

Eivind Kjeldset Skjerve
Vegard Sund Vårdal

Tverrfaglig vurdering av samlokalisert bioenergi-anlegg i Askvoll

Integrering av biokull-, biogass- og
algeproduksjon

Gradering: Åpen

Bacheloroppgave i Konstruksjonsteknikk
Veileder: Alemayehu Gebremedhin
Medveileder: Guomin Ji
Mai 2024

Eivind Kjeldset Skjerve
Vegard Sund Vårdal

Tverrfaglig vurdering av samlokalisert bioenergi-anlegg i Askvoll

Integrering av biokull-, biogass- og algeproduksjon

Gradering: Åpen

Bacheloroppgave i Konstruksjonsteknikk
Veileder: Alemayehu Gebremedhin
Medveileder: Guomin Ji
Mai 2024

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Oppgavens tittel: Tverrfaglig vurdering av samlokalisert bioenergi-anlegg i Askvoll: Integrering av biokull-, biogass- og algeproduksjon	Dato: 20.05.2024 Antall sider: 118	Masteroppgave:		Bacheloroppgave	x
Navn: Eivind Kjeldset Skjerve Vegard Sund Vårdal					
Veileder: Alemayehu Gebremedhin Guomin Ji					
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Magnar Hesjadalen					

Sammendrag:


Dette arbeidet tar tverrfaglig for seg samlokalisering av flere bioenergi-anlegg på oppdrag fra En To Tre Teknikk AS ved John Helge Vårdal. Anlegget er planlagt i Askvoll kommune, Norge og tar sikte på å kombinere biokull-, biogass og algeproduksjon. Dette komplekse prosjektet krever en tverrfaglig inngang for å kunne realiseres. I denne oppgaven tas fagene bygg, energi og økonomi opp. Det er utarbeidet en glasskalkulator, hvor prinsippene fra Eurokoden er tatt inn for dimensjonering av isolerglass utført i laminert sikkerhetsglass. Material- og energibalansen fra de valgte teknologiene for produksjon er hentet inn og undersøkt. I tillegg er potensielle inntektskilder, utgiftskilder og nødvendige investeringer listet opp.

Prosjektet analyseres fra tre ulike perspektiv; bygg, energi og bærekraft. Det er utarbeidet figurer og modeller for å gi en forståelse for prosjektet. Lignende systemer som her blir foreslått, er undersøkt. Det konkluderes med at prosjektet har et stort potensial til å bidra i arbeidet mot å nå flere av FN's bærekraftsmål, samtidig som det ut ifra litteraturstudien som er gjort i denne oppgaven er innovativt i retning mot mer effektiv bioenergi-produksjon.

Arbeidet legger i hovedsak grunnlag for arbeidet videre med å få realisert et anlegg som samlokaliserer biokull-, biogass- og algeproduksjon i Norge.

Stikkord:

Bioenergi
Økonomi
Isolerglass
Dimensjonering



Vegard Sund Vårdal



Eivind Kjeldset Skjerve

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet på oppdrag fra En To Tre Teknikk AS ved John Helge Vårdal. Den har som formål å nyttes i arbeidet med søknader inn mot Innovasjon Norge, kommune og andre interessenter. Oppgaven er utført ved Institutt for Vareproduksjon og Byggteknikk våren 2024, med Alemayehu Gebremedhin og Guomin Ji som veiledere, samt Magnar Hesjadalen som ekstern faglig kontakt.

Bærekraftig utvikling står svært høyt på den internasjonale agendaen, hvor en daglig kan lese om fattigdomsproblematikk, miljøkrise, global oppvarming, befolkningsvekst, matsikkerhet og fornybar energi. For energisektoren betyr dette en overgang fra fossile brensler, til fornybare energikilder. En av flere løsninger på denne problemstillingen er å øke andelen bioenergi, men hvor en også må gjøre det effektivt for å unngå rovdrift på naturressurser. Dette er en stor utfordring fremover med stadig pressede naturressurser, og derfor også svært spennende.

Det rettes en stor takk til oppdragsgiver John Helge Vårdal for tildeling av en spennende oppgave og gode innspill underveis. Takk også til veilederne Aleyamehu Gebremedhin og Guomin Ji for faglig diskusjon og rettleiding. Til slutt ønsker vi også å takke familie og venner for god støtte og motivasjon gjennom hele prosessen.

Abstract

This interdisciplinary study addresses the co-location of multiple bioenergy facilities for En To Tre Teknikk AS, led by John Helge Vårdal. The facility, planned in Askvoll municipality, Norway, aims to integrate biochar, biogas, and algae production. This complex project requires a multidisciplinary approach for its realization. In this thesis, the fields of construction, energy, and economics are explored. A glazing calculator has been developed, incorporating principles from the Eurocode for the dimensioning of insulated glazing. The material and energy balances of the selected production technologies have been collected and examined. Additionally, potential sources of revenue, expenditures, and necessary investments are listed.

The project is analyzed from three perspectives: construction, energy, and sustainability. Figures and models have been created to facilitate understanding of the project. Similar systems to those proposed here have been investigated. It is concluded that the project has significant potential to contribute to achieving several of the UN's Sustainable Development Goals, while being innovative in the direction of more efficient bioenergy production, according to the literature review conducted in this thesis.

Overall, this work contributes to the foundation for further efforts to realize a facility that co-locates biochar, biogas, and algae production in Norway.

Innholdsfortegnelse

Forord	ii
Abstract	iii
Innholdsfortegnelse	iv
Figurliste.....	vii
Tabelliste	viii
Symboler og forkortelser.....	ix
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	2
1.2 Problemstilling	3
1.3 Avgrensning	4
1.3.1 Bioenergi	4
1.3.2 Bygg	4
1.3.3 Økonomi.....	5
2 Teori	6
2.1 Bioenergi.....	6
2.1.1 Biokull.....	6
2.1.2 Biogass	7
2.1.3 Alge	7
2.1.4 Synergieffekter	8
2.2 Bygg	10
2.2.1 Materialer	10
2.2.2 Konstruksjonsdeler.....	12
2.2.3 Laster.....	13
2.2.4 Bygningsfysikk.....	17
2.2.5 Lys.....	18
2.2.6 Lover og forskrifter	18
2.2.7 Klassifiseringer.....	19
2.2.8 Norsk standard / Eurokoder.....	21
2.2.9 Programvare	22
2.3 Økonomi.....	23
2.3.1 Swot-analyse	23

2.3.2	Forstudie økonomisk analyse	25
3	Case/ Materialer	26
3.1	Systembeskrivelse	26
3.1.1	Skisse av bygg	26
3.1.2	AMACEE 1700	29
3.1.3	Fermenteringsanlegg Folvengaard	32
3.1.4	Entos 45	34
3.1.5	Kombinasjon	35
4	Metode	37
4.1	Litteraturstudie	37
4.2	Datainnsamling	38
4.3	Dimensjonering av tak	38
4.3.1	Oppdragsgivers parametere	38
4.3.2	Tilnærming til lysteori	39
4.3.3	Fremgangsmåte	40
4.4	Programvare	49
4.4.1	DAK	49
4.4.2	GIS	49
5	Resultater	50
5.1	Material- og energibalanse	50
5.2	Dimensjonering av tak	52
5.2.1	Skisse	52
5.2.2	Materialvalg	52
5.2.3	U-verdi	53
5.2.4	Dimensjoner	53
5.2.5	Lys	53
5.3	Økonomi	54
5.3.1	Forstudie økonomisk analyse	54
5.3.2	SWOT-analyse	55
6	Diskusjon	56
6.1	Material- og energibalanse	56
6.2	Økonomi	57
6.3	Dimensjonering av takkonstruksjon	57

6.3.1	Oppdragsgivers parametere.....	58
6.3.2	Tilnærming til lysteori.....	58
6.3.3	Laster -og lastkombinering.....	58
6.3.4	Dimensjonering av glasspaneler.....	58
6.3.5	Dimensjonering av stål.....	59
6.3.6	Brannkontroll	60
6.3.7	U-verdi og temperaturberegninger	61
6.3.8	Lys.....	61
6.4	Bærekraftsperspektiv.....	61
7	Konklusjon	63
8	Videre arbeid	64
	Litteraturliste	65
	Vedlegg	70

Figurliste

FIGUR 1 - EKSEMPEL FLYTSKJEMA "SLOW PYROLYSIS", (LAGET VHA. LUCID.APP).....	6
FIGUR 2 - FORENKLET FGM MED TRE MODULER, (HANISCH, 2023)	10
FIGUR 3 - ÅRSÅK-VIRKNING SAMMENHENG, (COMAN AND RONEN, 2009).....	24
FIGUR 4 - FORSLAG TIL AREALPLAN KLEPPENES KAI, UTARBEIDET VHA ARCGIS AV VEGARD VÅRDAL	26
FIGUR 5 - SKISSE 3D SØRFASADE, LAGET VHA REVIT AV VEGARD VÅRDAL	27
FIGUR 6 - SKISSE 3D NORDFASADE, LAGET VHA REVIT AV VEGARD VÅRDAL	27
FIGUR 7 - SKISSE SNITTEGNING 1, LAGET VHA. REVIT AV VEGARD VÅRDAL	28
FIGUR 8 - SKISSE SNITTEGNING 2, LAGET VHA. REVIT AV VEGARD VÅRDAL	28
FIGUR 9 - A1700, (SOILCARE OY, 2024)	29
FIGUR 10 - A1700 OG VARMEGJENVINNING, (SOILCARE OY, 2024).....	30
FIGUR 11 - PRINSIPPSKISSE VARMEGJENVINNING MED TRE AMACEE 1700, (ARITERM OY V/TUOMO LEPPÄNEN, 2024).....	30
FIGUR 12 - SKISSE AV FERMENTATOR, (HANISCH, 2023)	32
FIGUR 13 - LGEM ENTOS 45 (LGEM, 2024)	34
FIGUR 15 - FLYTSKJEMA KOMBINERT SYSTEM. (LAGET VHA. LUCID.APP).....	35
FIGUR 16: LYSVINKEL, EGENUTARBEIDET FIGUR	39
FIGUR 17: DIMENSJONERINGSPROSESSEN	40
FIGUR 18: TAKFLATENS SNITT OG FORDELING	48
FIGUR 19: SKISSE TAKKONSTRUKSJON, FRA FEM-DESIGN, UTARBEIDET AV EIVIND KJELDSET SKJERVE	52

Tabelliste

TABELL 1: RISIKOKLASSER.....	19
TABELL 2: BRANNKLASSER	20
TABELL 3: VEILEDNINGSTABELL, BRANNKLASSER	20
TABELL 4 - ENERGIBALANSE FOR AMACEE 1700, (VTT HIDASPYRO LOPPURAPORTTI, 2011).....	31
TABELL 5 - MATERIALBALANSE FOR AMACEE 1700, (VTT HIDASPYRO LOPPURAPORTTI, 2011).....	31
TABELL 6 - TILBUD FRA FOLVENGAARD TIL JOHN HELGE VÅRDAL, (PRIVAT KOMMUNIKASJON, 2024).....	33
TABELL 7 - MATERIAL- OG ENERGIBALANSE FOR ENTOS 45.....	34
TABELL 8: NEDBØYNINGSKRAV OG BENYTTETE VERDIER	45
TABELL 9 - MATERIAL/ENERGI-BALANSE KOMBINERT	50
TABELL 10 - CO2 BESPARELSE FOR SYSTEMET	51
TABELL 11 - OVERSIKT OVER INNTEKTER, UTGIFTER OG INVESTERINGER KNYTTET TIL OPPSTART OG DRIFT	54
TABELL 12 - SWOT-ANALYSE.....	55

Symboler og forkortelser

S_k	Karakteristisk snølast på mark
S	Karakteristisk snølast på tak
μ_i	Snølastens formfaktor
C_e	Eksponeeringsfaktor
C_t	Termisk faktor
a	Den kortere siden, for glasspanel
b	Den lengre siden, for glasspanel
λ	For glass; sideforhold somfølge av $\frac{a}{b}$
A	Arealet av glasspanelet
p^*	Den ikke dimensjonale jevnt, fordelte lasten
γ_G	Partialfaktor for egenlast
γ_Q	Partialfaktor for nyttelast
ψ_0	Kombinasjonsfaktor for ikke-dominante laster
ψ_1	Kombinasjonsfaktor for en hyppig verdi av variabel last
ψ_2	Kombinasjonsfaktor for en kvasi-permanent verdi av variabel last
G_{ext}	Egenvekt av ytre panel
$Q_{ext,i}$	Nyttelast på ytre panel
G_{int}	Egenvekt av indre panel
$Q_{int,i}$	Nyttelast på indre panel

$F_{d,ext}$	Dimensjonerende last på ytre panel
$F_{d,int}$	Dimensjonerende last på indre panel
$f_{g;d}$	Dimensjonerende verdi for bøyespennning for glasspaneler
K_v	Faktor for styrking av forspent glass
K_{mod}	Faktor for lastvarighet
K_{sp}	Faktor for glassets overflateprofil
$f_{g;k}$	Karakteristisk verdi av bøyestyrken til glødet glass
$f_{b;k}$	Karakteristisk verdi av bøyestyrken til forspent glass
$\gamma_{M;A}$	Materialets partialfaktor for glødet glass
$\gamma_{M;v}$	Materialets partialfaktor for forspent glass
W_d	Designverdi av nedbøyning
$\sigma_{max,ext}$	Største stress beregnet for dimensjonerende last på ytre panel
$\sigma_{max,int}$	Største stress beregnet for dimensjonerende last på indre panel
$W_{max,ext}$	Største nedbøyning beregnet for dimensjonerende last på ytre panel
$W_{max,int}$	Største nedbøyning beregnet for dimensjonerende last på indre panel
V_{ext}	Forskjøvet volum av ytre glasspanel, somfølge av nedbøyning
V_{int}	Forskjøvet volum av indre glasspanel, somfølge av nedbøyning
δ_{ext}	Stivhetsandel av ytre glasspanel
δ_{int}	Stivhetsandel av indre glasspanel
φ	Isolerglassenhetsfaktor for tolags-isolerglass
$a *$	Karakteristisk lengde på ett tolags-isolerglass

p_0	Isokortrykk
$p_{H;0}$	Isokortrykk somfølge av høydeendring
H	Byggets høyde over havet
H_p	Produksjonslokalets høyde over havet
s	Nominell hulromsbredde til et tolags-isolerglass
$p_{C;0}$	Isokortrykk somfølge av effekten av endring i hulromstemperatur og lufttrykk
T_c	Isolerglassets hulromstemperatur
T_p	Temperatur i isolerglasset produksjonslokale
p_a	Atmosfæretrykk ved havnivå
p_p	Atmosfæretrykk ved havnivå, ved tiden for produksjon av isolerglassenheten
$h_{ext,i}$	Høyde av en glassplate i laminatglassets oppbygning
$h_{int,i}$	Høyde av en glassplate i laminatglassets oppbygning
ω	Koeffisient for skjæroverføring av et mellomlag i laminert glass
$h_{ef,W}$	Ekvivalent tykkelse for beregning av nedbøyninger
$h_{ef;\sigma}$	Ekvivalent tykkelse for beregning av spenninger
h_{glass}	Total høyde/tykkelse av glass i glasspanel
h_{panel}	Total høyde/tykkelse av isolerglassenheten
g_{panel}	Egenvekten av isolerglassenheten
$\sigma_{t,ext}$	Spenning i ytre panel, somfølge av termisk stress

$\sigma_{t,int}$	Spenning i indre panel, somfølge av termisk stress
α_T	Koeffisient for lineær termisk utvidelse
T_{inne}	Innvendig temperatur
T_{ute}	Utvendig temperatur
n_1	Første vibrasjonsmodus
h_{IG}	Ekvivalent tykkelse av isolerglassenheten
ρ_{IG}	Ekvivalent tetthet av isolerglassenheten
ρ_f	Mellomlagets tetthet
ρ_g	Glassets tetthet
Ω_i	Antall vibrasjonsløkker iht. den korteste lengden av glasspanelet (a)
Ω_j	Antall vibrasjonsløkker iht. den lengste lengden av glasspanelet (b)
U	U-verdi
R_i	Termisk motstand
λ_i	Termisk ledeevne
R_{tot}	Total termisk motstand
R_{si}	Innvendig termisk overgnagskoeffisient
R_{se}	Utvendig termisk overgangskoeffisient
f_y	Flytespenning
γ_0	Partialfaktor for tverrsnittskapasitet uansett tverrsnittsklasse
f_d	Dimensjonerende flytespenning
$E - modul$	Elastisitetsmodul

G_i	Egenvekt av komponent i
$\gamma_{Gj,sup}$	Partialfaktor for permanent påvirkning j ved beregning av øvre/nedre dimensjonerende verdier
ξ	Reduksjonsfaktor
$W_{y,min}$	Minste tverrsnittsmodul
$W_{y,valgt}$	Valgt tverrsnittsmodul
$A_{v,min}$	Minste areal for skjær
$A_{v,valgt}$	Valgt areal for skjær
N_{ed}	Dimensjonerende normalkraft
<i>Knekkfaktor</i>	Faktor for knekk lengde
<i>Knekk lengde</i>	Dimensjonerende knekk lengde
x	Reduksjonsfaktor for den relevante knekk-kurven
Φ	Funksjon for å bestemme reduksjonsfaktoren x
N_{cr}	Ideell kraft for den relevante knekkformen basert på bruttotverrsnitt
N_{rd}	Normalkraftskapasitet

1 Innledning

Siden den industrielle revolusjon på slutten av attenhundretallet, har verden opplevd en voldsom utvikling. Særlig etter andre verdenskrig har denne utviklingen skutt fart. I takt med denne utviklingen, har også forbruket av naturressurser og utslipp av klimagasser og miljøgifter vært stadig økende.

Med bakgrunn i denne utviklingen, ble det i FN tatt til orde for et kursskifte i den globale utviklingen. Det første store steget kom i 1983 da FN etablerte World Commission on Environment and Development (WCED), ledet av Gro Harlem Brundtland, populært kalt *Brundtlandkommisjonen*. Kommisjonen la i 1987 frem Brundtland-rapporten, som ble en milepæl i måten FNs medlemsland jobbet med miljø- og utviklingsspørsmål (Iversen, no date). Brundtland-rapporten var også med å introdusere uttrykket *bærekraftig utvikling*:

«En utvikling som imøtekommer dagens behov uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få dekket sine behov.»

For å kunne oppnå bærekraftig utvikling er det viktig å jobbe videre med overgangen fra energiproduksjon basert på fossilt brensel, hvor man har store klimagassutslipp, til ren energi. Dette inngår som et eget mål i FNs bærekraftsmål, 7 Ren energi til alle. Gjennom bærekraftsmål 7 ønsker en å sikre pålitelig, bærekraftig og moderne energi til en overkommelig pris. Som beskrevet i delmålene, gjennom å øke andelen fornybar energi, forbedring av energieffektivitet samt styrke det internasjonale samarbeidet for å lette tilgangen til forskning og teknologi innenfor fornybar energi (Wilkinson, no date).

Bioenergi er en fornybar energikilde og er en samlebetegnelse på energi som kommer fra utnyttelse av biomasse. Det finnes mange måter utnytte biomasse på, hvor den mest kjente og brukte metoden er å bruke ved til å fyre med. I nyere tid med bærekraftig utvikling, utnytter man biomasse i produksjon av biokull, biodrivstoff, fjernvarme, elektrisitet eller biokarbon. Generelt sett anses bioenergi som CO₂-nøytralt, grunnet at eventuelle utslipp av CO₂ i prosessen er tatt opp under fotosyntesen av biomassen. Det er dog mulighet å fjerne CO₂ fra atmosfæren i enkelte bioenergi-prosesser, såkalt BioCCS (Bio - Carbon, Capture and Storage) (*BECCS - Å fjerne CO₂ fra atmosfæren*, no date).

1.1 Bakgrunn

Økt produksjon av bioenergi er prioritert i Norge, hvor man med drivverdige skoger alene har et potensial for å bidra med 29 TWh energi (*Bioenergi*, 2018). Satsning på økt bioenergi-produksjon er ikke bare et positivt klimatiltak, men bidrar også til næringsutvikling og verdiskapning. Gjennom Landbruks- og matdepartementet, forvalter Innovasjon Norge Bioenergiprogrammet som skal stimulere bønder og skogeiere til å produsere, bruke og levere mer bioenergi (*Fornybar energi i landbruket*, 2018).

Selv om man i Norge har mye energi-potensial i biomasse, er det viktig at man benytter seg av dette på en effektiv måte for å unngå rovdrift av naturressurser. Gjennom videre forskning på bioenergi og bio-produkter kan man oppdage bedre produksjonsprinsipper og utnytte ressursene bedre. Dette er viktig for å gjøre det mer lønnsomt å øke bioenergi-andelen, samt gjøre det mer bærekraftig.

I dette prosjektet er det på oppdrag fra En To Tre Teknikk AS v/John Helge Vårdal undersøkt effektene av samlokalisering av ulike bioenergi-prosesser, samt dimensjonert en takkonstruksjon med søkelys på nyttiggjørelse av naturlig sollys i algeproduksjon. Anlegget, som er under planlegging, skal ligge i Askvoll Kommune, Vestland fylke. I forbindelse med bioenergi-anlegget er det også planlagt et kai-anlegg som bidrar til logistikken til anlegget.

Målet med oppgaven er å undersøke synergieffekter ved samlokalisering av biokull-, biogass- og algeproduksjon, samt dimensjonere en egnet takkonstruksjon i forbindelse med algeproduksjonen. Oppgaven undersøker de mulighetene en har for CO₂-reduksjon, effektivisering av energibruk og synergieffekter ved samlokalisering av bioenergi-prosesser. Resultatene i denne oppgaven skal brukes inn mot Innovasjon Norge av oppdragsgiver, samtidig er det et mål at resultatene danner grunnlag og interesse for videre forskning.

1.2 Problemstilling

Hensikten med oppgaven er å danne et grunnlag for videre arbeid med prosjektet, inn mot Innovasjon Norge, kommune og andre interessenter. Denne oppgaven skal gi et bredt innblikk i prosjektet, med fokus på den innovasjonen det byr på.

Problemstillingen som søkes besvart i denne oppgaven er:

Undersøkelse av synergieffekter ved samlokalisering av biokull-, biogass- og algeproduksjon og dimensjonering av forslag til takkonstruksjon utformet for utnyttelse av sollys i algeproduksjon

For å svare på problemstillingen på en grundig og utfyllende måte, er følgende forskningsoppgaver formulert:

Undersøkelse av material- og energi-balanse for prosessene

Utarbeidelse av flytskjema for samlokaliseringen av prosessene

Dimensjonering av forslag til takkonstruksjon tilrettelagt for algeproduksjon

1.3 Avgrensning

1.3.1 Bioenergi

Denne oppgaven vil ta for seg å undersøke overskudd av material og energi mellom de tre bioenergi-prosessene. Tall på material- og energibalanse på de tre ulike prosessene er hentet fra tre valgte teknologier, som er valgt av oppdragsgiver. For å begrense omfanget vil man i denne oppgaven ikke ta for seg sammenligning med andre teknologier fra andre leverandører. Under litteraturstudien ble det undersøkt synergieffekter mellom prosessene, her begrenser man seg til funn gjort på varmeenergi-overføring mellom prosessene samt bruk av CO₂ fra biogass til algeproduksjon. Synergieffekter i form av å bruke biokull eller alger som tilskudd i biogassproduksjon, anses som å være utenfor «scope» i denne oppgaven.

1.3.2 Bygg

I samråd med oppdragsgiver er det laget en skisse av bygningsmassen, herunder også takkonstruksjon. Denne vil være førende for dimensjoneringen av taket. Skissen vil i oppgaven ikke prosjekteres eller utarbeides noe videre. I dimensjoneringen begrenser man seg til å se på taket utført som en stålkonstruksjon. Dette på grunn av stålets evne til å bære store laster med forholdsvis slanke dimensjoner. Enkelte antagelser som begrenser omfanget av enkelte beregninger og prosesser er gjort i oppgaven, og vil komme frem i klartekst for de relevante punkter.

Videre ses det ikke på følgende i dimensjoneringsprosessen:

- Forbindelser
- Branndimensjonering gjennomføres ikke i sin helhet. Komponenter som ikke holder for brann, identifiseres.
- Tilstøtende -og omkringliggende betongstruktur
- Fundamentering
- Annet glass enn tolags-isolerglasskonsoll utført i laminert sikkerhetsglass

1.3.3 Økonomi

Som en del av oppgaven var det ønskelig å undersøke økonomisk gjennomførbarhet for prosjektet, da det er en sentral del av vurderingen av bærekraft. I utarbeidelse av prosjektbeskrivelsen ønsket en å gjøre dette ved hjelp av flere økonomiske analyser, slik som nettonåverdi, internrenteanalyse og å sette opp resultatbudsjett/likviditetsbudsjett. Grunnet prosjektets egenart og produktenes umodne marked i Norge, ble det tydelig at gjennomføringen av dette ble for omfattende innenfor denne oppgaven. Innhenting av priser, kostnader og investeringskostnader medførte en usikkerhet som gjorde at man måtte ha utført følsomhetsanalyser og kalkulasjon for å kunne si noe om økonomisk gjennomførbarhet. Det lyktes ikke å innhente pristilbud fra leverandørene av produksjonsanleggene innenfor tidsrammen av dette prosjektet, videre økonomisk analyse vil da være aktuelt som videre arbeid. I denne oppgaven har en derfor begrenset seg til å gjennomføre en oppstilling av potensielle inntekter, utgifter og investeringer som må gjøres i tillegg til en enkel SWOT-analyse.

2 Teori

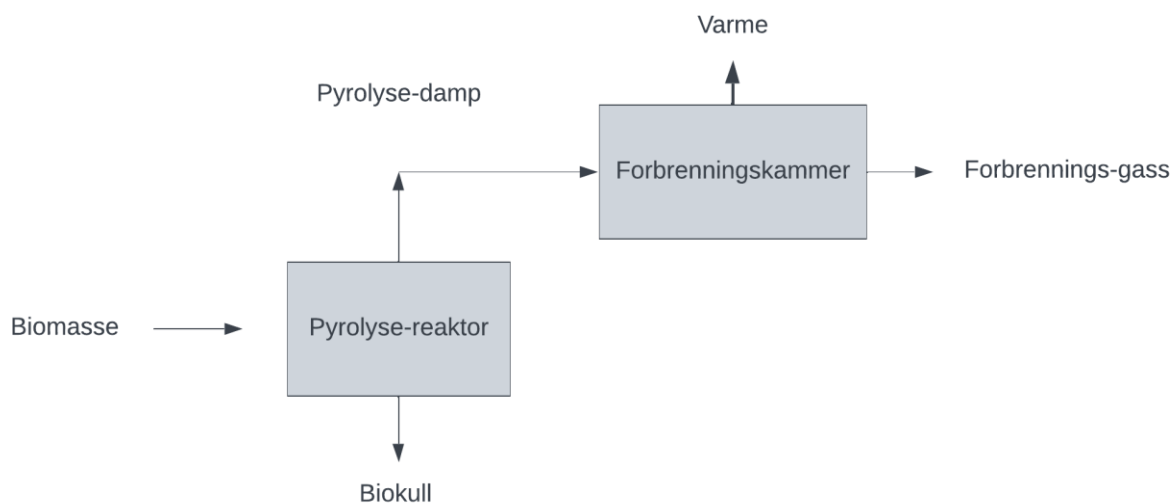
2.1 Bioenergi

Bioenergi har sin opprinnelse i biomasse, for eksempel ved, gjødsel, skogsavfall og annet biologisk avfall. Siden biomassen er dannet i samtiden, i motsetning til materialet i fossil energi, anses bioenergi som en fornybar energikilde (Hofstad, 2024a). Bioenergi er energi vi finner i alt biologisk materiale, i naturen opptrer den som oftest i fastform (*Bioenergi*, 2023). Når en forbrenner biomasse vil en slippe ut CO₂ i atmosfæren, det betyr likevel ikke at en øker CO₂-konsentrasjonen. Det er fordi den CO₂'en som blir sluppet ut ved forbrenning, ble tatt opp av biomassen under fotosyntesen.

2.1.1 Biokull

Definisjonen på biokull er biomasse som har gjennomgått forkulling i et oksygen-fattig miljø, kjent som pyrolyse. Tradisjonelt sett har biokull blitt brukt til matlaging og oppvarming, men i senere år har biokull fått ny oppmerksomhet i forbindelse med de mange fordelene det har i landbruk og innenfor miljømessig bærekraft (Danesh et al., 2023).

Under pyrolyse gjennomgår biomassen ulike kjemiske og fysiske endringer, og produserer biokull, bio-olje og syntesegass som de viktigste produktene. Prosessen påvirkes av faktorer som biomassens lignininnhold, temperatur og oppholdstid, som bestemmer utbyttet og kvaliteten på biokullet og andre biprodukter (Wang *et al.*, 2020).



Figur 1 - Eksempel flytskjema "Slow pyrolysis", (laget vha. Lucid.app)

2.1.2 Biogass

Definisjonen på biogass er gassbindinger som er dannet ved anaerob (oksygenfri) nedbrytning av organisk materiale og som inneholder blant annet metan. Biogass kan anvendes både til å produsere energi og drivstoff. Hovedbestanddelene i biogass er metan og karbondioksid (Løvaas, 2023).

Biogassproduksjon innebærer den biologiske konverteringen av organisk materiale i fravær av oksygen, primært gjennom prosess med anaerob fordøyelse. Det er en allsidig fornybar energibærer som kan brukes til å erstatte fossile brensler i kraft- og varmeproduksjon.

Biogass, rik på metan, kan også erstatte naturgass som råstoff i produksjonen av andre biokjemikalier. Prosessen med biogassproduksjon krever den kombinerte aktiviteten til ulike grupper av mikroorganismer med varierte metabolske evner og vekstkrav (Schnürer, 2016).

Biogass er et marked i vekst, hvor stadig flere avfallsressurser tas i bruk. Ifølge Biogass Norge, har en i Norge et produksjonspotensial på 10 TWh med biogass. Det er per 2022 56 biogassanlegg i Norge, som totalt har en produksjon på 739 GWh (0,739 TWh) (Norwaste, 2022). Det er fremover også et stort satsningsområde, og flere anlegg er under planlegging.

2.1.3 Alge

Alger er encellede organismer og som befinner seg på bunnen av næringskjeden i de fleste økosystemer. Alger kan være svært næringsrike og innehar ulike egenskaper som mennesker kan ta i bruk. Produksjon av mikroalger i industriell skala er med på å kunne erstatte næringskilder som ikke er bærekraftige i matproduksjonen. Det jobbes for eksempel med å bruke alger som del av en erstatning for soya i fôr til oppdrettsnæringen. Dette vil være et viktig bidrag for å minske presset på regnskog og savanneskog (Grønlund, no date).

Dyrking av mikroalger er en kontrollert fotosyntese, hvor algene vokser i vann, bruker CO₂ som karbonkilde i fotosyntesen og får energi fra lyset. Det er i dag hovedsakelig tre ulike produksjonsmetoder som blir benyttet. Disse er produksjon i åpne dammer, lukkede fotobioreaktorer og roterende biofilmreaktorer. (Rue, Søgner and Tengedal, 2019). Markedet for alger er på sikt stort og bredt, hvor det potensielt kan benyttes som innsatsmiddel i dyrefor (Fløistad, 2019), biogass (Dębowski *et al.*, 2013), biodrivstoff (Li, Liu and Liu, 2014), kosmetikk og helseprodukter (Rue, Søgner and Tengedal, 2019). Foreløpig er algeproduksjon, isolert sett, lønnsomt som et høyverdiprodukt (Rue, Søgner and Tengedal, 2019), ettersom kostnadene knyttet til kunstig belysning er store under drift.

2.1.4 Synergieffekter

Det har i denne litteraturstudien ikke lyktes å finne studier eller prosjekt som kombinerer de tre prosessene slik som det er planlagt i dette oppdraget. Det finnes derimot flere studier som undersøker synergieffekter innenfor bioenergi;

1. Bioenergi i industri-klynge

I de senere år har det blitt utført forskning for å analysere de potensielle synergiske effektene av å integrere bioenergianlegg som en komponent av industrielle klynger. En interessant studie som belyser denne tematikken er artikkelen «*Assessing the potential contribution of excess heat from biogas plants towards decarbonising residential heating*» (Weinand et al., 2019). I denne artikkelen utforskes det hvordan overskuddsvarmen fra biogassanlegg kan utnyttes til å bidra til reduksjon av klimagassutslipp gjennom oppvarming av boliger.

Biogassanlegg representerer en betydelig ressurs innenfor bioenergisektoren, men det har blitt identifisert at en betydelig andel av den genererte varmen forblir uutnyttet. I gjennomsnitt utgjør denne uutnyttede varmefraksjonen omtrent 40% (Weinand *et al.*, 2019).

Denne forskningen har implikasjoner som strekker seg utover det isolerte biogassanlegget. Ved å utforske måter å effektivt utnytte denne overskuddsvarmen på, kan man ikke bare bidra til å redusere karbonavtrykket fra biogassproduksjonen, men også til å løse utfordringer knyttet til energibehov og klimaendringer.

Gjennom å integrere bioenergianlegg i industrielle klynger og utnytte overskuddsvarmen på en effektiv måte, har man potensial til å endre energilandskapet mot en mer bærekraftig og karbonnøytral fremtid. Denne tilnærmingen understreker viktigheten av å kontinuerlig utforske og implementere innovative løsninger for å adressere komplekse utfordringer innen energisektoren og klimaendringer.

2. Ulike bio-produkt i produksjons-klynge

UNU/ZERI (United Nations University, Zero Emissions Research Initiative), kom i 1998 med metodeforslag og ide om strukturering av ulike industrier til en industriklynge med null utslipp (Gravitis *et al.*, 2004). Dette handler om å lage klynger hvor prinsippet om «vugge til grav» blir til «vugge til vugge», gjennom at avfall i en industri blir til råstoff i en annen.

I *Clustering of bio-products technologies for zero emissions and eco-efficiency*» (Gravitis et al., 2004), undersøker de dette gjennom en tekno-økonomisk analyse av et komplett biomasse-raffineri.

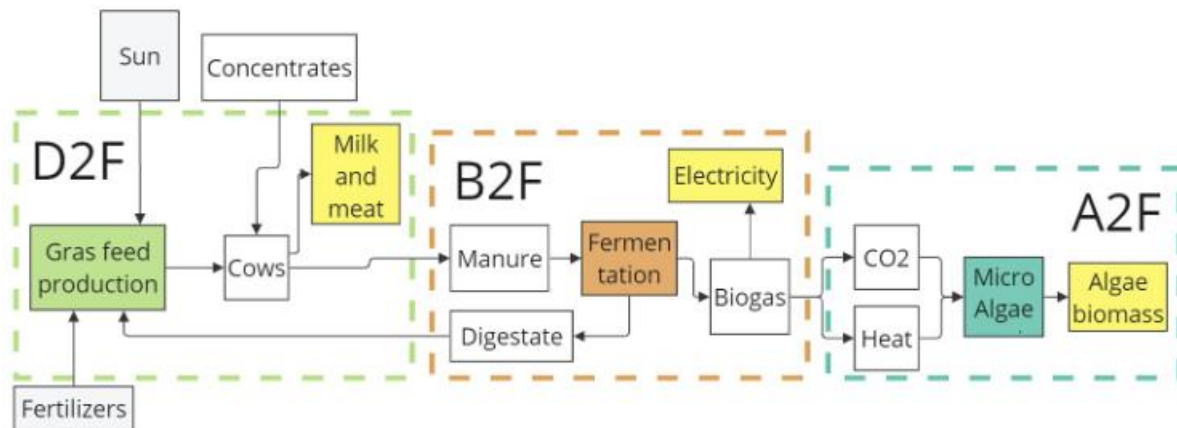
I artikkelen analyserer de kompleksiteten ved å integrere ulike prosesser innenfor en biomasse-raffineri-industriell klynge, med sikte på å oppnå målsettingen om nær-nullutslipp og høy økoeffektivitet. Blant de integrerte prosessene diskutert i dokumentet er furfuralproduksjon, dampbehandling gjennom damp-eksplosjon, karbonisering, *fast pyrolysis* og kullproduksjon.

Disse integrerte prosessene er nøye sammenkoblet innenfor klyngen for å maksimere utnyttelsen av ressurser og energi, samtidig som man reduserer avfall og negativ miljøpåvirkning. Denne tilnærmingen støtter opp under overgangen mot en bærekraftig og ressurseffektiv bioøkonomi.

3. FolvenGaard – modellen

FolvenGaard er et melkebruk lokalisert i Folven i Stryn, Vestland fylke, som har mikroalgeproduksjon samt biogassproduksjon. FolvenGaard får delvis energibehovet sitt dekket ved hjelp av vannkraft, fra delvis eierskap til en elv hvor det er energiproduksjon (Hanisch, 2023).

FolvenGaard-modellen (FGM) er en modell for sirkulær landbruksdrift, som består av fem moduler; Dairy to the Future (D2F), Biogas to the Future (B2F), Composting to the Future (C2F), Algae to the Future (A2F) og Aquaculture to the Future (AC2F). D2F er den tradisjonelle modellen for melkeproduksjon. B2F er biogassproduksjon, hvor avføring fra melkeproduksjonen blir fermentert og det blir produsert biogass og gjødsel. I C2F modulen, blir vann i restproduktet (gjødsel) fra B2F modulen sentrifugert vekk og kompostert. AC2F modulen utnytter det næringsrike restvannet fra sentrifugeringsprosessen i C2F i kultivering av planter. Den siste modulen A2F utnytter CO₂ og varme, biprodukt av strømproduksjon fra biogass, til produksjon av mikroalger (Hanisch, 2023). Hvordan modulene henger sammen er vist i figur to.



Figur 2 - Forenklet FGM med tre moduler, (Hanisch, 2023)

2.2 Bygg

I dette delkapitlet belyses teorien omkring relevante materialer, konstruksjonsteori, lover og regelverk, som legges til grunn for å løse oppgaven.

2.2.1 Materialer

Glass

Glass er materialer som dannes ved at væsker avkjøles uten å krystallisere. I stedet blir væsken mer og mer seigtflytende ved gradvis avkjøling inntil den blir helt stiv. Under hele avkjølingsprosessen beholder den den samme strukturen som den hadde som væske. Glasset kan altså betegnes å være et amorft materiale. Glass har egentlig ikke noe smelte -eller frysepunkt, men et mykningsintervall hvor det er seigt. Denne egenskapen utnytter man når man former glassartikler. Om glasset holdes ved så høy temperatur at det er mykt, over en lengre tid vil krystallisasjon forekomme og glasset blir hvitt og ugjennomsiktig. ('glass', 2023)

Laminatglass

Laminatglass fremstilles ved å kombinere flere lag glassruter med folier av polyvinylbutyral (PVB) og polyutetan (PU) som mellomlag mellom glassene. Laminatglass er meget sterkt, og har den fordelen at splinter ved en eventuell knusning av glasset, holdes på plass av mellomsjiktet. Dette øker glassets styrke og reduserer faren for skjærskader fra glasskår betydelig. Denne egenskapen gjør at laminatglass somregel brukes i komponenter hvor kravet til sikkerhet ovenfor mennesker eller andre verdier er av signifikans. Dette i eksempelvis fly - og bilruter, banker, utstillingsmontre, glassrekkverk og glasstak. ('sikkerhetsglass', 2023)

Energiglass

Energiglass er forseglede vindusruter der ett eller flere av glassene har et tynt, pådampet belegg av enten metall eller metalloksid på flaten som vender inn mot hulrommet, mellom glassene. Beleggets funksjon er å redusere glassflatens emissivitet, slik at varmetransporten ved stråling over spalten mellom glassene reduseres. For å redusere glassets varmetap ytterligere, fylles spalten mellom glassene med en gass med dårligere varmeledningsevne enn luft. Vanligvis argon. (Thue, 2023)

Stål

Stål er legeringer av jern og maksimalt to vektprosent karbon, og kan i tillegg inneholde betydelige mengder andre legeringselementer. Stål er trolig vårt mest allsidige konstruksjonsmateriale, ettersom ulike typer stållegeringer og produksjonsprosesser gir ulike typer egenskaper. Dette gjør at stål kan tilpasses en hel rekke ulike bruksområder. Materialet har derfor trolig bidratt mer til den moderne sivilisasjonen enn noe annet metall. Det benyttes i blant annet tungindustri, broer, jernbane, bygningskonstruksjoner, biler, skip og verktøy. Produksjonen av råstål, altså ubearbeidet stål, var i 2020 1864 millioner tonn på verdensbasis. (Solberg, Christensen and Almar-Næss, 2024)

Når det gjelder stål i bygningskonstruksjoner, er varmvalsede stålprofiler det vanligste. Dette er stål som er valset ved temperaturer over rekrytallisasjonstemperaturen. Det vil si temperaturer som er så høye at de deformerte kornene blir erstattet av nye, deformasjonsfrie korn.

Varmvalsing av stål er ikke det som gir den største fastheten, men gir en kombinasjon av styrke, seighet og sveisbarhet som gjør det anvendelig til mange applikasjoner, spesielt innen bygg. (Solberg, 2024)

2.2.2 Konstruksjonsdeler

Søyler

Ordet søyle avstammer fra det tyske ordet *säule* og beskriver et bygningsselement som har til hensikt å overføre last fra en overliggende bygningskomponent/struktur, gjerne en bjelke, et dekke eller bjelkelag, ned mot bakken enten direkte, eller via en underliggende struktur.

Søyler kan ha ulike tverrsnitt, avfasinger og kapitél (søylehode), og gjør at søyler kan benyttes som dekorative elementer, i tillegg til sin primære funksjon som bærekomponent. Søyler blir oftest brukt i kombinasjon med dragere, hvor man ønsker større, åpne rom. Dette i for eksempel lagerbygninger, større forsamlingslokaler eller konserthus. (Gunnarsjaa, 2023c, 2023b; 'Søyle', 2024)

Bjelke / drager

Ordet bjelke stammer fra det norrøne ordet *bjalki*, og ordet drager kommer av det tyske ordet for å bære: *Träger*. En bjelke er en langstrakt, rett og regelmessig formet bærende konstruksjonsdel. Bjelker brukes under gulv, i bjelkelag, tak (da som sperre) eller annet dekke. En bjelke ligger an på vertikale støtter eller større hovedbjelker (dragere). Bjelkens høyde er somregel større enn bredden, ettersom dette best utnytter materialets bæreevne. Bjelker og dragere kan utføres i, blant annet tre, betong og stål. Ordene bjelke og drager blir i dagligtalen brukt litt om hverandre. Definisjonsmessig brukes ordet drager om bjelker av større og grovere dimensjoner som gjerne skal bære en større last over et lengre spenn. (*drager – bærende bjelker – Store norske leksikon*, 2021; 'bjelke', 2023)

Sperre

En sperre er en bærende bjelke i en takkonstruksjon som er lagt parallelt med takets fallretning. Sperrer kan være opplagt på horisontale bærere i form av bærevegger, bjelker eller dragere.

En sperre har som regel et sperrehakk, også kalt garp eller garpehogg, der sperren ligger an mot den horisontale bæreren (bærevegg, drager, søyle ...). (Gunnarsjaa, 2023a, 2023d)

Kjemsling

«En kjemsling er en kort tverrbjelke mellom vekselbjelker i utveksling, spikerslag eller mellom bjelkene. Det brukes ved åpninger i bjelkelag (for eksempel for pipe), der bærebjelken kappes og belastningene overføres, veksles, over til nabobjelkene». ('kjemsling', 2023)

I denne oppgaven fravikes definisjonen på kjemsling noe, da det ikke er snakk om å veksle lasten fra en bærebjelke til nabobjelkene, men å overføre lasten fra glasskjøtene over til sperrene.

2.2.3 Laster

Grunnlaget for selve dimensjoneringen av bygningskonstruksjoner er å vite hvordan man hensyntar miljøet og omgivelsene bygget er oppført i, slik at konstruksjonen blir motstandsdyktig mot påkjenningene. Dette tas det høyde for ved at de sees på som ytre laster som virker på konstruksjonen, som igjen kombineres for å finne det ugunstigste tilfelle; altså det dimensjonerende.

Egenlast

Egenlast er den lasten konstruksjonen påfører seg selv på grunn av materialenes egenvekt. Denne lasten varierer med valg av blant annet materialer, tverrsnitt og spennvidder. F.eks. veier stål mer enn tre, og vil derfor gi større egenlaster for et tilsvarende tverrsnitt. Større spennvidder resulterer i større opptredende krefter på komponentene, som igjen fordrer større dimensjoner i bygningskomponentene og påfølgende større egenlaster. Standarden som tar høyde for egenlaster, er *NS-EN 1991-1-1* (STANDARD-NORGE, 2019) ved at den presenterer standardiserte verdier for materialer man ofte hensyntar i prosjekteringen av et byggeprosjekt. I denne oppgaven brukes verdier for egenlast fra denne standarden og fra boken; *STÅLKONSTRUKSJONER -PROFILER OG FORMLER* (Larsen, Clausen and Aalberg, 2003). ('egenlast', 2023)

Snølast

Som navnet tilsier, er snølast laster påført konstruksjonen somfølge av snø. Denne lasten varierer med byggets geografiske lokasjon og lokale klima og værforhold. Snølast beregnes etter *NS-EN 1991-1-3* (STANDARD-NORGE, 2018). I denne standarden er man avhengig av inndata som byggets geografiske beliggenhet, byggets geometri, høyde over havet og spesifikke værforhold for byggestedet for å kunne finne riktig snølast på mark i det nasjonale tillegget. Videre kan denne snølasten transponeres ved hjelp av likninger i standarden for å finne den kraften som virker på selve konstruksjonen. I denne oppgaven benyttes OS-Prog-Lastberegning til å finne snølasten. (STANDARD-NORGE, 2018)

Likning for snølast på tak: $s = \mu_i \times C_e \times C_t \times s_k$

Vindlast

Standarden for beregning av vindlast på konstruksjoner er *NS-EN 1991-1-4* (STANDARD-NORGE, 2009). For å kunne beregne vindlasten må man, som for snø, vite byggets geografiske plassering, dets geometri og lokale værforhold. Selve beregningen gjør standarden ved å etablere en referansevindhastighet for byggestedet, og dele inn bygningens overflater i ulike soner, basert på de geometriske parameterne. Disse sonene belastes med ulike vindtrykk etter hvilke vindretninger man har. Standarden definerer to retninger. 0 og 90 grader på bygget. OS-Prog-Lastberegning er benyttet i denne oppgaven til å beregne vindlasten over takflaten. (STANDARD-NORGE, 2009)

Imperfeksjoner -Skjevstillingslast

Imperfeksjoner, eller skjevstillingslast, er noe som alltid vil forekomme i menneskeskapte bygningskonstruksjoner. Disse kommer av at man ikke klarer å plassere komponenter 100% over og under hverandre. Dette fører til at man får eksentrisiteter mellom komponentene i konstruksjonen, som skaper indre drivende krefter i systemet. Disse er det især viktig å hensynta i dimensjoneringen av en konstruksjon. Standarden *NS-EN 1993-1-1* hensyntar dette for stålkonstruksjoner, og det er denne som følges i denne oppgaven gjennom programmet FEM-Design som selv hensyntar skjevstilling i sine beregninger. (STANDARD-NORGE, 2015)

Generelt om lastkombinering

Lastkombinering gjøres for å sikre pålitelige konstruksjoner. Bakenfor de tall og valg som blir gjort ved lastkombinering i de ulike tilstandene, ligger hensyn på økonomi, pålitelighet, materialforbruk og sannsynlighet. Dette for å sikre fornuftige, helhetlige og samfunnsøkonomisk lønnsomme konstruksjoner, og bærekraftig ressurs -og materialutnyttelse. (STANDARD-NORGE, 2016) Til eksempel; for nedbøyningskontroll benyttes bruksgrensetilstanden. Dette er en tilstand hvor lastkombinasjonsbildet med stor sannsynlighet vil forekomme i konstruksjonens levetid. Dette i motsetning til bruddgrensetilstanden hvor lastbildet er krisemaksimert, og med stor sannsynlighet sjelden, om i det hele tatt, vil opptre. Om bruddgrensetilstanden ble lagt til grunn, også ved nedbøyningskontroller, ville man fått urealistisk store nedbøyninger, og påfølgende overdimensjonerte komponenter. En svært lite bærekraftig og samfunnsøkonomisk ulønnsom løsning.

Bruddgrensetilstanden

Alle konstruksjoner skal etter *NS-EN 1990* dimensjoneres på en slik måte at de under hele sin forutsatte brukstid, og med en tilstrekkelig grad av økonomiske hensyn og pålitelighet, motstå de forhold og påvirkninger det er rimelig å anta at vil opptre under både utførelse og bruk av konstruksjonen. Dette tilfredsstilles ved å dimensjonere konstruksjonen i bruddgrensetilstanden. Altså kombinere de laster som opptrer på konstruksjonen på en slik måte at konstruksjonen med rimelig sikkerhet ikke vil gå i brudd. Sannsynligheten for at ett slikt lastbilde opptrer er lav, men allikevel ikke av ubetydelig signifikans. For dette er det i standarden gitt to likninger; 6.10a og 6.10b. Av disse skal begge vurderes, og den som gir den største lastpåvirkningen, totalt sett, skal benyttes i dimensjoneringen. Det er utarbeidet to likninger, fordi man i konstruksjoner kan ha større egenlaste enn nyttelaster og vice versa. Ved å ha to ulike likninger sikrer man at man i alle dimensjoneringstilfeller klarer å identifisere og benytte det ugunstigste tilfelle. (STANDARD-NORGE, 2016)

Likningene:

- 6.10a: $1,35 \times G_{k,j} + 1,5 \times \Psi_{0,1} \times Q_{k,1} + \sum_{i>1} 1,5 \times \Psi_{0,i} \times Q_{k,i}$
- 6.10b: $1,2 \times G_{k,j} + 1,5 \times Q_{k,1} + \sum_{i>1} 1,5 \times \Psi_{0,i} \times Q_{k,i}$

Bruksgrensetilstanden

For å gjennomføre komfort, nedbøynings -og tolleransekontroller benytter man seg av lastkombinering i bruksgrensetilstanden. Også denne finner man i *NS-EN 1990*. Her hensyntas det lastbilder -og kombinasjoner som med stor sannsynlighet vil påføres konstruksjonen i dens levetid, i motsetning til lastkombinering i brudd -og ulykkestilstanden. Det er i standarden definert tre ulike kombinasjoner i denne grensetilstanden; 6.14b - Karakteristisk kombinasjon (ved irreversible tilstander), 6.15b -Ofte forekommende kombinasjon (ved reversible tilstander), 6.16b -Kvasi-permanent kombinasjon (ved langtidsvirkninger). Av disse vil 6.14b gi størst lastpåvirkning, og 6.16b gi lavest, med påfølgende sammenheng i nedbøyninger. (STANDARD-NORGE, 2016)

Likningene:

- 6.14b: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} \times Q_{k,i}$
- 6.15b: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \Psi_{1,1} \times Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} \times Q_{k,i}$
- 6.16b: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} \times Q_{k,i}$

Ulykkestilstanden

En konstruksjon skal til en viss grad kunne være motstandsdyktig mot ulykkeslaster. Altså laster som f.eks. et brannforløp i en tidsbegrenset periode fører med seg. For at konstruksjonene skal klare dette kontrolleres de for *ulykkestilstanden*. Ettersom ulykkestilstanden har til hensikt å sikre tilstrekkelig rømningstid for de som oppholder seg i konstruksjonen, kan sikkerhetsfaktorer, lastkombinering -og materialegenskaper endres betraktelig. Dette gjør at man i ulykkestilstanden strekker utnyttelsen av konstruksjonen til det ytterste. I denne oppgaven hensyntas denne tilstanden av FEM-Designs innebygde funksjon, som ivaretar standarden i sin helhet. (STANDARD-NORGE, 2008, 2016)

Stål og brann

Brann deles som hovedsak inn i tre faser. Antennelses -og utviklingsfasen, fullt utviklet brann og avkjølingsfasen. Ved brann i stål reduseres fasthetsegenskapene betraktelig. Ved omtrent 500 grader, så mye som 50%. Denne temperaturen og svekkelsen vil man raskt kunne oppnå i et branntilfelle, og man kan få plutselige sammenbrytninger av konstruksjonskomponenter somfølge. For å beskytte stålet mot denne påkjenningen, kan man påføre konstruksjonen en eller annen form for brannbeskyttelse. Dette kan gjøres ved å påføre f.eks. brannmaling, tildekking med brannbeskyttende plater eller innkassing. (Frøstrup, 2019; Edvardsen and Ramstad, 2020)

Resonans / harmonisk frekvens

For et mekanisk system bestemmes egenfrekvensen av massen til det svingende objektet og de krefter som arbeider for å dra det tilbake til likevektsstillingen. Om systemet påvirkes av en periodisk ytre kraft (f.eks. vind eller jordskjelv) med samme frekvens som egenfrekvensen, vil det svingende systemet oppta energi fra den ytre kraften, som igjen vil forsterke svingebevegelsen. Dette kan medføre store konsekvenser og i verste fall føre til brudd i konstruksjonen. Kanskje det mest kjente eksemplet hvor dette fenomenet var fatalt for konstruksjonen, var Tacoma bridge nær Seattle i USA. (Ormestad and Hofstad, 2023)

2.2.4 Bygningsfysikk

U-verdi

U-verdi er en verdi som beskriver varmetapet gjennom en bygningsdel. Denne verdien beskriver varmegjennomgangen pr. m^2 bygningsdel, ved en temperaturforskjell på en grad over tykkelsen av bygningsdelen. Denne verdien angis i $W/m^2\text{°C}$, og sammenhenger med bygningsdelens tykkelse, og materialets varmekonduktivitet.

Likningen:

$$U = \frac{1}{R_{tot}}, \text{ hvor } R_{tot} = R_{si} + R_{se} + \sum R_i$$

R_i er varmemotstanden til hvert enkelt sjikt, angitt som: $R_i = \frac{t}{\lambda}$, hvor t er tykkelsen på sjiktet og λ er varmekonduktiviteten til materialet sjiktet består av. R_{si} er den innvendige overgangskoeffisienten, mens R_{se} er den utvendige. Dess lavere U-verdi man har dess mindre energi går med til oppvarming av f.eks. ett hus.

2.2.5 Lys

Det finnes i hovedsak tre ulike teorier for lys. Disse er stråleteori, elektromagnetisk bølgeteori og kvanteteori. For denne oppgaven beveger man seg ikke utenfor den enkleste; stråleteori. Der beskrives lys med rette linjer fra ett lyspunkt og hvor linjene kan endre retning i forbindelse med brytning og refleksjon, slik som i linser og speil (Skaar, 2023).

2.2.6 Lover og forskrifter

Plan -og bygningsloven

Plan og bygningsloven er et lovverk som omfatter forvaltning og bruk av arealer i Norge. Gjennom loven bestemmes regler for hvordan byggearbeider skal utføres, byggesaker behandles, og arealer utnyttes. Den koordinerer også mange ulike lovverk, som gjelder hvordan man utnytter arealer. Plan og bygningsloven er den viktigste innen dette feltet, og er av det en såkalt sektorovergripende lov. Det betyr at den er gjeldende for alle typer byggeprosjekter og virksomheter. (Solvik, Falkanger and Reusch, 2024)

Byggeteknisk forskrift

Byggeteknisk forskrift, ofte referert til som TEK, er en forskrift som springer ut fra plan -og bygningsloven. Den inneholder krav til utforming og gjennomføring som ivaretar de bygningstekniske hensyn fastsatt etter plan -og bygningsloven. Dette innebærer områdene energi, miljø, helse og sikkerhet. Hensikten med TEK er å sikre kunden en viss standard, og samtidig forutsigbarhet omkring de kvalitets, funksjons -og ytelseskrav utførende må forholde seg til og opprettholde. (Junker, 2023)

2.2.7 Klassifiseringer

Risikoklasse

Risikoklasser i byggverk, baserer seg på hvilken fare en eventuell brann vil ha for liv og helse. Disse klassene skal legges til grunn ved prosjektering og utførelse av alle typer byggverk. Hensikten med klassifiseringen er å sikre tilstrekkelig rømnings- og redningstid ved brann, avhengig av kompleksiteten til bygget og kjennskapen personer som typisk oppholder seg der har til bygget og dets rømningsveger. Klassene deles inn fra 1 til 6, hvor det i klasse 6 stilles de strengeste krav. Typisk vil sykehus være et eksempel på byggverk i klasse 6, skoler og barnehager klasse 3 og arbeidsbrakker klasse 1. Tabellen som benyttes til vurdering av risikoklasser, er tatt fra DIBK og følger under. (§ 11-2. Risikoklasser, 2017; Liebe, 2024)

Tabell 1: Risikoklasser

Risikoklasser	Byggverk kun beregnet for sporadisk personopphold	Personer i byggverk kjenner rømningsforhold, herunder rømningsveier, og kan bringe seg selv i sikkerhet	Byggverk beregnet for overnatting	Forutsatt bruk av byggverk medfører liten brannfare
1	Ja	Ja	Nei	Ja
2	Ja/nei	Ja	Nei	Nei
3	Nei	Ja	Nei	Ja
4	Nei	Ja	Ja	Ja
5	Nei	Nei	Nei	Ja
6	Nei	Nei	Ja	Ja

Brannklasse

Brannklasser fastsettes «ut fra den konsekvensen en brann kan innebære for skade på liv, helse, samfunnsmessige interesser og miljøet, skal byggverk eller ulike deler av et byggverk plasseres i brannklasser» (§ 11-3. Brannklasser, 2017). TEK17 angir fire brannklasser, hvor klasse 1 har liten konsekvens, og klasse 4 særlig stor konsekvens. Den fastsatte brannklassen skal legges til grunn for prosjektering og utførelse av byggets bæreevne ved et branntilfelle, for å sikre tilstrekkelig tid til evakuering og redning.

Tabell 2: Brannklasser

Brannklasse	Konsekvens
1	Liten
2	Middels
3	Stor
4	Særlig stor

Veiledningen til forskriften oppgir preaksepterte ytelser til og med brannklasse 3, hvor brannklassifiseringen settes i sammenheng med byggets risikoklasse, og antall etasjer i følgende tabell.

Tabell 3: Veiledningstabell, brannklasser

Risikoklasse	Antall etasjer			
	1	2	3 og 4	5 eller flere
1	-	BKL 1	BKL2	BKL2
2	BKL 1	BKL 1	BKL2	BKL 3
3	BKL 1	BKL 1	BKL2	BKL 3
4	BKL 1	BKL 1	BKL2	BKL 3
5	BKL 1	BKL2	BKL 3	BKL 3
6	BKL 1	BKL2	BKL2	BKL 3

2.2.8 Norsk standard / Eurokoder

For at ytelses -og funksjonskrav i TEK 17 skal tilfredsstilles, må valgte løsninger/ytelser dokumenteres. Den enkleste måten å gjøre dette på, er å følge standarder som på forhånd er utarbeidet til det spesifikke formålet. Standarder er i så måte å betrakte som en oppskrift på hvordan noe skal lages eller gjennomføres, men det er ikke dermed sagt at de til enhver tid må benyttes for alle tilfeller. Andre metoder og løsninger kan benyttes, så lenge de oppfyller samme krav og ytelser.

Standard Norge er den aktøren som med enerett kan utgi Norsk Standard. De samarbeider tett med organisasjonene som utarbeider europeiske og internasjonale standarder. Disse er den europeiske standardiseringsorganisasjonen CEN og den internasjonale standardiseringsorganisasjonen ISO. Standard Norge tilpasser eurokoder og ISO-standardene til norske forhold ved å oversette tekst, og tilføre det som kalles nasjonale tillegg. Dette er f.eks. tabell *NA.4.1(901)-Karakteristisk snølast på mark for kommuner og Svalbard i NS-EN 1991-1-3 Allmenne laster, Snølaster* (STANDARD-NORGE, 2018). Her angis, som navnet tilsier, de karakteristiske snølastene for norske kommuner. Dette tillegget er særegent for den norske standarden, og finnes ikke i de europeiske eller internasjonale standardene. De europeiske og internasjonale standardene er derfor å anse som grunnlaget for de nasjonale standardene utgitt i Norge. (Hofstad, 2023, 2024b)

I denne oppgaven er følgende standarder benyttet:

- NS-EN 1990 -Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner
- NS-EN 1991 -Laster på konstruksjoner
- NS-EN 1993 -Prosjektering av stålkonstruksjoner
- NS-EN 16612 -Bygningsglass, Bestemmelse av kapasitet ved beregning for ruter belastet normalt på glassplanet
- SN-CEN/TS 19100-1 -Prosjektering av glasskonstruksjoner, Del 1: Grunnlag for prosjektering og materialer
- SN-CEN/TS 19100-2 -prosjektering av glasskonstruksjoner, Del 2: komponenter belastet normalt på glassplanet

- NS-EN ISO 6946 -Bygningskomponenter og -elementer, Varmemotstand og varmegjennomgangskoeffisient, Beregningsmetoder (ISO 6946:2017)

2.2.9 Programvare

FEM-Design

Fem-Design er en programvare utviklet av Strusoft. I Norge håndteres og distribueres programvaren av Norconsult. Programmet er designet for å være ett brukervennlig og intuitivt program, som enkelt og presist kan brukes til å modellere, analysere og dimensjonere enkle og komplekse konstruksjonssystemer. Programmet baserer seg på analyse gjennom bruk av elementmetoden. Dette er en metode hvor kompliserte systemer brytes ned til enkle elementer med forståtte egenskaper. Metoden simulerer egenskapene av et sammensatt system ut fra enkeltelementenes oppførsel, ved å flytte informasjon fra element til element. (Bell and Meyer, 2022; *FEM-Design - Analyser med stor nøyaktighet - Norconsult Digital*, 2024)

Excel

Excel er et regneark utviklet av Microsoft. Det kan brukes til å håndtere store og generelle data, tall og formler i tabellformat. Det fungerer som en digital regnebok hvor man oppretter egne regneark. Man kan også koble programmet opp mot store eksterne databaser, og hente tall, verdier og informasjon i sanntid. I regnearkene kan man skrive inn formler manuelt, eller benytte seg av de mange formlene som er innebygget. (Rossen, 2023; *Gratis programvare for regneark på nettet: Excel | Microsoft 365*, 2024)

OS-Prog

Os-prog er en programvareserie utarbeidet av sivilingeniør Ove Sletten for bruk innen dimensjonering. Bedriften har lang erfaring, og de første programmene ble utviklet på 80-tallet. Serien består blant annet av programmet Lastberegning, som er benyttet i denne oppgaven. Dette programmet baserer seg på de nasjonale standardene som innebærer snø og vindlast, og returnerer de korrekte verdiene basert på manuelt innmatet datagrunnlag. Korrekte returverdier fordrer imidlertid, og naturlig nok, korrekt inndata. (*Ove Sletten - Sogelink - Focus Software AS*, 2020; *Sivilingeniør Ove Sletten*, no date)

2.3 Økonomi

I dette delkapittelet vil teorien som nyttes i analyse-delen av rapporten gjennomgås. Under prosessen med valg av økonomiske modeller for analyse, har en valgt å gjøre SWOT-analyse og sette opp et resultatbudsjett. Kombinasjonen av disse to metodene gir et innblikk i hvilke områder en i videre analyse må se nærmere på, med de begrensinger en har i data-usikkerhet.

2.3.1 Swot-analyse

SWOT-analyse er en metode for å identifisere styrker, svakheter, muligheter og trusler ved en bedrift eller bedrifts-idé. Styrker og svakheter utgjør den interne analysen, mens muligheter og trusler utgjør den eksterne analysen. Dette er en nyttig øvelse for å få oversikt over en gitt situasjon, korrekt utført vil det danne grunnlag for videre forbedring av bedriften.

I denne rapporten vil SWOT-analysen basere seg på the focused current reality tree (fCRT), en teknikk laget av Ronen og Pass (2007). Teknikken er en videreutvikling av Current reality tree (CRT) laget av Goldratt (1994). Metoden fCRT er ment som en simplere og mer tidseffektiv metode enn Goldratt's modell (Coman and Ronen, 2009).

Metoden består av tre steg. Når den knyttes til en bedrifts styrker, består den av:

1. Optimalisering av styrkelisten for å fjerne overflødig informasjon, uklarerheter og irrelevante symptomer.
2. Knytting av styrkene ved bruk av årsak-virkning-logikk.
3. Identifisering av 2–3 kjernekompetanser.

Når den knyttes til en bedrifts svakheter, består den av:

1. Optimalisering av svakhetslisten for å fjerne overflødig informasjon, uklarerheter og irrelevante symptomer.
2. Knytting av svakheteene ved bruk av årsak-virkning-logikk.
3. Identifisering av 2–3 kjerneproblemer.

Stegene i detalj:

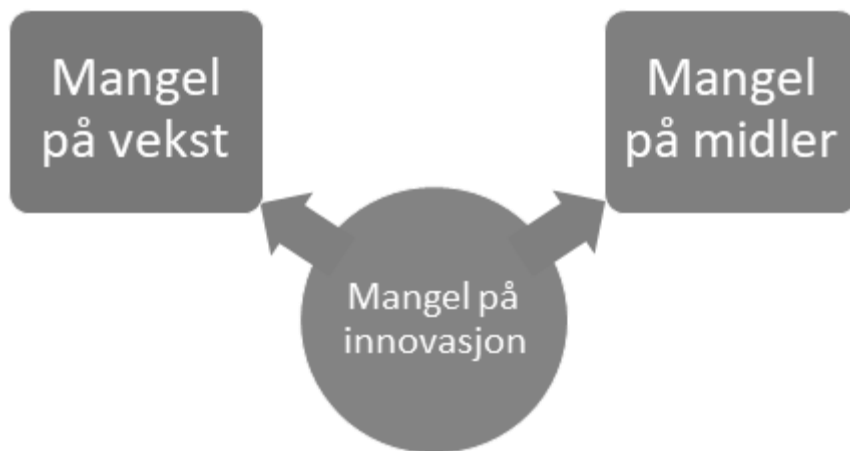
i. Optimalisering

Eliminer alle svakheter som ikke følger følgende kriterier

- Svakheteene må eksistere over en periode (ikke være et engangs-fenomen)
- Svakheteen må uttrykkes på en ikke-flatterende måte
- Svakheteen må være under vår kontroll eller påvirkning

ii. Knytting av styrker og svakheter ved bruk av årsak-virkning-logikk

Det er ofte slik at svakheter er knyttet gjennom årsak-virkning forhold (Coman and Ronen, 2009). Dette kan bli avbildet som piler som går fra årsak til virkning, som i figur 1. Figur 1 viser et eksempel fra *Focused SWOT: Diagnosing critical strengths and weaknesses*, som viser situasjonen til en stor europeisk bilprodusent som fant tre svakheter; mangel på innovasjon, mangel på vekst og mangel på midler. Disse svakheteene er ikke uavhengige av hverandre (Coman and Ronen, 2009).



Figur 3 - årsak-virkning sammenheng, (Coman and Ronen, 2009)

iii. Oppdagelse av 2-3 kjerneproblem

Man antar at bedriften har 2-3 kjerneproblem, som vil si at resten svakheteene egentlig er symptomer på disse kjerneproblemene. Etter man har koblet svakheteene gjennom en årsak-virkning-relasjon, kan man oppdage kjerneproblemene i fCRT.

2.3.2 Forstudie økonomisk analyse

Som nevnt i avgrensningen har en ikke fått anledning til å utarbeide fullstendige økonomiske analyser innenfor denne oppgaven slik som ønsket. Det vil i denne oppgaven fokuseres på å sette opp en oversikt som gjør klar til en senere analyse. Det vil her settes opp en oversikt over potensielle inntekter, utgifter og investeringer som det i videre arbeid må hentes inn troverdige priser på og da kan brukes inn i et resultatbudsjett.

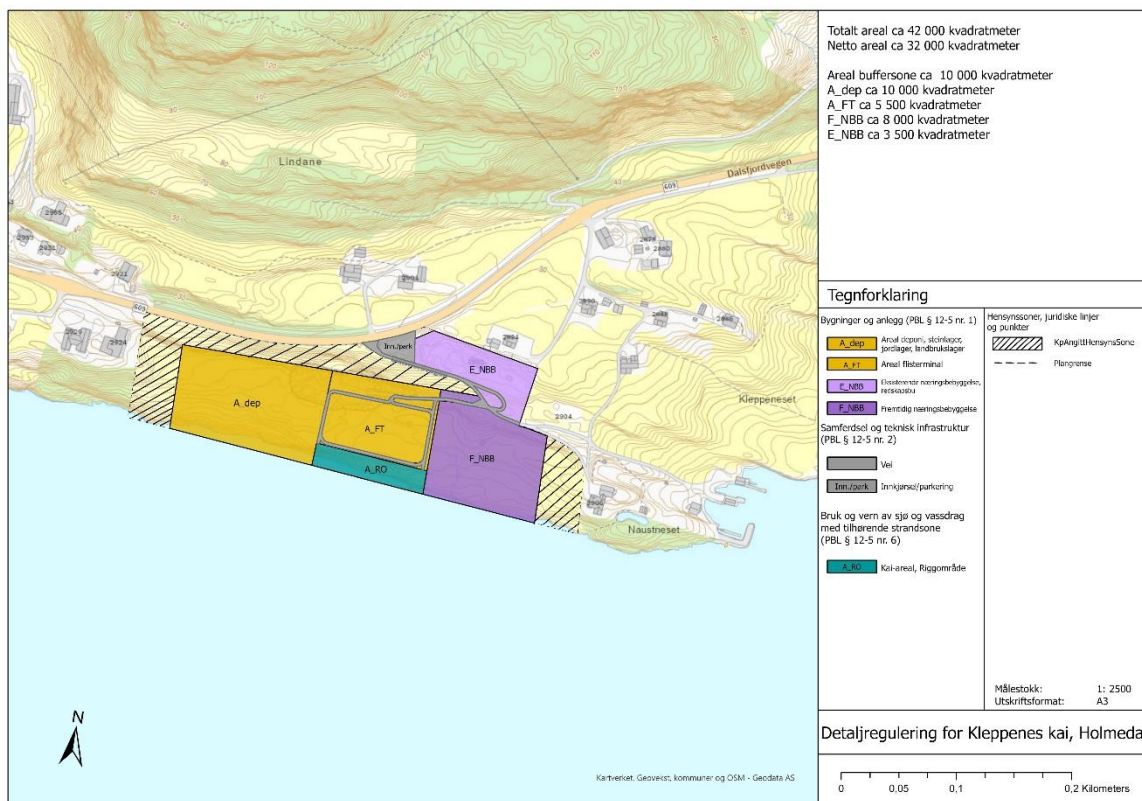
Resultatbudsjettet brukes i en bedrift for å simulere et regnskapsår, hvor man setter inn tall på hver enkelt post man tenker stemmer for det kommende året. I utarbeidelsen av budsjettet bruker man antagelser om hva man vil tjene, og hva man vil ha av utgifter på produksjon, faste kostnader og pågående investeringer. (Torvatn *et al.*, 2016)

All informasjon om inntekter og utgifter samles i et budsjett, hvor man kan sjekke om man har overskudd, balanse eller underskudd. I en nyetablering av en bedrift kan det være vanskelig å anslå det man trenger av informasjon, det er dermed viktig å begrunne antagelsene nøye og være kritisk til resultatet.

3 Case/ Materialer

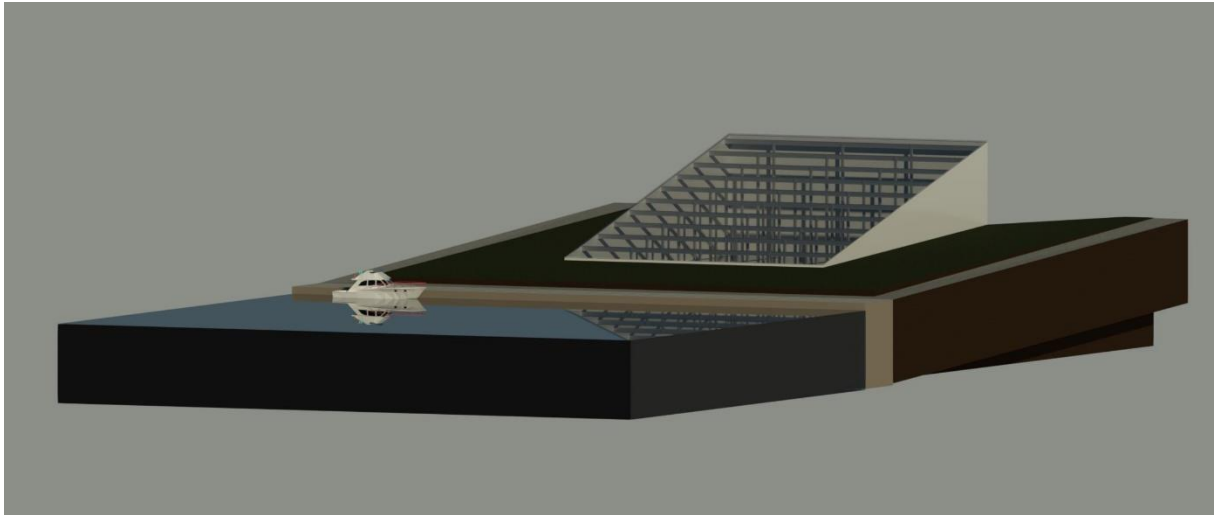
3.1 Systembeskrivelse

Det planlagte anlegget er lokalisert i Askvoll kommune i Vestland fylke. I umiddelbar nærhet er det boligbebyggelse, noe som må tas hensyn til i planleggingsprosessen av anlegget. Som vist i forslag til arealplan under, laget av Vegard Vårdal i samarbeid med oppdragsgiver, inkluderer planen en dypvannskai (A_RO) samt et tilhørende veisystem for å betjene de logistiske behovene til anlegget. Selve anlegget skal bygges i areal A_FT jamfør figur fire, og knyttes til inntegnet vei merket grått. De stiplede linjene er foreslått sikkerhetsavstand til naboer, hvor det også er planlagt tiltak for ytterligere begrensning i visuell og lydmessig forurensing.

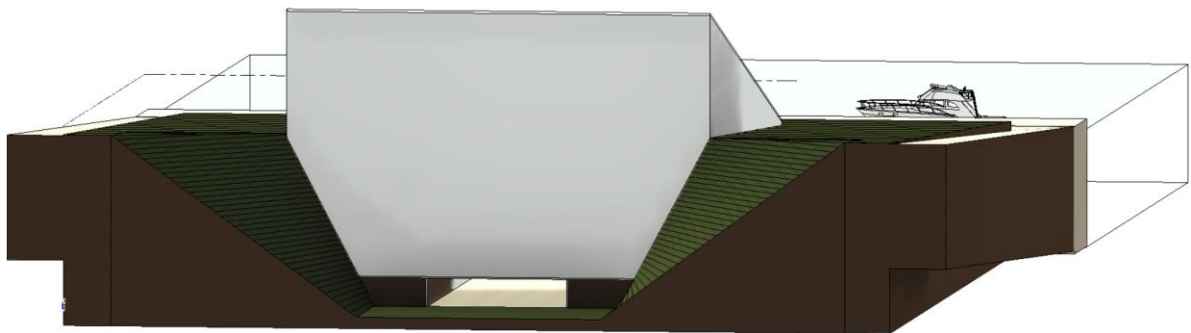


Figur 4 - Forslag til arealplan Kleppenes Kai, utarbeidet vha ArcGIS av Vegard Vårdal

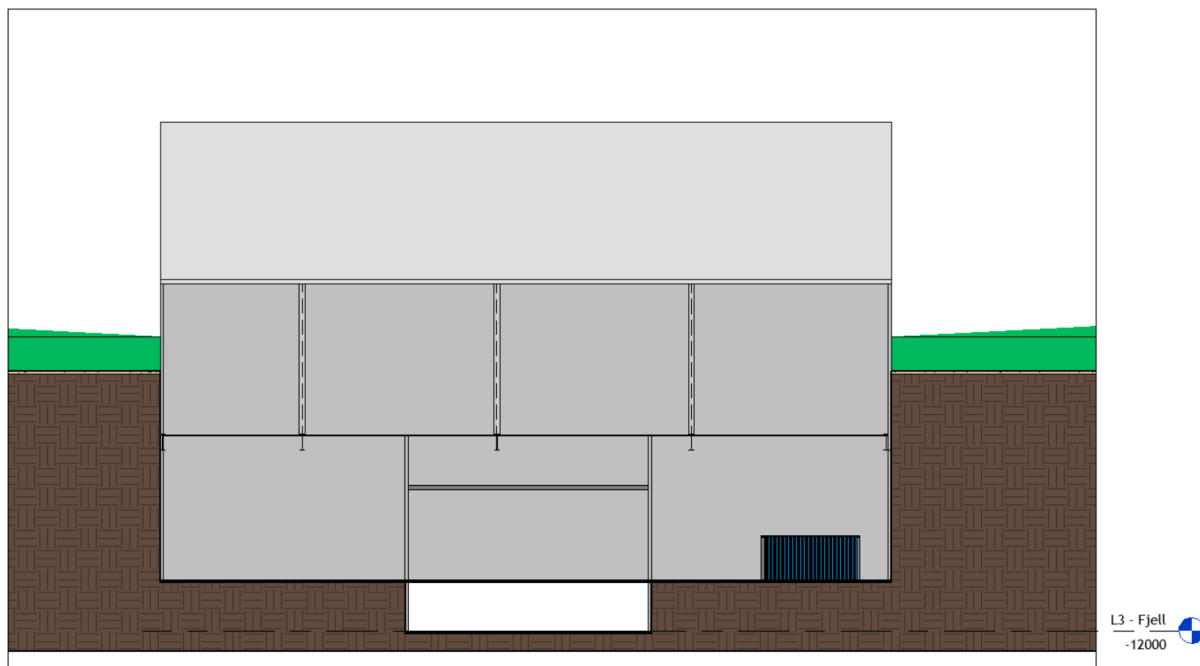
Som vist ved skissene figur fem til figur åtte, planlegges det å bygge fra fjellnivå og opp til terrengnivå, hvor man på fjell har en grunnflate på 15x58m, mens resten av bygget er 48x58m. En effekt oppdragsgiver ønsker å oppnå med denne løsningen er å ha mulighet for å lagre varmeenergi i fjellet, samtidig som man minsker inngrepet av det visuelt i terrenget.



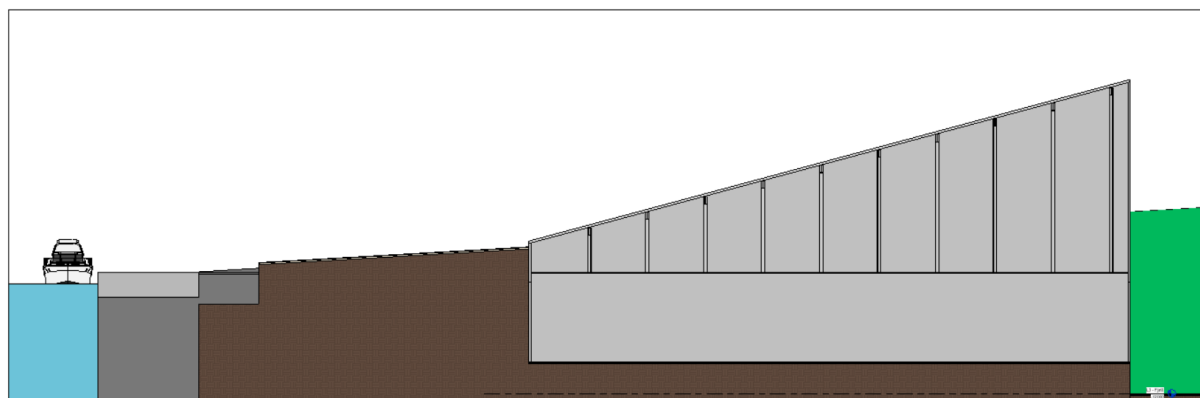
Figur 5 - skisse 3D sørfasade, laget vha Revit av Vegard Vårdal



Figur 6 - skisse 3D nordfasade, laget vha Revit av Vegard Vårdal



Figur 7 - skisse snittegning 1, laget vha. Revit av Vegard Vårdal



Figur 8 - skisse snittegning 2, laget vha. Revit av Vegard Vårdal

Disse skissene er utarbeidet som et utgangspunkt for å vise prinsippet man i dette prosjektet går ut ifra, og skal itereres underveis i planleggingen når man får mer informasjon om for eksempel dimensjoner på teknisk anlegg. Algeproduksjonsanleggene skal være øverst mot glasstaket, men både biokull- og biogassanlegg er tenkt i nederste etasje. Om man ser på figur seks er innkjøringen til anlegget tiltenkt på nordsiden av bygget.

3.1.2 AMACEE 1700

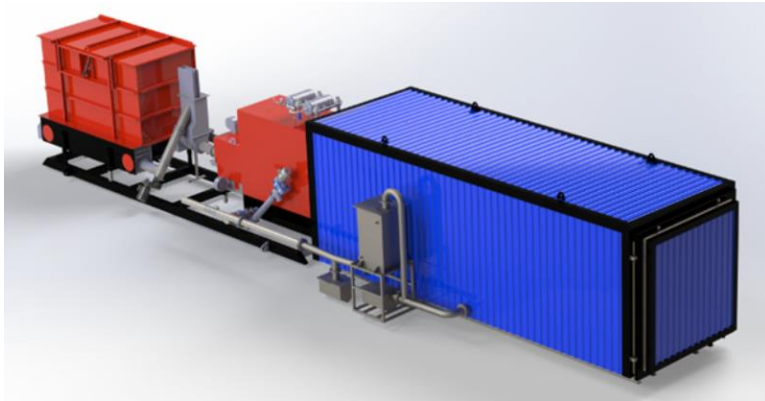
AMACEE 1700 er en av løsningene det finske firmaet SoilCare, som er spesialisert innen biokull-industri og jordforbedring. SoilCare's teknologi er parti-basert, istedenfor kontinuerlig produksjon, og baserer seg på prinsippet om *slow pyrolysis*.

AMACEE 1700 blir levert som en ferdig containerløsning som man kan se av figur ni og veier 7,5 tonn. Systemet tar opp til 10 kubikk biomasse per parti, som gir 3-5,5 kubikk biokull. I tillegg er det en varmeproduksjon på opptil 4000 kWh per parti, bioolje-produksjon på 80-160 l og 500 kWh i kondensert vann per parti. Systemet er automatisert og kan styres via laptop ('Production technology - SoilCare Oy', 2022).

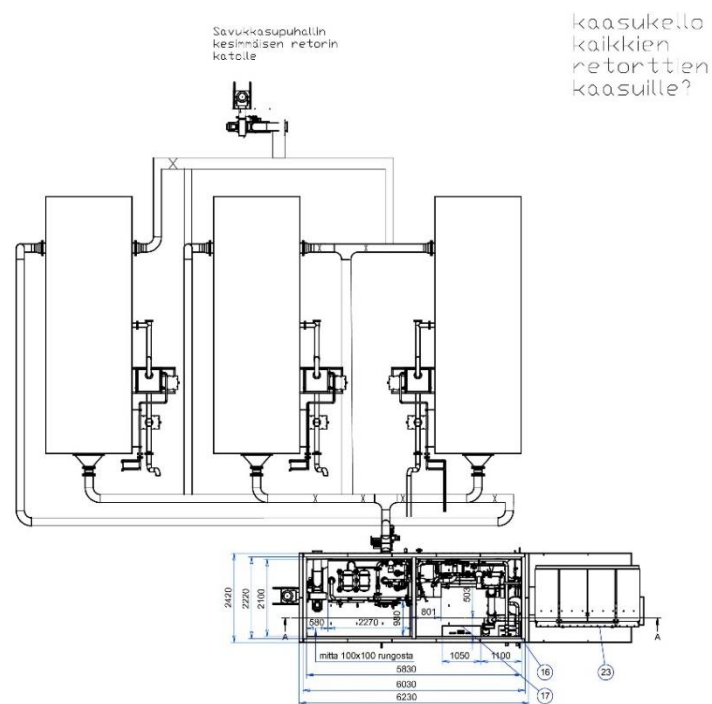


Figur 9 - A1700, (Soilcare OY, 2024)

En container-løsning slik som SoilCare har utviklet, gjør at en får en mobil løsning som også er skalerbar. I dette prosjektet planlegger en for produksjon med tre slike containere, operert i en sekvensiell rekkefølge. Fra et operasjonelt perspektiv innebærer dette at mens en container har produksjon, vil den andre være under fylling og den tredje bli tømt for masse.



Figur 10 - A1700 og varmegjenvinning, (SoilCare OY, 2024)



Figur 11 - Prinsippskisse varmegjenvinning med tre Amacee 1700, (Ariterm Oy v/Tuomo Leppänen, 2024)

Under produksjon med AMACEE 1700 oppstår det et potensial for varmegjenvinning, noe som SoilCare har løsninger for å håndtere gjennom samarbeid med Ariterm OY. Ariterm er et finsk firma som leverer biovarmeløsninger og kjeler for produksjon av varme og varmtvann (Tietoa meistä, no date). Som man kan se av figur 11, har Ariterm i samarbeid med Soilcare kommet frem til en løsning som skal gå i lag med containerløsningen AMACEE 1700.

Med bakgrunn i en studie utført ved University of Helsinki, har SoilCare fastsatt material- og energibalanse for sitt system som man kan se av tabell fire og fem. Studien var et samarbeid mellom forskere og næringsliv, og hadde som formål å utarbeide den kunnskapen som trengtes for å kommersialisere biprodukter slik som bioolje. Det ble foretatt test-produksjon som del av studien, hvor man nærmere undersøkte oppbygningen av destillat (bioolje) og tjæren. I tillegg ble det tatt et-års-kontroll hvor man fikk resultater på stabiliteten av prøvene etter et år (Fagernäs *et al.*, 2011).

Tabell 4 - Energibalanse for Amacee 1700, (VTT Hidaspyro loppuraportti, 2011)

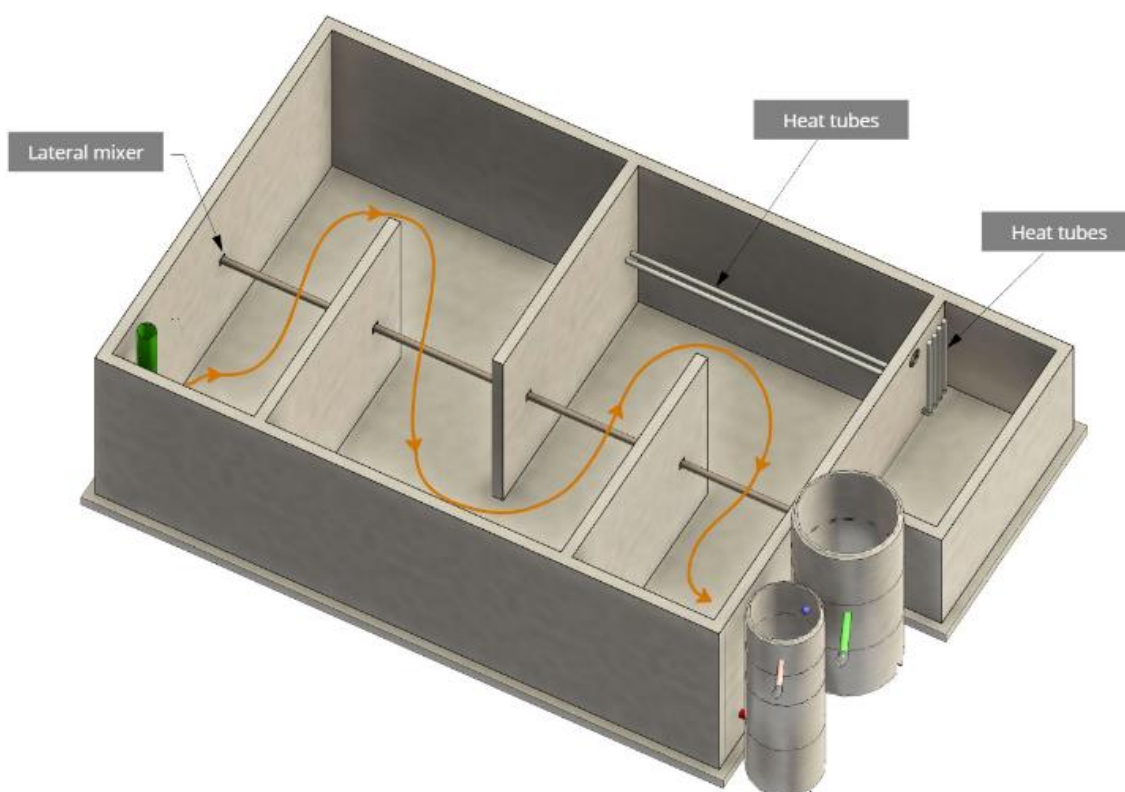
Energy contents	MWh	%
Energy of the wood input	16,85	100
In biochar produced	9,88	57
In dry gas	1,30	8
In water droplets of the gas	-0,09	-1
In organic compounds of the gas	2,84	17
In distillates from condenser	0,95	6
In tar from condenser	1,23	7
Energy in products	15,91	94
Burned in boiler		
Wood for heating	1,70	30
Dry gas	1,30	23
Water droplets in gas	-0,09	-2
Organic compounds	2,84	49
In total	5,75	100
Energy used in boiler related to input energy		34

Tabell 5 - Materialbalanse for Amacee 1700, (VTT Hidaspyro loppuraportti, 2011)

Material balance	kg	w %
Dry material of wood as input	3236	
Wood moisture	734	18,5
Wood for pyrolysis, total	3970	100
Dry matter of wood for heating	327	10,1
Water contents of wood for heating	74	
Wood for heating, not shown in balance	402	
Produced biochar	1100	28
Dry gases	580	14,6
Water vapor in gas	501	12,6
Water droplets	138	3,5
Organic compounds of gas	412	10,4
Materials burned in heater, except wood	1631	41
Organic materials in distillate	234	5,9
Water in distillate	616	15,5
Distillate total	850	21
Organic materials in tar	167	4,2
Water in tar	28	0,7
Tar total	195	5
Materials total	3776	95


3.1.3 Fermenteringsanlegg Folvengaard

Som beskrevet i delkapittel 2.1.4, har FolvenGaard biogassproduksjon som del av sin løsning i FolvenGaard-modellen (FGM). En skisse av hvordan dette fermenteringsanlegget ser ut og hvordan biomassen flyttes gjennom anlegget vises ved figur 12. Ny masse kommer inn gjennom det grønne innløpsrøret, samtidig som like mye ferdigbehandlet masse går ut av anlegget og inn i en tank/silo (Hanisch, 2023).



Figur 12 - Skisse av fermentator, (Hanisch, 2023)

Tabell 6 - Tilbud fra FolvenGaard til John Helge Vårdal, (privat kommunikasjon, 2024)

			
Fermenteringsanlegg for husdyrgjødsel			
John Helge Vårdal Dalsfjordvegen 2880 6982 Holmedal Mob. Nr.	Prosjektnr FG:	Kalv	0,0
	Prosjektnr IN:	Ammekyr/Oksar/kviger	0,0
		Kyr	346,1
		GVE	346,1
		Beitefrådrag	0,0
		Pr. Dag	Pr. År
Gjødsel		34,6	12 632 Tonn
		32,9	12 000 m3
Rågass		948	346 070 m3
CO2 Rågass		427	155 732 m3
		812	296 201 kg
CO2 forbrent gass		2 492	909 753 m3
		4 741	1 730 350 kg
CO2 Tot.		2 919	1 065 484 m3
		5 552	2 026 551 kg
Metan Rågass		1 724	629 218 m3
		1 189	434 161 kg
Energipot. Varme		5 196	1 896 464 Kwh
Energipot. Straum		1 715	625 833 Kwh
Energipot. varme frå straumprod.		3 429	1 251 666 Kwh
Energipot. Drivstoff			Kwh
			Liter
Internforbruk varme		1 039	379 293
Totalproduksjon varme		6 235	2 275 756

Tabell 6 viser et overslag på material- og energi gitt fra FolvenGaard til John Helge Vårdal, hvor man ser energipotensialet i produksjonen med fermenteringsanlegget.

3.1.4 Entos 45

Entos 45 er en av Lgems løsninger for algeproduksjon i fotobioreaktorer. Lgem er et nederlandsk firma spesialisert innen mikroalgeproduksjon og utvikling av produksjonssystemer. Entos 45 er først og fremst et innendørs produksjonsanlegg, som på industrielt nivå produserer ved hjelp av kunstig belysning ('Entos-45 Tubular glass photobioreactor (PBR)', no date).



Figur 13 - Lgem Entos 45 (Lgem, 2024)

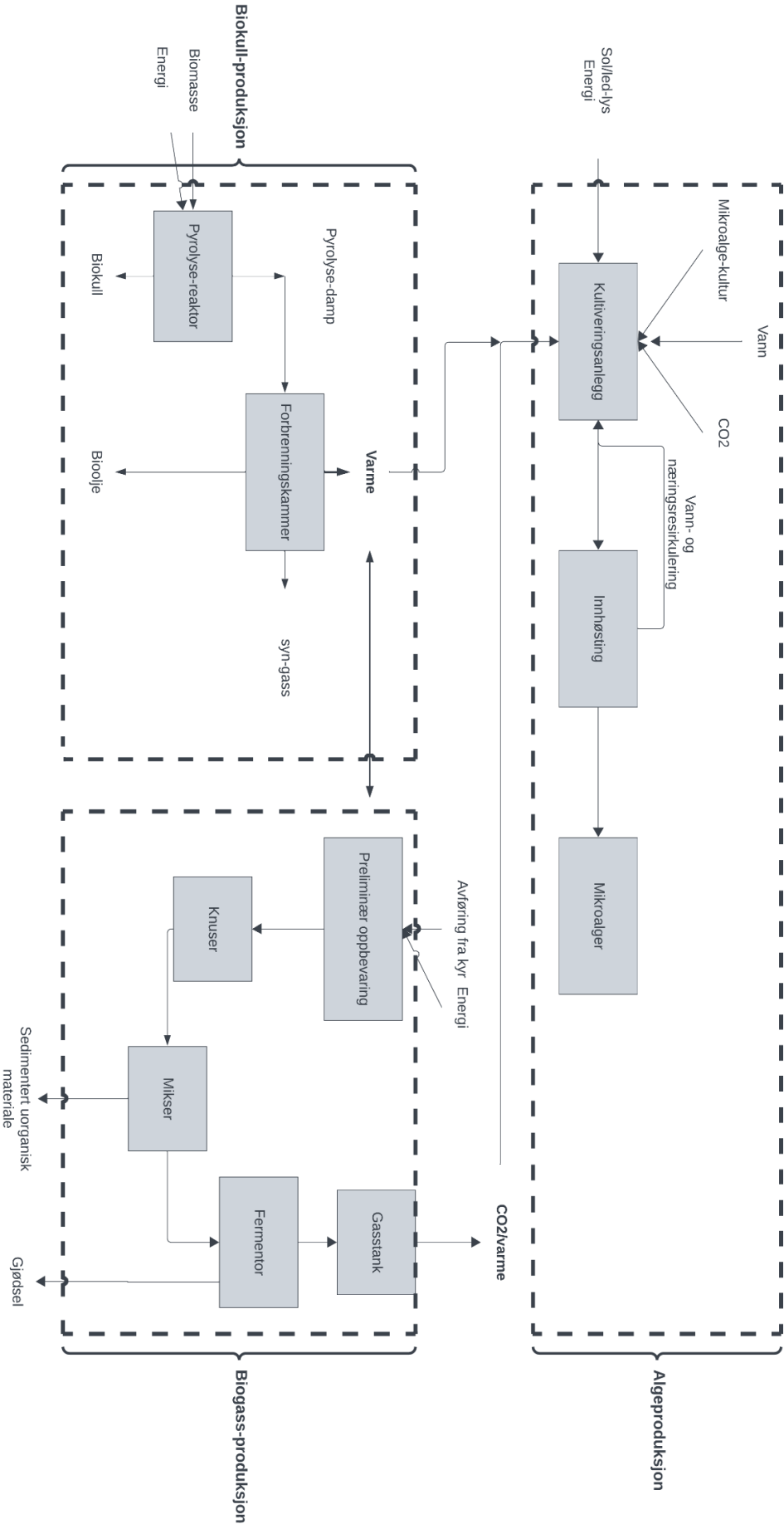
Entos 45 består av gjennomsiktige glassrør av borosilikat, organisert i tolv parallelle trippel-spiral-moduler som man kan se av figur 13. Systemet har et totalt reaktorvolum på 45 000 liter, hvorav det dimensjonerende operasjonelle volumet ligger på mellom 29250 – 38250

Tabell 7 - Material- og energibalanse for Entos 45

ENOS 45					
Algeproduksjon					
Energiinnhold	MWh		Materialbalanse	kg	l
Operasjonelt forbruk	0,002		Operasjonelt volum		38000
Belysning	0,25		CO2 input lav	95	
Oppvarming bygg			CO2 input høy	159,6	
Totalt forbruk	0,252		Algeproduksjon lav	38	
			Algeproduksjon høy	53,2	

Tabell 7 gir material- og energibalanse for Entos 45 algeproduksjon, som gitt av Lgem. Tallene kommer fra privat kommunikasjon med Lgem, uten videre begrunnelse i form av rapporter eller lignende. Det er dermed vanskelig å verifisere troverdigheten til regnskapet.

3.1.5 Kombinasjon



Figur 14 - Flyskjema kombinert system. (laget vha. Lucidapp)

Systemet som er planlagt i dette prosjektet skal bestå av biokull-produksjon, biogass-produksjon og alge-produksjon. Flytskjemaet i figur 15 viser hvordan en søker å utnytte samlokaliseringen ved å ha varmeoverføring fra og mellom biokull- og biogass-produksjonen til algeproduksjonen. Flytskjemaene for selve prosessene er rent prinsipielle og er ikke levert av de aktuelle leverandørene.

I tillegg til varmeoverføringen, ønsker man i dette prosjektet å ta nytte av rest CO₂ fra biogassproduksjonen og inn i algeproduksjon. Dette er noe som følger hva FolvenGaard gjør i sin FolvenGaard-Modell.

4 Metode

4.1 Litteraturstudie

Det ble i starten av prosjektarbeidet gjennomført en litteraturstudie. En litteraturstudie er å beskrive og utføre et omfattende søk etter relevant litteratur, med definerte inklusjons- og eksklusjonskriterier og velge ut litteratur basert på disse. En viktig del av det å gjennomføre en litteraturstudie er å ha klart definerte spørsmål en ønsker å belyse gjennom studien. Det var i denne studien et ønske om å hente inn både bred litteratur som ga grunnleggende kunnskap om temaet, samt litteratur om en spesifikk problemstilling. Dermed ble litteratursøket utført på forskjellige måter.

Litteratursøk ble gjennomført på plattformene Google Scholar, ResearchGate, NTNU Open, Web Of Science, Oria og Sintef for å innhente relevant forskning og tekniske dokumenter. I tillegg til forskningsrapporter, faglige artikler og avhandlinger, ble faglitteratur fra universitetsbiblioteket brukt for å gi en bred inngang til temaet. Litteraturen ble sortert etter relevans og dato, samtidig som en gjennomførte en vurdering av troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet for oppgaven. Vurderingen ble tatt gjennom en kvalitetssikring under gjennomgang av litteratur, hvor man tok stilling til pålitelighet og hvorvidt litteraturen var med å svare ut på det en ønsket å finne ut av.

Denne studien ble gjennomført med mål om å innhente litteratur som kunne gi en grunnleggende innføring i bioenergi, med fokus på de tre prosessene biokull-, biogass- og algeproduksjon, samtidig som en hadde hovedvekt på å finne litteratur som omhandlet synergi-effekter ved samlokalisering av disse prosessene. Det kan i denne studien ikke bekreftes at det finnes et tilsvarende anlegg som her er under planlegging, søket gikk derfor videre på å undersøke de studiene som delvis tar opp de synergi-effektene som prosjektet undersøker. I dette prosjektet gjelder det bruk av overskuddsvarme fra biokull- til biogassproduksjon og bruk av restCo₂ fra biogass- til algeproduksjon.

4.2 Datainnsamling

Data for de ulike prosessene er gitt av leverandørene for de gitte teknologiene, som er valgt av oppdragsgiver. Gjennom kontakt med leverandørene er informasjon om prosessene, teknologien og material- og energibalanse gitt. For biokull, biogass og algeproduksjon, er leverandørene henholdsvis Soilcare OY, FolvenGaard og Lgem.

4.3 Dimensjonering av tak

I dette kapitlet gjennomgås dimensjoneringen av takkonstruksjonen. Her presenteres gjennomføringen av oppgaven i kronologisk rekkefølge. Gitt gruppens sterkt begrensede forhåndskunnskaper gjeldende glass som byggemateriale, ble man raskt enig om at man måtte benytte seg av en mer generell og prøvende metode for å komme frem til korrekt resultat. Valget falt da på å utarbeide en generell kalkulator, basert på de tilgjengelige standardene, hvor man raskt kunne endre parametere og se konsekvensen av valgene. Dette ble gjort i Excel.

4.3.1 Oppdragsgivers parametere

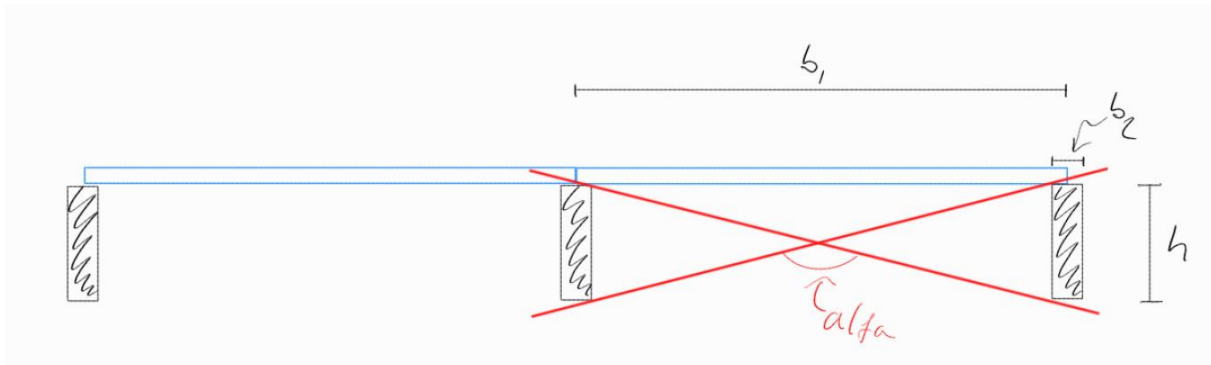
Utgangspunktet for oppgaven var oppdraget fra En To Tre Teknikk. Med utgangspunkt i dette ble noen parametere tillagt, etter en “samspillsfase” med oppdragsgiver. Disse skulle gruppen fokusere spesielt på under utarbeidelsen av forslaget, og var som følger:

- **Gjennomførbarhet:** Utarbeide en konstruksjon som lar seg bygges i praksis. Dette ble løst ved å blant annet hensynta komponentlengder for transport med lastebil, benytte seg av mest mulig like dimensjoner i like komponenter og modulerbarhet. Med modulerbarhet menes at romstørrelser, komponentlengder og senteravstander går opp i samme gangetabell, slik at like komponenter, i størst mulig grad blir av samme størrelser og lengder. I dette tilfellet tregangen.
- **Lysinnslipp:** Utarbeide ett system med stor andel glass, understøttet av en slankest mulig konstruksjon, for å slippe mest mulig lys inn. Ønskelig med en «dårlig» U-verdi på glasset for snøsmelting.

- **Økonomi:** I størst mulig grad benytte standardiserte dimensjoner og løsninger.
- **Byggstørrelse:**
 - a) **Grunnflate:** utgangspunkt på 45x60m, med rom for endring med tanke på modulerbarhet.
 - b) **Takvinkel:** 15 °, pulttak
 - c) **Laveste vegg:** 3m

4.3.2 Tilnærming til lysteori

For å vite hvordan konstruksjonen skulle utformes -og vurderes, for størst mulig lysutnyttelse i algeproduksjonen måtte teorien i pkt. 2.2.5 tilnærmes. Dette ble gjort gjennom rasjonell logisk tenkning, og man kom frem til at ett høyt areal med åpen glassflate, samt stor vinkel alfa ville gi best mulig utnyttelse av sollyset. Vinkelen alfa, kunne i så måte økes ved enten å øke spennvidden på glasset (b_1) og/eller redusere høyden (h) og/eller bredden (b_2) av understøttende bjelker.



Figur 15: Lysvinkel, egenutarbeidet figur

4.3.3 Fremgangsmåte

Lastberegning

Egenlast

Egenlasten til glasset ble funnet ut fra dimensjonen av glasskonsollen man fant i vedlegg D. Videre ble egenlasten av selve rammesystemet beregnet ut fra tverrsnittene man fant i vedlegg E. Egenlasten for tretaket ble beregnet etter oppbygningen i vedlegg C. Innledende ble alle disse beregningene gjennomført i Excel. For FEM-Design, hensyntar programmet selv egenlastene til valgte tverrsnitt. For de relevante materialers egenvekter ble *NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2019* (STANDARD-NORGE, 2019) benyttet. For det manuelle anslaget av stål, ble egenvekter utfra tabellene 1.3 og 1.4 i «*STÅLKONSTRUKSJONER -PROFILER OG FORMLER*» (Larsen, Clausen and Aalberg, 2003) benyttet.

Snølast og vindlast

Ove Slettens program Lastberegning ble benyttet for å finne lastverdier for snø og vind. Nødvendig innputt for programmet var byggets lokasjon, høyde over havet, byggets fysiske størrelser, takvinkel og omkringliggende terreng. Ut av programmet fikk man da ett dokument for snølasten, og ett for vindlasten. Se vedlegg A og vedlegg B for beregninger.

Dimensjonerende last

Ved å kombinere egenlastene, snø -og vindlasten i formlene for bruddgrensetilstanden, 6.10a og 6.10b, ble den dimensjonerende lasten funnet. Se vedlegg D, E og F for beregninger.

Dimensjonering av glasspaneler

Dimensjoneringen av glasspanelene ble gjennomført iht. standardene *NS-EN 16612:2019* (STANDARD-NORGE, 2020), *SN-CEN/TS 19100-1:2021* (STANDARD-NORGE, 2021a) og *SN-CN/TS 19100-2:2021* (STANDARD-NORGE, 2021b).



Figur 16:
Dimensjoneringspro
sessen

Videre ble påfølgende steg ansett som nødvendige, og matet inn i Excel for videre utarbeidelse og beregning av glasspanelene. Dimensjoneringen ble tilnærmet på en forsøksvis måte, altså prøvde gruppen seg frem til den mest egnede størrelsen på panelene, for dette prosjektet. Med grunnlag i oppdragsgivers ønske om varmegjennomgang for snøsmelting, ble tolags isolerglass valgt. Dimensjoneringsprosessen gjennomgås stegvis i de påfølgende punkter. Se ellers vedlegg D for beregningene.

Grunndata

Nødvendig grunndata som panelenes lengde og bredde, takvinkel, snø, vind -og egenlast, ψ , og γ -faktorer ble matet inn. Panelene ble i dette steget betraktet til å ligge i vater, altså trengte man da ikke å transponere egenlast og snølast for at disse skulle fungere ortogonalt på panelene som standarden krever. Dette ble gjort for å bevege seg til sikker side da man ikke behøver å transponere, og påfølgende reduserer snø og egenlasten, som man ville gjort om man hadde beregnet i takplanet.

I. NS-EN 16612

• 6 -Glassets mekaniske og fysiske egenskaper

Glassets mekaniske og fysiske egenskaper, fra standarden, er en nødvendighet for å kunne gjennomføre de korrekte beregningene. Disse fremgikk av dette punktet.

• 7 -Lastenes påvirkning

Her ble lastene matet inn i *grunndata* kombinert i de relevante brudd -og bruksgrensetilstander etter standarden. Dette for å finne den belastningen glasspanelene i verste tilfelle utsettes for. Eller den dimensjonerende lasten som det kalles. Dette ble funnet å være snølast + vindlast (innvendig undertrykk) + egenvekten av glasspanelet.

• 8 -Styrke og stress

Den dimensjonerende spenningen man kan påføre glasset ble beregnet i dette steget.

Tilgrunn ble følgende variabler benyttet:

- k_v Iht. *Table 7 -Strengthening factor; Horizontal toughening*
- k_{mod} Iht. *Table 5 -Proposed factors for load duration*
- k_{sp} Iht. *Table 4 -Factor for the glass surface profile; Float glass, As produced*

- $f_{g;k}$ Iht. *SN-CEN/TS 19100-1:2021; Table 5.2 -Characteristic bending strength for design for basic soda lime silicate float glass*
- $f_{b;k}$ Iht. *Table 6 -Values of characteristic bending strength for prestressed glass; enamelled float or drawn sheet glass; thermally toughend safety glass...*
- $\gamma_{M;A}$ Iht. *Table 1 -Proposed values of the material partial factor*
- $\gamma_{M;v}$ Iht. *Table 1 -Proposed values of the material partial factor*

- **9 -Beregningsprinsipper og forutsetninger**

Største tillatte nedbøyning, i millimeter, ble beregnet i dette steget. Kravet til nedbøyning var $\frac{L}{65} \leq 50 \text{ mm}$.

- **Tillegg B**

Selve bøyestress og nedbøyning ble beregnet i dette steget. Såfremt resultatene av bøyestress og nedbøyning for eksternt og internt panel separat, her ble funnet å være lavere enn hva man fikk som dimensjonerende verdier i 8.2.1 og 9.1.4, ble panelet ansett å være tilstrekkelig.

Bøyespenningene ble også kombinert med spenninger fra pkt. *C.4 -Termisk stress* fra *SN-CEN/TS 19100-1*. Dette er å anse som et urealistisk kombinasjonsbilde, da bøyespenningene fordrer snølast, som ville påvirket temperaturfordelingen i panelene. Det er imidlertid å anse som å bevege seg til sikker side å betrakte ett slikt bilde.

- **Tillegg C**

I tillegg C, beregnes lastfordelingen mellom de to glasskomponentene man har i ett tolags-isolerglass. Viktig er det også å hensynta det interne trykket som kan oppstå i glasspaneler somfølge av høydeforskjeller mellom produksjonslokale og montasjested, kalt isokortrykk. I denne oppgaven ble det forutsatt at isokortrykket hensyntas av produsent av glasspaneler, i produksjonslokalene slik at dette kunne neglisjeres.

- **Tillegg D**

Ettersom det i de underliggende produksjonslokaler vil være sporadisk personopphold, var det nødvendig å benytte laminert glass for å unngå splinter ved et eventuelt brudd i glassene. Somfølge av dette får man en reduksjon av glasskomponentenes effektive

høyde, $h_{ef;W}$ for nedbøyningsberegning og $h_{ef;\sigma}$ for spenningsberegning.

Beregningen av effektiv høyde gjennomføres i tillegg D.

Den effektive høyden man får varierer med glassets oppbygning. I dette tilfellet; 8mm glass + 0,76mm film + 8mm glass for både ekstern og intern glasskomponent. Iht. kommentar under *Table D.2 -Load conditons*, ble filmen ansett å tilhøre *Stiffness family 0* og påfølgende ble $\omega = 0$. Altså ingen friksjonsoverføring via filmen mellom de to glasslagene.

II. SN-CEN/TS 19100-1

• C.4 -termisk stress

Store forskjeller i temperatur mellom to sider av samme glassflate, er kritisk og vil føre til store indre krefter og påfølgende sprekkdannelse. Dette hensyntas i dette punktet. For å komme fram til korrekt stress somfølge av temperaturforskjell, måtte temperaturfordelingen gjennom glasspanelet beregnes først. Dette ble gjort etter metode beskrevet på side 397 i «*TREHUS*» (Edvardsen and Ramstad, 2020). Deretter kunne beregning for ekstern og intern glassflate foretas etter standardens metode, med de respektive temperaturforskjellene over flatene.

III. SN-CEN/TS 19100-2

• Tillegg B

Med grunnlag i teorien beskrevet i "2.2.4 *Laster -Resonans / Harmonisk frekvens*» er det nødvendig å kontrollere panelene for den naturlige frekvensen. Dette ble gjort iht. Standarden, og det strengeste kravet ble fulgt.

IV. Tilnærming for skjær og bøyemoment

• Egenutarbeidet tilnærming av skjær

Som en konservativ tilnærming for skjær, ble glasspanelene sett på som to-veis dekker i begge lengderetningene a og b. For hjørnene ble spenningene tillagt hverandre og ganget med en sikkerhetsfaktor, altså $V, a + V, b$

- **Egenutarbeidet kontroll for bøyemoment**

Kontrollen av bøyemoment ble utført etter samme prinsipp som tilnærmingen til skjær; som to-veis dekker i lengderetningene a og b.

Manuelt anslag stål

Ett manuelt anslag av stålprofilene ble foretatt i Excel for å ha innledende dimensjoner til modellering i FEM-Design, og som en kontroll av dette programmet. Merk derfor at anslagene er gjort på en meget forenklet måte, med optimale parametere. Altså er det antatt gunstigste tilfelle for tverrsnitt, og derfor ikke gjennomført tverrsnittsklassifisering, vippekontroll eller branndimensjonering. Punktlaster ble transponert til jevnt fordelte laster. Dette sikrer at man får den absolutt minste profilen som resultat, og at man derfor på ingen måte skal bevege seg under dette tverrsnittet under modelleringen i FEM-Design. Likt eller større tverrsnitt i FEM-Design er derimot rimelig, og forventet.

Sperrer, kjemslinger og hovedbjelker

Dimensjoneringen av sperrer, kjemslinger og hovedbjelker følger tilnærmet samme teori og prosedyre. Forskjellen ble at sperrene går kontinuerlig over to spenn, og benytter seg av 3. momentslikning for redusert nedbøyning, mens kjemslingene ble betraktet som fast innspent i begge ender, og dragerne som fritt opplagt. For dragerne er dette på grunn av begrensninger i transportlengde. De foretatte stegene listes under i kronologisk rekkefølge. For selve beregningene, se vedlegg E.

- **Dimensjonerende last**

Innledende ble den dimensjonerende lasten, q_d , identifisert ved å benytte teorien beskrevet i punkt 2.2.3 og lastene beskrevet i «*Lastberegning*» tidligere i inneværende punkt.

- **Lastanalyse**

Den verste påførte moment -og skjærkraften måtte lokaliseres, for å sikre at bjelken tålte den påførte lasten. Gitt valget om modularitet mellom komponentene tidligere i prosessen, kunne man enkelt anta at den største momentkraften opptrådte midt i dragerne og kjemslingene, og over midtopplager eller i felt for sperrene. Dermed

kunne man transponere det som strengt tatt opptrådte som punktlaster til en jevnt fordelt last, for videre komponenter hvor dette var mulig og relevant. For lengre bjelker gir dette typisk større opptredende moment og skjærkraft, og er i så måte til sikker side.

- **Dimensjonering for momentkraft**

For å finne et ståltversnitt, kapabelt til å motstå de opptredende krefter, ble nødvendig motstandsmoment $W_{y,min}$ funnet. Dette ble igjen brukt for å finne et tversnitt i TABELL 1.3 og 1.4 i «STÅLKONSTRUKSJONER -PROFILER OG FORMLER» (Larsen, Clausen and Aalberg, 2003) med et større motstandsmoment. Deretter prøvde man igjen, med ny egenlast. Dette ble repetert, helt til man sørget for å ha en restkapasitet på rundt 5%.

- **Dimensjonering for skjærkraft**

For at bjelken skulle holde for skjær, ble minimumsarealet, A_{min} , funnet. Deretter sørget man for at arealet for det valgte tversnittet var større enn dette. For H-bjelken utnyttet man kun arealet av steget. Deretter ble det utført en skjærspenningskontroll og en restkapasitetskontroll.

- **Nedbøyningskontroll**

Til slutt ble en nedbøyningskontroll gjennomført. Dette for å sikre at valgt tversnitt klarte et nedbøyningskrav. Ettersom stålrammen ble understøttende for glasset, fulgte nedbøyningskravene av «SN-CEN/TS 19100-2:2021; Table 9.1 -Typical deflection limits for glass glass components of deformation class 2 – SLS» (STANDARD-NORGE, 2021b). Siden stålet ble montert i ett større system, ble kravene økt av gruppen og følgende benyttet:

Tabell 8: Nedbøyningskrav og benyttede verdier

Komponent	Krav	Benyttet
Sperre	5mm + L/300	L/350
Kjemsling	L/200	L/300
Hovedbjelke	L/250	L/650

Lastkombinasjonene 6.14b, 6.15b og 6.16b ble benyttet.

Valget falt på å benytte 6.14b for å ha størst mulig sikkerhet mot knusing i glasset somfølge av nedbøyning i rammesystemet. Om valgt tverrsnitt ikke holdt nedbøyningskravet, ble tverrsnittet økt til kravet ble overholdt.

Søyler

- **Identifisere kritisk søyle**

Det første steget innebar å identifisere den kritiske søylen. Altså den tyngst belastede søylen med størst knekk lengde. Dette ble funnet å være de lengste søylene hvor to HE-B-bjelker, som understøtter midtopplageret på sperrene, møtes.

- **Lastberegning**

Lastberegningen i dette tilfellet ble meget enkelt. Her tok man opplagerkraften fra dimensjoneringen av HE-B-bjolkene og ganget med to, ettersom to bjelker møttes over søylen. Dette gav normalkraften søylen belastes med.

- **Reduksjonsfaktor**

Reduksjonsfaktoren som hensyntar kapasitetsreduksjon pga. søylens knekk lengde ble beregnet.

- **Beregne kapasitet og restkapasitet**

Til slutt ble tverrsnittets kapasitet beregnet og kontrollert for om søylen tålte belastningene, og om dette gav en tilstrekkelig restkapasitet.

Modellering og dimensjonering i FEM-Design

Innledningsvis startet gruppen med å lære seg programmet. Dette ble gjort gjennom prøving, feiling og programmets eget nettkurs. Når kunnskapsnivået var tilstrekkelig, gikk gruppen videre. Neste steg var modellering og dimensjonering av modellen. Dette ble utført gjennom følgende steg:

- **Modellering**

Ved å benytte dimensjonene funnet i anslaget tidligere, ble en statisk modell av byggets takkonstruksjon utarbeidet. Ytterveggene er tiltenkt utført i betong, og fungerer som avstivningssystem også for taksystemet, men ble ikke på noen måte beregnet eller dimensjonert videre i denne modellen. I hovedsak ble alle komponenter i modellen leddet i begge ender, foruten kjemslingene. Disse ble fast innspent for å redusere nedbøyninger i glass-skjøten. Glasspaneler klarte ikke programmet å håndtere, slik at egenlasten der måtte tillegges som en egen last i modellen.

- **Laster og lastkombinasjoner**

Når den statiske modellen var utarbeidet, kunne lastene som funnet tidligere, og benyttet i stålanslaget, legges på modellen og lastkombinasjoner utarbeides. Kun snø, vind, egenlasten til glasspanelene og den isolerte delen av taket var nødvendig å legge inn. Programmet hensyntok selv stålets egenlast.

- **Analyse**

Neste steg var å beregne lastpåvirkningene på den statiske modellen. Disse beregningene utførte FEM-Design selv, iht. relevant Norsk Standard, men bestemmelse av nedbøyningslengder og krav måtte manuelt kontrolleres og modifiseres. I dette steget tok man også og analyserte og verifiserte at modellen håndterte nedbøyningene somfølge av de påsatte lastpåvirkningene. De komponenter som ikke overholdt kravene ble modifisert helt til de håndterte påsatt lastbilde. Modifiseringen ble gjort i neste steg, «*Ståldesign*», hvor det var en innebygget revideringsfunksjon av tverrsnitt.

- **Ståldesign**

I ståldesign kunne modellen verifiseres for bruddgrensetilstanden. Om komponenter ikke holdt ble disse revidert med økt tverrsnitt, forså beregnet og kontrollert om igjen. Dette steget ble, om nødvendig, repetert helt til man fant minste nødvendige tverrsnitt.

For resultater og inndata, se vedlegg F.

Brannkontroll

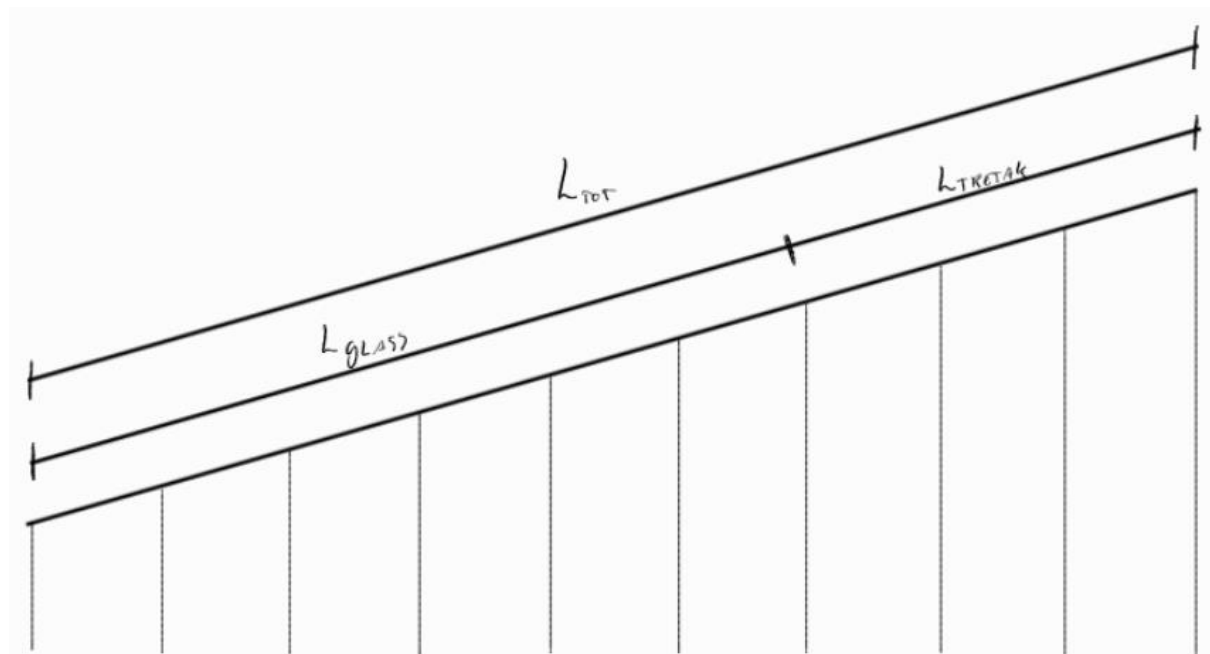
Innledende ble brannkrav til konstruksjonen funnet iht. teori beskrevet i pkt. 2.2.5 og 2.2.6. Dette ble funnet å være R30. En brannkontroll av systemet ble så gjennomført ved hjelp av FEM-Designs innebygde funksjon for dette. Denne ble gjennomført med ubehandlede komponenter. Dette for å identifisere hvilke som holdt og ikke i ett branntilløp. Det ble ikke foretatt videre revideringer, beregninger eller satt inn mottiltak, gitt oppgavens begrensninger. Vanlige tiltak som kan benyttes på de underslåtte komponenter kan være å behandle med f.eks. brannmaling eller brannisolere. For beregninger, se vedlegg F.

U-verdi og temperaturberegninger

U-verdiberegninger for glasspanelene og tretaket, ble gjennomført etter pkt. 6.5.2 -Forenklet metode for u-verdiberegning i standarden «NS-EN ISO 6946 -Bygningskomponenter og -elementer, Varmemotstand og varmegjennomgangskoeffisienter, Beregningsmetoder». Se vedlegg D og G for beregninger. Som høyde på tretaket ble 0,5 meter benyttet. Dette grunnet kostnad og gjennomførbarhet. Større høyde enn dette gir unødvendige utfordringer. Den totale U-verdien for takflaten ble så anslått ved å ta den prosentvise fordelingen over lengden av takets snitt.

Altså:

$$U_{Glass} * \frac{L_{Glass}}{L_{tot}} + U_{Tretak} * \frac{L_{Tretak}}{L_{tot}}, \text{ der alle lengder er i takflatens fall. Se figur under.}$$



Figur 17: Takflatens snitt og fordeling

Temperaturfordelingen gjennom glasspanelene ble gjennomført i henhold til metode beskrevet på side 397 i «*TREHUS*» (Edvardsen and Ramstad, 2020). Dette er en metode som baserer seg på prosentvis fordeling gjennom lagene, med utgangspunkt i lagenes respektive termiske motstand. Se «*TREHUS-SINTEF akademisk forlag, 6. opplag; Side 397 - Temperaturfordeling*» i vedlegg D for beregning og grafisk fremstilling.

4.4 Programvare

4.4.1 DAK

DAK (Data-Assistert-Konstruksjon) er teknisk tegning utført ved hjelp av datamaskin, deriblant arkitektur. I denne oppgaven benyttes Revit, som er et BIM- program (Bygnings Informasjons Modellering) levert av Autodesk, til å utarbeide skisse av bygningsmassen.

4.4.2 GIS

GIS (Geografiske Informasjons Systemer) er programvare for innsamling, visualisering og analyse av geografiske data. I denne oppgaven benyttes ArcGis, som er et GIS-program levert av Esri, til å utarbeide forslag til detaljregulering for det aktuelle området av prosjektet.

5 Resultater

5.1 Material- og energibalanse

Tabell 9 - material/energi-balanse kombinert

Tilgjengelig energi	MWh		Tilgjengelig material	kg	m3
Biokull	17,25		Biokull		
Biogass	5,196		Biogass		
Algeproduksjon			karbondioksid	812	427
			Algeproduksjon		
Forbruk energi	MWh		Forbruk material	kg	m3
Biokull	0,9		Biokull		
Biogass	1,039		Biogass		
Algeproduksjon	0,756		Algeproduksjon		
			karbondioksid lav	285	
			karbondioksid høy	478,8	
Anlegget består av tre biokull-containerer, et fermenteringsanlegg og tre algeproduksjonsmoduler					

I tabell ni er det laget et regnskap for material- og energi til det samlede systemet. Systemet består av tre Amacee 1700, et fermenteringsanlegg og tre algeproduksjonsmoduler. Med utgangspunkt i dataene for de ulike teknologiene og det prinsipielle flytskjemaet til systemet, som vist i systembeskrivelsen, er det satt opp tilgjengelig og forbruk av energi og material. Energi vil i dette regnskapet være både varmeenergi og strøm. Regnskapet tar for seg en full rotasjon med den sekvensielle biokullproduksjons-driften. Med andre ord, tre batcher med biokull, noe som vil ta rundt tre driftsdøgn.

Tabell 10 - CO2 besparelse for systemet

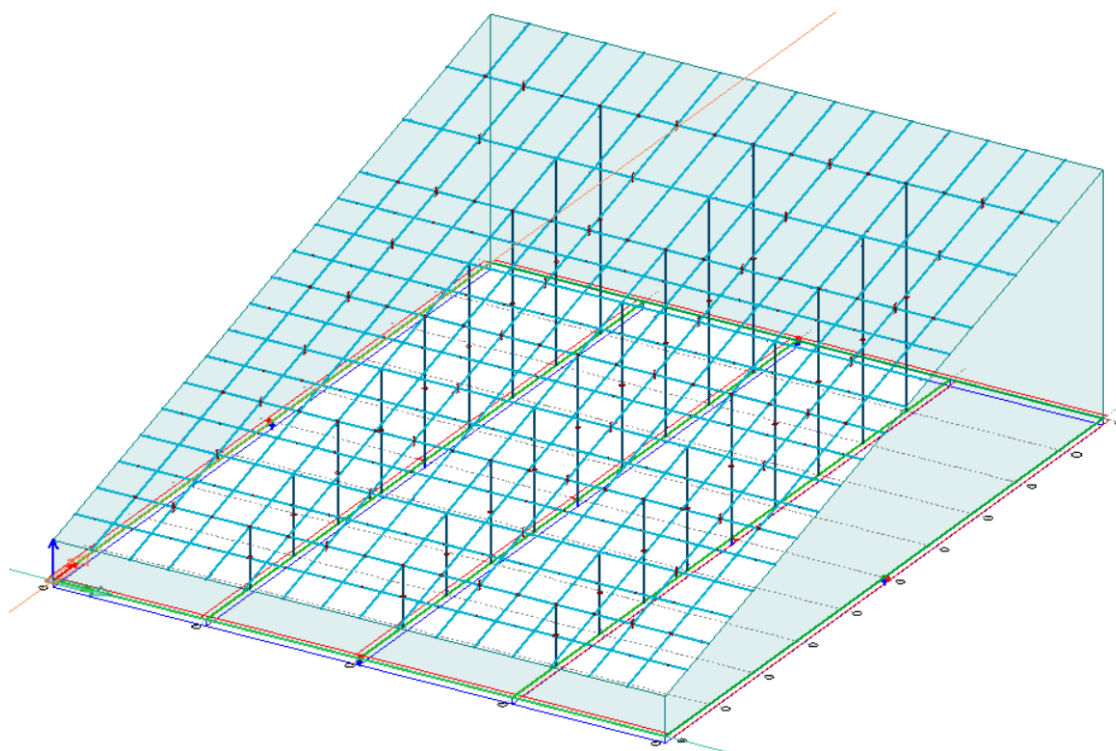
CO2 besparelse	kg/tonn	tonn	kg CO2
Biokull	3200	3,3	10560
Biogass			
Algeproduksjon			96,9
CO2 per dag			10656,9
CO2 230 driftsdøgn			2451087
		tonn	2451,087

I tabell ti er det satt opp et regnskap for hvor mye CO2 besparelse man kan få av systemet i drift. Her er det først og fremst biokullproduksjon som lar seg kvantifisere i denne oppgaven. I tillegg er posten for algeproduksjon fylt inn med CO2-input gitt i material- og energibalansen for ENTOS 45.

5.2 Dimensjonering av tak

Resultatene av dimensjoneringen følger under. Analysen av resultatene kommer som en del av diskusjonen.

5.2.1 Skisse



Figur 18: Skisse takkonstruksjon, fra FEM-Design, utarbeidet av Eivind Kjeldset Skjerve

Bredde: 48 m

Lengde: 57,95 m

Høyde: 3 m - 18,528 m

5.2.2 Materialvalg

Bæresystem: Stål

Glasspaneler: Laminert sikkerhetsglass + argongass

5.2.3 U-verdi

Glasspaneler: $0,728 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tretak: $0,082 \text{ W/m}^2\text{K}$

Takflaten: $0,534 \text{ W/m}^2\text{K}$

5.2.4 Dimensjoner

Glasspaneler: 16mm laminertglass + 20mm argon + 16mm laminertglass

Sperrer: VKR 180x180x10, S355

Kjemslinger: VKR 100x100x10, S355

Dragere: HE-B 650, S355

Søyler: VKR 300x300x10, S355

5.2.5 Lys

Fritt glassareal: $8,18 \text{ m}^2$

Vinkel, alfa: $172,7^\circ$

5.3 Økonomi

5.3.1 Forstudie økonomisk analyse

Dette anlegget har flere potensielle inntektskilder, hvor man har hoved-produkter som biokull og biogass, men samtidig også bi-produkter som bioolje og gjødsel. Flere av produktene må anses som potensielle inntektskilder, da de ikke nødvendigvis ikke er lett omsettbare i det aktuelle markedet.

Tabell 11 - Oversikt over inntekter, utgifter og investeringer knyttet til oppstart og drift

Potensielle inntektskilder			
	Biokull-produksjon	Biogass-produksjon	Alge-produksjon
	Biokull	Biogass	Algemasse
	Bioolje	Gjødsel	
	Syngass	Strøm/varme	
	Varme		
Utgiftskilder			
	Biokull-produksjon	Biogass-produksjon	Alge-produksjon
	Energi	Energi	Energi
	Innsatsmiddel	Innsatsmiddel	CO2
			Algekultur
Investeringer			
	Biokull-produksjon	Biogass-produksjon	Alge-produksjon
	3 x Amacee 1700	Fermenteringsanlegg	3 x Entos 45
	Varmegjenvinning		
		Bygg	
		Div. teknisk utstyr/kobling	

I tabell 11 er det laget en oversikt over de største postene innenfor inntekter, kostnader og investeringer i prosjektet. I tillegg til det som er oppført kommer lønn/pensjon, kjøp av nødvendige maskiner/utstyr og administrasjonskostnader.

5.3.2 SWOT-analyse

Tabell 12 - SWOT-analyse

Event-factor review			
Hendelse		Faktor	
Utfall	Beskrivelse	Styrker	Svakheter
Suksess	Oppstart prosjekt	Planforslag til behandling. I kontakt m/ interessenter. Samarbeid med bransjen. Innhenting forslag.	Ikke detaljprosjektert. Planforslag ikke ferdig behandlet. Søknadsprosess innovasjon Norge.
	Interessenter i markedet	Lokalt kjennskap. Bransje-kontakter. Tidsriktig.	Ingen markedsføring. Ungt marked for flere produkter.
	Godkjent søknad Innovasjon Norge	Engasjement. Landbrukstiltak. Klimatiltak.	Økonomisk analyse ikke utført. Ikke en etablert utbygger/oppdragsgiver.
Fiasko	Ikke nok kapital	Lokalt kjennskap. Lovende konsept. Bred relevans.	Trolig avhengig av Innovasjon Norge. Store initiale investeringer. Ingen private investorer.
	Feil i system/konsept	Samarbeid med leverandører. Flere bidragsyttere.	Ikke fullstendig kompetanse innad.
	Avslag grunnet påvirkning på lokalmiljø (støy, lukt, visuelt)	Planlagt tiltak mot visuelt og støy. Samarbeid med bransjen.	Ikke utført siktanalyse. Ikke planlagt hvordan lukt skal håndteres. Kort avstand til nabobebyggelse.

6 Diskusjon

I dette kapittelet diskuteres arbeidet som er gjort i denne oppgaven. Material- og energibalansene diskuteres med hensyn på samlokalisering og CO₂-fangst, i tillegg til at behov for varmelagring i anlegget diskuteres. Deretter følger en gjennomgang av det som er fremlagt i økonomidelen, før man diskuterer arbeidet med dimensjonering av takkonstruksjon. Til slutt blir prosjektet og konseptet diskutert i et bærekrafts-perspektiv opp mot FN's bærekraftsmål.

6.1 Material- og energibalanse

Det er hentet inn material- og energibalanser for alle de aktuelle teknologiene som skal samlokaliseres. Disse regnskapene støtter opp om flytskjemaet i kapittel 3.1.5, som foreslår varmeoverføring mellom biokull-, biogass- og til algeproduksjon samt CO₂ fra biogassproduksjonen til algeproduksjonen. Material- og energioverføringen støttes opp av hva som blir utført i FolvenGaard-Modellen.

Tallene som blir presentert i tabell ni representerer ikke faktisk mengde energi en kan ta nytte av til andre formål, men hva som ut ifra material- og energibalansene er i overskudd. For å nærmere vurdere overskuddenergi, må en ha mer informasjon om hvordan en skal overføre energien og energieffektivitet på den teknologien.

Det er ikke i denne oppgaven fastsatt hvorvidt og eventuelt hvor mye varmeenergi eller energi som er i overskudd fra prosessen som helhet. Dette systemet krever at produksjonslokalet holder en stabil temperatur gjennom produksjonen, som bestemmes av algeproduksjonen. Anslagsvis vil det være ønskelig med en temperatur på mellom 20-30 grader celsius i tilknytning algeproduksjon, det vil derfor være en stor fordel å ha overskuddsvarme lagret til bruk gjennom kaldere perioder gjennom året.

Som vist ved skissene i kapittel 3.1.1, er det planlagt takkonstruksjon i isolerglass for å utnytte sollys i algeproduksjonen. Dette fører i gjengjeld til et ikke ubetydelig varmetap, som fører til et økt behov for oppvarming av produksjonslokalet. I den forbindelse bør en undersøke videre måter å lagre eventuell overskuddsenergi.

Som vist ved skissene planlegges det å bygge fra fjellnivå, det kan derfor være aktuelt å utarbeide løsninger for varmelagring i fjell.

6.2 Økonomi

Det er i denne oppgaven ikke utarbeidet noe analyse på hvorvidt prosjektet kan være lønnsomt eller ikke, da dette havnet utenfor oppgavens arbeidsmengde. Det er satt opp en liste over potensielle inntektskilder, utgiftskilder og nødvendige investeringer. I systemet er det biokull, biogass og algemasse som er hovedprodukter, mens bioolje, syngass og gjødsel vil være biprodukter. I tillegg vil det potensielt være mulig å selge strøm og/eller varme ved overskudd.

Dette er et investeringstungt prosjekt, hvor man ønsker å ha tre biokull-produksjons containere, et fermenteringsanlegg samt tre algeproduksjonsanlegg. I tillegg er det en betydelig investering som skal til for å realisere bygg og anlegg som planlagt, med et stort bygg samt en tilknyttet dypvannskai.

I tabell 12 er det utarbeidet en SWOT-analyse, hvor styrker og svakheter ved prosjektet og konseptet tas opp. De viktigste styrkene er lokalt kjennskap, altså at man har kommunikasjon med bønder som kan levere biomasse og potensielle kunder og at man har tilgang på samarbeid med representanter for bransjen. De viktigste svakhetene er at prosjektet foreløpig ikke er lokalt forankret, man har ikke private investorer og man er dermed avhengig av å få godkjent søknad i Innovasjon Norge.

6.3 Dimensjonering av takkonstruksjon

På veien for å besvare problemstillingen, ble det gjort en del valg og vurderinger. For å få frem vurderingene som er gjort på best mulig måte, gjennomgås dimensjoneringens ulike faser punktvis. I tillegg diskuteres det hvorvidt fremgangsmetoder, løsninger og resultater har vært vellykket og om de er til å stole på.

6.3.1 Oppdragsgivers parametere

Den innledende samspillsfasen med oppdragsgiver gav stor nytteverdi for gruppen i det videre prosjektarbeidet. Klare rammer og forventninger fra begge parter ble etablert og utfallet av prosessen ble i alt gode, realistiske rammer, med rom for tilpasning og kreativitet underveis. Dette sikret videre ett godt og konkret produksjonsgrunnlag for bearbeidelse, som forhåpentligvis har gitt ett resultat av nytteverdi for oppdragsgiver.

6.3.2 Tilnærming til lysteori

Lysteorien benyttet i denne oppgaven baserte seg på enkleste sort. Dette gav igjen primitive parametere basert på intuisjon og logikk. Dette synes imidlertid gruppen har fungert greit, og gitt et tilstrekkelig vurderingsgrunnlag for fornuftig vurdering av konstruksjonssystemet. Om en mer detaljert og grundigere teori, og bruk av denne ville tilført oppgaven en merverdi kan ikke benektes. Imidlertid er gruppen fornøyd med måten lysteorien ble tilnærmet på, og tror ikke merverdien av detalj ville tilført en betydelig tyngde til oppgaven, eller i noen særlig grad endret resultatet.

6.3.3 Laster -og lastkombinering

OS-prog -Lastberegning var ett enkelt og intuitivt program, hvor resultatene for vind -og snølast fremsto som rimelige. Videre ble lastkombineringen foretatt med antatt verste tilfelle; egenlast + snølast + vindlast (undertrykk). Sug over flaten ble sett bort fra, da egenlasten kansellerer nok til at snølasten blir å anse som dominerende i ett kombinasjonsbilde. Videre ble største vindlast som virker i samme retning som snø -og egenlasten inkludert, altså undertrykk inne i bygget. Dette er å anse som et urealistisk lastbilde, ettersom vinden i praksis vil redusere snølasten, men ble allikevel betraktet da man ivaretar ett «øyeblikksbilde», og trekker til konservativ side.

6.3.4 Dimensjonering av glasspaneler

Gruppens innledende kunnskaper om glassets egenskaper, og medfølgende dimensjoneringsprosedyre, var sterkt begrenset. Dette gav en meget utfordrende, men dog svært lærerik prosess.

Valget om å innledningsvis basere seg på en eksperimentell fremgangsmåte, og utforme en Excel-kalkulator viste seg å være ett godt valg. Dette på grunn av standardens omfattende beregningsgrunnlag, hvor endrede parametere gav store endringer i videre faktorer, beregninger og resultat. Gruppen sparte i helhet mye tid, samt at en slik fremgangsmåte gav mulighet til å i større grad optimalisere paneloppbygging -og utforming. Gruppen hadde tross alt ingen innledende kunnskap om hvor stor kapasitetsreduksjon rektangulære paneler faktisk gav, i forhold til kvadratiske.

De valgte produksjonsmetodene av glass og løsninger som er lagt til grunn, skal etter gruppens formening gi realistiske dimensjoner og spenninger. Valget om å kontrollere resultatene fra beregningene etter standardens metode, med ett enkelt manuelt anslag basert på tillært grunnleggende mekanikk, er gruppen fornøyd med at ble gjennomført. Det gav gruppen stor trygghet i gjennomføringen og resultatet, å se at kontrollen stemte noenlunde med standardenes resultat.

6.3.5 Dimensjonering av stål

Det manuelle anslaget som ble gjort innledningsvis, er gruppen godt fornøyd med at ble gjennomført. Anslaget gav en sikkerhet inn i programmet, hvor man da visste hva som ville bli den absolutt nedre tversnittsgrensen for komponentene. Samtidig hadde man en innledende dimensjon som trolig har redusert antall revideringer i programmet, og i så måte også redusert rommet for feilmargin som kan oppstå under dimensjonering i programvare.

Når det gjelder sperrere, kunne disse vært kontrollert som fritt opplagt, i tillegg til kontinuerlig over to spenn. Med grunnlag i erfaringer opparbeidet igjennom studieforløpet og tidligere konstruksjonsfag, er gruppen imidlertid trygg på at dette ikke ville gitt en bedre løsning, og at resultatet i så måte ikke ville blitt endret. Dette på grunn av overliggende glasspanelers relativt strenge nedbøyningskrav, og spesielt de nedbøyningskrav gruppen selv har satt.

Samlet sett er gruppen fornøyd med resultatene, og anser konstruksjonsutformingen som godt egnet for tiltenkt formål.

Manuelt anslag

Resultatene av anslaget ble utført på en forenklet, men konservativ måte. Dette har fungert godt etter gruppens formening ettersom det gav en innledende grunnstruktur for FEM-modellen, samt en sikkerhet opp mot å oppdage grove feil i resultatene fra FEM-Design. Man kunne i anslaget gått dypere inn i, og i større grad finregnet for å treffe bedre på hva FEM-Design fikk som endelig resultat. Dette ble imidlertid ansett som unødvendig og tidkrevende. Ved manuelle beregninger klarer man dessuten ikke å hensynta systemeffekter som følge av bjelke på bjelke, verken like effektivt eller detaljert, som det ett elementmetode-program som FEM-Design klarer.

FEM-Design

FEM-Design viste seg å være ett enkelt og intuitivt program, med flere smarte innebygde funksjoner. Programmets eget digitale læreverk var også godt, og til stor hjelp. Resultatene gruppen har fått fremstår som troverdige, og gav som forventet likt, eller noe større tverrsnitt enn hva det innledende anslaget tilsa. Andre bæresystemer og profiler kunne blitt kontrollert, men gruppen føler seg sikker på at den utarbeidede løsning er av de bedre, totalt sett. Det eneste gruppen har savnet ved programmet, er funksjoner for dimensjonering av glass. Selv om gruppen imidlertid er trygg i de resultater som har blitt utarbeidet på glasspanelene, ville det gitt en trygghet i det å kunne modellere og kontrollere glasspanelene i FEM-Design.

6.3.6 Brannkontroll

Gitt oppgavens hovedfokus og begrensninger, falt valget på å gjennomføre en forenklet brannkontroll av konstruksjonen, hvor komponentene skulle verifiseres for om de holdt for ett branntilløp i en ubehandlet tilstand. Altså fullstendig eksponert stål. Denne ble gjennomført med FEM-Designs innebyggede funksjon til slikt formål. Dette gjorde identifiseringen av komponentene enkelt og intuitivt. For de komponenter som ble funnet å ikke holde, må man fatte tiltak. Vanligste måte å beskytte slike stålkonstruksjoner mot brann på, er å behandle med brannmaling, eller brannisolere med f.eks. Conlitt. Dette kunne vært utført, men ble sett bort fra med begrunnelse i oppgavens begrensninger.

6.3.7 U-verdi og temperaturberegninger

Ettersom U-verdi -og temperaturberegninger ikke lå i oppgavens hovedfokus, ble alle beregninger valgt å gjennomføres på forenklete måter. Disse baserer seg i hovedsak på %-vise fordelinger over flatene, og komponentenes varmemotstand. Resultatene av beregningene fremstår som troverdige, og gav tilstrekkelige og gode nok verdier inn i videre beregninger og vurderinger. Naturligvis kunne gruppen gått dypere i utarbeidelsen av beregningene, og muligens kommet frem til ett noe mer presist tallgrunnlag. Dette ville imidlertid vært en mer tidkrevende og nøysom prosess, og gruppen anså derfor dette som unødvendig for oppgavens utførelse, med grunnlag i oppdragsgivers bestilling og oppgavens natur. Gruppen ser ei heller at dette ville tilført en betydelig merverdi, eller på annen måte gitt en signifikant utslagsgivende effekt på resultatene.

6.3.8 Lys

Når det gjelder resultatene omhandlende lys og lys-innslipp, viser resultatene at dette konstruksjonssystemet har en stor grad av lysgjennomgang, når man ser bort fra faktorer som refleksjon og brytning over/gjennom glasset. Det frie glassarealet, altså arealet av glass som ikke understøttes av stål, reduseres med bare 9% for denne panelstørrelsen, og tilsvarer $8.17m^2$ av $9m^2$ per panel. Samtidig fikk man en vinkel alfa, altså en innslippsvinkel på hele $172,7^\circ$. Dette er altså en reduksjon på kun $7,3^\circ$ fra 180° . Hadde man hatt en innslippsvinkel på 180° , ville det tilsvart sollys inn i bygget hvis lyskilden ble liggende horisontalt i samme plan som taket, noe som i praksis er umulig! En reduksjon på kun $7,3^\circ$ er kort sagt ett meget tilfredsstillende resultat, som i stor grad skal kunne legge til rette for en høy grad av naturlig lys i algeproduksjonen.

6.4 Bærekraftsperspektiv

Implementeringen av et system som samlokaliserer flere ulike prosesser har et stort potensial for å øke bærekraften i bioenergi-anlegg. Systemet som her foreslås har bedre ressursutnyttning enn ved de respektive prosessene alene. Varme- og energioverskudd utnyttes mellom prosessene, samtidig som man utnytter restmaterial fra biogassproduksjonen til algeproduksjon. Dette fører til mindre utslipp av klimagassutslipp i tillegg til en optimalisering av energibruken til anlegget.

Hovedformålet med FN's bærekraftsmål nummer sju er å sikre billig, stabil og bærekraftig energi til alle. Dette prosjektet støtter opp om dette målet, ved å potensielt øke effektiviteten av bioenergianlegg. Samtidig som prosessene hver for seg bidrar til FN's bærekraftsmål nummer 13: Stoppe klimaendringene. Dette ved håndtering og bearbeiding av gjødsel fra landbruket, men også produksjon og bruk av biokull som karbonfangst.

7 Konklusjon

Dette arbeidet har ført til en bredere forståelse for problemstillingen beskrevet i seksjon 1.2. Prosjektet til oppdragsgiver er analysert tverrfaglig med fokus på bygg, material- og energibalanse, økonomi og bærekraft.

I samarbeid med oppdragsgiver ble det utarbeidet en skisse av bygningsmassen og takkonstruksjon, som ble brukt i dimensjonering basert på Finite Element Method. I utarbeidelse av skissen ble det lagt vekt på å tilpasse til algeproduksjon, hvor ønsket fra oppdragsgiver var å ta nytte av sollys ved hjelp av lys-innslipp i takkonstruksjonen. Skissen er utarbeidet med oppdragsgiver, hvor det er laget en Revit-modell som viser forslaget som er utviklet. I tillegg er den statiske modellen brukt til dimensjonering i FEMdesign vist. Det kan videre trekkes en slutning til at den utarbeidede og foreslåtte takkonstruksjon, i stor grad skal kunne muliggjøre nyttiggjørelse av sollys i algeproduksjon.

Det er utarbeidet et flytskjema som viser hvordan en tenker å utnytte samlokaliseringen av prosessene, hvor biogass- og algeproduksjon samsvarer med synergieffektene i FolvenGaard-modellen. Det er innhentet material- og energibalanser fra de leverandører som oppdragsgiver er i kontakt med, som støtter oppunder mulighetene for de synergieffekter en ønsker å oppnå ved det samlede systemet. Dette arbeidet kan fungere som grunnarbeid i fremtidig analyse av det foreslåtte systemet.

Det er satt opp en liste med inntektskilder, utgiftskilder og nødvendige investeringer. Denne listen bør oppdateres etter hvert som man får mer informasjon fra leverandørene angående de foreslåtte løsninger på for eksempel varmegjenvinning. Videre i prosjektet ventes det pristilbud fra samtlige leverandører, som vil være avgjørende for videre vurdering av det økonomiske aspektet.

Undersøkelse av bærekraft viser at prosjektet som helhet har et stort potensial til å bidra til flere av FN's bærekraftsmål.

8 Videre arbeid

For å fortsette dette arbeidet er det flere aspekter som bør undersøkes nærmere.

I utarbeidelse av forslaget til takkonstruksjon som i denne oppgaven er dimensjonert, er det flere aspekter som ikke ble utforsket videre. Det mest interessante her er vurdering av materialvalg, hvor man kunne redusert klimabelastningen betydelig ved å bruke trevirke istedenfor stål som konstruksjonsvirke. Det man da må undersøke er i hvor stor grad dette påvirker lysinnslipp, da man intuitivt vil få større dimensjoner på konstruksjonsdelene. Det bør også gjøres grundigere analyser av hvordan takvinkelen påvirker lysinnslipp til algeproduksjonen. Lys brytes og reflekteres over materialer slik som glass. Om en annen takvinkel ville hatt noe å si for utnyttelsen av sollyset, kunne vært spennende å sett på om ville gitt signifikante utslag på algeproduksjonen.

For selve dimensjoneringen bør man videre utføre detaljert brannkontroll, prosjektering av forbindelser og generell detaljprosjektering. Videre bør man også undersøke varmetap fra takkonstruksjonen og deretter vurdere om man bør velge trelags glasspaneler. Dette fordi byggets U-verdi kunne blitt betraktelig forbedret. Det ville derfor vært interessant å sett på hvilke konsekvenser den forbedrede U-verdien ville gitt. Man får lavere varmetap, men ville dette reduserte varmetapet ført til større mengder snø på taket? Ville dette i så fall påvirket algeproduksjonen i en vesentlig negativ grad, økonomisk sett?

Det er i denne oppgaven hentet inn material- og energibalanser for alle produksjonsanleggene, sammenkoblingene som må til i dette systemet for å få ønskede synergieffekter bør dimensjoneres. Med det menes å undersøke energitap ved varmegjenvinning og varmeoverføring, samt å ta i bruk CO₂ fra biogassproduksjonen i algeproduksjonen. I nær fremtid er det ventet at leverandørene kommer med sine pristilbud til oppdragsgiver, man bør da i tillegg innhente kalkulasjon for bygg og anlegg av en iterert skisse av bygningsmassen. Dette i tillegg til en økonomisk analyse av produktene og markedet dets, vil gjøre at man har et veldig godt grunnlag for å avgjøre den økonomiske bærekraften til prosjektet.

Til slutt kan videre utforsking av produkter og tjenester øke den potensielle inntjeningen til selskapet. Her kan det trekkes frem behandling av ulike biomasser, slik som fiskeslam fra oppdrettsanlegg. Dette kan åpne for interessante løsninger for fremtidens bioenergianlegg.

Litteraturliste

§ 11-2. *Risikoklasser* (2017) *Direktoratet for byggkvalitet*. Available at: <https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11-2> (Accessed: 11 April 2024).

§ 11-3. *Brannklasser* (2017) *Direktoratet for byggkvalitet*. Available at: <https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11-3> (Accessed: 11 April 2024).

BECCS - Å fjerne CO2 fra atmosfæren (no date) *SINTEF*. Available at: <https://www.sintef.no/fagomrader/bioenergi/beccs-a-fjerne-co2-fra-atmosfaren/> (Accessed: 10 January 2024).

Bell, K. and Meyer, R.W. (2022) ‘elementmetoden’, *Store norske leksikon*. Available at: <https://snl.no/elementmetoden> (Accessed: 12 April 2024).

Bioenergi (2018) *Regjeringa.no*. regjeringen.no. Available at: <https://www.regjeringen.no/nm/tema/mat-fiske-og-landbruk/skog-og-utmarksressurser/innsikt/bioenergi/id2001102/> (Accessed: 20 February 2024).

Bioenergi (2023) *SINTEF*. Available at: <https://www.sintef.no/fagomrader/bioenergi/> (Accessed: 17 March 2024).

‘bjelke’ (2023) *Store norske leksikon*. Available at: <https://snl.no/bjelke> (Accessed: 8 April 2024).

Coman, A. and Ronen, B. (2009) ‘Focused SWOT: Diagnosing critical strengths and weaknesses’, *International Journal of Production Research*, 47, pp. 5677–5689. Available at: <https://doi.org/10.1080/00207540802146130>.

Danesh, P. *et al.* (2023) ‘Biochar Production: Recent Developments, Applications, and challenges’, *Fuel*, 337, p. 126889. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126889>.

Dębowski, M. *et al.* (2013) ‘Algae biomass as an alternative substrate in biogas production technologies—Review’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, pp. 596–604. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.029>.

drager – bærende bjelker – *Store norske leksikon* (2021). Available at: https://snl.no/drager_-_b%C3%A6rende_bjelker (Accessed: 8 April 2024).

Edvardsen, K.I. and Ramstad, T.Ø. (2020) *TREHUS*. SINTEF akademisk forlag.

‘egenlast’ (2023) *Store norske leksikon*. Available at: <https://snl.no/egenlast> (Accessed: 8 April 2024).

‘Entos-45 Tubular glass photobioreactor (PBR)’ (no date) *Lgem*. Available at: <https://lgem.com/products/entos-45/> (Accessed: 8 May 2024).

Fagnäs, L. *et al.* (2011) *Development of slow pyrolysis businesses in Finland- Final report- 2011*. VT-R-02239-11. VTT. Available at: https://studntnu-my.sharepoint.com/:w:/r/personal/vegav_ntnu_no/_layouts/15/Doc.aspx?sourcedoc=%7B4F8D2472-23FC-46E9-87DB-8AEEAA669550%7D&file=VTT%20Hidaspyro%20loppuraportti.docx&action=default&mobileRedirect=true (Accessed: 18 March 2024).

FEM-Design - Analyser med stor nøyaktighet - Norconsult Digital (2024). Available at: <https://norconsultdigital.no/produkter/fem-design/> (Accessed: 12 April 2024).

Fløistad, P. 22 06 2019 A.E. (2019) *Melkebonder med alger i rør*, Nibio. Available at: <https://www.nibio.no/nyheter/melkebonder-med-alger-i-ror> (Accessed: 22 January 2024).

Fornybar energi i landbruket (2018). Available at: <https://www.innovasjon norge.no/tjeneste/fornybar-energi-i-landbruket> (Accessed: 20 February 2024).

Frøstrup, A. (2019) *Tømrrerteori, Konstruksjoner i tre*. 4. Gyldendal Norsk Forlag AS.

‘glass’ (2023) *Store norske leksikon*. Available at: <https://snl.no/glass> (Accessed: 21 March 2024).

Gratis programvare for regneark på nettet: Excel | Microsoft 365 (2024). Available at: <https://www.microsoft.com/nb-no/microsoft-365/excel> (Accessed: 12 April 2024).

Gravitis, J. *et al.* (2004) ‘Clustering of bio-products technologies for zero emissions and eco-efficiency’, *Industrial Crops and Products*, 20(2), pp. 169–180. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2004.04.019>.

Grønlund, A.L. (no date) *Alger, treflis og insekter kan erstatte soya i laksefôr*, *Regnskogfondet*. Available at: <https://www.regnskog.no/no/nyheter/alger-treflis-og-insekter-kan-erstatte-soya-i-laksefor> (Accessed: 27 February 2024).

Gunnarsjaa, A. (2023a) ‘garpe – bygg’, *Store norske leksikon*. Available at: https://snl.no/garpe_-_bygg (Accessed: 8 April 2024).

Gunnarsjaa, A. (2023b) ‘kapitél’, *Store norske leksikon*. Available at: <https://snl.no/kapitel%C3%A9> (Accessed: 8 April 2024).

Gunnarsjaa, A. (2023c) ‘søyle’, *Store norske leksikon*. Available at: <https://snl.no/s%C3%B8yle> (Accessed: 8 April 2024).

Gunnarsjaa, A. (2023d) ‘sperre – bjelke’, *Store norske leksikon*. Available at: https://snl.no/sperre_-_bjelke (Accessed: 8 April 2024).

Hanisch, H. (2023) *A cybernetic Perspective on the Folvengaard Farm Concept*, Medcis AS. Available at: <https://cloud.medcis.no/s/5Ej252g4kj5CRb4> (Accessed: 26 April 2024).

Hofstad, K. (2023) ‘Norsk Standard’, *Store norske leksikon*. Available at: https://snl.no/Norsk_Standard (Accessed: 11 April 2024).

Hofstad, K. (2024a) 'bioenergi', *Store norske leksikon*. Available at: <https://snl.no/bioenergi> (Accessed: 17 March 2024).

Hofstad, K. (2024b) 'Standard Norge', *Store norske leksikon*. Available at: https://snl.no/Standard_Norge (Accessed: 11 April 2024).

Iversen, J. (no date) *Bærekraftig utvikling, FN-SAMBANDET*. Available at: <https://fn.no/tema/baerekraftig-utvikling-fattigdom-og-befolkning/baerekraftig-utvikling> (Accessed: 19 February 2024).

Junker, E. (2023) 'Byggteknisk forskrift (TEK)', *Store norske leksikon*. Available at: [https://snl.no/Byggteknisk_forskrift_\(TEK\)](https://snl.no/Byggteknisk_forskrift_(TEK)) (Accessed: 11 April 2024).

'kjemsling' (2023) *Store norske leksikon*. Available at: <https://snl.no/kjemsling> (Accessed: 8 April 2024).

Larsen, P.Kr., Clausen, A.H. and Aalberg, A. (2003) *Stålkonstruksjoner Profiler og formler*. 3. Fagbokforlaget.

Li, K., Liu, S. and Liu, X. (2014) 'An overview of algae bioethanol production', *International Journal of Energy Research*, 38(8), pp. 965–977. Available at: <https://doi.org/10.1002/er.3164>.

Liebe, G. (2024) 'brannklassifisering', *Store norske leksikon*. Available at: <https://snl.no/brannklassifisering> (Accessed: 11 April 2024).

Løvaas, R. (2023) 'biogass', *Store norske leksikon*. Available at: <https://snl.no/biogass> (Accessed: 9 February 2024).

Norwaste (2022) *SSBs og bransjens egen statistikk for biogass [GWh]* [Statistikk]. Available at: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiY2MzMjJkYTETNGU1Ny00ZmIzLTkxYTktNTY0YjQ4MWZkNTk2IiwidCI6IjU2NjNkNmEyLWM2NGYtNGVhZi05YjhjLWVmM2Y5NTkwYWU2NyJ9&pageName=ReportSection> (Accessed: 9 February 2024).

Ormestad, H. and Hofstad, K. (2023) 'egenfrekvens', *Store norske leksikon*. Available at: <https://snl.no/egenfrekvens> (Accessed: 10 April 2024).

Ove Sletten - Sogelink - Focus Software AS (2020). Available at: <https://www.focus.no/produkter/ove-sletten/> (Accessed: 12 April 2024).

'Production technology - SoilCare Oy' (2022), 2 December. Available at: <https://soilcare.fi/en/production-technology/> (Accessed: 8 February 2024).

Rossen, E. (2023) 'regneark', *Store norske leksikon*. Available at: <https://snl.no/regneark> (Accessed: 12 April 2024).

Rue, S.R., Søgne, S.M. and Tengesdal, M. (2019) *Økonomisk analyse av mikroalgeproduksjon i biprodukt fra biogassanlegg ved installasjon av roterende biofilmreaktorer*. Bachelor thesis. NTNU. Available at: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2602894> (Accessed: 22 January 2024).

Schnürer, A. (2016) 'Biogas Production: Microbiology and Technology', in R. Hatti-Kaul, G. Mamo, and B. Mattiasson (eds) *Anaerobes in Biotechnology*. Cham: Springer International Publishing (Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology), pp. 195–234. Available at: https://doi.org/10.1007/10_2016_5.

'sikkerhetsglass' (2023) *Store norske leksikon*. Available at: <https://snl.no/sikkerhetsglass> (Accessed: 4 April 2024).

Sivilingeniør Ove Sletten (no date). Available at: <https://www.ove-sletten.no/> (Accessed: 12 April 2024).

Skaar, J. (2023) 'lys', *Store norske leksikon*. Available at: <https://snl.no/lys> (Accessed: 9 May 2024).

Solberg, J.K. (2024) 'varmvalset stål', *Store norske leksikon*. Available at: https://snl.no/varmvalset_st%C3%A5l (Accessed: 21 March 2024).

Solberg, J.K., Christensen, N. and Almar-Næss, A. (2024) 'stål', *Store norske leksikon*. Available at: <https://snl.no/st%C3%A5l> (Accessed: 21 March 2024).

Solvik, F., Falkanger, T. and Reusch, M. (2024) 'plan- og bygningsloven', *Store norske leksikon*. Available at: https://snl.no/plan-_og_bygningsloven (Accessed: 11 April 2024).

'Søyle' (2024) *Wikipedia*. Available at: <https://no.wikipedia.org/w/index.php?title=S%C3%B8yle&oldid=24377571> (Accessed: 8 April 2024).

STANDARD-NORGE (2008) *NS-EN 1991-1-7:2006+NA:2008*, *Standard Online*. Available at: <https://online.standard.no/nb/ns-en-1991-1-7-2006na-2008-2> (Accessed: 15 May 2024).

STANDARD-NORGE (2009) *NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009*, *Standard Online*. Available at: <https://online.standard.no/nb/ns-en-1991-1-4-2005na-2009> (Accessed: 9 April 2024).

STANDARD-NORGE (2015) *NS-EN 1993-1-1:2005+AI:2014+NA:2015*, *Standard Online*. Available at: <https://online.standard.no/nb/ns-en-1993-1-1-2005a1-2014na-2015> (Accessed: 9 April 2024).

STANDARD-NORGE (2016) *NS-EN 1990:2002+AI:2005+AC:2010+NA:2016*, *Standard Online*. Available at: <https://online.standard.no/nb/ns-en-1990-2002a1-2005ac-2010na-2016> (Accessed: 9 April 2024).

STANDARD-NORGE (2018) *NS-EN 1991-1-3:2003+AI:2015+NA:2018*, *Standard Online*. Available at: <https://online.standard.no/nb/ns-en-1991-1-3-2003a1-2015na-2018> (Accessed: 9 April 2024).

STANDARD-NORGE (2019) *NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2019*, *Standard Online*. Available at: <https://online.standard.no/nb/ns-en-1991-1-1-2002na-2019-2> (Accessed: 12 April 2024).

STANDARD-NORGE (2020) *NS-EN 16612:2019*, *Standard Online*. Available at: <https://online.standard.no/nb/ns-en-16612-2019> (Accessed: 12 April 2024).

STANDARD-NORGE (2021a) *SN-CEN/TS 19100-1:2021*, *Standard Online*. Available at: <https://online.standard.no/nb/sn-cents-19100-1-2021> (Accessed: 12 April 2024).

STANDARD-NORGE (2021b) *SN-CEN/TS 19100-2:2021*, *Standard Online*. Available at: <https://online.standard.no/nb/sn-cents-19100-2-2021> (Accessed: 10 April 2024).

Thue, J.V. (2023) 'energiglass', *Store norske leksikon*. Available at: <https://snl.no/energiglass> (Accessed: 21 March 2024).

Tietoa meistä (no date) *Ariterm*. Available at: <https://ariterm.fi/tietoa-meista/> (Accessed: 11 April 2024).

Torvatn, T. *et al.* (2016) *Teknologiledelse - for ingeniørstudier*. 1. Fagbokforlaget. Available at: <https://www.akademika.no/teknologi/teknologiledelse/9788245020205> (Accessed: 16 January 2024).

Wang, D. *et al.* (2020) 'Biochar production and applications in agro and forestry systems: A review', *Science of The Total Environment*, 723, p. 137775. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137775>.

Weinand, J. *et al.* (2019) 'Assessing the potential contribution of excess heat from biogas plants towards decarbonising residential heating', *Journal of Cleaner Production*, 238, p. 117756. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117756>.

Wilkinson, N. (no date) *Ren energi til alle, FN-SAMBANDET*. Available at: <https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ren-energi-til-alle> (Accessed: 19 February 2024).

Vedlegg

A: Programvare-utskrift; OS-prog, Snølast

B: Programvare-utskrift; OS-prog, Vindlast

C: Programvare-utskrift; Excel, Egenlast tretak

D: Programvare-utskrift; Excel, Glasskalkulator

E: Programvare-utskrift; Excel, Stålanslag

F: Programvare-utskrift; FEM-Design, Ståldimensjonering

G: Programvare-utskrift; Excel, U-verdi tak

H: Programvare-utskrift; Excel, Lysareal -og vinkel

I: KI-deklarasjon

A: Programvare-utskrift; OS-prog snølast

Kleppenes Bio

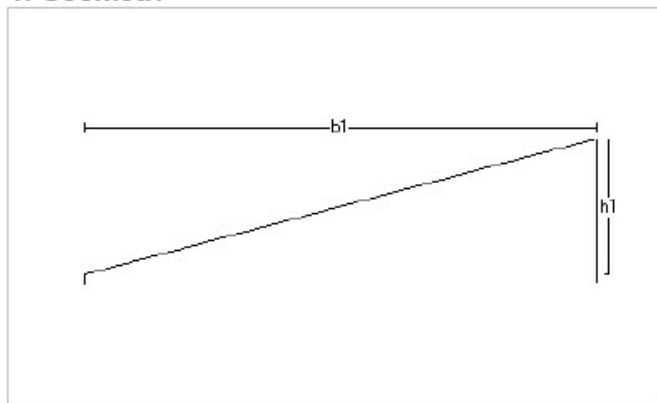
Titel			Side 1
Prosjekt Bachelor	Ordre	Sign	Dato 24-04-2024

Dataprogram: LastBeregning versjon 7.1.1 Laget av Sletten Byggdata AS

Standard NS-EN 1991-1-3: Snølaster

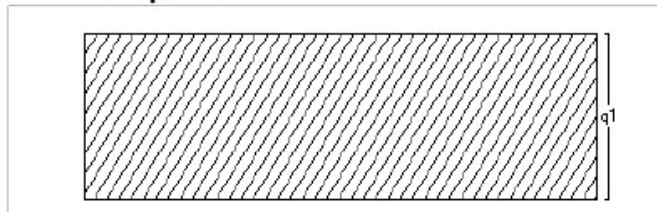
Data er lagret på fil: C:\Users\evivn\OneDrive - NTNU\Documents\Bæshler\Dim\Snølast.sls

1. Geometri



b1 57950 mm
h1 15528 mm

2. Snølast på tak



Last nr.:1
q1 2,00 kN/m2

3. Snølastdata

Fylke	Sogn og Fjordane
Kommune	Askvoll
Sted	Kleppenes Bio
Byggets plassering (moh)	25 moh
Eksponeringskoeffisient C_e	1
Termisk koeffisient C_t	1
Snølast, S :	2,5 kN/m2

B: Programvare-utskrift; OS-prog vindlast

Kleppenes Bio

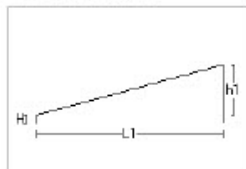
Tittel			Side 1
Prosjekt Bachelor	Ordre	Sign	Dato 24-04-2024

Dataprogram: LastBeregning versjon 7.1.1 Laget av Sletten Byggdata AS

Standard NS-EN 1991-1-4: Vindlaster

Data er lagret på fil: C:\Users\evin\OneDrive - NTNU\Documents\Bæshler\Dim\Snølast.sls

1. Geometri



h1 15528 mm
H 3000 mm
L1 57950 mm

Byggets lengde, L2: 48000 mm

Takvinkel : 15,00 (grader)

Vertikalsnitt

2. Vindhastighet

Fylke: Sogn og Fjordane Kommune: Askvoll Referansevindhastighet: 28 m/s

Byggested, høyde over havet (m): 25 Calt: 1

Returperiode (år): 50 Cprob: 1

Årstidsfaktoren, Cseason: 1 hele året

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

Basisvindhastighet: 28 m/s

Høyde Z over grunnivået: 18,528 m

BYGGESTEDETS TERRENGDATA

Terrengkategorikategori I: Kystnær, opprørt sjø. Åpne vidder og strandsoner uten trær eller busker.

Terrengkategorifaktoren Kt: 0,17 Ruhetslengden Zo (m): 0,01 Zmin (m): 2 Vm (m/s): 35,82 Cr: 1,28

TOPOGRAFI: Ingen topografisk påvirkning.

Terrengformfaktor Co(z): 1 Turbulensfaktor Ki: 1

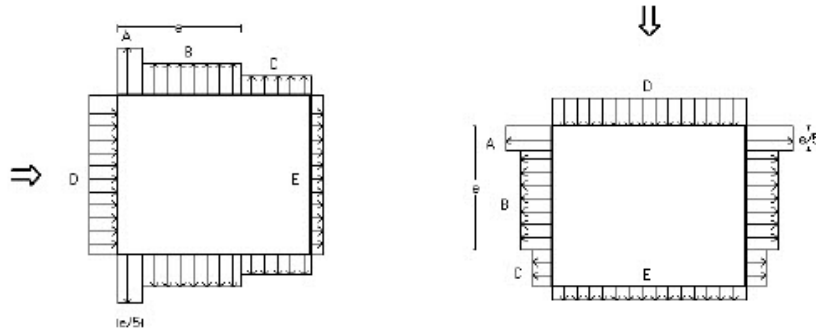
Vkast: 49,76 m/s

Qkast: 1,548 kN/m²

Titel		Side 2
Prosjekt Bachelor	Ordre	Sign Dato 24-04-2024

3. Yttervegger

3.1 Utvendig vindlast



Vindretning 0 grader. $e=37056$ mm

Vindretning 90 grader. $e=37056$ mm

Vindinnfallsretning på 0 grader.

	A	B	C	D	E
Formfaktor $C_{pe,10}$	-1,20	-0,80	-0,50	0,71	-0,32
Utvendig last (kN/m ²)	-1,86	-1,24	-0,77	1,10	-0,49
Formfaktor $C_{pe,1}$	-1,40	-1,10	-0,50	1,00	-0,32
Utvendig last (kN/m ²)	-2,17	-1,70	-0,77	1,55	-0,49
Utstrekning (mm)	7411	29645	20894	48000	48000

Vindinnfallsretning på 90 grader.

	A	B	C	D	E
Formfaktor $C_{pe,10}$	-1,20	-0,80	-0,50	0,72	-0,34
Utvendig last (kN/m ²)	-1,86	-1,24	-0,77	1,11	-0,52
Formfaktor $C_{pe,1}$	-1,40	-1,10	-0,50	1,00	-0,34
Utvendig last (kN/m ²)	-2,17	-1,70	-0,77	1,55	-0,52
Utstrekning (mm)	7411	29645	10944	57950	57950

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

3.2 Innvendig vindlast

Bygning uten dominerende vindfasade

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

	Undertrykk	Overtrykk
Formfaktor	-0,30	0,20
Innvendig last (kN/m ²)	-0,46	0,31

Titel		Side 3	
Prosjekt Bachelor	Ordre	Sign	Dato 24-04-2024

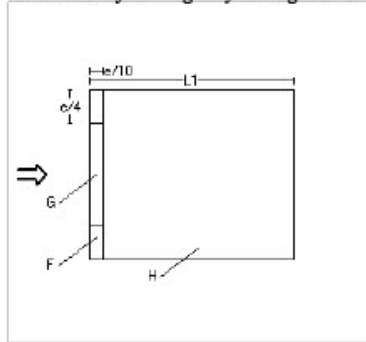
4 Overside av tak

Taktype: Pulttak

L1=57950 mm L2=48000 mm

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

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



Utstrekning (mm)

e=37056

e/4=9264

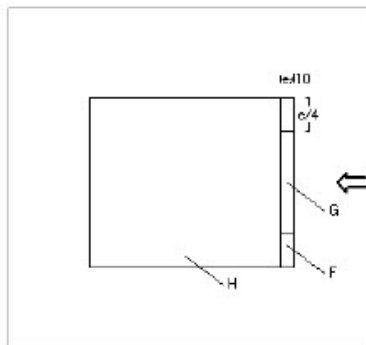
e/10=3706

Alt.1

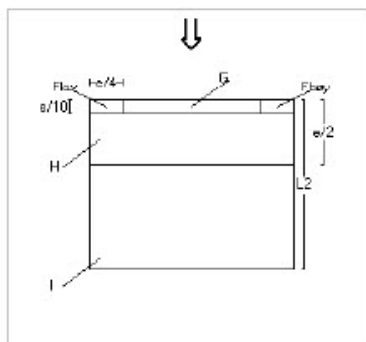
	Cpe,10	Last (kN/m2)	Hor.projeksjon (mm)
F	-0,90	-1,39	9264x3706
G	-0,80	-1,24	29472x3706
H	-0,30	-0,46	48000x54244

Alt.2

	Cpe,10	Last (kN/m2)	Hor.projeksjon (mm)
F	0,20	0,31	9264x3706
G	0,20	0,31	29472x3706
H	0,20	0,31	48000x54244



	Cpe,10	Last (kN/m2)	Hor.projeksjon (mm)
F	-2,50	-3,87	9264x3706
G	-1,30	-2,01	29472x3706
H	-0,90	-1,39	48000x54244



Utstrekning (mm)

e=37056

e/4=9264

e/10=3706

	Cpe,10	Last (kN/m2)	Hor.projeksjon (mm)
Fhøy	-2,40	-3,71	9264x3706
Flav	-1,60	-2,48	9264x3706
G	-1,90	-2,94	39422x3706
H	-0,80	-1,24	57950x14822
I	-0,70	-1,08	57950x29472

Titel		Side 4	
Prosjekt Bachelor	Ordre	Sign	Dato 24-04-2024

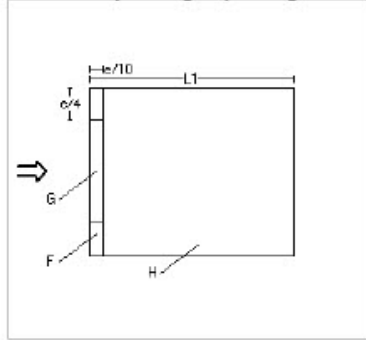
Taktype: Pulttak

L1=57950 mm L2=48000 mm

Cpe,1 Gjelder for en lokal flate på 1m². Benyttes ved dimensjonering av limfuger, spikring, båndstål o.l.

Interpoleringsformel for belastet areal A mellom 1 og 10 m²: $C_{pe} = C_{pe,1} + (C_{pe,10} - C_{pe,1}) * \log_{10} A$

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



Utstrekning (mm)

e=37056

e/4=9264

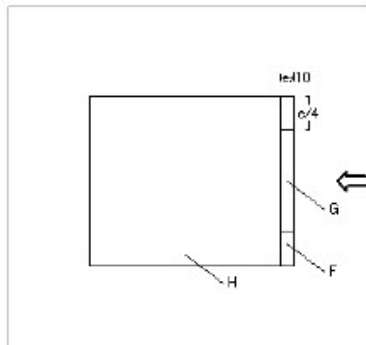
e/10=3706

Alt.1

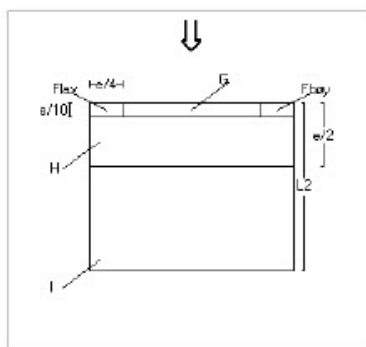
	Cpe,1	Last (kN/m ²)	Hor.projeksjon(mm)
F	-2,00	-3,10	9264x3706
G	-1,50	-2,32	29472x3706
H	-0,30	-0,46	48000x54244

Alt.2

	Cpe,1	Last (kN/m ²)	Hor.projeksjon(mm)
F	0,20	0,31	9264x3706
G	0,20	0,31	29472x3706
H	0,20	0,31	48000x54244



	Cpe,1	Last (kN/m ²)	Hor.projeksjon(mm)
F	-2,80	-4,33	9264x3706
G	-2,00	-3,10	29472x3706
H	-1,20	-1,86	48000x54244



Utstrekning (mm)

e=37056

e/4=9264

e/10=3706

	Cpe,1	Last (kN/m ²)	Hor.projeksjon(mm)
Fhøy	-2,90	-4,49	9264x3706
Flav	-2,40	-3,71	9264x3706
G	-2,50	-3,87	39422x3706
H	-1,20	-1,86	57950x14822
I	-1,20	-1,86	57950x29472

C: Programvare-utskrift; Excel, Egenlast tretak

Egenlaster

Forbeholdt kvadratlaster	b	h	C/C		Utføres i	Tyngdetetthet
Gips	1,00	0,01	1,00	m	Gipsplater	15,00 Kn/m3
Taksperre	0,05	0,50	0,60	m	Trevirke, C24	4,20 Kn/m3
Isolasjon	0,55	0,50	0,60	m	Mineralull	0,20 Kn/m3
Klemlekt	0,05	0,04	0,60	m	Trevirke, C24	4,20 Kn/m3
Krysslekt	0,05	0,04	0,60	m	Trevirke, C24	4,20 Kn/m3
Takplate	1,00	1,00	1,00	m	Takplate, TP200, sort,Gl	0,04 Kn/m2
				m		- -
				m		- -
Forbeholdt linjelaster	b	h			Utføres i	Tyngdetetthet
				m		- -
				m		- -

Egenlast/m2			Egenlast/m		
	Last	benevning		last	benevning
Gips	0,18	Kn/m2		-	- Kn/m
Taksperre	0,17	Kn/m2		-	- Kn/m
Isolasjon	0,09	Kn/m2		-	- Kn/m
Klemlekt	0,01	Kn/m2		-	- Kn/m
Krysslekt	0,01	Kn/m2		-	- Kn/m
Takplate	0,04	Kn/m2		-	- Kn/m
	-	- Kn/m2		-	- Kn/m
	-	- Kn/m2		-	- Kn/m
Sum	0,51	Kn/m2	Sum egenlast/m	-	- Kn/m

D: Programvare-utskrift; Excel, Glasskalkulator

Grunddata			
Areal, last og faktorer			
a	3 000	mm	
b	3 000	mm	
λ	1,00		
A	9 000 000	mm ²	
p*	31,1322		
Takvinkel	15	°	
γ_G	1,2		
γ_Q	1,5		
ψ_0	0,7		
ψ_1	0,5		
ψ_2	0,2		
G _{ext}	0,40	Kn/m ²	
Q _{ext,1}	2,00	Kn/m ²	(Snø)
Q _{ext,2}	0,46	Kn/m ²	(Vind)
G _{int}	0,40	Kn/m ²	
Q _{int,1}	-	Kn/m ²	
Q _{int,2}	-	Kn/m ²	

Beregnes for: Bruddgrensetilstanden

NS-EN 16612

6 -Glassets mekaniske og fysiske egenskaper

6.2 -Tilnærmede verdier		
Tyngdetetthet	25,0	Kn/m ³
E-modul	70 000	Mpa
Poissons tall	0,23	

7 -Lastenes påvirkning

7.2 -Kombinasjon av lastpåvirkninger

Bruddgrensetilstanden		
F _{d, ext}	3,96	Kn/m ²
F _{d, int}	0,48	Kn/m ²
Sum	4,44	Kn/m ²

Irreversibel bruksgrensetilstand		
F _{d, ext}	2,72	Kn/m ²
F _{d, int}	0,40	Kn/m ²
Sum	3,12	Kn/m ²

Reversibel bruksgrensetilstand		
F _{d, ext}	1,49	Kn/m ²
F _{d, int}	0,40	Kn/m ²
Sum	1,89	Kn/m ²

8 -Styrke og stress

8.2.1 -Kalkulasjonsformel for forspent glass

f,g;d	31,25	N/mm ²
K,v	1,00	
K,mod	0,45	
K,sp	1	
f,g;k	45,0	
f,b;k	75,0	N/mm ²
γ,M;A	1,8	
γ,M;v	1,5	

9 -Beregningsprinsipper og forutsetninger

9.1.4 -Designverdi for største nedbøyning

W,d	46,15 mm
-----	----------

Tillegg B

Største bøystress		ink. Termisk stress
σ,max,ext	20,52 N/mm ²	21,80
σ,max,int	20,52 N/mm ²	23,75

Nedbøyning

W,max,ext	27,70 mm
W,max,int	27,70 mm

Forskjøvet volum

V,ext	437 902 920,84 mm ³
V,int	437 896 819,64 mm ³

Tillegg C

1.2 -Generelt

δ,Ext	0,50
δ,Int	0,50
φ	8,88656E-06
a*	163,80

1.3 -Fordeling av eksterne laster i panelene

Last	Bært av Ext	Bært av Int
Fd,Ext på Ext	1,98	1,98
Fd,Int på Int	0,24	0,24

1.4.1 -Interne laster påført panelene

	Bært av Ext	Bært av Int
Isokortrykk, p0	0	0

1.4.2 -Isokortrykk

p0	0
p,H;0	0
H	25 moh
Hp	25 moh
s	20 mm
p,C;0	0
T,c	20 °C
T,p	20 °C
p,a	100 Kn/m ²
p,p	100 Kn/m ²

Tillegg D

		Høyder	Arm/Skjærfriksjon(ω)	Enhet
Ext	$h_{ext,2}$	8	0	4,38 mm
	ω	0,76		ω
	$h_{ext,1}$	8		4,38 mm
Int	$h_{int,1}$	8	0	4,38 mm
	ω	0,76		ω
	$h_{int,2}$	8		4,38 mm

	Ext	Int
hef;W	10,08	10,08
hef; α	11,31	11,31

Sum	
h_{glass}	32 mm
h_{panel}	52 mm
g_{panel}	0,80 Kn/m ²

SN-CEN/TS 19100-1

C.4 -termisk stress i glass

$\sigma_{t, ext}$	1,28 N/mm ²
$\sigma_{t, int}$	3,23 N/mm ²
αT	0,000009 1/K
T_{inne}	25 °C
T_{ute}	-25 °C

SN-CEN/TS 19100-2

Tillegg B

B.5 -Naturlig frekvens av isolerglass

n_1	139 Hz	(Argon)
h_{lG}	12,70 mm	
ρ_{lG}	6,30 Kg/m	
ρ_f	1,7 Kg/m ³	
ρ_g	2 500,0 Kg/m ³	

B.6 - Ω_i og Ω_j for monolittisk og isolerende glass

Ω_i	1
Ω_j	1

B.7 -Anbefalte kriterier

$n_1 > 5$	Hz
-----------	----

Tilnærming for skjær og bøyemoment

Egenutarbeidet tilnærming for kontroll av skjær

Last	4,44 Kn/m ²
V_a	0,625 N/mm ²
V_b	0,625 N/mm ²
$V_{Hjørne}$	1,874 N/mm ²

Egenutarbeidet kontroll for bøyemoment

Lastfelt	1 m
Last	4,44 Kn/m
Moment,a	5,00 Knm
Moment,b	5,00 Knm
$\sigma_{max,a}$	24,54 N/mm ²
$\sigma_{max,b}$	24,54 N/mm ²

NS-EN ISO 6946

6.5.2 - Forenklet metode for u-verdi beregning

U	0,728	W/(m ² *K)
---	-------	-----------------------

6.7.1.1 - Termisk motstand av homogene materialer

R _{g,gl,ext}	0,016	(m ² *K)/W
R _{g,gl,int}	0,016	(m ² *K)/W
R _{g,gl}	1,176	(m ² *K)/W
λ _{g,gl}	1,000	W/(m*K)
λ _{g,gl}	0,017	W/(m*K)

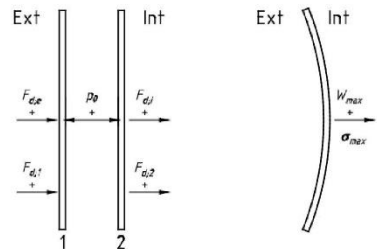
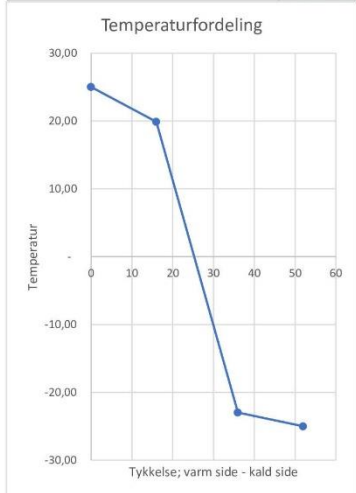
6.7.1.2 - Total termisk motstand til en bygningskomponent

R _{tot}	1,373	(m ² *K)/W
R _{si}	0,125	(m ² *K)/W
R _{se}	0,040	(m ² *K)/W

TREHUS - SINTEF akademisk forlag, 6. opplag

Side 397 - Temperaturfordeling

EXT	kald side	- 25,00	°C
	Varm side	- 22,96	°C
	temp. diff	2,04	°C
GASS	kald side	- 22,96	°C
	Varm side	19,87	°C
	temp. diff	42,83	°C
INT	kald side	19,87	°C
	Varm side	25,00	°C
	temp. diff	5,13	°C
Kontrollsum, ok hvis 0		-	°C



E: Programvare-utskrift; Excel, Stålslag

Grunndata		
f,y	355	N/mm ²
γ,0	1,05	
f,d	338	N/mm ²
E-modul	210 000	N/mm ²
Høyde, gavl,L	3	m
Bredde, tot	48	m
Lengde, tot	58	m

Sperrer		
---------	--	--

Transponering av krefter og laster			
Prøvd sperre	HFRHS 160x160x10		
G,glass	2,40	Kn/m	
G,sperre	0,47	Kn/m	
G,sum	2,87	Kn/m	
Q,ext,1	6,43	Kn/m	
Q,ext,2	1,48	Kn/m	
Q,int,1	-	Kn/m	
Q,int,2	-	Kn/m	
Q,sum	7,91	Kn/m	
γ,Gj,sup	1,35		
γ,Q	1,5		
ξ	0,89		
6.10a	12,18	Kn/m	
6.10b	15,32	Kn/m	
q,d	6.10b	15,32 Kn/m	erf.red.
	6.14b	10,78 Kn/m	70 %
	6.15b	6,83 Kn/m	45 %
	6.16b	4,46 Kn/m	29 %

Momenter og opplagerkrefter etter 3. momentlikning		
L,1	5,80	m
L,2	5,80	m
L,tot	11,59	m
M,b	64,3	Kn
A,z	33,29	Kn
B,z	110,96	Kn
C,z	33,29	Kn
Kontroll	0,00	ok hvis 0
Feltmoment i avstand fra A	2,17	m
Feltmoment	36,17	Kn
M,d	64,3	Kn
V,d	55,5	Kn

Anslag sperre		
	HFRHS 160x160x10	
W,y,min	190209	mm ³
Wy, valgt	269000	mm ³
Utnyttelse	71 %	
A,v,min	164	mm ²
A,v,valgt	1600	mm ²
Utnyttelse	10 %	
Nedbøyning	6.14b	14,0 mm
	6.15b	8,9 mm
	6.16b	5,8 mm
Krav L/	350	16,6 mm

Kjemslinger i glasskjøt

Transponering av krefter og laster			
	Prøvd bjelke	HFRHS 100x100x10	
	EL,glass	2,40	Kn/m
	EL,bjelke	0,28	Kn/m
	EL,sum	2,68	Kn/m
	Q,ext,1	6,00	Kn/m
	Q,ext,2	1,38	Kn/m
	Q,ext,3	-	Kn/m
	Q,ext,4	-	Kn/m
	Sum NL	7,38	Kn/m
	6.10a	11,37	Kn/m
	6.10b	14,29	Kn/m
q,d	6.10b	14,29	Kn/m
	6.14b	10,06	Kn/m
	6.15b	6,37	Kn/m
	6.16b	4,16	Kn/m
			erf.red.
			70 %
			45 %
			29 %

Moment og skjærkraft, fritt opplagt		
	M,d	16,07 Knm
	V,d	21,43 Kn

Anslag bjelke		
	W,y,min	47 546 mm ³
	W,y, valgt	94 900 mm ³
	Utnyttelse	50 %
	A,v,min	63 mm ²
	A,v, valgt	1 600 mm ²
	Utnyttelse	4 %
Nedbøyning	6.14b	9,9 mm
	6.15b	6,7 mm
	6.16b	4,4 mm
Krav L/	300	10,0 mm

Dragere

Transponering av krefter og laster		
Prøvd drager	HE-B650	
Lengde drager		12 m
Last fra sperrer		36,99 Kn/m
El, drager		2,25 Kn/m
6.10a		40,02 Kn/m
6.10b		39,69 Kn/m
q,d		39,69 Kn/m
6.14b,erf.red.snitt		75 %
6.15b,erf.red.snitt		50 %
6.16b,erf.red.snitt		34 %
6.14b		29,93 Kn/m
6.15b		19,68 Kn/m
6.16b		13,53 Kn/m

Moment og skjærkraft, fritt opplagt		
M,d		714,43 Knm
V,d		238,14 Kn

Anslag drager		
	HE-B650	
W,y,min		2 113 111 mm ³
W,y,valgt		6 480 000 mm ³
Utnyttelse		33 %
A,v,min		704 mm ²
A,v,valgt		9 408,00 mm ²
Utnyttelse		7 %
Nedbøyning		
6.14b		18,3 mm
6.15b		12,0 mm
6.16b		8,3 mm
Krav L/	650	18,5 mm

Søylar

Transponering av krefter og laster

Prøvd tverrsnitt	HFRHS 300x300x10
N _{ed}	476,29 Kn

Knekkelengder og kapasiteter

h _{gavl,h}	18,5 m
Knekkfaktor	1
Knekkelengde	18,5 m
x	22 %
Φ	2,7172
Relativ slankhet	2,0480
N _{cr}	958,6 Kn
Imperfeksjonsfaktor	0,13 (HFRHS)

Kapasiteter og påkjenninger pga. knekking

N _{ed}	476,29 Kn
N _{rd}	855,93 Kn
Utnyttelse	56 %

Kapasiteter og påkjenninger pga. knusing i overganger

Prøvd tverrsnitt	HFRHS 300x300x10
N _{ed}	476,29 Kn
N _{rd}	3 854,29 Kn
Utnyttelse	12 %

F: Programvare-utskrift; FEM-Design, Ståldimensjonering

1 INNHOLDSFORTEGNELSE

2	Materialer	2
3	Laster	2
3.1	Laster, tabeller	2
3.2	Laster, Projisert	3
3.2.1	Egenvekt, glass	3
3.2.2	Egenvekt, rest.tak	4
3.2.3	Vindlast	4
3.2.4	Snølast	5
3.2.5	Snølast, skjevlast.....	5
3.3	Lastkombinasjoner	6
3.4	Lastkombinasjoner, analytisk oppsett.....	6
3.5	Lastgrupper.....	7
3.6	Overflatelaster	7
4	Stålutnyttelse, lastkombinasjoner	7
4.1	Brudd -og ulykkeslast, tabell	7
4.2	Bruddlast, Grafisk.....	13
4.3	Ulykkeslast, Grafisk	13
5	Nedbøyninger	14
5.1	Største nedbøyning/defleksjon av lastkombinasjoner, tabell	14
5.2	Utnyttelse, Akse B, Grafisk	15
5.3	Utnyttelse, Akse 2, Grafisk	16
5.4	Hele bygget, Grafisk.....	17

2 MATERIALER

Steel materials

No.	Name	f _{yk} (t<16)	f _{yk} (16<t<=40)	f _{yk} (40<t<=63)	f _{yk} (63<t<=80)	f _{yk} (80<t<=100)	f _{yk} (100<t<=150)
[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
1	S 355	355.000	355.000	335.000	335.000	335.000	335.000

f _{yk} (150<t<=200)	f _{yk} (200<t<=250)	f _{yk} (250<t<=400)	f _{uk} (t<3)	f _{uk} (3<t<=40)	f _{uk} (40<t<=100)
[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
335.000	335.000	335.000	510.000	510.000	470.000

f _{uk} (100<t<=150)	f _{uk} (150<t<=250)	f _{uk} (250<t<=400)	Gamma M0	Gamma M0, Acc	Gamma M1	Gamma M1, Acc
[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[-]	[-]
470.000	470.000	470.000	1.050	1.000	1.050	1.000

Gamma M2	Gamma M2, Acc	Gamma M5	Gamma M5, Acc	Gamma Mfi	Ek	Poisson's ratio	G
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[-]	[N/mm ²]
1.250	1.000	1.000	1.000	1.000	210000.000	0.300	80769.000

Therm. coeff.	Density	Time-dependent
[1/°C]	[t/m ³]	creep/relaxation
1.2000e-05	7.850000	No

3 LASTER

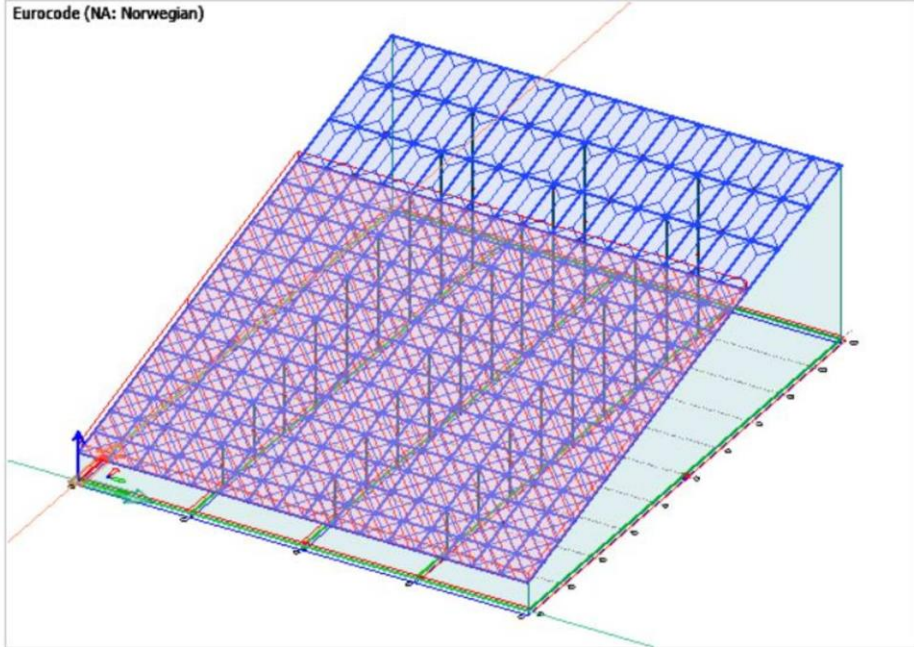
3.1 LASTER, TABELLER

No.	Name	Type	Duration class
1	LC-1	+Struc. dead load	Permanent
2	Egenvekt, glass	Ordinary	Permanent
3	Egenvekt, rest.tak	Ordinary	Permanent
4	Vindlast	Ordinary	Short-term
5	Snølast	Ordinary	Medium-term
6	Snølast,skjevlast	Ordinary	Medium-term
7	Brann	+Fire	Instantaneous

3.2 LASTER, PROJISERT

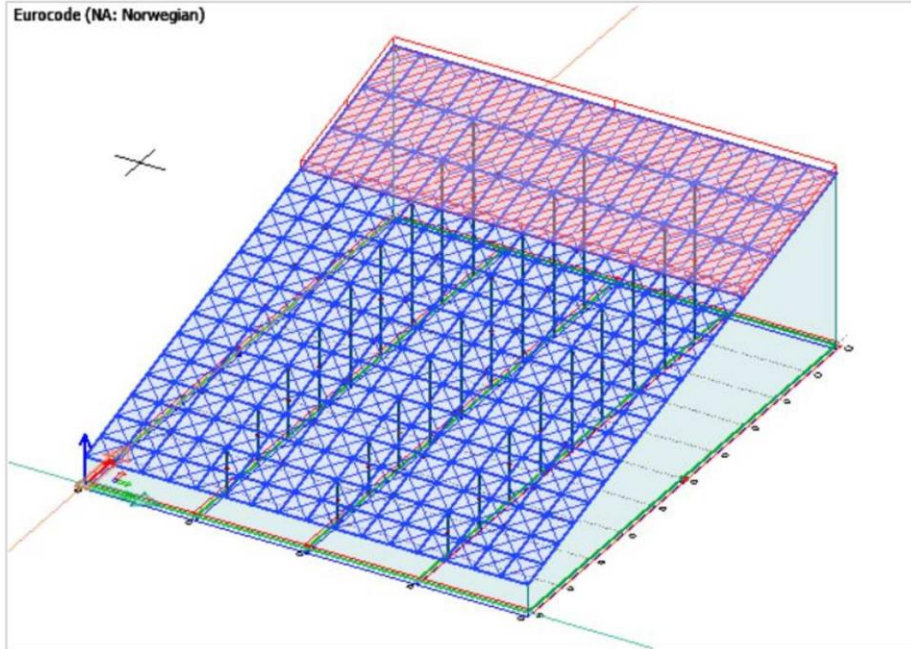
3.2.1 Egenvekt, glass

Eurocode (NA: Norwegian)



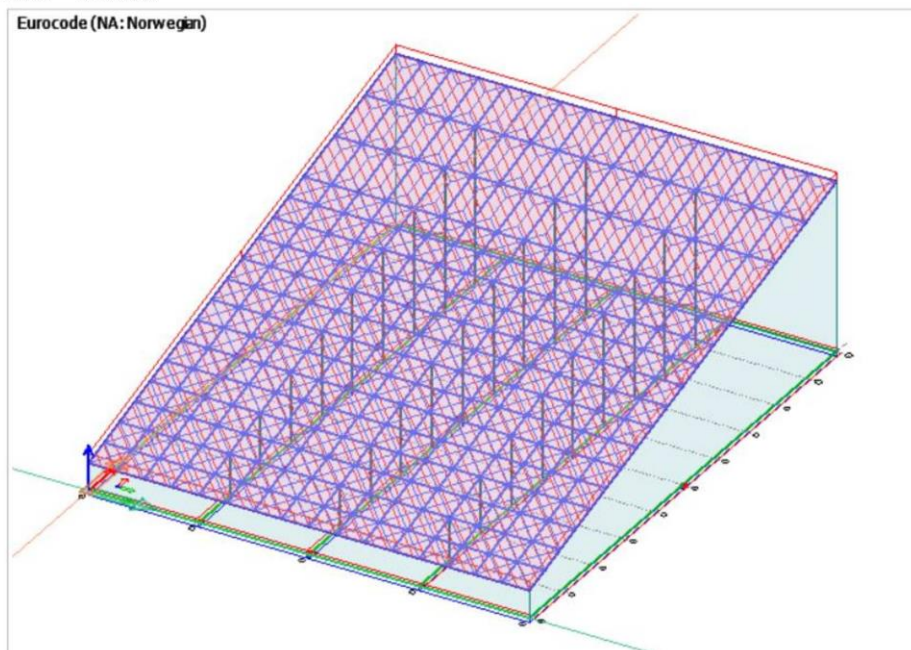
3.2.2 Egenvekt, rest.tak

Eurocode (NA: Norwegian)



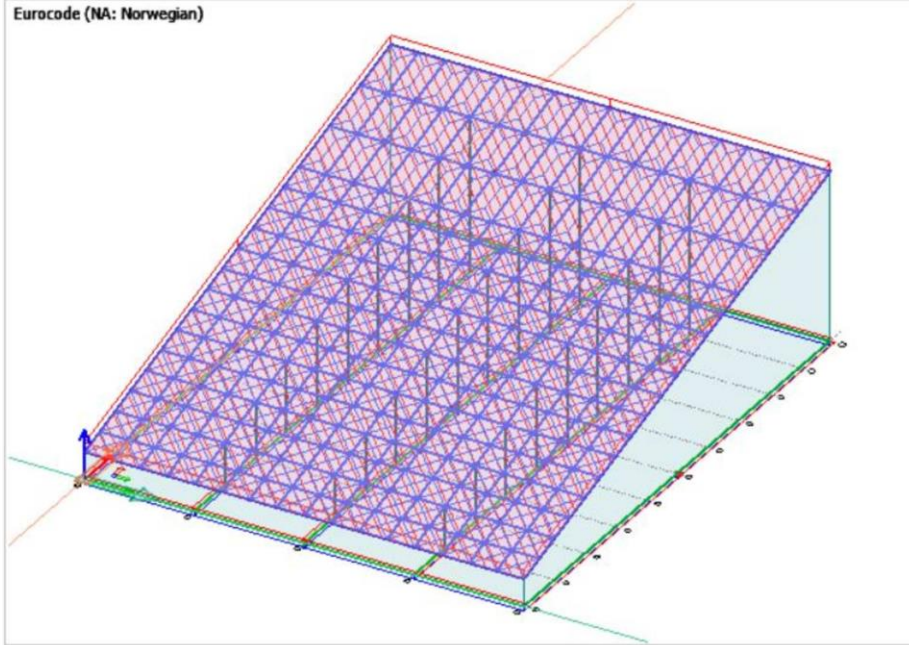
3.2.3 Vindlast

Eurocode (NA: Norwegian)



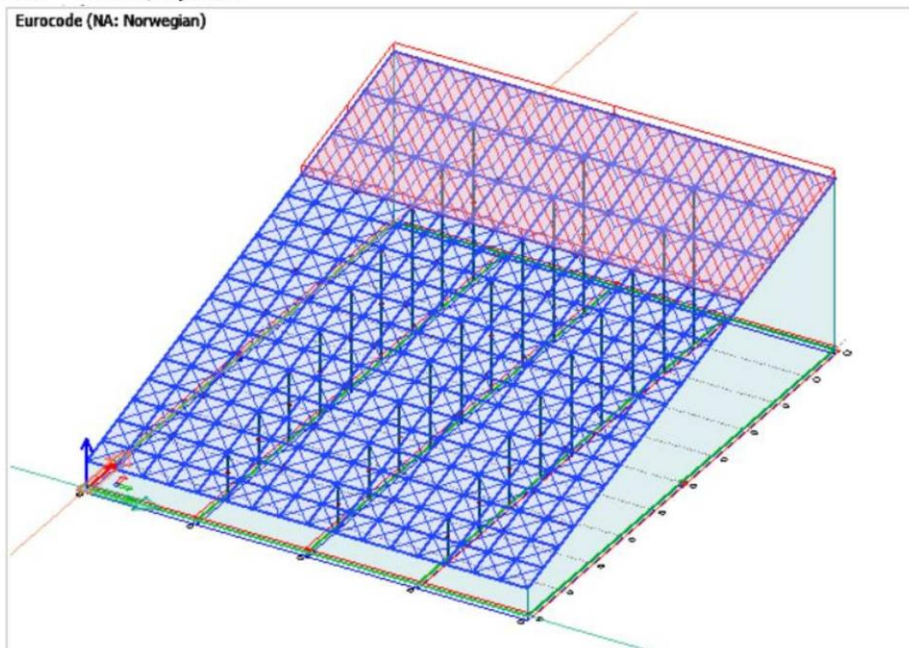
3.2.4 Snølast

Eurocode (NA: Norwegian)



3.2.5 Snølast, skjevlast

Eurocode (NA: Norwegian)



3.3 LASTKOMBINASJONER

No.	Name	Type	Factor	Load cases
1	6.10a	Ultimate	1.350	LC-1 (+5struc. dead load)
			1.350	Egenvekt, glass
			1.350	Egenvekt, rest.tak
			1.050	Snølast
			0.900	Vindlast
2	6.10b	Ultimate	1.200	LC-1 (+5struc. dead load)
			1.200	Egenvekt, glass
			1.200	Egenvekt, rest.tak
			1.500	Snølast
			0.900	Vindlast
3	6.14b	Characteristic	1.000	LC-1 (+5struc. dead load)
			1.000	Egenvekt, glass
			1.000	Egenvekt, rest.tak
			1.000	Snølast
			0.900	Vindlast
4	6.11b	Accidental	1.000	LC-1 (+5struc. dead load)
			1.000	Egenvekt, glass
			1.000	Egenvekt, rest.tak
			0.300	Snølast
			0.300	Vindlast
5	6.10a,skjevlast,snø	Ultimate	1.000	Brann (+Fire)
			1.350	LC-1 (+5struc. dead load)
			1.350	Egenvekt, glass
			1.350	Egenvekt, rest.tak
			1.050	Snølast,skjevlast

No.	Name	Type	Factor	Load cases
6	6.10b, skjevlast, snø	Ultimate	0.900	Vindlast
			1.200	LC-1 (+5struc. dead load)
			1.200	Egenvekt, glass
			1.200	Egenvekt, rest.tak
			1.500	Snølast,skjevlast
0.900	Vindlast			

3.4 LASTKOMBINASJONER, ANALYTISK OPPSETT

No	Type	Load combination	Calculate	Construction stages	Non-linear elements	Plastic elements	Non-linear soil	Cracked section	2nd order
1	U	6.10a	Yes	No	Yes	Yes	No	No	No
2	U	6.10b	Yes	No	Yes	Yes	No	No	No
3	Sc	6.14b	Yes	No	Yes	Yes	No	No	No
4	Ua	6.11b	Yes	No	Yes	Yes	No	No	No
5	U	6.10a,skjevlast,snø	Yes	No	Yes	Yes	No	No	No
6	U	6.10b, skjevlast, snø	Yes	No	Yes	Yes	No	No	No

3.5 LASTGRUPPER

No.	Load group	Included subgroups	Included load cases
1	Egenlaster (Permanent, 1.00, 1.35, 1.00, 1.00, 0.89)	-	LC-1 (+Struc. dead load) Egenvekt, glass Egenvekt, rest.tak
2	Vindlast (Temporary, 1.50, 0.60, 0.20, 0.00, L, --)	-	Vindlast
3	Snølast (Temporary, 1.50, 0.70, 0.50, 0.20, L, --)	-	Snølast Snølast,skjevlast
4	Brann (Accidental, 1.00, Psi 1)	-	Brann (+Fire)

3.6 OVERFLATELASTER

No.	q1	q2	q3	Load case	Comment	Applied on Ecc.	Assigned	Intensity
[-]	[kN/m2]	[kN/m2]	[kN/m2]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	0.800	0.800	0.800	Egenvekt, glass		Yes	-	Action
2	0.440	0.440	0.440	Vindlast		Yes	-	Action
3	2.000	2.000	2.000	Snølast		Yes	-	Perpendicular
4	0.510	0.510	0.510	Egenvekt, rest.tak		Yes	-	Action
5	2.000	2.000	2.000	Snølast,skjevlast		Yes	-	Perpendicular

4 STÅLUTNYTTELSE, LASTKOMBINASJONER

4.1 BRUDD -OG ULYKKESLAST, TABELL

Member	Calculation	Maximum	Combination	Member	Calculation	Maximum	Combination
[-]	[-]	[%]	[-]	[-]	[-]	[%]	[-]
B.1.1	ULS	29	6.10b	B.1.1	ALS (Fire)	67	6.11b
	ALS (Fire)	118	6.11b	B.27.1	ULS	19	6.10b
B.2.1	ULS	19	6.10b		ALS (Fire)	52	6.11b
	ALS (Fire)	52	6.11b	B.28.1	ULS	28	6.10b
B.3.1	ULS	28	6.10b		ALS (Fire)	73	6.11b
	ALS (Fire)	73	6.11b	B.29.1	ULS	19	6.10b
B.4.1	ULS	19	6.10b		ALS (Fire)	52	6.11b
	ALS (Fire)	52	6.11b	B.30.1	ULS	28	6.10b
B.5.1	ULS	28	6.10b		ALS (Fire)	73	6.11b
	ALS (Fire)	73	6.11b	B.31.1	ULS	19	6.10b
B.6.1	ULS	19	6.10b		ALS (Fire)	52	6.11b
	ALS (Fire)	52	6.11b	B.32.1	ULS	29	6.10b
B.7.1	ULS	27	6.10b		ALS (Fire)	119	6.11b
	ALS (Fire)	67	6.11b	B.33.1	ULS	30	6.10b
B.8.1	ULS	19	6.10b, skjevlast, snø		ALS (Fire)	84	6.11b
	ALS (Fire)	72	6.11b	B.34.1	ULS	34	6.10b
B.9.1	ULS	19	6.10b, skjevlast, snø		ALS (Fire)	96	6.11b
	ALS (Fire)	71	6.11b	B.35.1	ULS	42	6.10b
B.10.1	ULS	27	6.10b		ALS (Fire)	108	6.11b
	ALS (Fire)	67	6.11b	B.36.1	ULS	34	6.10b
B.11.1	ULS	19	6.10b		ALS (Fire)	94	6.11b
	ALS (Fire)	52	6.11b	B.37.1	ULS	33	6.10b
B.12.1	ULS	28	6.10b		ALS (Fire)	90	6.11b
	ALS (Fire)	73	6.11b	B.38.1	ULS	33	6.10b

B.13.1	ULS	19	6.10b		ALS (Fire)	91	6.11b
	ALS (Fire)	52	6.11b	B.39.1	ULS	42	6.10b
B.14.1	ULS	29	6.10b		ALS (Fire)	108	6.11b
	ALS (Fire)	119	6.11b	B.40.1	ULS	34	6.10b
B.15.1	ULS	19	6.10b		ALS (Fire)	92	6.11b
	ALS (Fire)	52	6.11b	B.41.1	ULS	33	6.10b
B.16.1	ULS	29	6.10b		ALS (Fire)	91	6.11b
	ALS (Fire)	118	6.11b	B.42.1	ULS	34	6.10b
B.17.1	ULS	29	6.10b		ALS (Fire)	92	6.11b
	ALS (Fire)	118	6.11b	B.43.1	ULS	33	6.10b
B.18.1	ULS	19	6.10b		ALS (Fire)	91	6.11b
	ALS (Fire)	52	6.11b	B.44.1	ULS	42	6.10b
B.19.1	ULS	29	6.10b		ALS (Fire)	108	6.11b
	ALS (Fire)	119	6.11b	B.45.1	ULS	34	6.10b
B.20.1	ULS	19	6.10b		ALS (Fire)	94	6.11b
	ALS (Fire)	52	6.11b	B.46.1	ULS	34	6.10b
B.21.1	ULS	28	6.10b		ALS (Fire)	96	6.11b
	ALS (Fire)	73	6.11b	B.47.1	ULS	30	6.10b
B.22.1	ULS	19	6.10b		ALS (Fire)	84	6.11b
	ALS (Fire)	52	6.11b	B.48.1	ULS	32	6.10b
B.23.1	ULS	27	6.10b		ALS (Fire)	86	6.11b
	ALS (Fire)	67	6.11b	B.49.1	ULS	37	6.10b
B.24.1	ULS	19	6.10b, skjevlast, snø		ALS (Fire)	101	6.11b
	ALS (Fire)	71	6.11b	B.50.1	ULS	36	6.10b
B.25.1	ULS	19	6.10b, skjevlast, snø		ALS (Fire)	97	6.11b
	ALS (Fire)	72	6.11b	B.51.1	ULS	42	6.10b
B.26.1	ULS	27	6.10b		ALS (Fire)	111	6.11b

Member	Calculation	Maximum	Combination	Member	Calculation	Maximum	Combination
[-]	[-]	[%]	[-]	[-]	[-]	[%]	[-]
B.52.1	ULS	35	6.10b	B.78.1	ULS	32	6.10b
	ALS (Fire)	95	6.11b		ALS (Fire)	82	6.11b
B.53.1	ULS	36	6.10b	B.79.1	ULS	34	6.10b
	ALS (Fire)	97	6.11b		ALS (Fire)	87	6.11b
B.54.1	ULS	35	6.10b	B.80.1	ULS	34	6.10b
	ALS (Fire)	95	6.11b		ALS (Fire)	88	6.11b
B.55.1	ULS	42	6.10b	B.81.1	ULS	38	6.10b
	ALS (Fire)	111	6.11b		ALS (Fire)	99	6.11b
B.56.1	ULS	35	6.10b	B.82.1	ULS	34	6.10b
	ALS (Fire)	95	6.11b		ALS (Fire)	87	6.11b
B.57.1	ULS	36	6.10b	B.83.1	ULS	33	6.10b
	ALS (Fire)	97	6.11b		ALS (Fire)	86	6.11b
B.58.1	ULS	35	6.10b	B.84.1	ULS	34	6.10b
	ALS (Fire)	95	6.11b		ALS (Fire)	87	6.11b
B.59.1	ULS	42	6.10b	B.85.1	ULS	38	6.10b
	ALS (Fire)	111	6.11b		ALS (Fire)	99	6.11b
B.60.1	ULS	36	6.10b	B.86.1	ULS	34	6.10b
	ALS (Fire)	97	6.11b		ALS (Fire)	87	6.11b
B.61.1	ULS	37	6.10b	B.87.1	ULS	33	6.10b
	ALS (Fire)	101	6.11b		ALS (Fire)	86	6.11b
B.62.1	ULS	32	6.10b	B.88.1	ULS	34	6.10b
	ALS (Fire)	86	6.11b		ALS (Fire)	87	6.11b
B.63.1	ULS	32	6.10b	B.89.1	ULS	38	6.10b
	ALS (Fire)	83	6.11b		ALS (Fire)	99	6.11b
B.64.1	ULS	36	6.10b	B.90.1	ULS	34	6.10b
	ALS (Fire)	99	6.11b		ALS (Fire)	88	6.11b
B.65.1	ULS	36	6.10b	B.91.1	ULS	34	6.10b
	ALS (Fire)	95	6.11b		ALS (Fire)	87	6.11b
B.66.1	ULS	42	6.10b	B.92.1	ULS	32	6.10b
	ALS (Fire)	115	6.11b		ALS (Fire)	82	6.11b
B.67.1	ULS	35	6.10b	B.93.1	ULS	44	6.10b
	ALS (Fire)	93	6.11b		ALS (Fire)	117	6.11b
B.68.1	ULS	35	6.10b	B.94.1	ULS	16	6.10b
	ALS (Fire)	95	6.11b		ALS (Fire)	45	6.11b
B.69.1	ULS	35	6.10b	B.95.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	93	6.11b		ALS (Fire)	41	6.11b
B.70.1	ULS	42	6.10b	B.96.1	ULS	26	6.10b
	ALS (Fire)	115	6.11b		ALS (Fire)	70	6.11b
B.71.1	ULS	35	6.10b	B.97.1	ULS	26	6.10b
	ALS (Fire)	93	6.11b		ALS (Fire)	70	6.11b
B.72.1	ULS	35	6.10b	B.98.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	95	6.11b		ALS (Fire)	40	6.11b
B.73.1	ULS	35	6.10b	B.99.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	93	6.11b		ALS (Fire)	40	6.11b
B.74.1	ULS	42	6.10b	B.100.1	ULS	26	6.10b
	ALS (Fire)	115	6.11b		ALS (Fire)	70	6.11b
B.75.1	ULS	36	6.10b	B.101.1	ULS	26	6.10b
	ALS (Fire)	95	6.11b		ALS (Fire)	70	6.11b
B.76.1	ULS	36	6.10b	B.102.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	99	6.11b		ALS (Fire)	40	6.11b
B.77.1	ULS	32	6.10b	B.103.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	83	6.11b		ALS (Fire)	40	6.11b

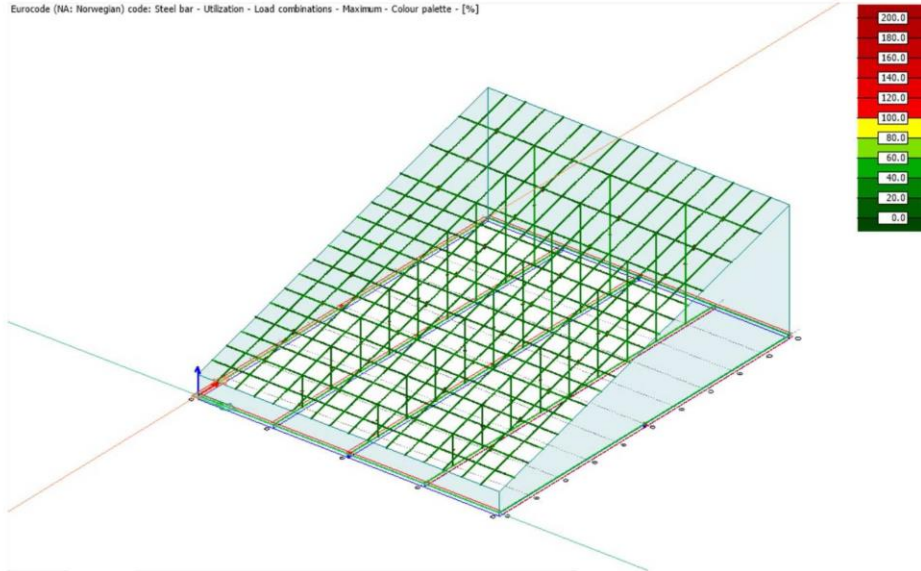
Member	Calculation	Maximum	Combination	Member	Calculation	Maximum	Combination
[-]	[-]	[%]	[-]	[-]	[-]	[%]	[-]
B.104.1	ULS	26	6.10b	B.130.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	70	6.11b		ALS (Fire)	41	6.11b
B.105.1	ULS	26	6.10b	B.131.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	70	6.11b		ALS (Fire)	41	6.11b
B.106.1	ULS	15	6.10b	B.132.1	ULS	31	6.10b
	ALS (Fire)	41	6.11b		ALS (Fire)	83	6.11b
B.107.1	ULS	16	6.10b	B.133.1	ULS	31	6.10b
	ALS (Fire)	45	6.11b		ALS (Fire)	83	6.11b
B.108.1	ULS	44	6.10b	B.134.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	117	6.11b		ALS (Fire)	41	6.11b
B.109.1	ULS	50	6.10b	B.135.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	139	6.11b		ALS (Fire)	41	6.11b
B.110.1	ULS	14	6.10b	B.136.1	ULS	30	6.10b
	ALS (Fire)	42	6.11b		ALS (Fire)	83	6.11b
B.111.1	ULS	16	6.10b	B.137.1	ULS	30	6.10b
	ALS (Fire)	43	6.11b		ALS (Fire)	82	6.11b
B.112.1	ULS	29	6.10b	B.138.1	ULS	16	6.10b
	ALS (Fire)	77	6.11b		ALS (Fire)	43	6.11b
B.113.1	ULS	29	6.10b	B.139.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	78	6.11b		ALS (Fire)	43	6.11b
B.114.1	ULS	15	6.10b	B.140.1	ULS	51	6.10b
	ALS (Fire)	42	6.11b		ALS (Fire)	138	6.11b
B.115.1	ULS	15	6.10b	B.141.1	ULS	51	6.10b
	ALS (Fire)	42	6.11b		ALS (Fire)	138	6.11b
B.116.1	ULS	29	6.10b	B.142.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	78	6.11b		ALS (Fire)	42	6.11b
B.117.1	ULS	29	6.10b	B.143.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	78	6.11b		ALS (Fire)	42	6.11b
B.118.1	ULS	15	6.10b	B.144.1	ULS	30	6.10b
	ALS (Fire)	42	6.11b		ALS (Fire)	83	6.11b
B.119.1	ULS	15	6.10b	B.145.1	ULS	30	6.10b
	ALS (Fire)	42	6.11b		ALS (Fire)	84	6.11b
B.120.1	ULS	29	6.10b	B.146.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	78	6.11b		ALS (Fire)	41	6.11b
B.121.1	ULS	29	6.10b	B.147.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	77	6.11b		ALS (Fire)	41	6.11b
B.122.1	ULS	16	6.10b	B.148.1	ULS	31	6.10b
	ALS (Fire)	43	6.11b		ALS (Fire)	84	6.11b
B.123.1	ULS	14	6.10b	B.149.1	ULS	31	6.10b
	ALS (Fire)	42	6.11b		ALS (Fire)	84	6.11b
B.124.1	ULS	50	6.10b	B.150.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	139	6.11b		ALS (Fire)	41	6.11b
B.125.1	ULS	51	6.10b	B.151.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	138	6.11b		ALS (Fire)	41	6.11b
B.126.1	ULS	15	6.10b	B.152.1	ULS	30	6.10b
	ALS (Fire)	43	6.11b		ALS (Fire)	84	6.11b
B.127.1	ULS	16	6.10b	B.153.1	ULS	30	6.10b
	ALS (Fire)	43	6.11b		ALS (Fire)	83	6.11b
B.128.1	ULS	30	6.10b	B.154.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	82	6.11b		ALS (Fire)	42	6.11b
B.129.1	ULS	30	6.10b	B.155.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	83	6.11b		ALS (Fire)	42	6.11b

Member	Calculation	Maximum	Combination	Member	Calculation	Maximum	Combination
[-]	[-]	[%]	[-]	[-]	[-]	[%]	[-]
B.156.1	ULS	51	6.10b	B.182.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	138	6.11b		ALS (Fire)	41	6.11b
B.157.1	ULS	51	6.10b	B.183.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	138	6.11b		ALS (Fire)	41	6.11b
B.158.1	ULS	15	6.10b	B.184.1	ULS	31	6.10b
	ALS (Fire)	43	6.11b		ALS (Fire)	84	6.11b
B.159.1	ULS	16	6.10b	B.185.1	ULS	31	6.10b
	ALS (Fire)	43	6.11b		ALS (Fire)	84	6.11b
B.160.1	ULS	30	6.10b	B.186.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	83	6.11b		ALS (Fire)	42	6.11b
B.161.1	ULS	30	6.10b	B.187.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	83	6.11b		ALS (Fire)	43	6.11b
B.162.1	ULS	15	6.10b	B.188.1	ULS	51	6.10b
	ALS (Fire)	41	6.11b		ALS (Fire)	139	6.11b
B.163.1	ULS	15	6.10b	B.189.1	ULS	52	6.10b
	ALS (Fire)	41	6.11b		ALS (Fire)	142	6.11b
B.164.1	ULS	31	6.10b	B.190.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	84	6.11b		ALS (Fire)	44	6.11b
B.165.1	ULS	31	6.10b	B.191.1	ULS	16	6.10b
	ALS (Fire)	84	6.11b		ALS (Fire)	43	6.11b
B.166.1	ULS	15	6.10b	B.192.1	ULS	31	6.10b
	ALS (Fire)	41	6.11b		ALS (Fire)	85	6.11b
B.167.1	ULS	15	6.10b	B.193.1	ULS	31	6.10b
	ALS (Fire)	41	6.11b		ALS (Fire)	86	6.11b
B.168.1	ULS	30	6.10b	B.194.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	83	6.11b		ALS (Fire)	42	6.11b
B.169.1	ULS	30	6.10b	B.195.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	83	6.11b		ALS (Fire)	42	6.11b
B.170.1	ULS	16	6.10b	B.196.1	ULS	31	6.10b
	ALS (Fire)	43	6.11b		ALS (Fire)	86	6.11b
B.171.1	ULS	15	6.10b	B.197.1	ULS	31	6.10b
	ALS (Fire)	43	6.11b		ALS (Fire)	86	6.11b
B.172.1	ULS	51	6.10b	B.198.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	138	6.11b		ALS (Fire)	42	6.11b
B.173.1	ULS	51	6.10b	B.199.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	139	6.11b		ALS (Fire)	42	6.11b
B.174.1	ULS	15	6.10b	B.200.1	ULS	31	6.10b
	ALS (Fire)	43	6.11b		ALS (Fire)	86	6.11b
B.175.1	ULS	15	6.10b	B.201.1	ULS	31	6.10b
	ALS (Fire)	42	6.11b		ALS (Fire)	85	6.11b
B.176.1	ULS	31	6.10b	B.202.1	ULS	16	6.10b
	ALS (Fire)	84	6.11b		ALS (Fire)	43	6.11b
B.177.1	ULS	31	6.10b	B.203.1	ULS	15	6.10b
	ALS (Fire)	84	6.11b		ALS (Fire)	44	6.11b
B.178.1	ULS	15	6.10b	B.204.1	ULS	52	6.10b
	ALS (Fire)	41	6.11b		ALS (Fire)	142	6.11b
B.179.1	ULS	15	6.10b	B.205.1	ULS	35	6.10b
	ALS (Fire)	41	6.11b		ALS (Fire)	88	6.11b
B.180.1	ULS	31	6.10b	B.206.1	ULS	30	6.10b
	ALS (Fire)	85	6.11b		ALS (Fire)	73	6.11b
B.181.1	ULS	31	6.10b	B.207.1	ULS	29	6.10b, skjevlast, snø
	ALS (Fire)	85	6.11b		ALS (Fire)	70	6.11b

Member	Calculation	Maximum	Combination	Member	Calculation	Maximum	Combination
[-]	[-]	[%]	[-]	[-]	[-]	[%]	[-]
B.208.1	ULS	30	6.10b		ALS (Fire)	36	6.11b
	ALS (Fire)	74	6.11b	C.7.1	ULS	15	6.10b
B.209.1	ULS	30	6.10b		ALS (Fire)	63	6.11b
	ALS (Fire)	72	6.11b	C.8.1	ULS	15	6.10b
B.210.1	ULS	28	6.10b, skjevlast, snø		ALS (Fire)	63	6.11b
	ALS (Fire)	69	6.11b	C.9.1	ULS	15	6.10b
B.211.1	ULS	30	6.10b		ALS (Fire)	63	6.11b
	ALS (Fire)	72	6.11b	C.10.1	ULS	12	6.10b
B.212.1	ULS	35	6.10b		ALS (Fire)	56	6.11b
	ALS (Fire)	88	6.11b	C.11.1	ULS	12	6.10b
B.213.1	ULS	30	6.10b		ALS (Fire)	56	6.11b
	ALS (Fire)	72	6.11b	C.12.1	ULS	12	6.10b
B.214.1	ULS	28	6.10b, skjevlast, snø		ALS (Fire)	56	6.11b
	ALS (Fire)	69	6.11b	C.13.1	ULS	21	6.10b
B.215.1	ULS	30	6.10b		ALS (Fire)	98	6.11b
	ALS (Fire)	72	6.11b	C.14.1	ULS	21	6.10b
B.216.1	ULS	35	6.10b		ALS (Fire)	98	6.11b
	ALS (Fire)	88	6.11b	C.15.1	ULS	21	6.10b
B.217.1	ULS	30	6.10b		ALS (Fire)	98	6.11b
	ALS (Fire)	73	6.11b	C.16.1	ULS	18	6.10b
B.218.1	ULS	29	6.10b, skjevlast, snø		ALS (Fire)	86	6.11b
	ALS (Fire)	70	6.11b	C.17.1	ULS	18	6.10b
B.219.1	ULS	30	6.10b		ALS (Fire)	86	6.11b
	ALS (Fire)	74	6.11b	C.18.1	ULS	18	6.10b
B.220.1	ULS	26	6.10b, skjevlast, snø		ALS (Fire)	86	6.11b
	ALS (Fire)	61	6.11b	C.19.1	ULS	30	6.10b
B.221.1	ULS	26	6.10b, skjevlast, snø		ALS (Fire)	134	6.11b
	ALS (Fire)	61	6.11b	C.20.1	ULS	31	6.10b
B.222.1	ULS	26	6.10b, skjevlast, snø		ALS (Fire)	135	6.11b
	ALS (Fire)	61	6.11b	C.21.1	ULS	30	6.10b
B.223.1	ULS	26	6.10b, skjevlast, snø		ALS (Fire)	134	6.11b
	ALS (Fire)	61	6.11b	C.22.1	ULS	25	6.10b, skjevlast, snø
C.1.1	ULS	12	6.10b		ALS (Fire)	108	6.11b
	ALS (Fire)	43	6.11b	C.23.1	ULS	25	6.10b, skjevlast, snø
C.2.1	ULS	12	6.10b		ALS (Fire)	108	6.11b
	ALS (Fire)	43	6.11b	C.24.1	ULS	25	6.10b, skjevlast, snø
C.3.1	ULS	12	6.10b		ALS (Fire)	108	6.11b
	ALS (Fire)	43	6.11b	C.25.1	ULS	42	6.10b, skjevlast, snø
C.4.1	ULS	9	6.10b		ALS (Fire)	174	6.11b
	ALS (Fire)	36	6.11b	C.26.1	ULS	42	6.10b, skjevlast, snø
C.5.1	ULS	9	6.10b		ALS (Fire)	174	6.11b
	ALS (Fire)	36	6.11b	C.27.1	ULS	42	6.10b, skjevlast, snø
C.6.1	ULS	9	6.10b		ALS (Fire)	174	6.11b

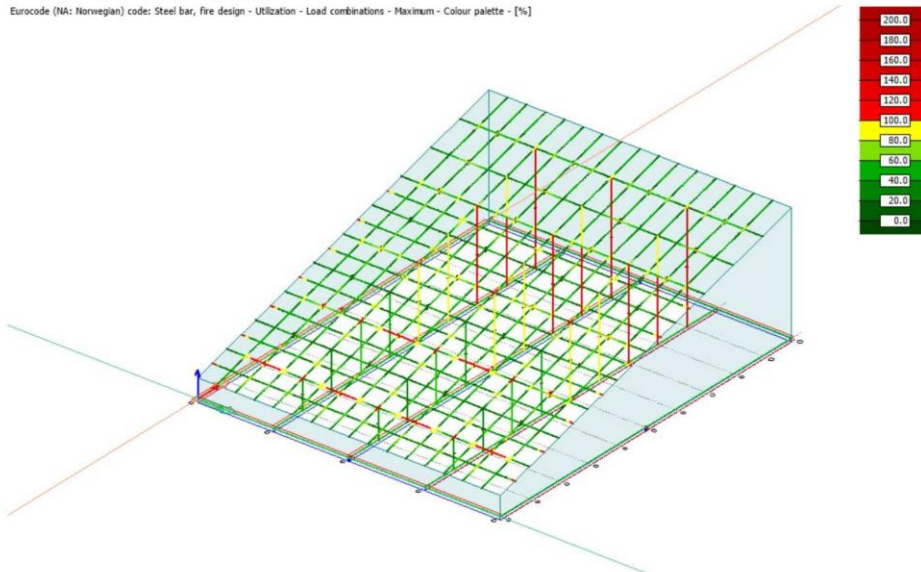
4.2 BRUDDLAST, GRAFISK

Eurocode (NA: Norwegian) code: Steel bar - Utilization - Load combinations - Maximum - Colour palette - [%]



4.3 ULYKKESLAST, GRAFISK

Eurocode (NA: Norwegian) code: Steel bar, fire design - Utilization - Load combinations - Maximum - Colour palette - [%]



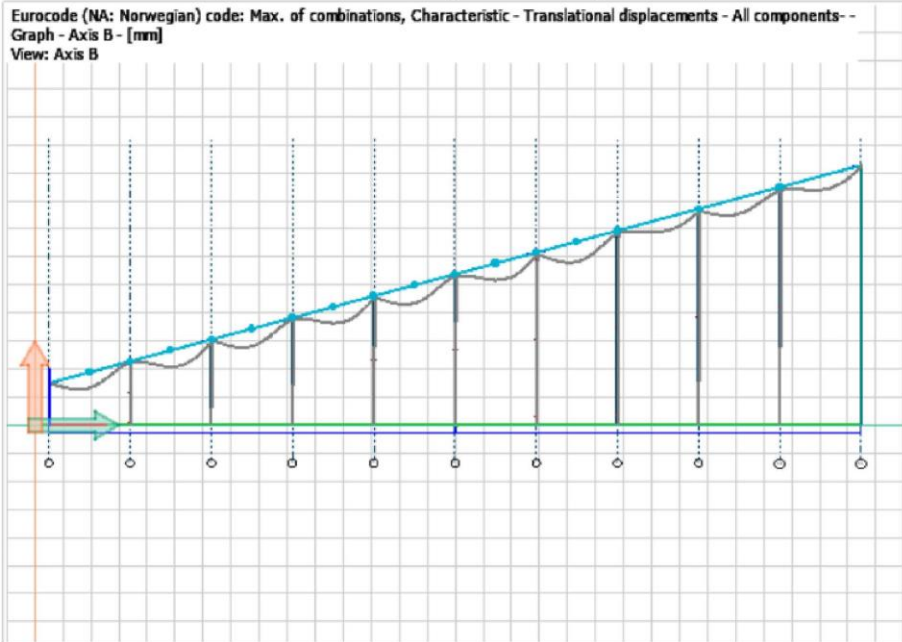
5 NEDBØYNINGER

5.1 STØRSTE NEDBØYNING/DEFLEKSJON AV LASTKOMBINASJONER, TABELL

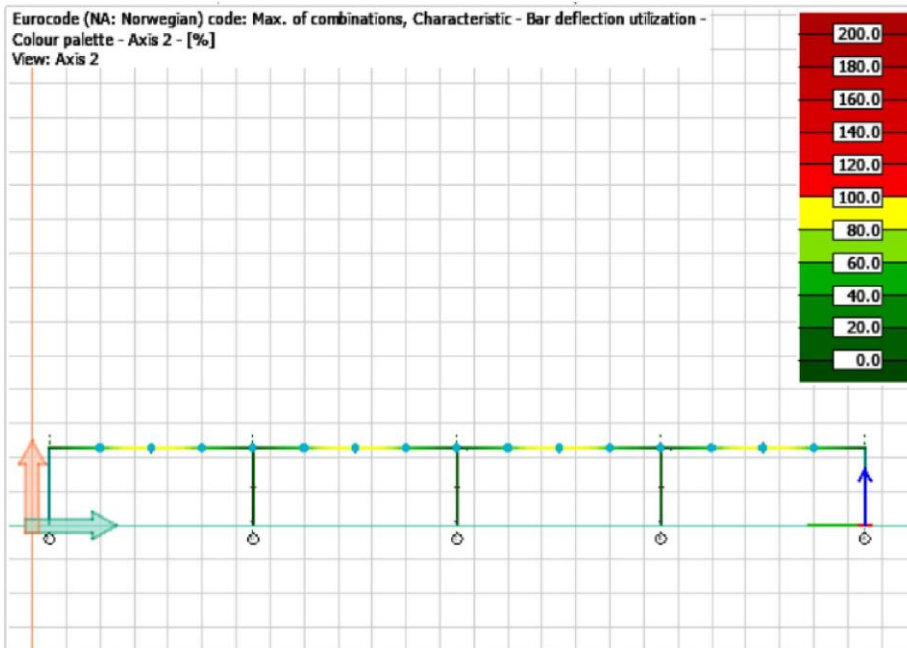
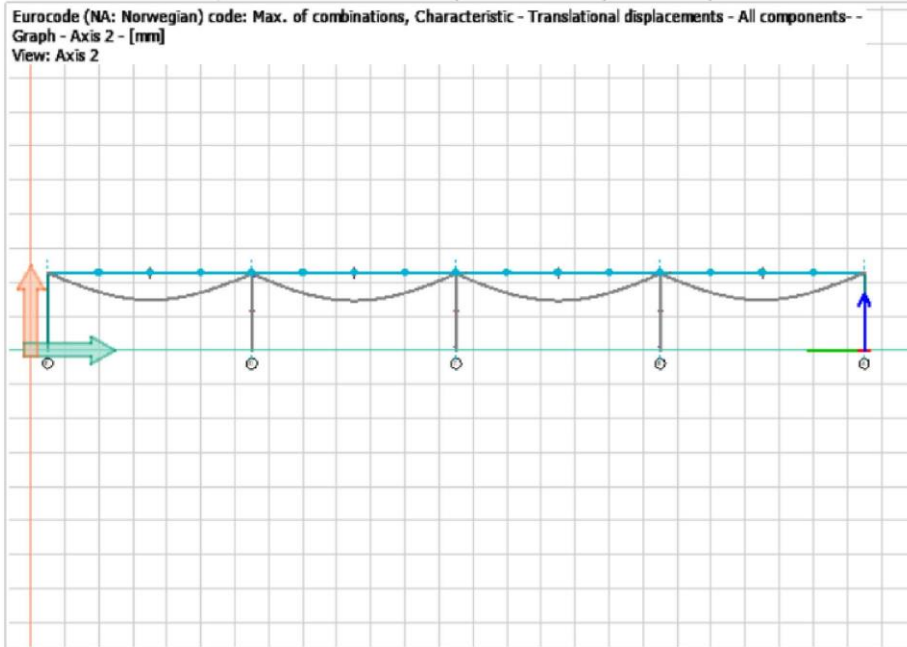
Max.	ID	ex'	ey'	ez'	fix'	fiy'	fiz'	x	Comb
[-]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[rad]	[rad]	[rad]	[m]	[-]
ex' (+)	B.70.1	0.645	-0.000	-1.704	-0.000	0.000	-0.000	5.999	6.14b
ey' (+)	C.26.1	-2.091	1.164	-0.000	-0.000	0.000	0.000	16.975	6.14b
ez' (+)	B.34.1	-0.570	-0.000	0.138	0.000	0.010	0.000	0.000	6.14b
fix' (+)	B.47.1	-0.565	-0.089	-19.155	0.004	0.001	-0.000	8.999	6.14b

Max.	ID	ex'	ey'	ez'	fix'	fiy'	fiz'	x	Comb
[-]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[rad]	[rad]	[rad]	[m]	[-]
fiy' (+)	B.46.1	-0.570	0.000	0.138	-0.000	0.010	-0.000	0.000	6.14b
fiz' (+)	B.204.1	-0.095	-2.563	-12.442	0.001	-0.007	0.002	1.125	6.14b
ex' (-)	C.27.1	-2.092	1.106	0.002	0.000	-0.000	0.000	16.975	6.14b
ey' (-)	B.118.1	-0.021	-6.416	-25.497	-0.000	0.000	0.000	3.000	6.14b
ez' (-)	B.83.1	-0.403	0.021	-26.290	0.000	-0.000	-0.000	3.000	6.14b
fix' (-)	B.33.1	-0.565	0.089	-19.155	-0.004	0.001	0.000	8.999	6.14b
fiy' (-)	B.210.1	-0.384	-0.007	-0.073	-0.000	-0.009	0.000	11.999	6.14b
fiz' (-)	B.189.1	0.095	-2.563	-12.442	0.001	0.007	-0.002	1.875	6.14b

5.2 UTNYTTELSE, AKSE B, GRAFISK

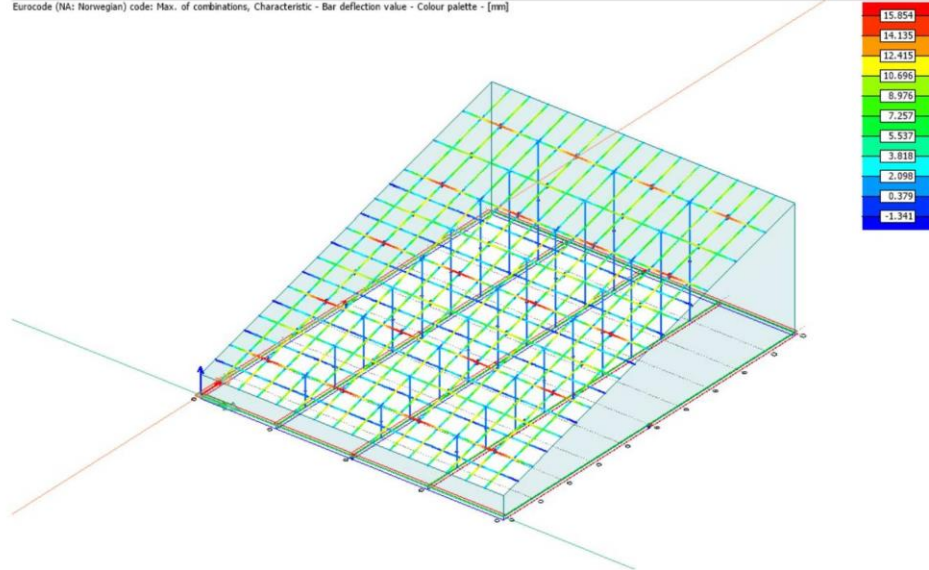


5.3 UTNYTTELSE, AKSE 2, GRAFISK



5.4 HELE BYGGET, GRAFISK

Eurocode (NA: Norwegian) code: Max. of combinations, Characteristic - Bar deflection value - Colour palette - [mm]



G: Programvare-utskrift; Excel, U-verdi tak

Tretak

Tykkelse	0,5 m
C/C	0,6 m
λ , iso.	0,034
λ , tre	0,12
Bredde, tre	0,048 m
Bredde, iso.	0,552 m
R, iso.	14,71 (m ² *K)/W
R, tre	4,17 (m ² *K)/W
U, iso.	0,07 W/(m ² *K)
U, tre	0,24 W/(m ² *K)
U-verdi	0,082 W/(m ² *K)

Total U-verdi

takflatens lengde	60,0 m
Glassflatens lengde	42,0 m
Tretakets lengde	18,0 m
U-verdi glasstak	0,728 W/(m ² *K)
U-verdi tretak	0,082 W/(m ² *K)
U-Verdi	0,534 W/(m ² *K)

H: Programvare-utskrift; Excel, Lysareal -og vinkel

Resultater	
a,red	2 820 mm
b,red	2 900 mm
Areal glasspanel	9,00 m ²
Fritt glassareal	8,18 m ²
Arealreduksjon	9%
Vinkel, alfa	172,7 °
Dimensjoner	
Sperrer	HFRHS 180x180x10
Vekselbjelker i glasskjøt	HFRHS 100x100x10
Bjelker	HE-B650
Søyler	HFRHS 300x300x10

I: KI-deklarasjon

Deklarasjon om KI-hjelpemidler

Har det i utarbeidingen av denne rapporten blitt anvendt KI-baserte hjelpemidler?

Nei

Ja

Hvis ja: spesifiser type av verktøy og bruksområde under.

Tekst

Stavekontroll. Er deler av teksten kontrollert av:
Grammarly, Ginger, Grammarbot, LanguageTool, ProWritingAid, Sapling, Trinkai.ai eller lignende verktøy?

Tekstgenerering. Er deler av teksten generert av:
ChatGPT, GrammarlyGO, CopyAI, WordAi, WriteSonic, Jasper, Simplified, Rytr eller lignende verktøy?

Skriveassistanse. Er en eller flere av ideene eller fremgangsmåtene i oppgaven foreslått av:
ChatGPT, Google Bard, Bing chat, YouChat eller lignende verktøy?

Hvis ja til anvendelse av et tekstverktøy - spesifiser bruken her:

Kode og algoritmer

Programmeringsassistanse. Er deler av koden/algoritmene som i) fremtrer direkte i rapporten eller ii) har blitt anvendt for produksjon av resultater slik som figurer, tabeller eller tallverdier blitt generert av: *GitHub Copilot, CodeGPT, Google Codey/Studio Bot, Replit Ghostwriter, Amazon CodeWhisperer, GPT Engineer, ChatGPT, Google Bard* eller lignende verktøy?

Hvis ja til anvendelse av et programmeringsverktøy - spesifiser bruken her:

Bilder og figurer

Bildegenerering. Er ett eller flere av bildene/figurene i rapporten blitt generert av:
Midjourney, Jasper, WriteSonic, Stability AI, Dall-E eller lignende verktøy?

Hvis ja til anvendelse av et bildeverktøy - spesifiser bruken her:

Andre KI verktøy. har andre typer av verktøy blitt anvendt? Hvis ja spesifiser bruken her:

Jeg er kjent med NTNUs regelverk: *Det er ikke tillatt å generere besvarelse ved hjelp av kunstig intelligens og levere den helt eller delvis som egen besvarelse.* Jeg har derfor redegjort for all anvendelse av kunstig intelligens enten i) direkte i rapporten eller ii) i dette skjemaet.

Furub Kjelbot *Sjerve/15.05-24/Veddel*
Underskrift/Dato/Sted

