel fresing, kan motvirkes ved at flisen kan bli brukt andre steder og dermed utligne hverandre. For å kunne diskutere slike type argumenter må det gjøres dypere dykk i produksjonsprosessene for klipsen, og blant annet utbygging av anlegget til en produsent. I slike tilfeller er det viktig for en bedrift å ikke gjøre seg blind på de miljømessige konsekvensene prosessene medfører direkte, og indirekte.

*Problem-shifting* er et begrep i miljøanalyser som forklarer hvordan produksjon av et produkt som anses som en forbedring kan medføre at problemene blir større et annet sted. Et vanlig eksempel er produksjon av biomasse. Biomasse i seg selv er fornybart, men ressursene brukt i dens framstilling er ikke (Bakshi, s. 57). I dette tilfellet blir det gjort investeringer i produksjon av klips for å gi gevinst for kledning. Altså to områder som i produksjon ikke overlapper hverandre. De miljømessige beregningene henviser kun til CO<sub>2</sub>-eq verdi, men det kan for eksempel finnes andre problemstillinger som ikke kommer frem med tall.

Resultatene for livsløpsberegninger viser tydelig at bruk av standardløsning med spiker har mindre miljømessige påvirkninger, men dette løser ikke problematikken for usynlig montering av ferdigbehandlet kledning. Om problemstillingen omhandler likt tidsperspektiv for spiker og klips, vil alltid spikerløsningen komme best ut da dens startverdi er lavere. Bruk av klips må da vendes rent mot å løse usynlig innfestning av ferdigbehandlet kledning. Kledningen vil kanskje ikke kunne opprettholde standardene for nye bygg etter 60 år, men vil kunne brukes for mindre prosjekter.

Ved å analysere dataene kan det sies at forlengelsen av levetiden og dermed tidsperspektivet til systemet er hovedargumentet for hvorfor et slikt produkt er lønnsomt, dersom det blir sett på miljøpåvirkninger isolert sett. Selv om det oppstår ett hopp i miljøbelastning ved år 60 på grunn av overgang til spiker, vil løsningen komme tilnærmet lik verdien som standardløsningen har i slutfasen ved år 60. Ved å ikke spikre kledningen unngår en vanninntrenging gjennom åpningen, og derfor sannsynligvis bidrar til å forlenge levetiden til kledningen. Det er usikkerhet om hva slags innvirkning bruk av maling har på løsningen. Når kledningen blir malt under produksjonsfasen anses det at maling har høyere utnyttelsesgrad på grunn av maskinbruk enn hvis malingen hadde blir satt på etter montering, som er tilfellet med bruk av spiker. Dette argumentet kan brukes i fordel for klipsløsningen og bærekraft.

Ren forlengelse av bordets levetid er spesielt en viktig observasjon for fordel til sirkulær økonomi. Selv om det kreves mer å fremstille materialer for klipsen enn spiker, er utviklet løsning en kompakt prototype som kan gjøre kledningens levetid lengre, og gjenskapende. Dette bidrar også til å gjøre kledningen generelt sett mer materialeeffektiv på grunn av gjenbruk. For slike typer produkter går mange av sirkulær økonomi mål også under miljø grunnet deres formål. Effektivisering, utnyttelse, og levetid er faktorer som inngår begge felt.

Ved en vellykket storskala klips produksjon og testing, kan dens betydning bli stor for industrien. Slik løsning vil kunne bidra til flere av bærekrafts målene som Forente Nasjoner har satt. Løsningen kan blant annet gjøre salg av sekundær fase kledning mulig, effektivisere bruk av ressurser, øke tilgangen på sekundær materialer til mindre utviklet områder/land, og fordele avfallsmengden til tre over lengre periode grunnet ombruk. Disse nevnte områdene går direkte under punkt 9, 11, og 12 i Forente Nasjoners bærekrafts mål (Forente Nasjoner, 2022).

Gitt begrensingene med datainnsamling som presentert i tidligere kapittel, ser det ut til at stål har likevel bedre verdier enn alternativet aluminium. Av de tre materialene simulert viser flaskegradert plast bedre resultat enn metallholdige materialer.



## 6 Konklusjon

Utviklet klipsløsning for usynlig innfestning av ferdigbehandlet kledning gir forbedret resultater med hensyn på belastning fra et realistisk vindtrykk og vridning fra treverk. Fjærmekanisme i klipsen gjør gjenbruk av kledning mulig. Miljøpåvirkninger er avhengig av materialet som benyttes og levetiden til panelet, men prototypen bidrar til sirkulærøkonomi gjennom gjenbruk. Designet gir gode nok resultater for å kunne produseres og testes under reelle forhold.

## 7 Videre arbeid

Etter gjennomføring av forsøket i tørkekammeret ble veggen stående i kammeret, men temperaturen ble skrudd ned til 25 kuldegrader. Dette ble gjort slik at videre arbeid med prototypen har en indikasjon på hvordan systemet reagerer i kulde. På lik linje med tørking varte denne prosessen i seks netter. Kledningen som hadde avvik i fresespor og dermed forårsaket synlig vridning under tidligere test grunnet tørkehastighet, har gjort dette i større grad nå. På disse stedene er klipsens funksjonalitet svekket helt og bordet kan bare tas av. Der fresesporets åpning er etter tegning viste dette forsøket ingen forandring fra tidligere og kledningen er dermed like god. Etter tolv netter i kammeret virker klipsens egenskaper uendret.

Det anbefales å gjøre videre arbeid med maskiner for å øke nøyaktigheten, da det anses at samme type metodikk ikke lenger vil gi forbedret resultater for prototypen. Det har blitt konkludert med at kledningen kan brukes om igjen, men det er større usikkerhet om det samme gjelder klipsen. Foreslått materiale for videre arbeid er plastbasert. Etter bestemt materiale er det anbefalt å undersøke klipsens funksjonalitet gjentatte ganger.

# Litteraturliste

Bakshi, B.R. (2019) *Sustainable Engineering – Principles and Practice* (e-bok). Storbritania: Cambridge University, [https://www.amazon.com/Sustainable-Engineering-Principles-Bhavik-Bakshi-ebook-dp-B07S6BTFLN/dp/B07S6BTFLN/ref=mt\\_other?\\_encoding=UTF8&me=&qid=](https://www.amazon.com/Sustainable-Engineering-Principles-Bhavik-Bakshi-ebook-dp-B07S6BTFLN/dp/B07S6BTFLN/ref=mt_other?_encoding=UTF8&me=&qid=).

Dramstad, W., Timmermann, V., Godbakken, L.R., Lange, H. og Dibdiakova, J. (2015) *Livsløpsanalyse (LCA)*. Ås: Norsk institutt for skog og landskap. Tilgjengelig fra: <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2473634/SOL-Fakta-2015-09.pdf?sequence=2&isAllowed=y> (Hentet: 08.05.2022).

*Ecoinvent Impact Browser* (Ukjent) Tilgjengelig fra: <http://eibrowser.indecol.no> (Hentet: 08.05.2022).

Forente Nasjoner (2022) *FNs bærekraftsmål*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal> (Hentet: 08.05.2022)

Google Maps (2022) *Verdenskart*. Tilgjengelig fra: <https://www.google.com/maps/@41.399185,57.9454011,4z> (Hentet: 14.05.2022).

Henning, J. (2012) *Plastmaterialer*. Kompendium. Høgskolen i Gjøvik. Tilgjengelig fra: [http://www.ansatt.hig.no/henningj/materialteknologi/Skriftserien/ML\\_Plastmaterialer\\_nr.10.pdf](http://www.ansatt.hig.no/henningj/materialteknologi/Skriftserien/ML_Plastmaterialer_nr.10.pdf) (Hentet 21.04.2022).

Lahn, B. (2022) *CO2-ekvivalenter*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/CO2-ekvivalenter> (Hentet: 15.05.2022).

Larsen, V. og Eriksen, S. (2018) *Skjult innfestning av utvendig panel*. Bacheloroppgave. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Motek (u.å), *Håndspiker Motek Firkant BL 34/95*. Tilgjengelig fra:

<https://www.motek.no/Festemidler/Spiker/Håndspiker/Håndspiker-Motek-Firkant-Blank/p/27192> (Hentet: 19.05.2022).

National Institute for Public Health and the Environment (2018) *LCIA: the ReCiPe model*.

Tilgjengelig fra: [https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe#:~:text=Midpoint%20indicators%20focus%20on%20single,biodiversity%20and%2003\)%20resource%20scarcity](https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe#:~:text=Midpoint%20indicators%20focus%20on%20single,biodiversity%20and%2003)%20resource%20scarcity) (Hentet: 15.05.2022).

Nicholson, A.L., Olivetti, E.A., Gregory, J.R., Field, F.R. og Kirchain, R.E. (2009) *End-of-life LCA allocation methods: Open loop recycling impacts on robustness of material selection decisions*. USA: International Electrical and Electronics Engineers. Tilgjengelig fra:

<https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/60047> (Hentet: 08.05.2022).

Norsk Treteknisk Institutt (2000) *Tørking av gran og furu*. Tilgjengelig fra:

<https://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-39.pdf> (Hentet 21.04.2022).

Nutma, M. (2019) *A quick guide to dimensional accuracy for 3D printing*. Tilgjengelig fra:

<https://www.3dprintingmedia.network/quick-guide-dimensional-accuracy-3d-printing/> (Hentet: 08.05.2022).

Polymer Properties Database (2018), *Poly(ethylene terephthalate)*. Tilgjengelig fra:

<https://polymerdatabase.com/polymers/polyethyleneterephthalate.html> (Hentet: 19.05.2022).

Sinteff Byggforsk (2011) *471.044 Vindlaster på bygninger. Forenklet beregning av vindkasthastighetstrykk*. Tilgjengelig fra:

[https://www.byggforsk.no/dokument/4009/vindlaster\\_paa\\_bygninger\\_forenklet\\_beregning\\_av\\_vindkasthastighetstrykk](https://www.byggforsk.no/dokument/4009/vindlaster_paa_bygninger_forenklet_beregning_av_vindkasthastighetstrykk) (Hentet 06.05.2022).

Sinteff Byggforsk (2015) *571.403 Metaller til bygningsbruk. Klassifisering og egenskaper*.

Tilgjengelig fra:

[https://www.byggforsk.no/dokument/575/metaller\\_til\\_bygningsbruk\\_klassifisering\\_og\\_egenskaper](https://www.byggforsk.no/dokument/575/metaller_til_bygningsbruk_klassifisering_og_egenskaper) (Hentet 21.04.2022).

Sinteff Byggforsk (2015) *571.523 Trevirke. Treslag og materialeegenskaper*. Tilgjengelig fra:  
[https://www.byggforsk.no/dokument/578/trevirke\\_treslag\\_og\\_materialeegenskaper#i23](https://www.byggforsk.no/dokument/578/trevirke_treslag_og_materialeegenskaper#i23)  
(Hentet 21.04.2022).

Standard Norge (2009) *NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009 Laster på konstruksjoner*.  
Tilgjengelig fra:  
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=392208> (Hentet 29.04.2022).

Wanza, S.N., (2018) *The World's Largest Exporters Of Iron Fasteners*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.worldatlas.com/articles/the-world-s-largest-exporters-of-iron-fasteners.html>  
(Hentet: 08.05.2022)

Will Kenton (2022) *Greenwashing*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.investopedia.com/terms/g/greenwashing.asp#:~:text=Greenwashing%20is%20the%20process%20of,company%27s%20products%20are%20environmentally%20friendly>  
(Hentet: 08.05.2022).



## Vedlegg 2 – Beregning av vindtrykk

### Beregning for vindtrykk

Case	Høyde over bakken	Kr	qp0(z)	Cpe	We	Newton per klips
	m		(N/m2)		(N/m2)	(N/m2)
Gjøvik: Plassering under 500 meter fra åpent terreng	4	1,33	650	-1,2	-1037	-64
Gjøvik: Plassering i tett bebyggelse eller skog	4	1	650	-1,4	-910	-56
Træna: Plassering under 500 meter fra åpent terreng	4	1,33	1140	-1,4	-2123	-131
Træna: Plassering i tett bebyggelse eller skog	4	1	1140	-1,4	-1596	-99

Lekter per meter	2klips/1,2 =	1,67
Dekningsbredde per panel	0,103	
Panel per høyde	1/0,103 =	9,71
Klips per kvadratmeter	9,71 * 1,67 =	16,18

Vindtrykk på overflater	$We = qp(Ze) * Cpe$
Vindhastighetsstrykk	$qp(Ze) = k1 * k2 * kr * qp0(z)$