

Arkitektdesignet felleshus med byggtekniske prosjekteringsanbefalinger

Concourse building designed by architects with constructional recommendations.

Trondheim Mai 2021

Studenter:

Agnete Aas Haukås
Ine Tønnessen Straumbotn

Intern veileder:

Terje Kjetil Fossheim

Ekstern veileder:

Ogmund Sørli

Prosjektnr:
2021-05

Rapporten er ÅPEN



Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Problemdefinering, prosjektbeskrivelse, resultatmål

Samarbeid innen byggebransjen får et større og større fokus. Et kritisk ledd i denne prosessen er samarbeidet mellom arkitekter og rådgivende ingeniør bygg. Visjonen til arkitekten vil i mange tilfeller utfordre byggingeniøren til å tenke nytt.

Videre er behovet til kunden sentralt og det er viktig å ta hensyn til deres ønsker. I oppgaven er det klare instruksjoner fra kunden om hvordan bygget skal brukes. Det er arkitekten sin jobb å utforme bygget, og byggingeniøren sin jobb å sikre byggteknikken.

Oppgaven går ut på å komme med gode løsninger til videre utforming av et felleshus som er skissert av Pir II. Deres skisseprosjekt vil være grunnlaget for oppgaven. Gruppen ønsker å bevare de arkitektoniske prinsippene så langt det lar seg gjøre. Studentgruppen ønsker å se på materialvalg, overgang mellom bygningsdeler, dimensjonering, fundament, U-verdi og energiberegninger.

Resultatmålet med oppgaven er byggtekniske prosjekteringsbefalinger hvor det er tatt hensyn til arkitektens visjon. Oppgaven skal inneholde byggtekniske tegninger, konstruksjonstegninger og beregninger. Gruppen ønsker å ta bærekraftige valg samt sikre god byggteknikk.

Stikkord fra prosjektet:

Byggteknikk, konstruksjon, Treetop Ekne, energiberegninger, BIM, arkitektskisse

Forord

Denne bacheloroppgaven er utarbeidet av to studenter i forbindelse med avsluttende utdanning ved Institutt for bygg- og miljøteknikk. En representant fra konstruksjonsteknikk og en fra husbyggingsteknikk har våren 2021 utviklet denne oppgaven, med en studiebelastning på 20 studiepoeng. Det har vært tre innholdsrike år ved byggingeniørutdanningen, både på campus Kalvskinnet og Gløshaugen. Uten tvil år vi vil forbinde med positive opplevelser og god læring.

Da gruppen skulle bestemme seg for oppgave, ønsket vi å finne et prosjekt hvor begge fikk vist sin kunnskap. Vi kom i kontakt med arkitektfirmaet Pir II, som hadde mange spennende prosjekter på gang. Prosjektet til Treetop Ekne skilte seg ut ved å være et skisseprosjekt i startfasen. Her fikk gruppen komme tidlig inn og se kommunikasjonen utvikle seg mellom byggherre og arkitekt. Det var et spennende konsept med unik utforming som avviker fra det standardiserte. Vi tok utfordringene i håp om et resultat som også vil være unikt og spennende. Dette har bydd på mange utfordringer, og satt kreativiteten på prøve.

Vi ønsker å rette en stor takk til vår eksterne kontakt Ogmund Sørli og prosjektleder Sverre Winther ved Pir II for et unikt skisseprosjekt, samt et spennende innblikk i arkitektens tankegang og fremgangsmåter. Videre vil vi takke Katrine og Johannes, de ivrige sjelene bak Treetop Ekne, for befaring og innspill. Vi vil også rette en takk til førstelektor ved instituttet, Per Otto Yttervoll, for gode innspill på konstruksjonsberegninger. Til sist, men ikke minst, vil vi takke vår interne veileder Terje Kjetil Fossheim for gode tilbakemeldinger, positiv innstilling og stort engasjement for oppgaven vår.

Trondheim, 20. mai 2021

Agnete Aas Haukås

Agnete Aas Haukås

Ine T. Straumbotn

Ine Tønnessen Straumbotn

Sammendrag

I denne bacheloroppgaven er det undersøkt hvorvidt det er mulig å utforme gode byggtekniske løsninger til et arkitektdesignet felleshus. Felleshuset er skissert av arkitektfirmaet Pir II, og har en unik utforming som utfordrer den tradisjonelle byggteknikken. Det er sett på løsninger som oppfyller kravene til konstruksjonssikkerhet og byggteknikk. Målet gjennom oppgaven har hele veien vært å bevare de arkitektoniske prinsippene. Dette har blant annet utfordret de standardiserte løsningene, og behovet for å tenke nytt har vært nødvendig. Med dette som bakgrunn utarbeidet studentgruppen følgende problemstilling for oppgaven: *"Er det mulig å utforme byggtekniske løsninger som oppfyller kravene til konstruksjonssikkerhet og byggteknikk, samt bevarer de arkitektoniske prinsippene?"*.

Det er gjennom hele oppgaven presentert to løsningsalternativer, som oppfyller de tekniske kravene, til hver bygningskomponent. Disse er drøftet og diskutert opp mot hverandre ut ifra aktuelle kriterier som energikrav, miljøperspektiv, mulighet for tilpasset utforming og hvorvidt de bevarer de arkitektoniske prinsippene. Når begge løsningene oppfyller de arkitektoniske prinsippene, vil gruppens byggtekniske prosjekteringsanbefalinger basere seg på de gitte kriteriene. Ved hjelp av prosjekteringsverktøyet Archicad, er gruppens anbefalinger tegnet og målsatt. Dette for å gi en beskrivelse av hvordan oppbygningen av komponentene kan være for å oppfylle de tekniske kravene. Disse ligger vedlagt besvarelsen.

Interessante funn i oppgaven er at de arkitektoniske prinsippene medførte et mindre bærekraftig bygg, i form av større terrenginngrep og materialsvinn i form av avkapp fra plater og bjelker. Det store spennet over huset medførte en kompleks takløsning, der stålbjelker kombinerer med massivtredekker, viste seg å være en løsning som både oppfylte de tekniske kravene og de arkitektoniske prinsippene. Veggens krumning medførte et behov for å ha stenderverket tett, og det ble sett på ulike løsninger for utforming av krummet bunn- og toppsvill.

Resultatet av oppgaven viser at det er mulig å utforme byggtekniske løsninger som følger de arkitektoniske prinsippene, samt oppfyller kravene til konstruksjonssikkerhet og byggteknikk. Det bør allikevel presiseres at andre essensielle og viktige kriterier nedprioriteres, ved å rette fokus på de arkitektoniske prinsippene. Som et resultat bacheloroppgaven konkluderes det som et viktig poeng å ha et godt samarbeid mellom arkitekter og ingeniører i forbindelse med utformingen av bygninger. Ved å kombinere ingeniørens kunnskap om hvordan byggets utforming påvirker materialvalg og energibruk, med arkitektens kunnskap om estetikk og funksjon, mener studentgruppen at man kan oppnå mer bærekraftige bygg.

Abstract

This bachelor thesis examines the possibility of constructing a building designed by architects, with constructional solutions that reach legal requirements. The building in question is designed by the architect firm Pir II. It has a unique shape that challenges the construction. Solutions that fulfill constructional requirements are considered and discussed. The main goal and focus throughout the thesis are to maintain the architect's vision and shape. This has been a challenge that forced an innovative process of thoughts. The project group reached the following problem description: "Is it possible to create constructional solutions that meet requirements and maintain architecture?".

Throughout the thesis, there is presented two different solutions for each component. These solutions are discussed and debated within criteria such as flexible construction, thermal resistance, sustainability, and whether they satisfy the architectural principles. In the case when both solutions meet the architectural principles, the project group's recommendation will be based on the given criteria. Using the BIM-program Archicad, the project group has created a proposal, presented as technical drawings. These drawings give a visual of the constructional solution.

Interesting findings in the thesis are how the design forced less sustainable solutions. Both in the use of excess material to create the odd design and having a larger impact on the ground at the site. The large roof span made for a complex roof construction, where steel beams enforce the Cross Laminated Timber-roof. The curved walls also required a distinctive solution to create the curve as designed.

The result is the conclusion that it is in fact possible to construct after requirements, while also fulfilling the architectural design. On the other side, it should be mentioned that other important criteria had to be less prioritized when focusing on the architecture. The thesis shows the importance of collaboration between architects and engineers in the early stages of designing. The combined knowledge within the fields of engineering and architecture will influence choices as design, use of material and use of energy. Early collaboration can result in more sustainable buildings.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Sammendrag	ii
Abstract.....	iii
Innholdsfortegnelse.....	iv
Figurliste	vii
Tabelliste.....	viii
Begreper og terminologier	ix
1 Innledning	1
1.1 Oppgavens struktur	1
1.2 Bakgrunn for oppgaven.....	2
1.3 Formål	2
1.4 Problemstilling	3
1.5 Omfang.....	4
1.6 Avgrensninger	4
1.7 Bakgrunn for prosjektet.....	5
1.7.1 Treetop Ekne	5
1.7.2 Beliggenhet	6
1.7.3 Arkitektenes skisser	7
2 Metode	10
2.1 Litteratursøk	10
2.2 Ekstern kompetanse.....	11
2.3 Archicad	11
2.4 Befaring.....	12
2.5 Utvelgelsesprosess	12
3 Teori.....	13
3.1 Forskrifter og standarder	13
3.1.1 Konstruksjonssikkerhet.....	14

3.1.2	Brannkrav.....	15
3.1.3	Krav om lys og utsyn.....	16
3.1.4	Energikrav.....	17
3.2	Materialer.....	19
3.2.1	Tre.....	19
3.2.2	Stål.....	21
3.2.3	Betong.....	22
3.2.4	Overflater.....	23
3.2.5	Glassareal.....	24
3.3	Konstruksjonsprinsipper og byggteknikk.....	25
3.3.1	Bygningsform.....	25
3.3.2	Fundament.....	26
3.3.3	Gulv.....	28
3.3.4	Vegg.....	29
3.3.5	Tak.....	30
3.3.6	Kuldebroer.....	31
4	Analyser.....	32
4.1	Beregninger.....	32
4.1.1	Snølast.....	32
4.1.2	Fundament og gulvkonstruksjon.....	34
4.1.3	Veggkonstruksjon.....	37
4.1.4	Takkonstruksjon.....	39
4.2	Fundament og gulv.....	43
4.2.1	Utforming og oppbygning.....	46
4.2.2	Terrenginngrep.....	48
4.2.3	Energikrav og miljø.....	49
4.2.4	Oppsummering.....	53
4.3	Vegg.....	54
4.3.1	Utforming og oppbygning.....	56

4.3.2	Energikrav og miljø	60
4.3.3	Oppsummering.....	61
4.4	Tak.....	62
4.4.1	Utforming og oppbygning.....	66
4.4.2	Energikrav og miljø	67
4.4.3	Oppsummering.....	68
4.5	Bygningsform.....	69
4.6	Glassareal	73
4.7	Brannsikkerhet	74
5	Resultat av valgte løsninger	77
5.1	Valgte løsninger	77
5.2	U-verdi og varmetapsrate	78
5.3	Kuldebroverdier	80
6	Konklusjon.....	82
7	Veien videre	83
8	Oppgaven i et større perspektiv	84
9	Innovasjon og forskning	85
10	Referanseliste.....	86
11	Vedlegg.....	94

Figurliste

Figur 1 – Nåværende camp der lavvo erstattes med felleshuset. Foto: Studentgruppen.	6
Figur 2 – Felleshuset med atrium. Skissert av Pir II.	7
Figur 3 – Arealplan av felleshuset. Skissert av Pir II.	8
Figur 4 – Felleshuset fra sør med vindu. Skissert av Pir II.	9
Figur 5 – Kjøkkenområdet til felleshuset. Skissert av Pir II.	9
Figur 6 – Utforming av bjelkelag ved pilarfundament. Skissert av studentgruppen.	34
Figur 7 – Opptredende lastfelt til stålbjelkene. Skissert av studentgruppen.	39
Figur 8 – Nødvendig dimensjon på stålbjelkene. Skissert av studentgruppen.	41
Figur 9 – Opptredende lastfelt til limtrebjelkene. Skissert av studentgruppen.	41
Figur 10 – Gulv på grunn med ringmur (SINTEF Byggforsk, 2019).	43
Figur 11 – Oppbygning av betonggulv på grunn (SINTEF Byggforsk, 2003).	44
Figur 12 – Prinsipiell oppbygning av pilarfundament (SINTEF Byggforsk, 1996).	45
Figur 13 – Nødvendig isolasjonstykkelse til telesikring (SINTEF Byggforsk, 2019).	50
Figur 14 – Bredder for markisolasjon langs ringmur (SINTEF Byggforsk, 2019).	51
Figur 15 – Isolasjonsbredde til pilarer (SINTEF Byggforsk, 2019).	52
Figur 16 – Visualisering av todelt stenderverk (Norsk Treteknisk Institutt, 2011)	54
Figur 17 – Visualisering av gjennomgående stenderverk (Norsk Treteknisk Institutt, 2011)....	55
Figur 18 – Oppsprekking av treverk ved trykkpåkjenning. Skissert av studentgruppen.	56
Figur 19 – Oppløsning av trefiber. Skissert av studentgruppen.	57
Figur 20 – Problematikk ved bruk av rette sviller. Skissert av studentgruppen.	57
Figur 21 – Tenkt utnyttelse av kryssfinérplate som svill. Skissert av studentgruppen.	58
Figur 22 – Plassering av stålbjelker og massivtreelementer. Skissert av studentgruppen.	63
Figur 23 – Bjelkelag til takkonstruksjon. Skissert av studentgruppen.	64
Figur 24 – Utforming av staver. Skissert av studentgruppen.	65
Figur 25 – Utforming av staver. Skissert av studentgruppen.	65
Figur 26 – Mulig vindproblematikk. Skissert av studentgruppen.	70
Figur 27 – Utstikk konstruert som bjelkelag. Skissert av studentgruppen.	71
Figur 28 – Utstikk konstruert med pilarer. Skissert av studentgruppen.	72

Tabelliste

Tabell 1 – Brannteknisk klassifisering (Liebe, 2020).....	15
Tabell 2 – Minimumskrav fra §14-3 (1) a) (DiBK, 2017).....	18
Tabell 3 – Klassifisering av naturlig holdbarhet ved jordkontakt (SINTEF Byggforsk, 2015). 59	
Tabell 4 – Risikoklasser hentet fra VTEK § 11-2 (DiBK, 2017).	74
Tabell 5 – Brannklasser hentet fra VTEK §11-3 (DiBK, 2017).....	75
Tabell 6 – Ytelseskrav til den gitte brannklassen (DiBK, 2017).	75
Tabell 7 – Isolasjonstykkelse av hardpressede plater (SINTEF Byggforsk, 2004).	76
Tabell 8 – Oppsummerende tabell over anbefalinger fra kapittel 4.....	77
Tabell 9 – U-verdi for de ulike alternativene.....	78
Tabell 10 – Varmetapsrate (Anda & Bjelland, 2013).	79
Tabell 11 – Normalisert kuldebro. Beregninger etter NS-EN ISO 14683 (Standard Norge, 2017).	81

Begreper og terminologier

Nedenfor forklares sentrale begreper som er viktig for en riktig forståelse av oppgaven.

Forklaringene er presise og kortfattede.

Begrep	Forklaring
BIM	Bygningsinformasjonsmodellering.
BRA	Arealet innenfor veggene.
Brutto energibehov	Tilført energi, som avhenger av energiforsyningssystemet.
c/c 300	Avstanden fra senter til senter mellom bjelker eller søyler.
Lavenergihus	Et bygg som tilfredsstiller energikrav gitt i NS 3700, som er strengere enn TEK17.
Lekkasjetall	Et mål på hvor tett bygget er. Det blir målt ved 50 Pa trykkforskjell når bygget er ferdigstilt.
Netto energibehov	Beregnet behov for energi.
Passivhus	Et bygg som tilfredsstiller de strengeste energikravene gitt i NS 3700.
TEK17	Byggteknisk forskrift. Lovverk som stiller tekniske krav til byggverk.
Totrinnstetting	Prinsipp som skal sikre vanntette konstruksjoner, stort sett brukt i yttervegger.
Trinnfri adkomst	Terskel mindre enn 25 mm.
U-verdi	Varmegjennomgangskoeffisient, et tall som beskriver varmeisolasjonsevnen til en komponent.
Varmetapstall	Et mål på hvor mye varmetap et bygg har.

1 Innledning

I dette kapitlet blir oppgaven introdusert. Først utdypes det om hvordan oppgaven er bygget opp. Etterpå blir bakgrunn for valg av oppgave gjennomgått, samt formålet med oppgaven. Videre blir problemstillingen lagt frem og beskrevet. Omfang og avgrensinger vil gi innføring i oppgavens timeverk og hvilke temaer som utelukkes. Avslutningsvis presenteres prosjektet som danner grunnlaget for oppgaven.

1.1 Oppgavens struktur

Oppgaven er strukturert slik at den kan leses uten forkunnskaper. Den er delt inn i innledning, metode, teori, analyse, resultat og konklusjon. Avslutningsvis diskuteres det om veien videre, oppgaven i et større perspektiv, samt innovasjon og forskningsområder for belyste temaer.

Innledningen inneholder en forklaring om bakgrunnen og formålet til oppgaven. Her får man vite hva man kan forvente av oppgaven, hva problemstillingen er, og hvilke avgrensninger som er gjort. Neste del av oppgaven omhandler metoder. Her blir det forklart hvilke metoder som er brukt for å gjøre undersøkelser i forkant og underveis av oppgaven. Det fortelles også om hvilke metoder som er brukt til å produsere det endelige resultatet.

Før hoveddelen kommer teorikapitlet. Her legges det frem prinsippene som blir brukt i oppgaven. Denne delen gir også et innblikk i studentenes forståelse av fagfeltet. Videre gir kapitlet alle en mulighet til å forstå hoveddelen uten bakgrunnskunnskaper innen feltet.

Etter at alle prinsipper er lagt frem kommer analysen. I dette kapitlet drøftes teorien opp mot problemstillingen, og studentgruppens funn blir presentert og diskutert. Resultatet av analysen blir gjennomgått i eget kapittel, og en oppsummering av valgene blir presentert i en tabell. Resultatkapitlet viser også hvordan valgene oppnår energikravene og endelig kuldebroverdier.

Etter at resultatene er presentert kommer konklusjonen. Her blir problemstillingen tatt opp til diskusjon og besvart. Etter konklusjonen vil de avsluttende kapitlene sette oppgaven i et større perspektiv. Det blir sett på veien videre for oppgaven og prosjektet, samt hvilke forskningsområder som bør satses på med oppgaven som bakgrunn.

Referanselisten er lagt ved mot slutten for å vise til kilder som er brukt i oppgaven. Slik kan leseren enkelt få mer informasjon om temaet, samt se hva som er gruppens arbeid og hva som er andres arbeid. Helt til slutt ligger vedleggene som hører til oppgaven. Her ligger blant annet en artikkel, plakater, energiberegninger og tegninger.

1.2 Bakgrunn for oppgaven

Studentgruppen er spesialisert innenfor konstruksjons- og husbyggingsteknikk. Det var derfor et ønske å ta utgangspunkt i disse retningene for valg av bacheloroppgave. Begge studentene har interesse for tekniske aspekter ved husbygging, og dette ble derfor hovedfokuset til oppgaven.

Samtidig har gruppen gjennom studiet fått innsikt i at samarbeidet mellom arkitekter og rådigvene ingeniører bygg (RIB) kan være manglende. Dette har lenge vært et problem innenfor bransjen, og gruppen ønsket derfor å se nærmere på dette temaet. Ved å ta del i et arkitektprosjekt, kunne gruppen se på hvilke problemstillinger som oppstår ved utforming av byggt tekniske løsninger til et arkitektdesignet bygg. Det ble derfor opprettet kontakt med det anerkjente arkitektfirma, Pir II.

Oppdragsgiver Pir II, hadde et pågående prosjekt med Treetop Ekne. Det skulle bygges et felleshus med oppholdsplass for besøkende gjester. Det er dette huset som tar utgangspunkt for gruppens bacheloroppgave. Felleshuset er skissert av oppdragsgiver og studentgruppen ønsket å se på bygg- og konstruksjonstekniske utfordringer i forbindelse med foreløpig skisseplan.

1.3 Formål

Formålet med oppgaven er å komme med byggt tekniske prosjekteringsanbefalinger til det skisserte felleshuset. Oppgaven skal komme med konkrete løsninger på utformingen av huset, basert på tekniske krav. Da oppgaven må ha sine avgrensninger beskrevet i kapittel *1.6 Avgrensninger*, er det enkelte områder gruppen belyser problemstillinger som bør sees nærmere på i en senere detaljprosjektering. På grunn av prosjektets status som skisseprosjekt er ikke alle mål og former fastbestemt, og endringer har oppstått i løpet av perioden. Dermed vil enkelte deler av oppgavens resultater ikke ha direkte nytteverdi til prosjektet, men kan brukes som inspirasjon til lignende prosjekter.

Prosjektet gir gruppe medlemmene en realistisk arbeidsoppgave, som forhåpentligvis gir nyttige erfaringer. Oppgaven gir gruppen mulighet til å vise et bredt spekter av kunnskap som er innhentet så langt i studieløpet. Videre vil den utfordre gruppe medlemmene til å tenke på egenhånd, bruke tilegnet kunnskap og pusle bitene sammen. Gruppen håper at oppgaven vil oppsummere store deler av studiet, samtidig som den gir fordypningsmuligheter.

1.4 Problemstilling

Bacheloroppgaven skal komme med byggtekniske prosjekteringsanbefalinger til det allerede skisserte felleshuset. Det skal fokuseres på arkitektoniske prinsipper, og bevare disse så lang det lar seg gjøre. Temaer som skal belyses er konstruksjonsprinsipper, materialvalg, miljø, bygningsfysikk og energiberegninger. Med dette som bakgrunn har gruppen formulert følgende problemstilling:

"Er det mulig å utforme byggtekniske løsninger som oppfyller kravene til konstruksjonssikkerhet og byggteknikk, samt bevarer de arkitektoniske prinsippene?"

Med problemstillingen i fokus skal gruppen finne og diskutere seg frem til egnede løsninger. Det vil presenteres to mulige alternativer til egnet løsning. Alternativene diskuteres mot hverandre ut ifra fordeler og ulemper innenfor et temaområde. Anbefalingen blir tatt ut ifra problemstillingen og andre relevante kriterier.

Det er en reell problemstilling som kan overføres til mange aspekter innenfor bygg- og anleggsbransjen. Det kan være krevende å finne gode byggtekniske løsninger som også realiserer arkitekturen. Standardiserte løsninger må i mange tilfeller tilpasses, for å oppnå visjonen til arkitekten. Gruppen håper å komme med løsninger som tilfredsstillende visjonen til arkitekten, samtidig som løsningene holder mål ved dagens standarder og krav.

1.5 Omfang

Oppgavens omfang kan beskrives i studiepoeng og timer. Bacheloroppgaven tilsvarer en studiebelastning på 20 studiepoeng, og det er tenkt at hver student bruker 500 timer hver på oppgaven. Denne gruppen består av to studenter, som tilsier at oppgaven skal være et resultat av 1000 timers arbeid.

Ved hjelp av veiledere har studentgruppen avgjort hvilke temaer som skal tas tak i, der disse ble beskrevet i forrige kapittel. Gruppen har sett på hvordan store deler av bygget kan utformes og kommet med forslag til løsninger som er gjennomførbare. På grunn av oppgavens begrensninger i antall timer, er det områder der gruppen kun har belyst utfordringer, fremfor å komme med et fullstendig prosjektert forslag. Det er viktig å merke seg at oppgaven ikke er en fullstendig prosjektering, men et steg i prosessen.

1.6 Avgrensninger

Problemstillingen til oppgaven er svært åpen, og definerer ikke hvilke byggtekniske løsninger det skal ses på. For å komme i mål med oppgaven, har gruppen i hovedsak sett på byggtekniske løsninger til konstruksjonselementer som fundament, gulv, vegg og tak. Det er foretatt konstruksjons- og energiberegninger på disse komponentene samt utforming av glassarealer. Innendørs detaljer som pipe og innebygd sofa i veggen er sett bort ifra for en enklere dimensjonering. Taket som bues oppover er heller ikke tatt hensyn av samme grunn. Gruppen har likevel tenkt på disse elementene under prosjektering og mener derfor at løsningene som presenteres i oppgaven er gjennomførbare for disse tilfellene.

Andre avgrensninger som er gjort i denne oppgaven er økonomiberegninger knyttet til prosjektet. Selv om dette er en viktig faktor for valg av løsninger, ser gruppen på andre faktorer som miljø og tilpasningsevne som viktigere. Videre vil ikke gruppen se på VVS eller elektro til prosjektet, da bygget i utgangspunktet skal være uten vanntilførsel og strøm. Det er heller ikke utført geotekniske undersøkelser, da det blir tatt utgangspunkt i eksisterende data og observasjoner fra befarings.

Å prosjektere en bygning er en svært omfattende jobb som krever ressurser. For å kunne komme med utdypende prosjekteringsanbefalinger, er det foretatt overslagberegninger der det er behov for det. Det er ikke foretatt noen simuleringer av kuldebroer for å finne nøyaktige verdier til de ulike overgangene. Komplekse elementer som krever detaljprosjektering, er kun sett på grovt for å belyse problemstillinger i forbindelse med utformingen.

1.7 Bakgrunn for prosjektet

Oppgaven baserer seg på et arkitektprosjekt som nevnt innledningsvis. Dette kapitlet gir en innføring i prosjektet, samt hva som er bakgrunnen for prosjektet. Først blir byggherre presentert, og det er de som danner bakgrunnen for prosjektet. Videre blir tomten og beliggenheten til bygget gjennomgått. Til slutt presenteres arkitektenes skisser, der de arkitektoniske prinsippene blir gjennomgått. Det er verdt å merke seg at argumentasjoner senere i oppgaven baserer seg på disse prinsippene.

1.7.1 Treetop Ekne

Treetop Ekne er en liten bedrift i utvikling. De driver campvirksomhet med utleie av svevetelt til overnatting. Andre fasiliteter de tilbyr er SUP, robåt, turstier, fiskeing mm. Bedriften ønsker nå å utvide tilbudet sitt med overnatting i svevende trehytter. Det er viktig for dem at de skiller seg ut fra konkurrentene, da spektakulære trehytter er å finne flere steder i landet. De planlagte trehyttene er et langtidsprosjekt som de jobber mot, og må nå først få på plass andre fasiliteter. I tillegg til å tilby overnatting, arrangerer de aktiviteter som krever oppholdsrom ved værskifte. Felleshuset skal derfor bygges, slik at det vil være enklere å drive virksomheten. Målgruppen har til nå vært barnefamilier, men utbygging av de kommende trehyttene vil være med på å åpne opp for en større gruppe.

1.7.2 Beliggenhet

Ekne er et tettsted i Levanger kommune i Trøndelag. Tomten til Treetop Ekne består av granskog med mose som underlag, som vist i figur 1. De største grantrærne har en høyde på 25 meter og er plassert delvis tett. De fungerer derfor godt som vindskjerming, og selv under frisk bris er det så å si vindstille på tomten. Sollyset slipper så vidt gjennom granskogen, og det kan dermed klassifiseres som svært tett skog. Tomten er plassert på en flat ås, 120 meter over havet. Det er ti minutters gange ned til innsjøen Byavatnet, og nærmeste veg er ca. 500 meter i luftlinje fra tomten.



Figur 1 – Nåværende camp der lavvo erstattes med felleshuset. Foto: Studentgruppen.

Det ble opplyst av grunneier under befaring at tomten er plassert på dyrkbar jord. Det er en flat tomt med plassering i nærheten av en klippe ned til Byavatnet. Det kan derfor antas at det ikke er så langt ned til grunnfjell, men grunnundersøkelser er nødvendig å foreta for en sikker konklusjon.

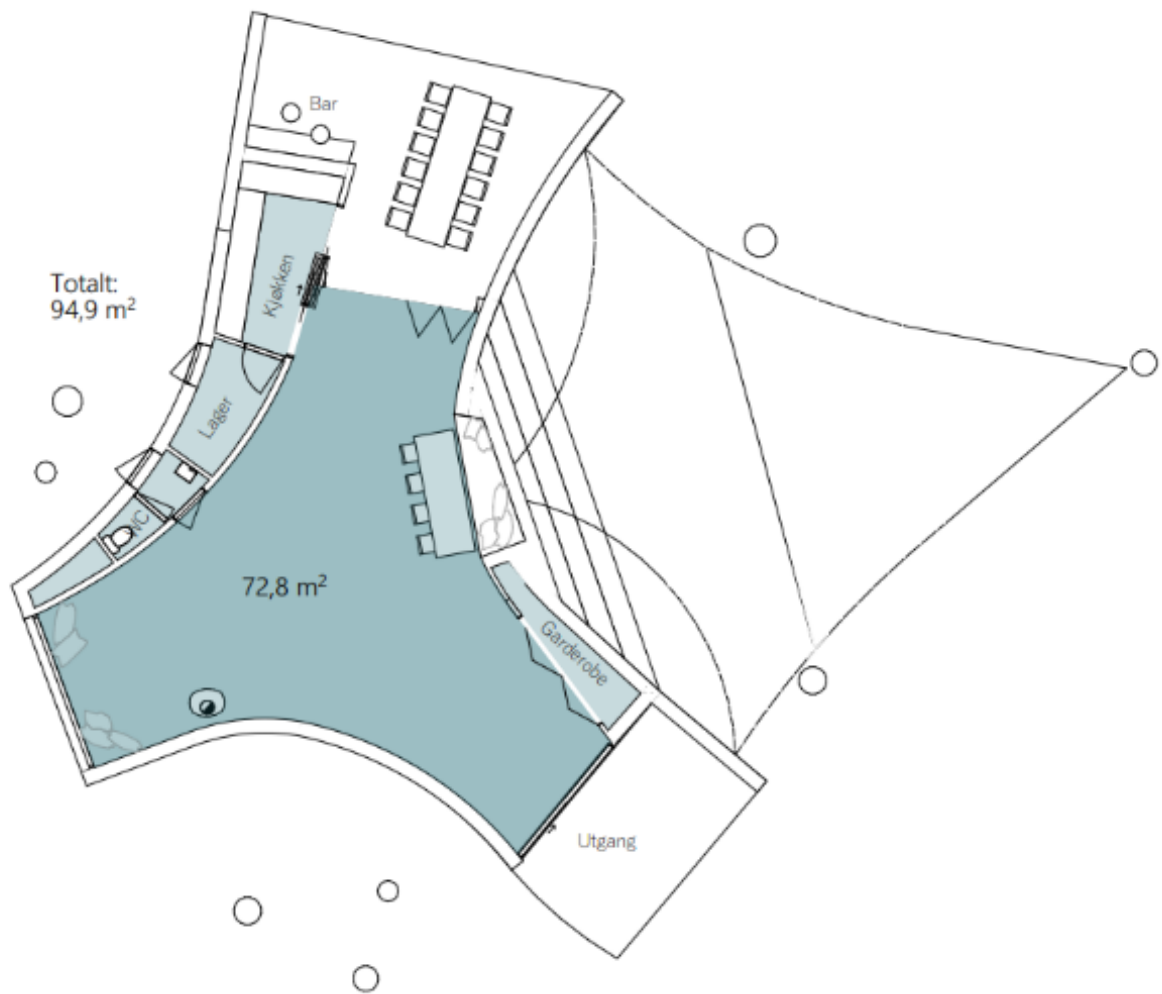
1.7.3 Arkitektenes skisser

Arkitektene har skissert bygningen, som vist i figur 2, etter byggherres ønsker og behov. Felleshuset skal ha et kjøkken, oppholdsrom, toalett og en bod, som vist i plantegning på figur 3. Byggherren ønsker å kunne gjeste en stor gruppe mennesker til middag og ha plass til fellesaktiviteter både inne og rundt huset. Huset skal fungere som et felles kjøkken og møteplass for camperne som sover utendørs. Bygget har kun én etasje som vil ligge på bakkeplan. Det er tenkt at taket skal være ment for opphold, noe som gir bygget flere funksjoner. Atriumet skissert langs den buede vegg, vil fungerer som trapp opp til taket.



Figur 2 – Felleshuset med atrium. Skissert av Pir II.

Byggherre har et ønske om å bringe utsiden og naturen inn da campen handler om å tilbringe tid utendørs. Arkitektene løser dette ved blant annet store foldedører og vinduer. Utformingen på bygget gjør det slik at man kan se naturen ute, uansett hvor i bygget man står. Dette for å skape en følelse av å være utendørs. De store glassarealene er strategisk plassert, og vil gi gode naturlige lysforhold. Materialvalget, hovedsakelig treverk, skal spille på det naturlige og skape et miljø som samspiller med skogen rundt.



Figur 3 – Arealplan av felleshuset. Skissert av Pir II.

Arkitektenes skisser tar utgangspunkt i at huset skal blende inn i omgivelsene. Området rundt felleshuset består av tett granskog, og en kledning i tre gjør at huset blander godt inn med omgivelsene. Bygget er utformet med tre utstikkere som danner en trekantformasjon. Det ene utstikket hever seg fra bakken som både kan ses i figur 4 og figur 5. Endepunktene på utstikkene er rette vegger, men alt mellom er kurvet. Det skal virke som at bygget har vokst seg ut mellom trærne og være en naturlig del av skogen.

Det er tenkt at alle fasadene av huset skal ha sin egen funksjon, og være oppholdsområder for besøkende. To av utstikkene fungerer som inn- og utgang bestående av dører i glass, mens det tredje utstikket har et stort vindu som vist i figur 4. Altså er det tre glassfasader der alle er plassert i utstikkene, og de er med på å bringe naturen inn. De buede fasadene har ulike bruksområder. En bue rommer dørene til boden og toalettet, og vises på figur 5. Den andre vil bestå av et atrium som vist i figur 2. Den tredje er tiltenkt som camp for gjester og oppheng av hengekøyer. Arkitektenes tanke med disse fasadene, med ulike bruksområder og utforming, er at bygget ikke skal ha noe forside eller bakside.



Figur 4 – Fellehuset fra sør med vindu. Skissert av Pir II.



Figur 5 – Kjøkkenområdet til fellehuset. Skissert av Pir II.

2 Metode

I dette kapitlet skal det beskrives hvilke metoder som er brukt for å besvare problemstillingen. Det skal fremgå hvordan datamaterialet er samlet inn og behandlet, hvorfor disse metodene er valgt, og hvilke styrker og svakheter det er ved metodene. Studentgruppen har blant annet valgt å benytte seg av både intern og ekstern kompetanse for å besvare problemstillingen. Andre metoder som er omtalt her er, ble brukt til å presentere og visualisere stoffet på en ryddig og forklarende måte.

2.1 Litteratursøk

Det er svært nyttig å bruke andres erfaringer og funn for å besvare sin egen problemstilling. Det ble tidlig oppdaget at kunnskapsnivået ikke var tilstrekkelig, og det ble derfor nødvendig å hente informasjon fra andre kilder. Gruppen måtte opparbeide seg en forståelse for hvordan huset kunne bygges i tre med buede vegger og tak. Det ble derfor foretatt søk på søketjenesten Google etter liknende byggeprosjekter. Videre var det nødvendig å se på hvordan felleshuset kunne oppfylle de tekniske kravene. SINTEF Byggforsk ble benyttet som hovedkilde for å se på hvordan kravene kan oppfylles ved preaksepterte løsninger. De innhentede dataene ble sammenliknet i en tabell og vurdert ut ifra fordeler og ulemper. Dette var nødvendig for å tydeliggjøre hvilke løsninger som egnet seg best for prosjektet. Det er også hentet mye informasjon fra nettsiden til Norsk Treteknisk Institutt, blant annet informasjon om tre som konstruksjonsmateriale. Informasjon fra andre nettsider ble brukt varsomt, og kun til å skape en forståelse av problemene som oppstod underveis. Ved å være kildekritisk til informasjonen som hentes, kan man oppnå relevante funn som gir besvarelsen troverdighet og faglig tyngde.

2.2 Ekstern kompetanse

På grunn av begrenset støttelitteratur på enkelte områder, valgte gruppen å benytte seg av kompetansen fra tidligere foreleser og veiledere. Det ble avholdt møter med intern veileder og førstelektor fra instituttet, for å diskutere mulige konstruksjonsløsninger for bygget. Å benytte seg av kompetansen man har rundt seg er svært nyttig for å bygge opp en riktig forståelse av faget. Det ble også avholdt møter med oppdragsgiver og byggherre. Møtene var nødvendige å gjennomføre for å avklare arkitektoniske prinsipper og ønsker for både bygget og oppgaven. En tett dialog med oppdragsgiver kunne være med på å gjøre oppgaven relevant for byggeprosjektet. Dette viste seg å være vanskelig da bacheloroppgaven går over en kort periode, mens byggeprosjektet er et langtidsprosjekt.

2.3 Archicad

Archicad er et BIM-verktøy som gjør det mulig å modellere bygninger og produsere tegninger i både 2D og 3D. Dette er et svært nyttig verktøy, og ble brukt for å fremstille detalj- og plantegninger for de anbefalte løsningene i denne oppgaven. Gruppen mottok Archicad-filen til oppdragsgiver, og har brukt dette som utgangspunkt for plasseringer og mål til bygget. Skissene var av høy arkitektonisk kvalitet, og har vært med på å utfordre den ingeniørfaglige innsikten til studentgruppen. Skissene har med dette utfordret gruppen til å tenke nytt. Dette resulterer i en besvarelse som er nytenkende, der standardiserte løsninger må tilpasses etter bygningskomponentenes utforming.

2.4 Befaring

Befaringstur til tomten ble gjennomført for å se på forholdene. Der ble det bestemt byggets plassering på tomten, og diskutert hvordan bygget skulle vinkles for minst mulig terrenginngrep. På befaringen var både oppdragsgiver og byggherre til stede. Fordi byggherre også var til stede fikk studentgruppen innspill direkte fra dem om hvordan de ønsket at bygget skulle være. Under befaringen ble det diskutert mer detaljert hvordan bygget skulle utformes, samt størrelsen på bygget. Fordi befaringen ble gjennomført mot slutten av gruppens arbeidsperiode, ble det ikke mulig å ta hensyn til de nye endringene. Dette medfører at oppgaven vil avvike en del fra byggeprosjektet, og er dermed mindre relevant å ta med seg videre til en detaljprosjektering. En fordel med at befaringen ble gjennomført en god stund ut i prosjektet er at gruppen fikk komme med innspill på utfordrende problemer med byggets størrelse og form, da gruppen allerede hadde satt seg inn i skissene.

2.5 Utvelgelsesprosess

For å finne hvilke løsninger som egner seg best til å besvare problemstillingen, har studentgruppen valgt å fokusere på to alternativer. De to alternativene som presenteres er de løsningene som oppfyller flest kriterier, bestemt av gruppen. Kriteriene er formbarhet, tekniske krav, miljø, energi, materialer, samt arkitektens skisser og prinsipper. Begge alternativene som presenteres skal oppfylle de tekniske kravene, men det er ikke en selvfølge at de bevarer det arkitektoniske uttrykket. Videre vil alternativene yte ulikt ved de andre kriteriene. Disse er derfor avgjørende for studentgruppens byggtekniske prosjekteringsanbefalinger, der arkitekturen bevares i like stor grad for begge alternativene. Ved å presentere to løsninger er det også friere for oppdragsgiver hva som bør tas med videre til prising og detaljprosjektering. Siden prosjektet er i skissefase, kan mye endringer oppstå. Det kan derfor tenkes at gruppens anbefalinger ikke er best egnet ved en senere omprosjektering.

3 Teori

Teorikapitlet gir en innføring i teoretiske prinsipper som er brukt i oppgaven. Det er blant annet beskrevet hvilke regelverk og krav som er gjeldene for fellesehuset. Kapitlet gir også innføringer i hvilke komponenter et byggverk består av, og hvordan disse bør utformes for å oppfylle de tekniske kravene. Teorien består av opparbeidet kunnskap og informasjon hentet fra relevante kilder.

3.1 Forskrifter og standarder

Plan og bygningsloven (pbl) gjelder for alle typer aktiviteter og virksomheter som er knyttet til fast eiendom. Den gir hjemmel til byggteknisk forskrift (TEK) som består av ytterligere krav (Plan- og bygningsloven, 2008). Det er direktoratet for byggkvalitet (DiBK) som står for innholdet i den tekniske forskriften.

Forskrift om tekniske krav tar for seg et minimum av egenskaper et byggverk må ha for lovlig oppførelse i Norge. Dagens regelverk inngår i TEK17, og er gitt gjennom funksjonskrav, ytelseskrav og preaksepterte ytelser. Forskriften skal sikre at tiltak planlegges, prosjekteres og utføres med hensyn ut fra god visuell kvalitet og universell utforming. Slik skal også tiltaket oppfylle tekniske krav til helse, miljø, sikkerhet og energi (DiBK, 2017). Veiledningen til byggteknisk forskrift (VTEK), gir forklaringer på hva kravene innebærer og viser til preaksepterte løsninger.

Ved planlegging, prosjektering, utførelse og verifikasjon av bygninger er det behov for en rekke standarder. Eurokode er en felles europeisk serie standarder som benyttes ved prosjektering av byggverk. Eurokode benyttes også som dokumentasjon av produkters bæreevne og styrke til konstruksjonsformål. Det er ulike standarder for ulike produkter, materialer og konstruksjonstyper. Det er organisasjonen Standard Norge som står bak Norsk Standard (NS) og som har opphavsrett til europeiske og internasjonale standarder i Norge (Standard Norge, u.d.).

3.1.1 Konstruksjonssikkerhet

Kapittel 10 i TEK17 angir bestemmelser om konstruksjonssikkerhet. Hensikten er å ivareta liv og helse til brukere som oppholder seg på eller i byggverket (DiBK, 2017). Byggverket skal oppnå tilfredsstillende sikkerhet for brukere av bygget, slik at det unngås ulykker eller sammenbrudd (DiBK, 2017). Ved bruk Norsk Standard NS-EN Eurokode, kan man med sikkerhet oppnå tilstrekkelig stivhet og stabilitet under prosjektering av konstruksjoner, og dermed konstruksjonssikkerhet.

Lovverket nevner også under §10-2 (1) at "Materialer og produkter i byggverket skal ha slike egenskaper at grunnleggende krav til byggverkets mekaniske motstandsevne og stabilitet blir tilfredsstillt" (DiBK, 2017). Samtidig oppgir SINTEF Byggforsk at "Ti prosent av alle byggskader skyldes feil eller mangler på materialer og produkter" (SINTEF, 2010). Ved å velge materialer som har dokumentasjon på de egenskapene som det stilles krav til i byggeforskriften, kan man med bedre sikkerhet unngå byggskader.

Ved dimensjonering er det ikke alltid konstruksjonens styrke mot brudd som blir dimensjonerende. For lette etasjeskillere med trebjelkelag er det ofte kravet om maks nedbøyning og kravet om å unngå sjenerende vibrasjoner som bestemmer den maksimale spennvidden. Taket til fellehuset skal være ment for opphold og er dermed et aktivt tak. Det vil derfor i prinsippet fungere som en etasjeskiller. Det er derfor nødvendig å ta hensyn til at det unngås sjenerende vibrasjoner på takkonstruksjonen. Dette gjenspeiler seg som et komfortkriterium. For massivtreelementer, som kan være aktuelt for fellehuset, er det lite forskning på hva som defineres som sjenerende vibrasjoner, men det kan tas utgangspunkt i dokumentasjon for vanlige trebjelkelag (SINTEF Byggforsk, 2009).

3.1.2 Brannkrav

TEK17 stiller krav til sikkerhet ved brann, der disse er beskrevet under §11 *Sikkerhet ved brann*. Kravene skal sørge for sikkerhet ved brann i form av rømningsvei og -tid, hindre spredning og minimere risiko for at brann oppstår (DiBK, 2017).

Alle bygninger kategoriseres i risiko- og brannklasser, der hver klasse har egne krav. TEK17 stiller krav til bæreevne, sikkerhet ved eksplosjon, tiltak mot brannspredning, brannseksjoner og -celler, materialer og deres egenskaper, samt krav om rømningsvei og redning. I mange av kravene inngår tilrettelegging for enkel rømningsvei, redning og slukking. Et av de viktigste punktene å merke seg er §11-9 *Materialer og produkters egenskaper ved brann*. Paragrafen omhandler kravene som stilles til materialer som skal brukes, og spesielt overflater. Alle produkter må ha en brannteknisk klassifisering, der byggets brannklasse setter ulike krav til materialers ytelse ved brann (SINTEF Byggforsk, 2017).

Brannteknisk klassifisering er et komplekst system som skal gir mye informasjon med få bokstaver og tall. I tabell 1 vises kodene som er brukt i oppgaven.

Tabell 1 – Brannteknisk klassifisering (Liebe, 2020).

Kode	Betydning
R	Bæreevne
E	Integritet
I	Isolasjon
M	Mekanisk motstand
A1, A2, B, C, D, E, F	Hovedklassifisering av produkter. En brennbarhetsskala, der A1 er ubrennbar og F er meget brennbar.
s1, s2, s3	Klassifisering av røykproduksjon, der s1 angir minst røyk og s3 mest røyk.
d0, d1, d2	Klassifisering av produktenes evne til å produsere brennende dråper, der d0 angir ingen og d2 mest brennende dråper.
S	Røyktetthet, for eksempel en dørs evne til å holde på røyken.
K1, K2	Kledninger og dens evne til å beskytte materialene bak seg. Der K1 betegner ubrennbar kledning og K2 brennbart materiale.
D_{fl}	Krav til gulvbelegg.
B_{ROOF}(t2)	Krav til taktekning.

3.1.3 Krav om lys og utsyn

DiBK setter i §13-7 (1) krav om at "Byggverk skal ha tilfredsstillende tilgang på lys". Kravene skal sikre helse og trivsel. Det er beskrevet i VTEK at daglys er den beste lyskilden.

Dagslysfaktor brukes som en måleenhet på mengde dagslys i et rom. Faktoren er forholdet mellom lysstyrke inne og ute, på en jevnt overskyet himmel (DiBK, 2017).

I §13-7 (2) spesifiseres det at rom ment for varig opphold skal ha nok tilgang på dagslys. Her finnes det preaksepterte ytelser som oppfyller kravet. Gjennomsnittlig dagslysfaktor må være på minimum 2,0%. For å regne ut daglysfaktoren må det tas utgangspunkt i det mest kritiske rommet, og utføre beregninger etter *NS-EN 12464-1 Lys og belysning*. Simuleringsverktøy kan også benyttes så lenge det er validert etter CIE 171 (DiBK, 2017).

DiBK nevner at det for fritidsbolig kan brukes forenklet beregningsmetode for dokumentasjon av kravet. Der sammenlignes glassarealer mot det fri, som er godt over bakken, opp mot bruksareal (BRA). Glassarealet må da være lik eller større enn 10% av BRA.

3.1.4 Energikrav

En viktig del av regelverket omhandler energibehov, forbruk og effektivitet. Kapittel 14 i TEK17 tar for seg dette. Kravene rundt energi har blitt strengere i nyere tid. Disse kravene er nødvendige for å effektivisere forbruket, og for å utfordre teknologiutviklingen. TEK17 stiller strenge minimumskrav til nye boliger. Minimumskravene i lovverket omhandler krav til U-verdi i alle bygningsdeler, krav til maksimalt lekkasjetall og krav til type energiforsyning.

Flere av paragrafene i kapittelet om energi setter bygninger i ulike kategorier. Dette er for å kunne tilpasse regelverket best mulig. For eksempel er kravene til energieffektivitet avhengig av bygningskategorien, altså bruksområdet. Siste paragraf i kapitelet om energi tar for seg unntak og særskilte tiltak. Der vil størrelsen på bygget påvirke hvilke krav som gjelder. Små bygninger som er under 70 m² er fritatt fra kravene om energieffektivitet. Fritidsboliger over 70 m² til og med 150 m² er også fritatt kravet om energieffektivitet.

TEK17 setter minimumskrav til bygg, men det er mulig å sikte høyere og prosjektere passivhus eller en lavenergibygning. *NS 3700 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Boligbygninger* gir kriterier for varmetap, oppvarmingsbehov, energiforsyning, U-verdier og lekkasjetall for å oppnå et passivhus eller en lavenergibygning (Standard Norge, 2013). Passivhus har de strengeste betingelsene, mens lavenergibygning ligger nærmere minimumskravene.

Felleshuset havner i kategorien fritidsbolig over 70 m² til og med 150 m² oppvarmet BRA. De relevante kravene i regelverket for denne kategorien blir derfor gjennomgått i de neste avsnittene.

§14-1 Generelle krav

De fem generelle kravene i §14-1 *Generelle krav* har flere underpunkter der (1) legger til grunn at prosjekteringen skal foregå slik at energibruken blir forsvarlig. Dette gjelder byggets oppvarmede BRA. §14-1 (3) sier at U-verdier skal regnes ut som gjennomsnitt for de ulike bygningsdelene. Her menes det for eksempel at den gjennomsnittlige U-verdien for taket regnes ut, og ikke punktvis U-verdi. Videre forklares det at dersom bygningen skal holde lav innetemperatur, trenger man ikke å oppfylle alle energikravene så lenge bruken er forsvarlig.

§14-2 Krav til energieffektivitet

Her beskrives energirammen som definerer maksimalt netto energibehov en bygningskategori kan ha. Dette måles i kWh/m² oppvarmet BRA per år. Beregningen av energibehovet skal samsvare med *NS 3031 Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data*.

I §14-2 (2) presenteres en energitiltakstabell. Energiltakene er en alternativ måte å oppfylle kravet til energieffektivitet Dette punktet blir ikke benyttet for å oppfylle krav i oppgaven, men det er verdt å legge merke til at det her stilles krav til maksimal normalisert kuldebroverdi, der denne verdien vil bli brukt som et referansetall senere.

§14-3 Minimumskrav til energieffektivitet

Minimumskravene til energieffektivitet er i §14-1 (3) utregnet som snittverdier for de ulike delene av bygningen. Minimumskravene som gjelder for prosjektet, er beskrevet i tabell 2.

Tabell 2 – Minimumskrav fra §14-3 (1) a) (DiBK, 2017).

U-verdi				Lekkasjetall
Yttervegg $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	Tak $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	Gulv på grunn og mot det fri $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	Vindu og dører $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	Bygningsskallet ved 50 Pa trykkforskjell $\left[\frac{\text{luftveksling}}{\text{time}}\right]$
≤ 0,22	≤ 0,18	≤ 0,18	≤ 1,2	≤ 1,5

§14-4 Krav til løsninger for energiforsyning

Under denne paragrafen opplyses det i §14-4 (1) at fossilt brensel ikke er en tillatt varmeinstallasjon.

3.2 Materialer

For å forstå valgene av materialer som blir gjort i oppgaven, vil dette kapittelet gi en kort innføring av materialene som blir vurdert. Innføringen skal være grundig nok til å forstå senere argumentasjoner for endelig valg.

3.2.1 Tre

Tre som materiale finner man flere steder i en bygning. Det kan brukes som panel, kledning, listverk, og som bæresystem i tak, vegger og gulv. Som bæresystem i mindre konstruksjoner brukes vanligvis bindingsverk av tre, men det kan også brukes bjelke-/søylesystem av limtre, massivtreelementer eller fagverkskonstruksjoner (SINTEF Byggforsk, 2014).

Egenskapene til tre skiller seg fra de andre byggematerialene ved at det er et naturmateriale. Det medfører at det går med mindre energi til å produsere trelast, enn for andre tilsvarende byggematerialer som stål og betong (Norges skogeierforbund, 2018). Trevirke har også høy styrke i forhold til vekt, og gjør det dermed gunstig å bygge i høyden (TreFokus, u.d.). Et bygg med bæresystem av tre vil få vesentlig lavere vekt enn et bygg med bæresystem i betong (TreFokus, 2011). Fundamenteringen blir dermed enklere for et bygg med lav vekt.

Ved å bruke tre som materiale kan man oppnå bedre inneklima, siden det er et naturlig materiale. Det vil si at treet har evne til å regulere temperaturen samt ta opp og avgi fuktighet. Materialet har også evne til å dempe lyd, og dermed gi gode akustiske forhold (TreFokus, 2013).

Ved riktig bruk av trematerialer og treprodukter, kan man oppnå en lang levetid på produktet. Treprodukter med lang levetid er klimavennlig og smart ressursbruk. For å øke levetiden på treprodukter må man utnytte den naturlige holdbarheten til treslaget, behandle trevirke med trebeskyttelse (f.eks. impregnering), og bruke gjennomtenkte løsninger ved montering (NIBIO, u.d.).

Det er svært mange deler av prosessen til et treprodukt som gjør trematerialet miljøvennlig. Tre er først og fremst et fornybart råstoff, og så lenge man forvalter trematerialer på en bærekraftig måte kan det brukes i det uendelige. Det er en forutsetning at materialet kommer fra en bærekraftig forvaltet skog, noe alt tømmer i Norge er, hvis det skal klassifiseres som miljøvennlig. Ifølge Treindustriens lille grønne hevdes det at "*Tre er det mest miljøvennlige byggematerialet vi har tilgjengelig i Norge i dag*" (TreFokus, 2013).

Ved bruk av trematerialer fremfor andre klimabelastede materialer, reduseres CO₂-utslippene til atmosfæren. Produksjonen av trematerialer har lavere utslipp av fossilt CO₂ enn andre byggematerialer. Treprodukter har evne til å lagre karbon, og vil forlenge bindingen av CO₂. På den måten vil CO₂-nivået i atmosfæren reduseres. Gjennom avfallsfasen kan man også redusere atmosfæren direkte for CO₂. Ved gjenbruk av materialet kan karbonlagringen forlenges, og ved energigjenvinning kan materialet erstatte bruk av fossile energikilder (TreFokus, 2013).

Massivtre også kalt Cross Laminated Timber (CLT), er et treprodukt som blir mye brukt i dag. Massivtrelementer bygges opp med krysslagte lag av planker. Lagene kan festes med ulike metoder, der lim er det vanligste. Fordi lagene er lagt i annenhver retning, styrkes treverket. Massivtre kan bære store spenn som et dekke eller tak, og tåle store trykkrefter som vegg. Elementene produseres i ønsket størrelse og monteres på byggeplass. Byggemetoden er svært tidsbesparende, da elementene enkelt settes sammen. Utsparinger kan lages i elementene, som også kan formes til ønsket fasong. Elementene kan ha en bredde på maks 3 meter, være opptil 16 meter lang og 0,3 meter tykk. Dimensjonsbegrensningene til massivtre kommer stort sett i forbindelse med transporten av elementene (TreFokus, 2011).

3.2.2 Stål

Stål benyttes ofte som bæresystem i store konstruksjoner på grunn av stålets styrke, pris, formbarhet og sveisbarhet. De vanligste stålprofilene er I-profil (IPE), H-profil (HE-A og HE-B) og hulprofil (HUP). Hatteprofil (HSQ) er også et mye brukt profil som bærebjelke til betongdekker. Man kan si at stål på mange måter konkurrerer med konstruksjoner av armert betong og limtre (Store Norske Leksikon, 2019). Stål er et sterkt materiale som i for eksempel betong benyttes som et forsterkende materiale ved armering. På grunn av stålets styrke, kan man oppnå slankere konstruksjoner som sparer både høyde og gulvareal. Det vil også føre til lettere konstruksjoner, som igjen fører til mindre vekt på fundamentet og mindre transportkostnader. Dette vil igjen gi rimeligere konstruksjoner og mindre miljøbelastning (Norsk Stålforbund, u.d.).

Fordelen med stål, foruten om styrke, formbarhet og sveisbarhet, er at stålet kan endres innen vide grenser ved legering og egnet varmebehandling. Den vanligste fremstillingen av stål er bløtt, ulegert stål med strekkfasthet opptil 350 MPa. Ved større krav til styrke, seighet og sveisbarhet kan det benyttes konstruksjonsstål med strekkfasthet opptil 550 MPa (Store Norske Leksikon, 2019). Til sammenlikning har limtre av kvalitet GL30c en strekkfasthet, parallelt med fibrene, tilsvarende 19,5 MPa (Norsk Limtreprodusenters forening, 2015).

Stålkonstruksjoner mister sin styrke ved høye temperaturer. Der er derfor nødvendig at bærende stålelementer brannisoleres. Det er ulike metoder for å brannisolere stålprofiler. Det kan benyttes isolasjon som steinullplater, gipsplater, hardpressede plater eller brannbeskyttende maling. Sistnevnte nevnes som en kostbar metode, og kan ikke brukes ved høyere brannmotstand enn 60 minutter. Gipsplater og steinullplater krever ofte en solid overflate. Hardpressede plater er bygd opp av steinull, med tilsatt leire. Platene har gode styrkeegenskaper og skal kunne bearbeides med standard trearbeidene verktøy og overflatebehandling (SINTEF Byggforsk, 2004).

3.2.3 Betong

Betong er et slitesterkt materiale som ofte brukes i grunnmurer, dekker og søyler. Fordeler med betong er dens tilpasningsdyktighet og holdbarhet. Betongen blandes etter ønsker om dens egenskaper. Den støpes ut i en forskaling som bygges etter ønsket form på den ferdige konstruksjonen. Den store ulempen med betong er miljøutslippene i forbindelse med produksjonen av sement, som er nøkkelingrediensen til materialet (SINTEF Byggforsk, 2016).

Betongen er trykksterk og derfor godt egnet som fundamenteringsmateriale. Når betongen utsettes for strekkrefter, er den derimot svak og kan fort sprekke opp. Armering legges derfor inn i betongen for å ta opp strekkreftene betongen ikke tar selv. Sammensetningen av armering og betong, med nyere teknologi, gjør betongen til et allsidig materiale som kan brukes de fleste plasser. Spennarmering og fiberarmering er eksempler på armeringsmetoder som tillater høyere påkjenninger til betongdekker (Store Norske Leksikon, 2019).

For buede konstruksjoner benyttes ofte betong. Dette ser vi blant annet i tunneller, siloer og dammer. Betong er derfor et fint materiale å bruke når bygninger buer seg. Det er forskalingen som former betongen, og oppbygningen av denne er avgjørende for sluttresultatet.

3.2.4 Overflater

For at konstruksjonen skal holde lengst mulig brukes utvendig og innvendig kledning. Dette gjelder spesielt yttervegger og tak, men behandling av gulvoverflate må også vurderes. På yttervegger er ulike typer trekledninger vanligst, mens på tak er takbelegg av asfalt, plast eller gummi mest brukt.

Ytre kledning skal verne konstruksjonen mot ytre påkjenninger. Klimapåkjenninger som nedbør og sollys vil ha store innvirkninger på treverket. Ytre trekledning bør derfor behandles. For overflatebehandling av trekledning er beis og maling aktuelle metoder.

Overflatebehandlingen kan tilføre tekstur og farge til kledningen, men hovedfunksjonen er å bevare treverket. (SINTEF Byggforsk, 2008). Et beskyttende lag vil redusere påkjenningene og overflatebehandling vil hindre soppvekst, da treverket holdes tørt og beskyttet. Det vanligste er et lag med grunning og et med maling. Grunningen vil sikre heft til malingen, samt beskytte mot fukt og soppvekst. Toppstrøket skal holde fukten ute og beskytte treverket mot UV-stråling (SINTEF Byggforsk, 2009).

Innendørs står man ganske fritt til å velge kledning. Kledningen innendørs har som funksjon å beskytte fuktsperren, samt gi ønsket estetisk uttrykk. Det er også verdt å nevne at brannforskriftene setter krav til kledningens brannmotstand. Ved strenge krav i rømningsvei eller branncellevegg kan løsningen være å legge flere lag med eksempelvis gipsplater for å oppnå nødvendig motstand.

Gulvoverflaten må være slitesterk og påvirker estetikken i stor grad. Bruken av bygget vil medføre ulik slitasje på gulvet. Er pågangen stor vil det være strategisk å velge en slitesterk overflate som er lett å vedlikeholde og som tåler fuktpåkjenning. Ved å velge et betonggulv kan man bestemme hvilken tekstur eller farge man ønsker på gulvet. Betonggulvet vil være lett å vedlikeholde og er et bestandig materiale. Et tregulv er mer sensitivt for fuktpåkjenninger, men kan overflatebehandles slik at problemet minimeres.

Taket, som i skissene er utformet som et kompakt tak, trenger også et overflatelag som tåler mye belastning. Et tak ment for opphold må tåle den mekaniske belastningen fra trafikken som forekommer. Det legges da et slitelag over membranen øverst på taket. Slitelaget kan være et lett betongstøp, betongheller eller stein lagt i sand (SINTEF Byggforsk, 2007).

3.2.5 Glassareal

Rom ment for opphold har som nevnt i 3.1.3 *Krav om lys og utsyn*, krav om nok naturlig dagslys og utsyn fra rommet. For å oppnå kravene må man vurdere vindusareal, lystransmisjonen, skjerming fra omgivelsene, plassering på og i veggen, samt på hvilke fasader glassarealet gjør mest ut av seg. I dag er det vanlig å ha to eller tre lag med glass, der mellomrommet ofte fylles med argongass. På vindu brukes det tottrinnetting-prinsipp for å unngå fuktskader. Prinsippet består av en regnskjerm som leder vannet vekk fra vinduet gjennom et drenerende hulrom, og en lufttetting innerst.

Vinduer skal testes og dokumenteres etter *NS-EN ISO 12567-1 Dørers og vinduers termiske egenskaper*, for å fastsette U-verdien. Ved beregning av U-verdi skal dette gjøres etter *NS-EN ISO 10077-1 Termiske egenskaper til vinduer, dører og skodder*. Vindu og andre glassareal er elementer som typisk har den høyeste U-verdien, og er dermed kritiske i energiregnskapet (SINTEF Byggforsk, 2018).

3.3 Konstruksjonsprinsipper og byggteknikk

I denne delen av oppgaven blir det gjennomgått aktuelle prinsipper for oppbygning av konstruksjons- og bygningsdeler. Det blir først sett på hva bygningsformen har å si for byggteknikken. Videre forklares hensikten med de ulike bygningskomponentene, og hvordan disse bør bygges opp for å sikre konstruksjonssikkerhet og god byggteknikk. Til slutt beskrives det teori om kulderoer, som er en viktig faktor å ta hensyn til ved prosjektering av bygninger.

3.3.1 Bygningsform

Bygningen, dens form og plassering, er grunnsteinen til videre prosjektering. Varmetap, snølast og vindlast påvirkes av omgivelsene og byggets utforming. Et stort takareal over lange spenn gir mye snølast å ta hensyn til i dimensjoneringen. Terrengtet rundt bygget vil ha innvirkning på vindlastens styrke og retning. Plasseringen og orienteringen av bygget vil påvirke det passive soltilskuddet og dermed varmetapet. En avansert form på bygningen medfører at overganger blir vanskelige, og oppsetting av konstruksjonen blir dermed krevende. Utradisjonelle former gjør at materialer må spesialbestilles, eller tilpasses ut ifra standardiserte størrelser. Det ligger mye estetikk i orientering og utforming, men disse avgjørelsene har innvirkning på byggets energibehov og materialvalg.

Anda & Bjelland (2013) konkluderer med at en kvadratisk bygningsform er den mest gunstige med tanke på varmetap. Når man ser på forholdet mellom volum og overflateareal, vil en kvadratisk bygningsform ha størst volum og minst overflateareal. U-verdien til de ulike overflatene er kritiske i regnestykket. Bygningsformen er ofte bestemt tidlig i prosjektet. Det kan derfor være en fordel å vurdere isoleringstyngden ut ifra den. Dersom det for eksempel er mye veggareal kan det lønne seg å fokusere på en godt isolert veggkonstruksjon, fremfor andre komponenter med mindre areal (Anda & Bjelland, 2013).

3.3.2 Fundament

Hensikten med et fundament er å overføre alle egen- og nyttelaster fra byggverket, ned til grunnen. Det er altså svært viktig at grunnen er stabil nok til å motta disse lastene, og grunnundersøkelser er derfor nødvendig å gjennomføre. Videre må fundamentet tilpasses terrenget, og valg av fundament avhenger derfor av terrengets form. Siden tomten til dette prosjektet er relativt flatt vil de aktuelle fundamentene være ringmur med kryperom, gulv på grunn med ringmur og åpen fundamentering (SINTEF Byggforsk, 2005).

Ringmur med kryperom en løsning som både medfører terrenginngrep og høy gulvhøyde over terrengnivå. De to andre løsningene kan utformes med enten lite terrenginngrep slik som ved åpen fundamentering, eller lav høyde over terreng som ved gulv på grunn med ringmur. I tillegg er det, for ringmur med kryperom, stor risiko for fuktskader enn for to andre alternativene (Edvardsen & Ramstad, 2014). Det er derfor ikke relevant å se nærmere på ringmur med kryperom, da de to sistnevnte løsningene vil være bedre alternativer for dette prosjektet.

Gulv direkte på grunnen med ringmur medfører beskjedne masseforflytninger, og dermed små terrenginngrep, gitt at det fundamenteres på flat tomt. Det er viktig at fundamentet er detaljutført for å hindre kalde gulv og kuldebroer ved ytterveggene. Betongdekket kan enten legges fritt mellom ringmuren, eller støpes fast til muren. Tilfredsstillende sikkerhet mot fukt og radon fra grunnen er viktig. En fuktsperre og radonmembran vil sikre dette. Markisolasjon utenfor ringmuren kan brukes for å hindre teleløft ved telefarlig jord. Isolasjonen kan også redusere varmetap i randsonen av gulvet ved fundamentering på fjellgrunn, samt forhindre frostgjennomslag i ringmuren (Edvardsen & Ramstad, 2014).

Åpen fundamentering kan utføres med pilarer, rammede pæler eller grunnmursstriper. Disse plasseres ned i grunnen og medfører kun små terrenginngrep. På grunn av hulrom under bygget vil åpen fundamentering føre til risiko for kalde gulv, trekkproblemer og dermed økt energiforbruk. Det er derfor ikke en anbefalt løsning for bygninger med oppholdsrom (SINTEF Byggforsk, 2005). Pilarene skal støtte opp bærebjelker til bjelkelaget som bærer resten av konstruksjonen.

Ved ringmur som fundament er det viktige faktorer som avgjør valg av ringmurkonstruksjon. Essensielle faktorer er størrelse på bygningen, grunnforhold og tilgjengelighet for produksjon/bygging på tomt eller prefabrikkering. Det er tre forskjellige materialvalg til ringmuren som kan benyttes. Det kan benyttes prefabrikkerte ringmurselementer som vil redusere byggetiden, timeverket og kostnader med grunnarbeidene. Den andre er murt ringmur av lettklinker, som også et godt alternativ da det gir en enkel og rasjonell utførelse, tåler fukt og er tilpasningsvennlig (Leca, u.d.). Det siste alternativet er å støpe ringmuren av betongkvalitet B30/M60 eller bedre. Fordelen med å støpe betong er at det er tilpasningsdyktig, men dermed også mer tidkrevende. Ved svak byggegrunn må man sørge for å støpe en såle under ringmuren for bedre lastfordeling av kreftene (SINTEF Byggforsk, 2012). Dette gjelder også for pilarer.

Varmestrømmene som går gjennom gulvkonstruksjonen, reduserer faren for frost under fundamentet. Ved å isolere ringmuren med XPS-plater vil man sikre fundamentet mot tele og redusere varmetapet drastisk. Bygninger som ikke er fullt oppvarmet vil øke sjansen for frost og gulvet må derfor isoleres. Dybden på fundamentet bør økes eller det kan legges inn ekstra markisolasjon (SINTEF Byggforsk, 2019).

3.3.3 Gulv

Gulvkonstruksjoner har som hensikt å ta opp de nødvendige lastene et gulv påfører. Dette gjelder gjenstander i huset, persontrafikk og eventuelt bæring av taket. De bærende elementene i gulvkonstruksjonen skal videreføre disse lastene ned til fundamentet, eller direkte til grunnen avhengig av hvilken fundamenteringsmetode man velger. For trehus kan gulvkonstruksjonen bestå av gulvbjelker i form av bjelkelag eller massivtre. Betonggulv på grunn er et alternativ ved gulv på grunn med ringmur som fundament.

Ved gulvkonstruksjon av tre skal det legges et bærende undergulv som støtte til gulvmaterialet. Ved betonggulv på grunn, vil betongdekke fungere som undergulv. De vanligste undergulvene til trekonstruksjoner er OSB-, spon- og kryssfinérplater. De to førstnevnte benyttes ved myke gulvbelegg som gulvmateriale, mens kryssfinérplate benyttes ved stivt gulvmateriale (Edwardsen & Ramstad, 2014).

Som gulvmateriale er det mye forskjellig som kan brukes. Valg av gulvmaterialet kan bestemmes ut ifra mange kriterier. Eksempler på kriterier som er aktuelle i denne oppgaven er slitasjemotstand, gangbehagelighet, formbarhet, mulighet for rengjøring og varmebehagelighet (SINTEF Byggforsk, 2003). Det ble i møte med byggherre og oppdragsgiver kommentert at kubbegulv vil være et alternativ som tilfredsstiller disse kravene. Kubbegulv er en gulvtype bestående av treklosser med endeveden opp. Disse limes rett til undergulvet, og det stilles derfor strenge krav til undergulvet. Kubbegulvet leveres ubehandlet og etterbehandles på byggeplass. Det er mye brukt som industriegulv på grunn av kubbenes slitestyrke.

Ved betonggulv som bærende gulvkonstruksjon er det enkelte komponenter som bør være med for å oppfylle kravene beskrevet i TEK17. Det er som nevnt tidligere nødvendig å isolere betonggulvet for å hindre kalde gulv og telehiv. Man kan ha isoleringen som underliggende lag av XPS/EPS, eller som varmeisolerende og drenerende lag av løs lettklinker. Ved bløt undergrunn eller siltige jordarter skal det mellom drensaget og grunnen plasseres en fiberduk for beskyttelse til overliggende materialer. Over det drenerende laget legges en plastfolie med minst 200 mm omleggsskjøt. Det skal støpes betonggulv på minimum 50 mm med svinnarmering. Valgt gulvbelegg legges deretter over det øverste betongdekket (SINTEF Byggforsk, 2003).

Ved pilarer og bjelkelag som gulvkonstruksjon vil oppbygningen være annerledes. Bærebjolkene til bjelkelaget festes til pilarene med stålbeslag. Bjelkelaget plasseres over bærebjolkene med kantbjelker plassert mot yttervegg (SINTEF Byggforsk, 2011). Ovenfor bjelkelaget plasseres undergulvet, som støtter opp gulvmaterialet.

3.3.4 Vegg

Bærende vegger i en bygning skal overføre taklasten ned til fundamentet. De fungerer også som avstivere for bygget, og er med på å ta opp vindlasten fasaden utsettes for (SINTEF Byggforsk, 2008). Vegger er tradisjonelt bygd opp av stenderverk, men kan også bygges av betong eller massivtrelementer.

Dagens og fremtidens krav om U-verdi i yttervegger er et område innen utvikling og innovasjon. Det er et ønske om å effektivisere veggens varmeledende evne for å senke energibruken. Mengden isolasjon som må til for å oppfylle kravene gir tykkere vegger enn før, noe som også krever mer materialer. Det er derfor forsket på nye løsninger.

For yttervegger bestående av stenderverk er ikke lenger heltrestendere eneste løsning. De nye løsningene for gjennomgående yttervegg består av sammenlimte lameller, I-profil stender, isolert laminert stender, isolert stender med spikerplate eller yttervegg av massivtre. Det er altså flere gode alternativer til gjennomgående løsning som er dimensjonsstabile. Disse finnes i ulike bredder, slik at man får ønsket tykkelse på veggen og isolasjonsmengde.

Den andre muligheten er en todelt vegg-løsning. Der består veggen av et ytre stendersjikt påfulgt av et isolasjonssjikt og deretter et indre stendersjikt. Todelt løsning kan da bestå av vanlige heltrestendere, i to sjikt. En todelt løsning gir også muligheter til å velge fordelingen av laster i bæresystemet. Norsk Treteknisk Institutt illustrerer i sin rapport de tre ulike løsningene som er utvendig bæring, kombinert bæring og innvendig bæring. Den førstnevnte løsningen baserer seg på at den ytre stenderen tar alt av laster, og at den indre i prinsippet er ikke-bærende. I en kombinert bæring vil det indre sjiktet bære etasjeskiller, mens resten blir tatt opp av det ytre sjiktet. Det siste alternativet, innvendig bæring, viser at den indre stenderen tar etasjeskiller, egenlast og snølast. Det ytre sjiktet vil alltid ta vindlasten (Norsk Treteknisk Institutt, 2011).

Når tykkelsen på ytterveggen blir stor, for å oppnå ønsket isoleringsevne, får vi et tykt isolasjonssjikt. For å opprettholde isoleringsevnene i sjiktene må konveksjonssperre vurderes. Konveksjonssperre hindrer sirkulasjon av luft innad i isolasjonen. Når luften får stor sirkulasjon, vil isolasjonseffekten svekkes. Ved å legge inn en sperre mellom isolasjonslagene får man den effekten man ønsker av den tykke veggen. Videre kan ytre påkjenninger også svekke veggens isolasjonsevne, og de benyttes derfor prinsippet om tottrinnsstetting.

Oppbygningen sikrer at vindtrykket ikke presser regnvann inn i og gjennom konstruksjonen. Prinsippet går ut på å skille regntetting og vindtetting med et ventilert og drenert hulrom. Dette gjør at vannet kan drenere fritt ned langs veggen uten å være nær konstruksjonen (Store Norske Leksikon, 2019).

3.3.5 Tak

Takkonstruksjonen skal ta opp snø-, vind-, egen- og nyttelaster. Alle disse lastene må overføres ned til grunnen gjennom de andre konstruksjonsdelene. Taket må dimensjoneres ut ifra disse lastene og sitt eget spenn. Det kan oppstå løftekrefter på grunn vindlasten som gjør at taket må forankres godt til konstruksjonen. Videre må også huset forankres til fundamentet slik at man unngår løft.

Bæringen i tak kan være av betongelementer, plastøpt betong, stålplater, massivtrelementer eller bjelkelag av tre. De ulike materialene varierer i pris og vekt. Egenvekten til materialene og lasten taket utettes for har mye å si for dimensjoneringen av taket. Elementene har også ulik styrke og må derfor ha ulike dimensjoner for å ta den samme lasten. Spennvidden materialene kan strekke seg over vil være avgjørende for valg av materiale. Videre vil materialene i takkonstruksjonen slå forskjellig ut i et miljøregnskap. Isolasjonsmaterialer basert på mineralull har for eksempel lavere klimagassutslipp i produksjonen enn ekstrudert polystyren (XPS) og ekspandert polystyren (EPS) (SINTEF, 2014).

Taket kan være en utfordrende komponent i et bygg da det fort blir utsatt for fuktskader og mekaniske påkjenninger. Avrenningen på taket er kritisk, der takrenner og sluk må plasseres strategisk. Det bør legges flere sluk i midtpunktene av taket der vannet samles og være fall på 1:40 rundt slukene (Noreng, et al., 2008). Taket er også den komponenten som potensielt kan slippe ut mest varme og må derfor isoleres. Det bør kun brukes ubrennbar isolasjon for å opprettholde rømningstiden i bygget, og verne takkonstruksjonen så lenge som mulig.

For denne oppgaven er det flate kompakte tak som er relevant. Det er tre ulike måter å bygge opp et kompakt tak. Et rettvendt kompakt tak bygges opp som følgende: bæring, dampsperre, isolasjon og deretter taktekning. Taktekningens funksjon er å holde taket tørt og beskytte konstruksjonen mot klimapåkjenningene som forekommer. Et omvendt tak flytter det vanntette sjiktet ned til bæringen. Det bygges altså slik: bæring, membran, isolasjon og slitelag øverst. Til slutt har du et duotak, som ligner mye på et omvendt tak. I et duotak legger man membranen mellom isolasjonslagene, og ellers er det som et omvendt tak.

I omvendte tak og duotak vil membranen stoppe fuktgjennomtrening, mens slitelaget må ta de andre belastningene taket utsettes for. De ulike oppbygningene gir takene ulike bruksområder. Et rettvendt tak er ikke egent til annen trafikk en nødvendig for vedlikehold. Et omvendt tak kan tåle tung trafikk, mens et duotak tåler lett trafikk (SINTEF Byggforsk, 2018).

3.3.6 Kuldebroer

De ulike materialene i en konstruksjon leder varme i ulik grad, og vi bruker U-verdi som et tall på varmemotstanden til en sammensatt konstruksjonsdel. I tillegg kan man regne ut varmetapet som oppstår på grunn av kuldebroer i konstruksjonen. Kuldebroverdier er altså et tall på hvor mye ekstra varmetap en konstruksjonsdel har, utover materialenes varmetap. Det er ulike metoder man kan bruke for å beregne kuldebroverdier. Det finnes grove overslag, tabeller og mer komplekse beregninger. Det skilles også mellom lineære kuldebroer og punktkuldebroer. Sistnevnte forekommer typisk ved søyler eller andre punktvisse overganger i en konstruksjon, der et materiale møter et annet materiale med ulik varmeledningsevne. Et vanlig eksempel er en stål- eller betongsøyle som bærer en trekonstruksjon. Lineære kuldebroer er kontinuerlige i konstruksjonen, og oppstår enten på grunn av geometrien eller på grunn av materialene sine ulike evner til varmeoverføring (Norsk Treteknisk Institutt, 2011).

De kritiske overgangene der kuldebroer ofte oppstår er mellom yttervegg og gulv på grunn, yttervegg og tak, samt i hjørner. Sistnevnte, kuldebroer i hjørner, er en geometrisk kuldebro. I et hjørne er geometrien på utsiden ulik fra innsiden, altså er arealet på utsiden større. Det legges også inn flere stendere i et hjørne. Stenderandelen vil da skille hjørne fra resten av veggkonstruksjonen. Videre er plassering av vindu i veggen også kritisk for varmetap. Det er mest hensiktsmessig å plassere vinduet lengst inn i veggen for å hindre kuldebroer.

Utfordringen med dette er at tettingen blir vanskeligere, enn hvis vinduet ble plassert lengst ut.

Kuldebroer bør minimeres eller elimineres om mulig. Dersom man neglisjerer å regne på kuldebroer risikerer man å få en dårligere isolasjonsevne enn forventet når bygget ferdigstilles (Blom & Uvsløkk, 2011).

4 Analyser

I analysekapittelet blir det presentert to løsninger for hver bygningskomponent, som kan benyttes til felleshuset. Begge løsningene har mulighet til å oppfylle de tekniske kravene, men kan som nevnt før gi ulik uttelling på arkitektoniske prinsipper. I tillegg til problemstillingen blir alternativene drøftet ut ifra relevante kriterier, der disse er med på å avgjøre studentgruppens byggtekniske prosjekteringsanbefalinger. For å kunne foreta valg av den mest egnede løsningen vil nødvendige beregninger bli gjennomgått først på de neste sidene.

4.1 Beregninger

For å begrunne valg av materialer til konstruksjonen, er det en forutsetning å se på kapasiteten til materialene. Kapitelet tar for seg opptredende laster på konstruksjonen som komponentene må bære og videreføre ned til grunnen. Det er i noen tilfeller kun sett på en overslagsberegning, og kan derfor ikke brukes som fullstendig produksjonsunderlag.

4.1.1 Snølast

Snølast er et viktig punkt å ta hensyn til ved prosjektering av bygninger. Takutforming, tomtens plassering og høyde over havet er med på å bestemme hvor stor snølasten blir. Snølasten kan derfor bli vesentlig stor ved uheldig plassering og utforming av bygget. Det er foretatt beregninger for opptredende snølast på tomten, til videre prosjektering av andre konstruksjonsdeler. *471.041 Snølast på tak. Dimensjonerende laster* (SINTEF Byggforsk, 2003) er brukt som utgangspunkt for beregningene, samt standarden *NS-EN 1991-1-3 Allmenne laster – Snølast* (Standard Norge, 2018).

Karakteristisk snølast på mark for byggestedet er gitt ved: $s_k = s_{k,0} + n * \Delta s_k$ (kN/m^2)

Der:

- s_k kan ikke overskride $s_{k,max}$ (kN/m^2)
- $s_{k,0} = 3,5 kN/m^2$ for Levanger kommune, gitt i tabell 3 i 471.041
- $\Delta s_k = 1,0 kN/m^2$ for Levanger kommune, gitt i tabell 3 i 471.041
- $n = \frac{H-H_g}{100} = \frac{78-150}{100}$, n rundes opp til nærmeste heltall. Settes lik 1 for dette tilfellet
- $H = 78$ m, er høyde over havet på byggestedet.
- $H_g = 150$ m for Levanger kommune, gitt i tabell 3 i 471.041

➔ Karakteristisk snølast på tomten: $s_k = 3,5 \frac{kN}{m^2} + 1 * 1,0 kN/m^2 = 3,5 kN/m^2$

Karakteristisk snølast på tak er gitt ved: $s = \mu_i * C_e * C_t * s_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$

Der:

- $\mu_i = 0,8$ for flate tak. Formfaktoren for takformen.
- $C_t = 1$ hvis det ikke er glasstak. Termisk faktor som angir snøsmelting på taket.
- $s_k = 3,5 \text{ kN/m}^2$. Karakteristisk snølast på tak.
- C_e er eksponeringsfaktoren som tar hensyn til at vind blåser tørr snø bort fra taket. Settes lik 1 med mindre andre verdier kan dokumenteres.

Fra tab. NA.5.1. i NS-EN 1991-1-3:

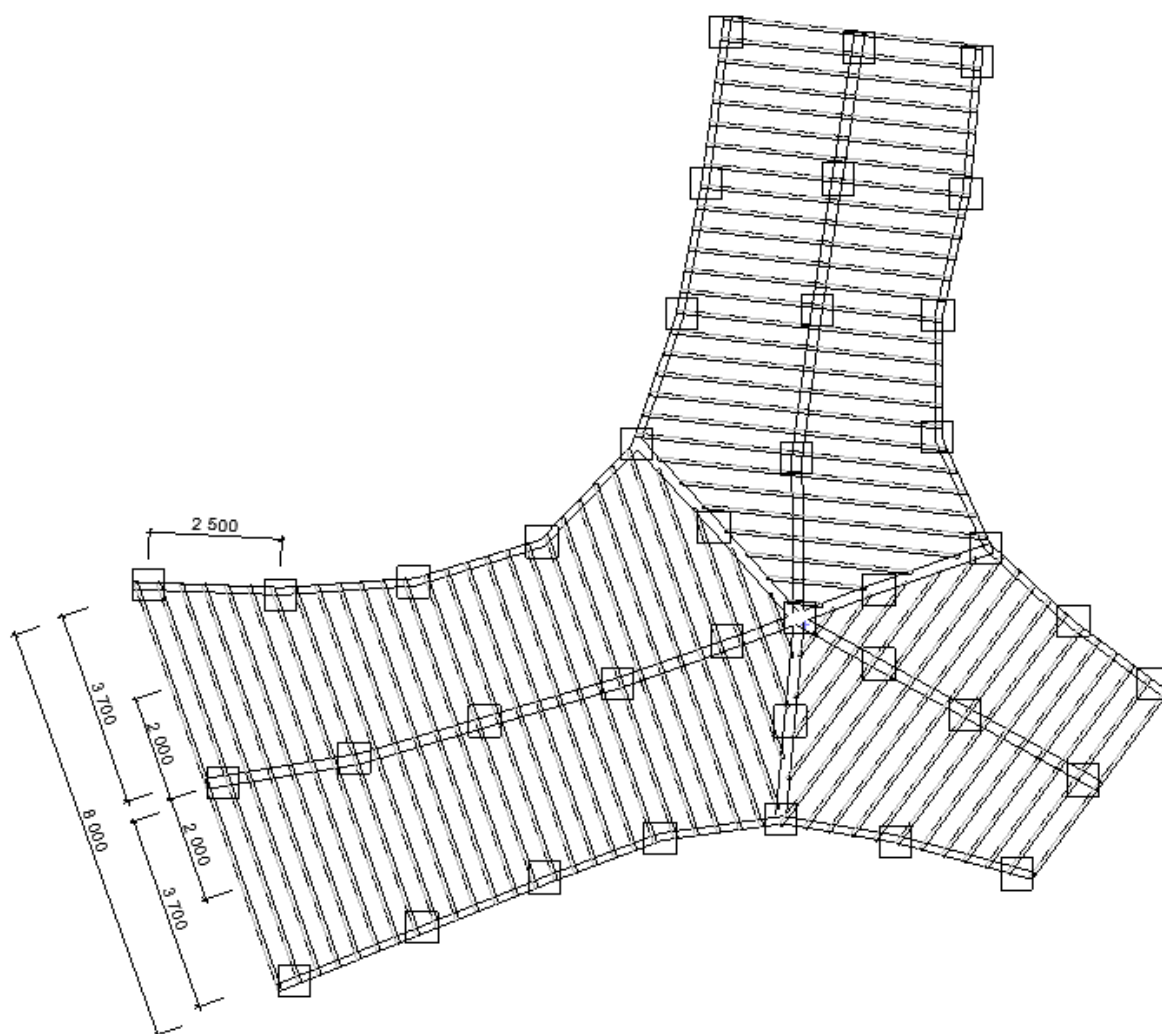
- 1,0 ved normal topografi. Områder der vinden i liten grad fjerner snø fra byggverk pga. terreng, andre byggverk eller trær.
- 1,2 ved skjermet topografi. Områder der det aktuelle byggverket er betydelig lavere enn terrenget omkring, eller omgitt av høye trær og/eller høyere byggverk.

C_e settes lik 1,2 på grunn av skjermet topografi med høye trær og lite vind.

➔ Karakteristisk snølast på taket: $s = 0,8 * 1,2 * 1 * 3,5 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{3,36 \text{ kN/m}^2}$

4.1.2 Fundament og gulvkonstruksjon

Pilarer er en mulig fundamenteringsløsning med bjelkelag av tre som gulvkonstruksjon. For å se hvorvidt denne løsningen egner seg til fellehuset, er det presentert i figur 6 en mulig løsning på utformingen av bjelkelaget og plassering av pilarer. Det skal ut ifra beregningene fremgå hvorvidt denne utformingen lar seg gjøre, samt hvilke dimensjoner som må brukes for å kunne bære de opptredende lastene. Disse beregningene skal senere brukes som grunnlag for valg av fundamentløsning i kapittel 4.2.1 *Utforming og oppbygning*.



Figur 6 – Utforming av bjelkelag ved pilarfundament. Skissert av studentgruppen.

Av figur 6 er det plassert tre bærebjelker som understøttes av pilarene, en ved midten, og to på hver sin yttervegg. Den midterste bærebjelken må bære store deler av bjelkelaget og nyttelast fra gulvet. De ytterste bærebjerkene må bære litt av bjelkelaget, taket med snølast og egenvekt av veggene.

Bjelkelag

Som grunnlag for dimensjonering av bjelkelaget er det hentet verdier fra tabell 22a i 522.351 *Trebjelkelag. Dimensjonering og utførelse* (SINTEF Byggforsk, 2011). Største lysåpning på konstruksjonen er 3,7 meter. Det er tatt utgangspunkt i denne verdien for utforming av hele bjelkelaget for å være på den konservative siden. Et bjelkelag i kvalitet C30 med en bjelkeavstand c/c 400 med dimensjon 73 x 198 mm har en kapasitet til en lysåpning på 3,75 meter. Denne løsningen foreslås derfor som en mulighet til gulvkonstruksjonen, i henhold til tabell 22a i 522.351.

Midtre bærebjelke

Som grunnlag for dimensjonering av den bærende bjelken i midten, er det hentet verdier fra tabell 21a i 520.222 *Bjelker av tre. Dimensjonering* (SINTEF Byggforsk, 2011). Egenvekten til bygningskomponenter er hentet fra 471.031 *Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler* (SINTEF Byggforsk, 2013). Nyttelast for boliger er hentet fra *NS-EN 1991-1-1 Allmenne laster* (Standard Norge, 2019).

Konstruksjonen kan defineres som klimaklasse 2 da det er en konstruksjon i friluft, men beskyttet mot regn og vann. Bærebjelkene skal som sagt bære egenlast til bjelkelaget og nyttelast på gulvkonstruksjonen. Dimensjonerende last fås ved å multiplisere disse med sine respektive partialfaktorer og summeres. Partialfaktorene er gitt ved 1,2 for egenlast og 1,5 for nyttelast etter *NS-EN 1990 Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner* (Standard Norge, 2016).

Nødvendige verdier:

- Egenlast (permanent last) for standard bjelkekonstruksjon av tre = $0,5 \text{ kN/m}^2$.
 - Nyttelast (halvårslast) for boliger = $2,0 \text{ kN/m}^2$, gitt i NS-EN 1991-1-1.
 - Setter felleshuset i konsekvensklasse 1 på grunn av liten tid med opphold av mennesker, gir $K_{FI} = 0,9$, etter NS-EN 1990.
 - Gulvbjelkene hviler på midtopplegget, og får dermed last fra en bredde på $2,0 + 2,0$ meter ved det største spennet, se figur 6.
- ➔ Dimensjonerende last på bærebjelke: $[(0,5 * 1,2) + (2,0 * 1,5 * 0,9)] * 4 = 13,2 \text{ kN/m}$

For å kunne oppta denne lasten over en beregningsmessig spennvidde på 2,4 meter, som er avstanden mellom pilarene, kan det benyttes bjelker i kvalitet C24 med dimensjon 98 x 198 mm. Bjelkene har en kapasitet på 13,7 kN/m, oppfyller dermed kravet på minimum 13,2 kN/m.

Ytre bærebjelke

Som grunnlag for dimensjonering av de bærende bjelkene ved ytterveggene er det hentet verdier fra tabell 21d i 520.222 *Bjelker av tre. Dimensjonering* (SINTEF Byggforsk, 2011). Egenvekten til bygningskomponenter er hentet fra 471.031 *Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler* (SINTEF Byggforsk, 2013). Bærebjelkene skal bære 2 meter av bjelkelaget, ytterveggene og taket med massivtredekker og snølast.

Oppgitte egenveklaster, gitt i 471.031:

- Bjelkelag = $0,5 \text{ kN/m}^2$
- Vegg = $0,7 \text{ kN/m}^2$, setter høyde lik 2,4 meter.
- Tak = $1,6 \text{ kN/m}^2$, for massivtredekker med tykkelse 240 mm.
- Snø = $3,36 \text{ kN/m}^2$, karakteristisk snølast på mark regnet ut i 4.1.1 *Snølast*.

Dimensjonerende last av bjelkelag: $[(0,5 * 1,2) + (2,0 * 1,5 * 0,9)] * 2 = 6,6 \text{ kN/m}$

Dimensjonerende last av tak og snø: $[(1,6 * 1,2) + (3,36 * 1,5 * 0,9)] * 4 = 27,9 \text{ kN/m}$

Dimensjonerende last av vegg: $0,7 * 1,2 * 2,4 = 6,6 \text{ kN/m}$

→ Dimensjonerende last på bærebjelke blir da: $6,6 + 27,9 + 6,6 = 36,5 \text{ kN/m}$

Ved plassering av pilarene med en avstand på 2,5 meter, kan det benyttes limtredragere i kvalitet GL32c med dimensjon 140 x 315 mm, etter tabell 21d i 520.222 for permanent last og korttidslast. Denne dimensjonen har en kapasitet på 39,3 kN/m og er derfor tilstrekkelig for dette tilfellet.

Ved å summere høyden av ytre bærebjelke med høyden til bjelkelaget får vi en indikasjon på hvor høy gulvkonstruksjonen blir. Dette gir en gulvkonstruksjon på 513 mm. Videre anbefales det i 521.304 *Pilarer av betong i telefarlig grunn* (SINTEF Byggforsk, 1996) en minste høyde på 500 mm mellom laveste bjelke i gulvkonstruksjon og terreng. Total gulvhøyde over bakken blir dermed 1013 mm.

4.1.3 Veggkonstruksjon

Todelt stenderverk er en mulig løsning til veggkonstruksjon. Det er tenkt at innerveggene skal være lettvegger for en større frihet i tilfelle omprosjektering. Det er heller ikke skissert noen søyler eller annen form for bæring innendørs. Altså er det ytterveggene som skal bære taket.

For å finne et overslag på hvor mye hver enkelt stender må tåle, beregnes først et overslag på hvor tungt taket blir. Her benyttes *471.031 Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler* (SINTEF Byggforsk, 2013) for et estimat av vekten til taket. Massivtretak er et alternativ som skal ses nærmere på senere i oppgaven, og det benyttes derfor verdier av denne som estimat. Massivtretaket vil også være det tyngste taket og gir dermed mest ugunstig last på stenderne. Et 240 mm tungt massivtreelement vil etter 471.031 ha en egenlast på $1,6 \text{ kN/m}^2$. Det må også tas hensyn til opptredende snølast på $3,36 \text{ kN/m}^2$. Dette gir en totalvekt på taket med et areal på $153,4 \text{ m}^2$:

$$(1,6 + 3,36) \text{ kN/m}^2 * 153,4 \text{ m}^2 = 760 \text{ kN}$$

Totalvekten fordeles på antall stendere, der et estimat på antall stendere beregnes ved å ta omkretsen av ytterveggen delt på senteravstand til stenderne.

$$n = \frac{\text{Omkrets bærende vegg}}{\text{senteravstand}} = \frac{51 \text{ m}}{0,3 \text{ m}} = 170 \text{ stendere}$$

For å se hvor mye hver stender må tåle i trykk, tar man den totale vekten på taket og deler det på antall stendere.

$$F = \frac{\text{Totalast tak}}{n} = \frac{760}{170} = 4,5 \text{ kN per stender}$$

Dette viser at hver stender må tåle 4,5 kN i trykkrefter. For en presis og sikker konstruksjonsberegning bør det foretas knekklastberegninger på stenderne. På grunn av trykkraft fra taket og vindlast på fasaden, kan de ytre stenderne beregnes som bjelkesøyle. Knekklastberegninger bør derfor foretas ut ifra denne situasjonen.

Som nevnt tidligere kan todelt ytterveggløsninger ha ulike bæringssystemer. Det kan altså variere hvilke laster som blir tatt opp av det ytre og det indre stenderverket. For denne oppgaven er kombinert bæring mest aktuell. Der vil både den indre og ytre stenderen ta opp laster fra konstruksjonen. For å hindre kuldebro i overgang yttervegg og tak, bør taket trekkes litt inn. På grunn av dette innrykket av taket må den indre stenderen ta mesteparten av taket, og den ytre tar dermed i hovedsak vindlasten. Vi har derfor i beregningene gått ut ifra at de indre stenderne tar opp hele taklasten. Taket vil allikevel hvile delvis på den ytre stenderen og er dermed med på å ta noe bæring av taket.

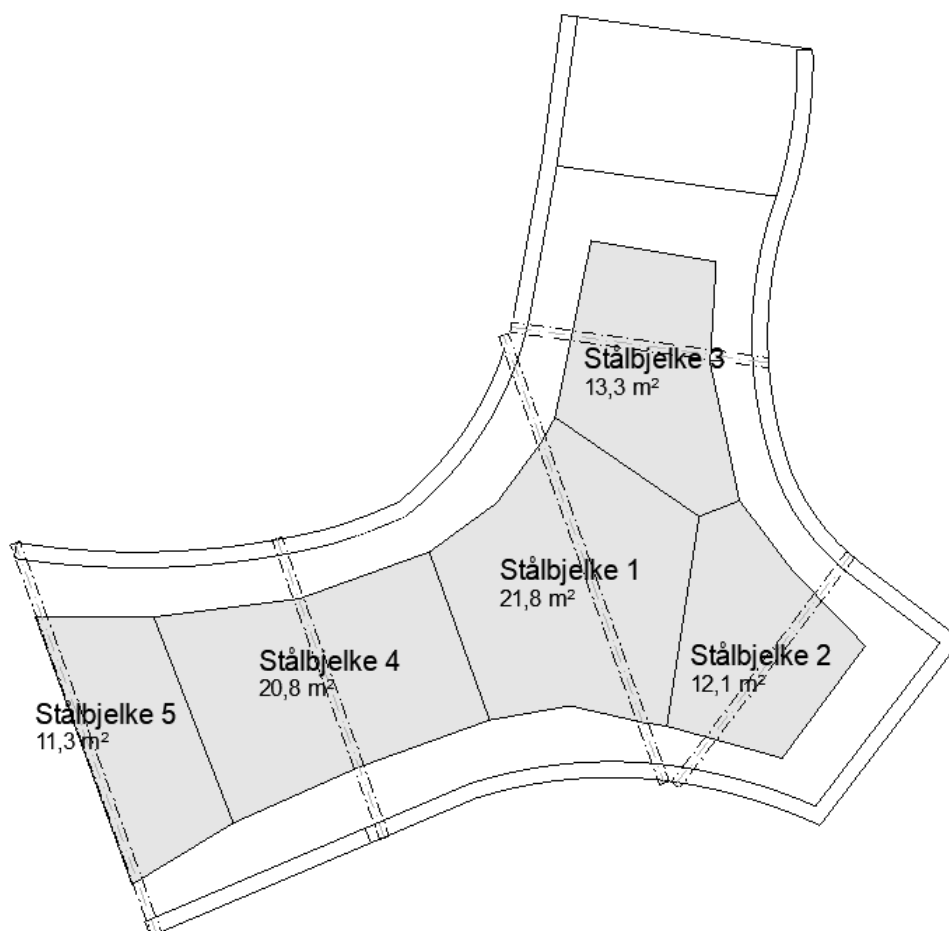
Etter tabell 21 i *Rapport 84* (Norsk Treteknisk Institutt, 2011) har den indre stenderen en dimensjonerende trykkapasitet på 16,9 kN ved fasthetsklasse C24 og en dimensjon på 36 x 98 mm, samt knekk lengde på 2,4 meter. For fellehuset blir det foreslått en stenderstørrelse på 48 x 98 mm på grunn av energikrav. Dette vil bli gått nøyere gjennom i kapittel 4.4.2 *Energikrav og miljø*. Med tanke på bæring vil denne dimensjonen være tilstrekkelig, og kunne fungere som et indre bæresystem. Man kan altså velge å trekke taket lengre inn og la det kun hvile på det indre stenderverket, uten at det oppstår bæreproblemer.

4.1.4 Takkonstruksjon

I kapitlet 3.3.5 *Tak* er det nevnt ulike løsninger for en takkonstruksjon. Det er både nevnt massivtredekker og bjelkelag av tre. For å se hvorvidt disse løsningene egner seg til felleshuset, er det foretatt beregninger på disse to. Ut ifra beregningene skal det fremgå hvilken løsning som gir lavest dekkhøyde, og dermed brukes som grunnlag for valg av takkonstruksjon til felleshuset.

Stålbjelker og massivtreelementer

Det er tatt utgangspunkt i det største spennet på 9,5 meter for dimensjonering av stålbjelkene. Hver bjelke må ta opp laster over et gitt areal skissert i figur 7. Lasten som må tas opp er egenvekten til bjelkene, massivtredekker og snølast. For å finne dimensjonen på stålbjelkene, og om det lar seg gjøre å bære disse lastene over store spenn, er det foretatt beregninger på dette. Det er stålbjelke 1 som blir den dimensjonerende bjelken, og det blir derfor presentert her beregninger og verdier på denne.



Figur 7 – Oppredende lastfelt til stålbjolkene. Skissert av studentgruppen.

Nødvendige verdier:

- Egenvekt massivtre = 500 kg/m^3
- Tykkelse dekke = $0,24 \text{ m}$
- Akselerasjon = $9,81 \text{ kg/s}^2$
- Lastareal = $21,8 \text{ m}^2$
- Lengde på bjelke = $9,5 \text{ m}$
- Spennvidde = $8,3 \text{ m}$
- Snø = $3,36 \text{ kN/m}^2$, karakteristisk snølast på tak regnet ut i kapittel 4.1.1 Snølast.
- Egenvekt stål = 471 kN/m^2
- Areal av stålbejelke = 9650 mm^2 , for HSQ-240: 200 x 440 15/10-5 etter bjelketabell fra Skanska Stålfabrikken publisert av Norsk Stålforbund (Skanska Stålteknikk AB, u.d.).
- Partialfaktorene er gitt ved 1,2 for egenlast og 1,5 for nyttelast etter NS-EN 1990.

Dimensjonerende linjelast massivtredekke: $\frac{500 \cdot 0,24 \cdot 9,81 \cdot 21,8}{1000 \cdot 9,5} \cdot 1,2 = 3,3 \text{ kN/m}$

Dimensjonerende linjelast snølast: $\frac{3,36 \cdot 21,8}{9,5} \cdot 1,5 = 11,6 \text{ kN/m}$

Dimensjonerende linjelast stålbejelker: $\frac{471 \cdot 9650}{10^6} \cdot 1,2 = 5,5 \text{ kN/m}$

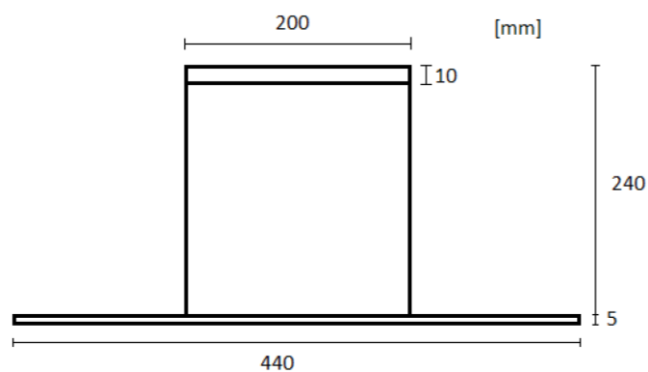
→ Dimensjonerende last på bærebjelke blir da: $3,3 + 11,6 + 5,5 = 20,3 \text{ kN/m}$

Opptredende skjærkrefter: $\frac{20,3 \cdot 9,5}{2} = 96,2 \text{ kN}$

Opptredende momentkrefter: $\frac{20,3 \cdot 9,5^2}{8} = 228,5 \text{ kNm}$

Det er brukt lengden av bjelken i stedet for spennvidden ved utregning, som gir en overdimensjonert verdi. Ved bruk av spennvidden i stedet for bjelkelengden, vil det være mulig å gå ned en dimensjon. Ved endring av dimensjon vil også arealet av stålbejelken endres. Studentgruppen har derfor valgt å ikke foreta nye beregning på dette.

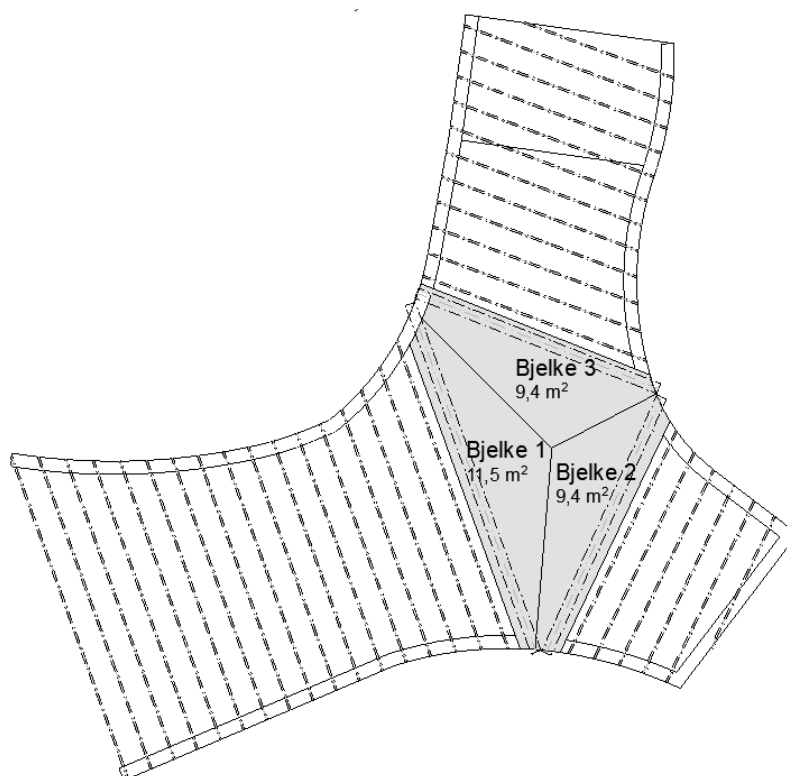
Det er momentkreftene som blir dimensjonerende for valg av profil. Etter bjelketabellen fra Skanska Stålteknikk AB vil en HSQ-240 bjelke med dimensjoner vist i figur 8 ha en momentkapasitet på 237 kNm, og en skjærkapasitet på 487 kN. Dette profilet har dermed tilstrekkelig styrke til å ta opp lastene fra taket.



Figur 8 – Nødvendig dimensjon på stålbjolkene. Skissert av studentgruppen.

Bjelkelag

Den andre løsningen som er aktuell for felleshuset er å benytte limtrebjelker i en trekantformasjon, med tilhørende bjelkelag av enten limtre eller fagverksbjelker. Det er bjelke 1 som blir den dimensjonerende bjelken, og det blir derfor presentert beregninger og verdier på denne. I figur 9 er opptredende lastfelt til bjelkene skissert.



Figur 9 – Opptredende lastfelt til limtrebjelkene. Skissert av studentgruppen.

Nødvendige verdier:

- Egenvekt limtre av kvalitet GL32c = 440 kg/m^3
- Akselerasjon = $9,81 \text{ kg/s}^2$
- Lastareal = $11,5 \text{ m}^2$
- Spennvidde = $8,3 \text{ m}$

Dimensjonerende linjelast limtrebjelke: $\frac{400 \cdot 9,81 \cdot 21,8}{1000} \cdot 1,2 = 5,2 \text{ kN/m}$

Dimensjonerende linjelast snølast: $\frac{3,36 \cdot 11,5}{8,3} \cdot 1,5 = 7,0 \text{ kN/m}$

→ Dimensjonerende last på bærebjelke blir da: $5,2 + 7,0 = 12,2 \text{ kN/m}$

Nødvendig høyde for å oppta lastene er gitt ved: $\sqrt{\frac{6 \cdot M}{f_{md} \cdot B}}$

Der:

- B er bredden til bjelkene lik 140 mm
- M er momentet gitt ved: $M = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{12,2 \cdot 8,3^2}{8} = 105 \text{ kNm}$
- f_{md} er dimensjonerende bøyefastheten til limtre. For GL32c har vi:
 - $f_{md} = f_{mk} \cdot \frac{0,85}{1,5} = 18,1 \text{ N/mm}^2$, der $f_{mk} = 32 \text{ N/mm}^2$

→ Nødvendig høyde for en limtretrager av kvalitet GL32c er: $H = \sqrt{\frac{6 \cdot 105}{18,1 \cdot 140}} = 498,3 \text{ mm}$

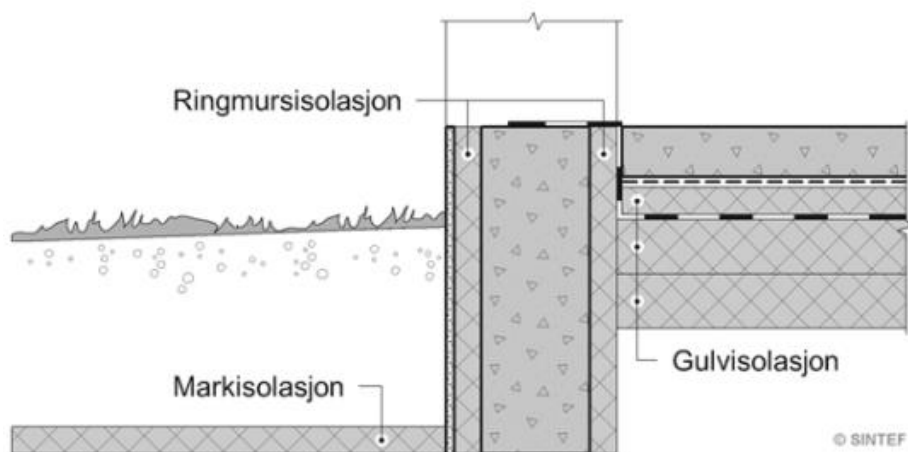
For å kunne oppta lastene fra taket, må det i trekanten være limtretrager av kvalitet GL32c med dimensjon B x H på $140 \times 500 \text{ mm}$. Et alternativ til limtrebjelker kan være å benytte seg av stålbjelker med IPE-profil. Disse har en større kapasitet over store spenn, og vil dermed være av mindre dimensjon. Det er likevel så store spenn over andre deler av taket, at bjelkelaget vil kreve stålbjelker eller like store limtretrager. Fagverksbjelker er også et alternativ som vil gi noe mindre dimensjoner på bjelkelaget. Utformingen av bjelkelaget skal ses nærmere på i 4.4 Tak.

4.2 Fundament og gulv

For felleshytta er det beskrevet i 3.3.2 *Fundament* to aktuelle fundamenteringsmetoder som kan benyttes. Det er gulv på grunn med ringmur og åpen fundamentering. Fundamentet skal beskytte bygget mot fukt fra grunnen, radon og isoleres mot tele. De to alternativene har ulik oppbygning og vil dermed yte ulikt. Ved valg av den mest egnende løsningen skal det, i tillegg til problemstillingen, tas hensyn til prosjektskissene, terrenginngrep, miljø og varmegjennomgang. Videre vil valg av fundamentløsning påvirke hvordan gulvkonstruksjonen bygges. For det første alternativet egner det seg med betonggulv, mens for pilarer vil et bjelkelag være aktuelt. Mulig oppbygning av fundamentet og gulvkonstruksjonen skal ses nærmere på i de neste avsnittene.

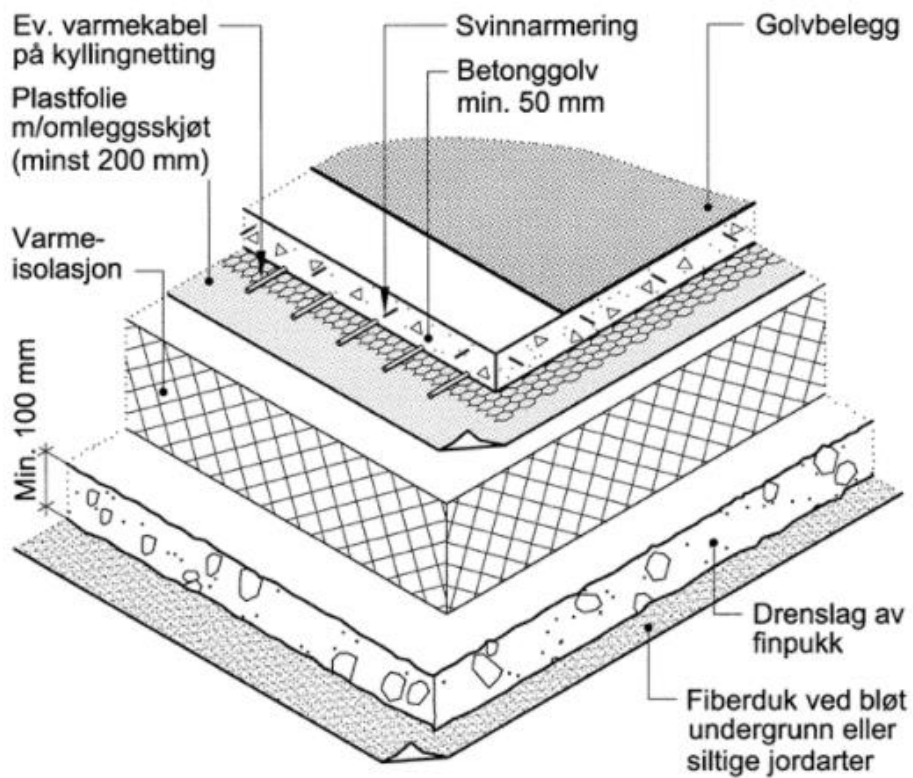
Alternativ 1 – Gulv på grunn med ringmur

Den første løsningen er å bygge fundamentet som gulv på grunn med ringmur. Det er tenkt at betongdekket skal støpes for seg selv, og ha ingen heft med ringmuren. Da kan gulvet plasseres i høyde med terrengnivået. Fundamentløsningen krever isolasjon av betonggulv, ringmur og mulig markisolasjon som vist i figur 10. Videre må gulvkonstruksjonen ha en fuktsperre, radonsperre og drenerende masser i grunnen. For å sikre konstruksjonen mot tele er nødvendig tykkelse på isolasjonen beregnet i kapittel 4.2.3 *Energikrav og miljø*.



Figur 10 – Gulv på grunn med ringmur (SINTEF Byggforsk, 2019).

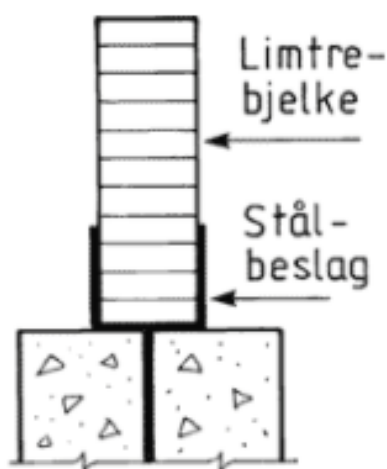
Betongdekke som støpes for seg selv må være av kvalitet B20 eller bedre. Dekke skal kun ta opp laster fra ikke-bærende vegger og vanlig innredning i bygninger. Oppbygningen av gulvkonstruksjonen er skissert i figur 11. Valg av materiale til gulvbelegg er ikke foretatt, og det skal derfor ses nærmere på i 4.2.1 *Utforming og oppbygning*.



Figur 11 – Oppbygning av betonggulv på grunn (SINTEF Byggforsk, 2003).

Alternativ 2 – Pilarer

Den andre løsningen er åpen fundamentering med tilhørende bjelkelag. Pilarene plasseres i en bestemt avstand under ytterveggene og en rad midt under huset som vist i figur 6 (s. 34) under beregningskapitlet *4.1.2 Fundament og gulvkonstruksjon*. For å knytte pilarene sammen med bjelkelaget kan det benyttes stålbeslag med hesteskoform. Bjelkene plasseres i hesteskoen som festes til pilarene, slik det er skissert i figur 12. Det er foretatt beregninger på hvordan et fundament av pilarer bør isoleres i kapittel *4.2.3 Energikrav og miljø*. Beregning av U-verdi for bjelkelaget mot det fri er utført i vedlegg C.



Figur 12 – Prinsipiell oppbygning av pilarfundament (SINTEF Byggforsk, 1996).

4.2.1 Utforming og oppbygning

For å avgjøre hvilket alternativ som egner seg til tomten, skal det ses nærmere på hvordan fundamentene er tenkt utformet og oppbygd. Ut ifra tilsendte skisser er gulvhøyden tegnet på linje med terrengnivået. Det er kun gulv på grunn med ringmur som har mulighet til å oppfylle dette kravet. Ved å støpe gulvet og ringmuren for seg selv, altså ingen heft mellom komponentene, kan man heve eller senke høyden på gulvet etter eget ønske. Studentgruppen anser derfor denne løsningen som den mest egnede, hvis det er ønskelig å ha gulvet på høyde med terrenget. Det er i tillegg nevnt at bygningsformen har en slik utforming, for å skape en følelse av å være ute. Å bygge huset lavt i terrenget, slik at gulvet er på høyde med terrenget, kan være med på å forsterke denne følelsen. Ved å lage en trinnfri adkomst, vil dette redusere følelsen av å faktisk gå inn i et bygg.

Det er foretatt overslagsberegninger på fundament med pilarer i kapittel *4.1.2 Fundament og gulvkonstruksjon*, for å se på hva nødvendig gulvhøyde over terreng er. For felleshuset vil gulvet etter beregningene havne rundt en meter over terrengnivå uten noen spesielle tilpasninger. Dette er fordi det er en anbefaling om en minste høyde mellom terreng og bjelkelag på 500 mm. Videre viser beregningene at det er nødvendig med bærebjelker på 315 mm, og et bjelkelag med høyde 198 mm, for å bære konstruksjonen eller unngå for mye nedbøyning.

Studentgruppen ser på det som en mulig løsning å plassere huset lavere i terrenget, for åpen fundamentering, ved å grave bort masser under bygget. Da kan gulvkonstruksjonen senkes tilsvarende masser som er gravd bort. Det er da viktig at man er klar over hvordan man unngår fukt på konstruksjonsdeler. Utførelsen av byggegropen blir viktig, og det må sørges for at tilstrekkelig med luft slippes inn under bjelkelaget. Det kan altså ikke dannes en mur med masser rundt huset, som sperrer luften fra å ventilere inn og ut av gropen. Da vil det med stor sannsynlighet oppstå fuktskader på bjelkene.

De buede veggene medfører at fundamentet også må bues. Det er derfor lurt å tenke gjennom hvilket fundament som er enklest å forme. Med ringmur og gulv på grunn som fundament kan både betongdekket og ringmuren støpes etter eget ønske. Det kan også benyttes prefabrikkerte elementer, hvis det finnes leverandører som leverer elementløsning som passer de buede veggene. For åpen fundamentering er det ingen problemer å plassere pilarene langs de buede veggene. Det som derimot kan bli problematisk er plasseringen av bjelkelaget. Det ble skissert i figur 6, i beregningskapitlet *4.1.2 Fundament og gulvkonstruksjon*, hvordan bjelkelaget kan utformes. Bærebjelkene blir korte for å danne en bue av rette bjelker langs ytterveggene. Det samme vil bjelkene i bjelkelaget mot midten bli.

For valg av løsninger til gulvbelegg er det først og fremst en fordel om gulvmaterialet kan formes etter buede vegger. Videre bør gulvet være slitesterkt, da det etter byggherres ønsker skal være mulig å gå med sko innendørs. Estetikk har også en vesentlig betydning for valg av gulvmateriale. Kubbegulv ble som nevnt innledningsvis foreslått som en løsning, da det er et materiale med mange muligheter, samt vil se bedre ut enn betonggulv. Klossene kan enkelt formes etter ønsket tykkelse, bredde og lengde. Kubbene har hvert sitt eget mønster fra årringene og plasseringen av kubbene danner derfor et særegent design. Kubbegulvet behandles på byggeplass og utseende kommer derfor frem etter eget ønske. Kubbegulv har også svært god slitestyrke og er derfor en velfungerende løsning til fellelshuset.

Det er tenkt at kubbegulvet skal limes direkte til betonggulvet, med en fuktsperre som kapilærbrytende sjikt. Dette medfører at gulvet ikke behøver å bygges så opp, slik det eventuelt må ved tilfarere eller bjelkelag. Det stilles strenge krav til planhet av betonggulv, så det er viktig at støpningen gjennomføres riktig, slik at kubbegulvet enkelt kan limes på.

4.2.2 Terrenginngrep

Når man skal bygge hus i ulendt terreng som skog og fjell, er det ønskelig å tilpasse huset til terrenget. Det bør unngås for mye terrenginngrep og masseforflytning. Det er også ønskelig at det ikke skal være noe spor igjen av byggevirksomhet ved ferdig utførelse av bygget. Bygget skal plasseres i granskog med grønn mose som underlag. Dette er sårbart terreng som lett tar form fra menneskelig aktivitet, og spesielt byggevirksomhet. Her må man altså lage en god plan for hvordan bevare terrenget i størst mulig grad ved oppføring av bygget.

Valg av fundamenteringsmetode er en viktig faktor for hvor mye spor som blir etterlatt i terrenget. Enkelte fundamenter krever mye arbeid å oppføre, og spesialutstyr kan være nødvendig til montering. Hvis det skal støpes betong på byggeplass krever dette for eksempel at en forskaling bygges, for deretter å støpe betongen. Et alternativ til å støpe betong, er å bruke prefabrikkerte elementer som plasseres direkte på tomten. Elementene er enkle og kjappe å sette opp, og det vil dermed gå med mindre arbeid som utføres på tomten.

Fundamenteringsmetoden som blir valgt har også mye å si for hvor mye masser som må graves bort og flyttes på. Hvis forholdene ligger til rette for det, vil gulv på grunn være en fundamenteringsløsning som medfører lite terrenginngrep. Forholdene som det er snakk om, er hvor kupert terrenget er. Fra befaring ble det anslått at terrenget er flatt, med enkelte småkuperte områder. Det er altså gode forhold for gulv på grunn med ringmur som fundament. Det er allikevel en del masser som må flyttes på for å lage plass til ringmur, isolasjon og et drenerende lag av pukk. Ved åpen fundamentering er det kun pilarer som krever plass, hvor disse enkelt plasseres ned i grunnen uten å grave bort store mengder masser. Det er altså betydelig mindre masser som må flyttes på ved åpen fundamentering. Denne løsningen medfører dermed lite terrenginngrep.

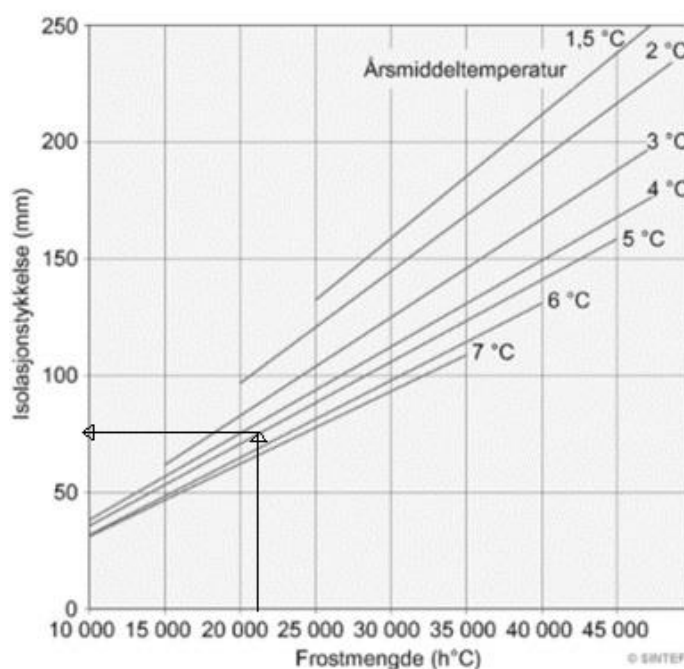
4.2.3 Energikrav og miljø

Valg av fundamentløsning kunne vært relevant å ta ut ifra et klimaregnskap, men dette ligger utenfor oppgavens område. Det er likevel mulig å foreta et overslag på miljøvirkningen for de to alternativene. Miljøbelastningen for gulv på grunn og pilarer vil skille seg ut fra hvor mye betong som brukes og transportering av betongmaterialer og -masser. Pilarer i betong vil være den løsningen som kommer best ut i et klimaregnskap, da det er lite betong som går med. Dette medfører lavere vekt ved transport, og blir også dermed billigere.

I forbindelse med energikrav og energiberegninger vil alternativene yte ulikt. Et problem med pilarer er at det ofte kan oppstå kalde gulv, på grunn av åpent klima under bygget. Dette medfører større energibehov, og er derfor ikke en anbefalt løsning for bygninger med permanent oppholdelse. For gulv på grunn med ringmur kan det også oppstå kalde gulv og kuldebroer ved ytterveggene, men det vil være betydelig mindre enn ved åpen fundamentering. Det er derfor viktig med god gjennomføring av bygget, med tilstrekkelig isolasjon, slik at man oppnår hus med lavt energiforbruk. På de neste sidene er det foretatt beregninger på isolasjonstykkelse for de to alternativene. Resultatet av disse beregningene skal vise om alternativene oppfyller kravet til U-verdi. De skal også vise hvordan fundamentene må bygges opp for å tilfredsstillere energikravene i TEK17.

Alternativ 1 – Gulv på grunn med ringmur

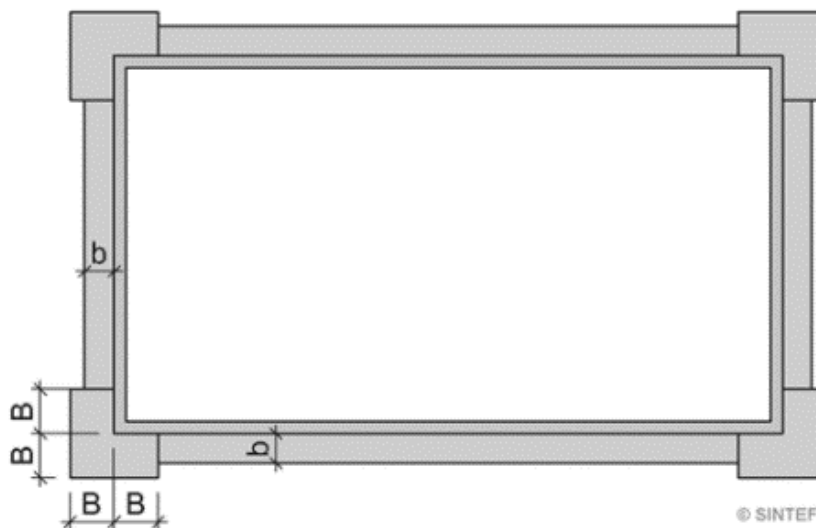
Av figur 13 kan det leses av nødvendig isolasjonstykkelse til telesikring av fundamentet for oppvarmede bygninger. Siden felleshuset stort sett skal benyttes i sommerhalvåret vil bygningen stå uoppvarmet på vinteren. Det må derfor dimensjoneres for nødvendig isolasjon til telesikring for uoppvarmede bygninger. Middellårstemperaturen i Levanger er oppgitt som 5,2 °C, i henhold til tabell 3 i *451.021 Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring* (SINTEF Byggforsk, 2018). I samme tabell er frostmengden oppgitt som 21 000 h°C for 100 års returperiode. Ut ifra frostmengden og årsmiddeltemperaturen finner vi at isolasjonstykkelsen bør være på minst 80 mm, se figur 13. Figuren forutsetter at dybden på ringmuren er på minst 400 mm (SINTEF Byggforsk, 2019). Markisolasjonen bør også ligge 400 mm under terrenget.



Figur 13 – Nødvendig isolasjonstykkelse til telesikring (SINTEF Byggforsk, 2019).

Nødvendig markisolasjon for oppvarmede bygninger dimensjoneres ut ifra tabell 44 i *521.112 Gulv på grunn med ringmur. Telesikring og varmeisolering av oppvarmede bygninger* (SINTEF Byggforsk, 2019). Frostmengden i Levanger på 21 000 h°C gir oss en markisolasjonstykkelse på 50 mm etter. Siden det er forventet at bygningen forblir uoppvarmet i lengre perioder, vil 80 mm være dimensjonerende markisolasjonstykkelse, og ikke 50 mm.

Til videre dimensjonering velger studentgruppen å runde opp til nærmeste frostmengde i tabell 44, som er på 25 000 h°C. Frostmengden gir oss verdier på bredden på markisolasjonen. De oppgitte breddene blir dermed $b = 0,6$ meter og $B = 0,9$ meter. B er bredden i hjørnene og b er bredden til markisolasjon rundt ringmuren, se figur 14.



Figur 14 – Bredder for markisolasjon langs ringmur (SINTEF Byggforsk, 2019).

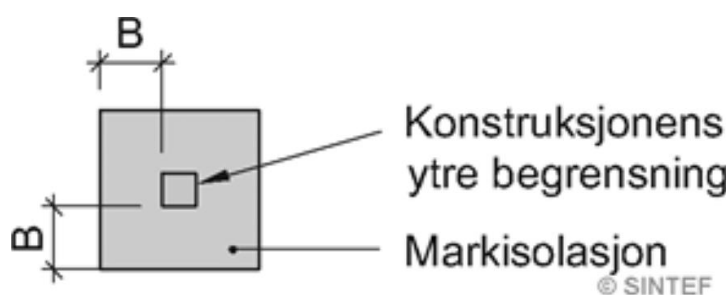
Ved oppfyllingshøyde $z = 0$ meter og krav til U-verdi på $0,18 W/(m^2K)$, gir det en nødvendig isolasjonstykkelse på 220 mm. Betonggulvet skal være på minimum 50 mm (SINTEF Byggforsk, 2012). Isolasjonsmengden forutsetter et 80-120 mm betonggulv og yttervegger på 200-600 mm. Studentgruppen anbefaler derfor et betonggulv på 80 mm med tilhørende isolasjon på 220 mm. Videre anbefales det en ringmur som graves ned 400 mm under terrenget, med ringmursisolasjon XPS/EPS på 2×50 mm (en på hver side av ringmuren), samt markisolasjon på 80 mm med XPS-plater. Etter beregninger får denne oppbygningen en U-verdi på $0,16 W/(m^2K)$ som oppfyller kravet i TEK17 på $0,18 W/(m^2K)$. Energiberegninger til dette alternativet er lagt ved som vedlegg, og kan ses i vedlegg C.

Alternativ 2 – Pilarer

Ved valg av pilarer som fundament, må også sålen dimensjoneres og isoleres. Dersom det klassifiseres som en telefarlig grunn, kreves det at sålen dimensjoneres ut ifra frostmengde og last den skal bære. Dette er for å sikre pilarene mot løft fra siden.

Den midtre bærebjelken som beveger seg fra nedre høyre hjørne og oppover (se figur 6 s. 34) får minst belastning. For å finne nødvendig bredde på pilarsålen må det regnes ut hvor mye pilarene under denne bærebjelken påkjennes. Dimensjonerende last per løpemeter er på 12,96 kN/m som ble beregnet i kapittel 4.1.2 *Gulvkonstruksjon*. Sammenlagt lengde til bærebjelkene er 11 meter. Ved å multiplisere disse verdiene sammen får man en totallast på 142,6 kN. Det er seks pilarer som må bære denne lasten. En pilar må derfor bære 24 kN. Denne verdien er dimensjonerende da disse pilaren blir påvirket av tele i størst grad på grunn av liten tyngde. I tabell 14 i *521.304 Pilarer av betong i telefarlig grunn* (SINTEF Byggforsk, 1996) fremgår det at en pilarsåle på 0,85 m² vil være stor nok til å ta opp telekreftene, ut ifra en frostmengde på 21 000 h°C og nyttelast på 24 kN. Denne pilarsålen vil også sikre alle de andre pilarene godt mot tele.

Dersom pilarene ikke skal gå helt ned til fjell, bør de isoleres. Pilarene må minimum ha en dybde på 0,3 meter, der isolasjonen legges under denne dybden. Bredden på isolasjonen bestemmes ut ifra samme faktorer som i alternativ 1. Her brukes kun B = 0,9 meter, se figur 15.



Figur 15 – Isolasjonsbredde til pilarer (SINTEF Byggforsk, 2019).

Over pilarene legges et bjelkelag mot det fri. Det er bjelkelaget som skal sikre en U-verdi i samsvar med TEK17. Bjelkene må som tidligere nevnt være 198 mm høy, og den isolasjonstykkelsen gir en U-verdi på 0,19 W/(m²K). Beregninger for dette kan ses i vedlegg C.

4.2.4 Oppsummering

Begge alternativene er mulig å bruke som fundament til felleshuset. For å ta en avgjørelse på hvilket fundament som egner seg best, tas dette ut ifra problemstillingen: *"Er det mulig å utforme løsninger som oppfyller de tekniske kravene til konstruksjonssikkerhet og byggteknikk, men som også bevarer de arkitektoniske prinsippene?"*.

Begge løsningene oppfyller de tekniske kravene til konstruksjonssikkerhet og byggteknikk. Det er altså kriteriet om å bevare de arkitektoniske prinsippene som blir gjeldene. Det foreslåes derfor at felleshytta fundamenters med gulv på grunn, for å følge arkitektens skisser og prinsipper. Denne fundamenteringsløsninger medfører lav gulvhøyde slik det er skissert i arkitektens skisser. Den største ulempen med gulv på grunn er terrenginngrepet det medfører. Pilarer ville vært en bedre løsning med tanke på miljø, terrenginngrep og bærekraft, men vil ødelegge det arkitektoniske uttrykket til bygget. Det er valgt minste mulige tykkelse til betonggulvet for å ikke bruke unødvendig mye betong.

Det ble beregnet nødvendig isolasjonstykkelse i 4.2.3 *Energikrav og miljø*. Beregningene viste at gulv på grunn har lavest U-verdi og er dermed mest energieffektivt. Ved å plassere mer isolasjon under betongdekket, kan man oppnå enda bedre energieffektivitet uten at gulvet blir tykkere, noe det ville blitt ved åpen fundamentering. Det anbefales derfor en slik oppbygning av fundamentet og gulvet for å sikre lav varmegjennomgang og dermed lavt energiforbruk. Videre anbefaler studentgruppen kubbegulv som gulvbelegg. Kubbegulvet er med på å skape et unikt design, som passer med de arkitektoniske prinsippene.

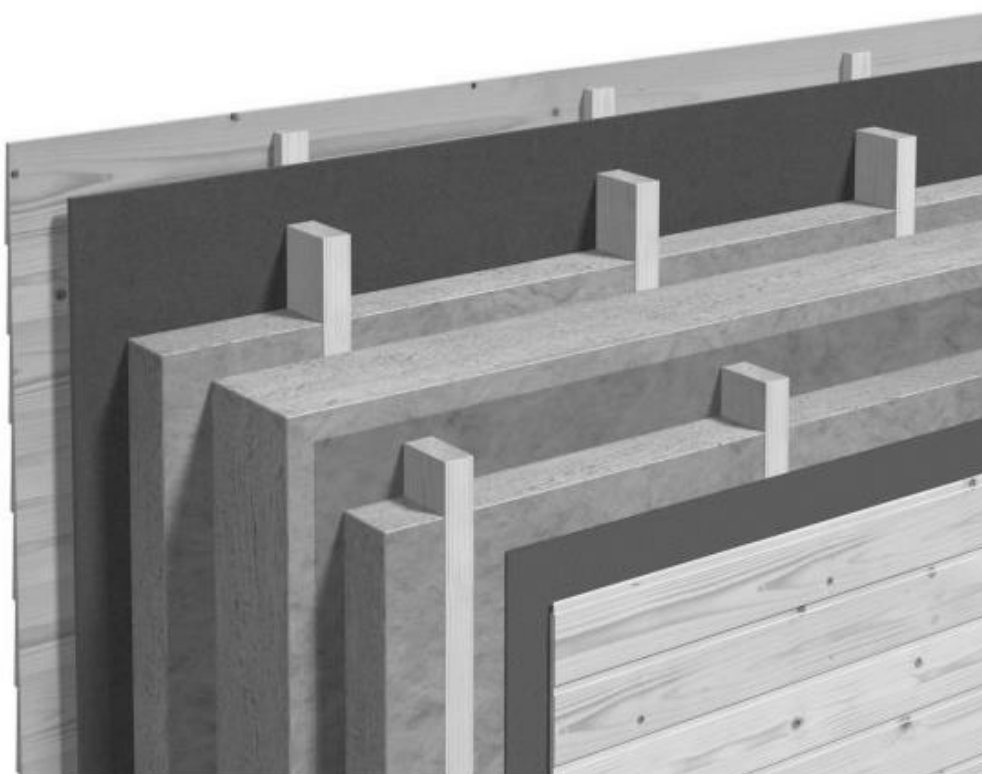
Det bør også legges en plan for hvordan fundamentet kan bygges uten å etterlate seg dype spor i terrenget. Pre-fabrikkerte elementer bør vurderes for mindre terrenginngrep. For konkret oppbygning av fundamentet med anbefalte dimensjoner henvises det til detaljtegning 3.1, som ligger vedlagt som vedlegg D.

4.3 Vegg

Det tenkt at felleshuset skal bygges i tre. De aktuelle løsningene for veggkonstruksjonen er dermed ulike variasjoner av stenderverk. Det vil bli sett på alternativene gjennomgående og todelt stenderverk. Det er enkle løsninger som bruker tradisjonelt konstruksjonsvirke i ulike dimensjoner. Uansett valg av stenderverk vil resten av veggen bygges opp med tømmerkledning inne og ute, for en enkel tilpasning til de buede veggene.

Alternativ 1 – Todelt stenderverk

Figur 16 viser en yttervegg bestående av to stendersjikt og et isolasjonssjikt imellom. Denne løsningen er utviklet for å være mer energieffektiv enn tradisjonelt stenderverk. Stenderne vil prosjekteres til å kunne bære tilstrekkelig, oppnå krav om U-verdi og vil være prisgunstig. Mindre treverk i konstruksjonen og den gode isolasjonsevnen, vil gi konstruksjonen en fordel i miljøperspektivet. Isolasjonssjiktet fungerer som en kontinuerlig kuldebrobryter.



Figur 16 – Visualisering av todelt stenderverk (Norsk Treteknisk Institutt, 2011)

Alternativ 2 – Gjennomgående stenderverk

Figur 17 viser et tradisjonelt gjennomgående stenderverk. Det er en standardisert løsning og enkel å sette opp. Stenderverket vil dimensjoneres ut ifra bæring og stabilitet, og energiberegninger vil vise nødvendig tykkelse på veggen for å oppnå energikravene.



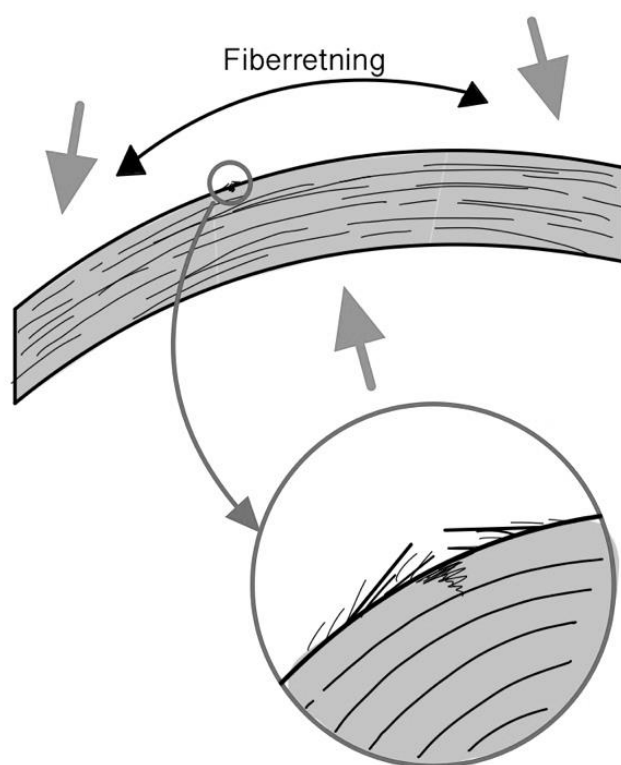
Figur 17 – Visualisering av gjennomgående stenderverk (Norsk Treteknisk Institutt, 2011)

4.3.1 Utforming og oppbygning

Veggens buede utforming krever en fleksibel oppbygning av bæreelementer og kledning. Det foreslås en kortere stenderavstand, c/c 300, for å lettere kunne bue kledningen på veggen. Den korte senteravstanden gjør det også enklere å montere kledningen når fasaden får ny krumning.

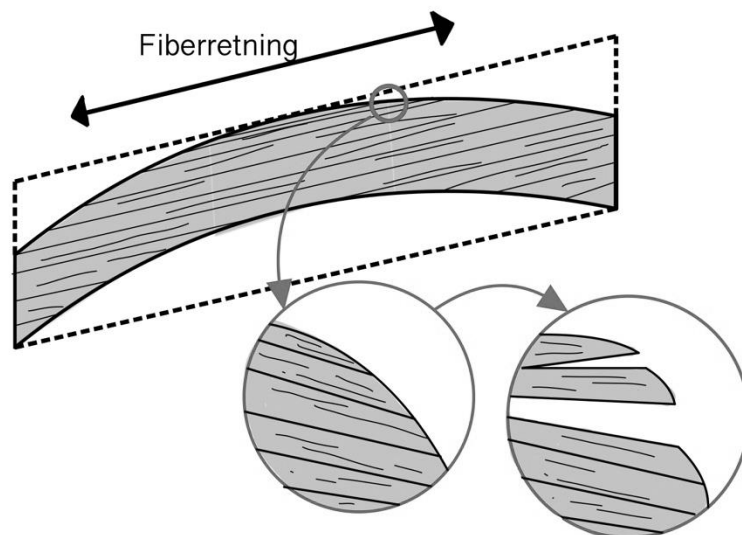
Svillene i topp og bunn er viktige elementer i konstruksjonen. De knytter stenderne sammen, fordeler lasten og stiver av veggen. Å finne en løsning på hvordan svillene kan bøyes, uten at det går på bekostning av bæringen og avstivingen er en utfordring. Ved å fukte svillene kan de bøyes noe, men en liggende svill med bred dimensjon vil nok ikke kunne bøyes tilstrekkelig. Et annet problem som oppstår i forbindelse med bøying av sviller er faren for oppsprekking.

Dersom man krummer treverket for mye, kan det sprekke opp slik det er vist i figur 18. Figuren illustrerer en konsekvens av for mye trykkrumming.



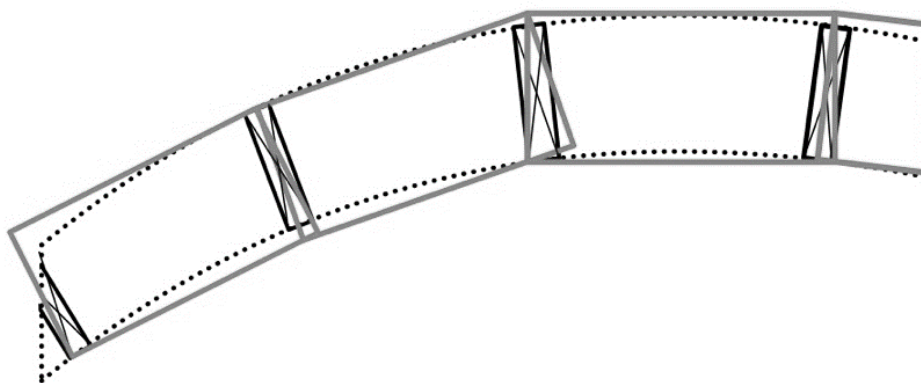
Figur 18 – Oppsprekking av treverk ved trykkpåkjenning. Skissert av studentgruppen.

En annen løsning for buet svill er å skjære ut en bue i konstruksjonsvirke. Dette ses på som uaktuelt da det kutter fiberne, og treverket vil løse seg opp slik det er illustrert i figur 19. Denne løsningen krever også en meget stor dimensjon av planken for å få ønsket bue.



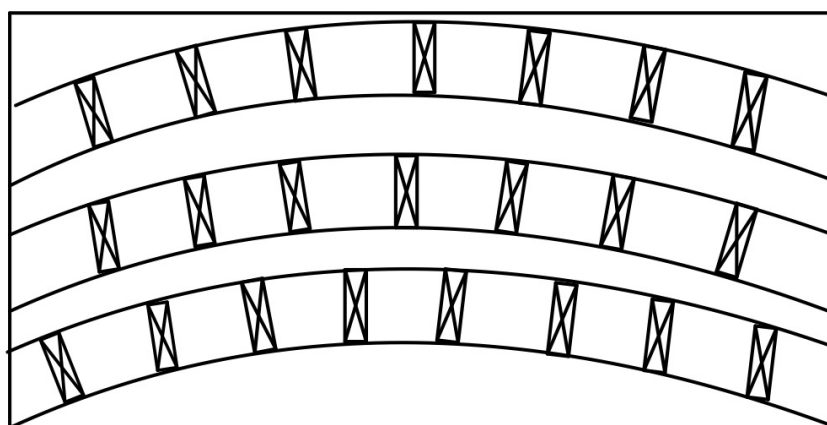
Figur 19 – Oppløsning av trefiber. Skissert av studentgruppen.

En ny løsning er å kutte opp svillene mellom hver stender, slik at de kan skifte retning. Denne løsningen vil gi mange kapp, være ustabil og tidkrevende. Videre kan man se på figur 20 at det fører til utfordrende kapp i møtepunktene og en ujevn konstruksjon. Sammenføyningen mellom disse kan dermed også bli vanskelig. På grunn av usymmetrisk bue langs ytterveggen må svillene stadig skifte retning med ny vinkel. Dette medfører at svillene får ulike kapp avhengig av krumningen til veggen. Løsningen anses derfor som ugunstig.



Figur 20 – Problematikk ved bruk av rette sviller. Skissert av studentgruppen.

En siste løsning er å bruke plater istedenfor konstruksjonsvirke. Platene kan sages ut i ønsket bue og bredde. Løsningen fører til en del svinn i form av avkapp fra platene, så her gjelder det å utnytte platene best mulig. Gruppen anbefaler å bruke en kryssfinérplate, som normalt er i størrelsen 2400 x 1200 mm. Det brukes som nevnt tidligere c/c 300 mellom stenderne. Platens størrelse gir da plass til mellom to og fire sviller i bredden, og en svill som rekker over seks til åtte stendere i lengden. Antallet vil variere med svingradiusen på buen. Det er skissert i figur 21 hvordan svillene kan utnytte platen.



Figur 21 – Tenkt utnyttelse av kryssfinérplate som svill. Skissert av studentgruppen.

Løsningen sees på som gjennomførbart, da platene kan sages til på byggeplass. Denne løsningen vil også gi de mest nøyaktige buene, som dekker hele svingen. Platene må legges i to lag for å oppnå tilstrekkelig styrke. De kan limes og/eller skrues sammen. Siden kryssfinér er lagt lagvis med annenhver fiberretning, vil de kunne kappes uten at de fliser opp, i motsetning til en planke med kun en fiberretning. Denne løsningen anses som den mest aktuelle for topp- og bunnsvill til de buede veggene.

Når det kommer til utforming av veggen, vil som sagt begge alternativene benytte stående kledning for å oppnå det buede uttrykket. Kledningen festes i buede lekter, som sikrer lufting bak kledningen. Det ansees som mulig å bøye lektene, da de har en liten dimensjon. Lektene har også mange festepunkter, siden stenderavstanden er kort, som fører til en jevn bue. Den ytre kledningen med luftespalte før vindsperra, legges etter prinsippet om totrinnstetting.

Skissene til arkitektene viser en kledning som ligger tett langs med terrenget, og det bør derfor velges en tresort som tåler jordkontakt. De fleste tresorter har liten holdbarhetstid i ubehandlet tilstand som vist i tabell 3. Det anbefales allikevel å løfte kledningen noe opp fra terrenget, eller hindre vannsprut ved å legge inn en rist i underkant. For å bevare det arkitektoniske i størst mulig grad, anbefaler gruppen å løfte kledningen 30 cm opp fra terrenget. Dette er fordi en rist vil ta seg dårlig ut i skogen.

Tabell 3 – Klassifisering av naturlig holdbarhet ved jordkontakt (SINTEF Byggforsk, 2015).

Klasse	Treslag
1 Meget holdbar	Teak
2 Holdbar	Eik kjerneved, mahogni, merbau
3 Middels holdbar	Furu kjerneved, lerk kjerneved, sapelli, valnøtt
4 Lite holdbar	Gran kjerneved, alm kjerneved, hickory
5 Ikke holdbar	Gran yteved, furu yteved, alm yteved, eik yteved, ask, bjørk, bøk, lind, lønn, osp, svartor, abachi, ramin

4.3.2 Energikrav og miljø

Alternativene har forskjellig oppbygning som medfører forskjellig isoleringsevne. Det er derfor foretatt beregninger på U-verdi for begge alternativene, for å se hvilken løsning som er mest energibesparende. Disse er lagt ved som en del av oppgaven og kan ses i vedlegg C.

For den første løsningen viser beregningene av U-verdi, at den todelte løsningen yter godt. Beregningene viser at et ytre stenderverk på 98 mm, isolasjonssjikt på 50 mm og et indre stenderverk på 98 mm, gir tilstrekkelig isoleringsevne. Denne oppbygningen gir en tykkelse på 246 mm som resulterer i en U-verdi på $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Den andre løsningen består av gjennomgående heltrestendere. Her vil stenderne fører til en stor treandel i veggen når man skal bruke c/c 300. For å oppnå energikravet må stenderne opp i en dimensjon på 223 x 48 mm. Dette resulterer i en beregnet U-verdi på $0,21 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

TEK17 stiller krav om en høyeste U-verdi på $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ i yttervegg. Beregningene viser at begge oppfyller dette kravet, men alternativ 1 er langt mer energieffektivt enn alternativ 2. I tillegg vil det første alternativet gi en lavere treandel i veggen. Dette vil spare på materialbruken, og er en stor fordel i prosjektet da det er en kortere stenderavstand enn vanlig.

Som nevnt før vil det midtre isolasjonssjiktet i den todelte løsningen fungere som en kontinuerlig kuldebryter. En mulighet man kan benytte seg av ved todelte stenderverk er å forskyve plasseringen av stenderverkene. Hjørnene må selvfølgelig plasseres korrekt i forhold til god avstiving og festepunkter. Ellers i veggen kan ytre og indre stenderverk plasseres med forskyvning i forhold til hverandre. Et vilkårlig snitt av veggen vil da bestå av to isolasjonssjikt og et stendersjikt, framfor to stendersjikt og et isolasjonssjikt. Verdien som er brukt for kuldebro på denne løsningen baserer seg på at stenderne står ovenfor hverandre. Det vil si at løsningen i realiteten kan få en lavere kuldebroverdi enn antatt. Normalisert kuldebroverdi for fellehuset er beregnet senere i *5.3 Kuldebroverdier*.

4.3.3 Oppsummering

Ved vurdering av hvilken veggkonstruksjon som egner seg best til fellelshuset, er det flere viktige faktorer å ta hensyn til. Det er blitt foreslått en løsning for hvordan svillene kan utformes. Denne løsningen passer både til den todeltede løsningen og for gjennomgående stenderverk. Videre vil begge løsningene benytte seg av en kortere stenderavstand som gjør det lettere å få en jevnt buet kledning og lekter. Begge løsningene sikrer god byggeteknikk og konstruksjonssikkerhet, samt bevarer de arkitektoniske prinsippene i like stor grad. Det er derfor mest hensiktsmessig og ikke minst bærekraftig, å basere valget på energikrav og miljø. Der viser det seg at en todelt yttervegg i heltre er den mest gunstige løsningen til prosjektet. Løsningen bidrar til minimalt materialbruk i form av lavere treandel enn alternativ 2, og er mest energieffektiv på grunn av lavest U-verdi. Løsningen bidrar til at isolasjonen plasseres strategisk, og gir dermed en god utnyttelse av materialet.

I vedlegg D detaljtegning 3.3 vises det hvordan en todelt ytterveggløsning kan utformes for fellelshuset. Studentgruppen anbefaler å forskyve stendersjiktene slik at ytre og indre stender ikke plasseres rett overfor hverandre. Dette vil som sagt gjøre at veggen får en bedre og mer balansert varmegjennomgangsmotstand, altså en minimering av kuldebroen. På grunn av veggens krumning vil stenderne få en forskyvning som gjør at sjiktene i noen tilfeller blir plassert ovenfor hverandre, men det er forsøkt en plassering som minimerer tilfeller at dette.

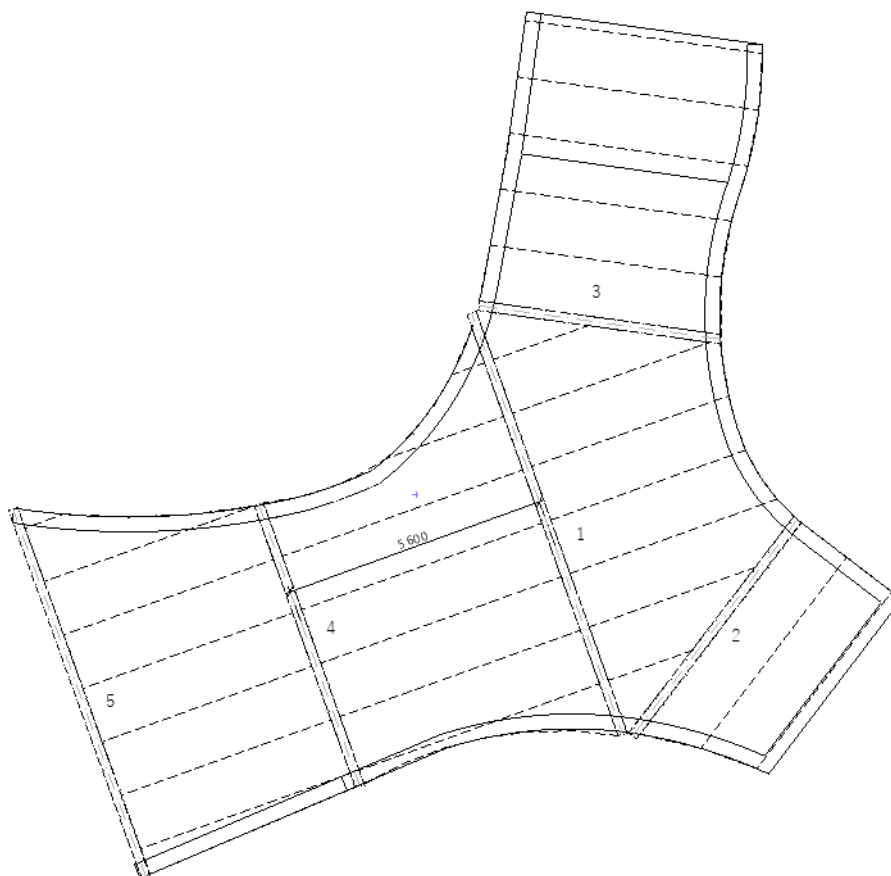
4.4 Tak

Siden det er tenkt at mennesker skal oppholde seg på taket må oppbygningen av takkonstruksjonen ta hensyn til dette. Det er altså kun duotak og omvendt tak som egner seg som takoppbygning ved trafikkklaster. I dette tilfelle er det kun personer og ikke biler som skal være på taket, og dermed er duotak en tilstrekkelig løsning.

For å kunne bære duotaket er det nødvendig å kombinere de standardiserte løsningene beskrevet i byggforskbladene sammen med egenkomponerte løsninger. Ved utforming av takløsning er det tenkt å benytte trematerialer for best klimaregnskap. Den største utfordringen med takkonstruksjonen er det store spennet over midten av huset. Det er ønskelig fra oppdragers side at det ikke plasseres noen søyler i midten, for å bevare de arkitektoniske prinsippene. Utformingen av taket over det store spennet er derfor avgjørende for valg av materiale og konstruksjonsløsning. Ved valg av løsning må man se på hva som er mest gjennomførbart, styrke, dekkeshøyde og miljø. Det må også tas hensyn til hva som gir best avstivning og hva som gir best oppleggsflater for andre tilknyttede elementer. Det har blitt sett på flere mulige løsninger for utforming av takkonstruksjon, hvorav de to mest aktuelle er blitt tatt med i denne oppgaven.

Alternativ 1 – Stålbjelker og massivtreelementer

Denne løsningen ble først presentert i kapittel 4.1.4 *Takkonstruksjon*, under bergeningssdelen av oppgaven. Tankene bak utformingen ble ikke beskrevet i stor grad, og skal derfor ses nærmere på her. Løsningen baserer seg på å kombinere to kjente prinsipper sammen. Det første prinsippet er kombinasjonen av betongdekker hvilende på stålbjelker. Det er en kjent løsning som blir mye brukt i større konstruksjoner med store spenn. Det andre prinsippet er massivtreelementer som kan plasseres over moderate til store spenn. Fordi taket skal fungere som et aktivt tak, kan man ikke benytte seg av den fulle spennvidden til massivtreelementene. Man er nødt til å ta hensyn til at sjenerende vibrasjoner kan oppstå gjennom komfortkriteriet. For elementer med tykkelse 240 mm vil komfortkriteriet være på 5,6 meter. Løsningen tar derfor utgangspunkt i å plassere HSQ stålbjelker (hatteprofil) med en senteravstand på 5,6 meter. Mellom bjelkene plasseres massivtreelementene, og vi har dermed en konstruksjon som kan ta opp det store spennet til taket, se figur 22.

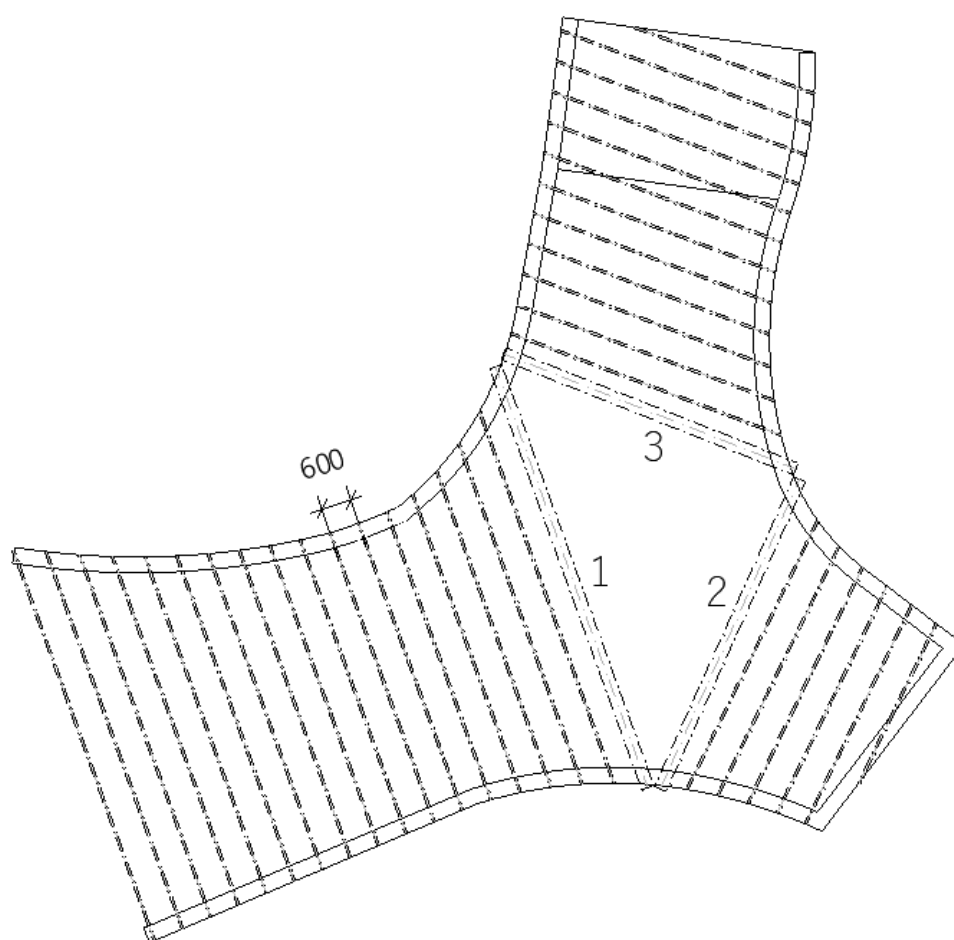


Figur 22 – Plassering av stålbjelker og massivtreelementer. Skissert av studentgruppen.

Det er stålbjelke 1 som tar utgangspunkt i de andre bjelkenes plassering. Stålbjelke 1 er plassert på høyresiden av en innebygd sofa for å ha et stødig bæreopplegg. Videre er stålbjelke 2 og 3 lagt parallelt med sine representative rette vegger. Stålbjelke 4 er plassert 5,6 meter fra stålbjelke 1, og den siste bjelken er plassert i kant med ytterveggen. De stiplede linjene markerer hvordan massivtredekkene kan plasseres.

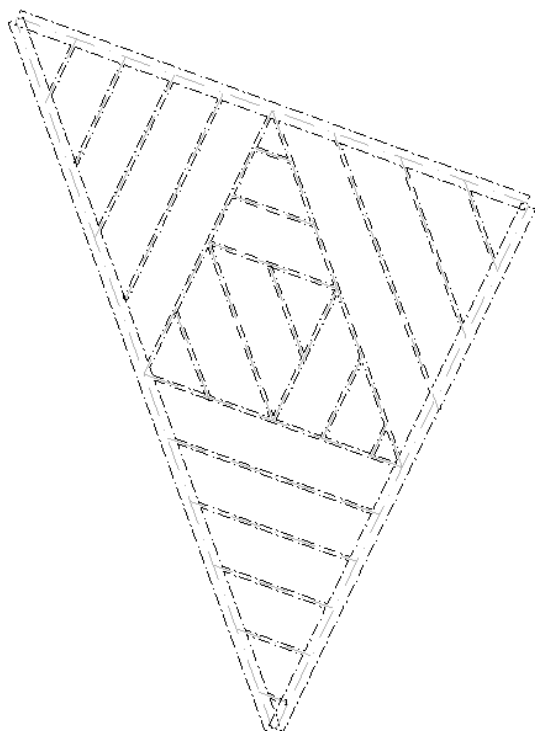
Alternativ 2 – Bjelkelag

Den andre løsningen, som også ble gjennomgått i beregningskapitlene, er å legge et bjelkelag med c/c 600 og vanlig isolasjon mellom. For å unngå store spenn for bjelkene, skal bjelkelaget danne en trekantformasjon over midten av fellehuset der de største spennene er, se figur 23. De tre bjelkene som danner en trekant bør bestå av limtre-, fagverks- eller stålbejelker. Dette fordi de har store spenn og lastfelt å ta opp.

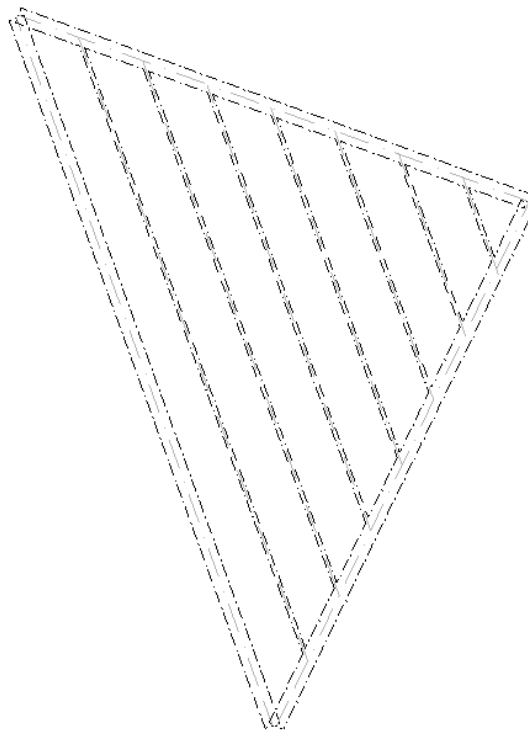


Figur 23 – Bjelkelag til takkonstruksjon. Skissert av studentgruppen.

Mellom bjelkene i trekanten må det plasseres staver som tar opp spennet over midtfeltet. Disse lastene må videreføres til trekanten, som medfører at de tre bjelkene vil få store dimensjoner. Stavene må legges slik at det avstiver trekanten. Utformingen av stavene kan gjøres på flere vis. Det er skissert to mulige løsninger som er vist i figur 24 og figur 25. Figur 24 vil være den løsningen som avstiver trekanten best, men gir til gjengjeld mange sammenføyninger. Sammenføyningen mellom stavene og bjelkene i trekanten kan dermed være avgjørende for valg av takløsning.



Figur 24 – Utforming av staver. Skissert av studentgruppen.



Figur 25 – Utforming av staver. Skissert av studentgruppen.

De tre bjelkene i trekanten kan som sagt bestå av enten stål- eller trebjelker. Ved stålbejelker med enten hatte- eller IPE-profil, kan stavene legges på stålbejelkenes undergurt. Hvis bjelkene skal være av limtre blir sammenføyningen mer problematisk da de ikke har en undergurt som stavene kan hvile på. For å sammenføye bærebjelkene og stavene er det nødvendig å bruke beslag. Bjelkesko med vinkel på 90 og 45 grader kan benyttes, og gir en presis sammenføyning med stor kapasitet.

4.4.1 Utforming og oppbygning

Ved valg av konstruksjonsløsning for fellehuset vil utformingen av takkonstruksjonen være det viktigste kriteriet. For det første alternativet er massivtre lett å forme etter de buede veggene, og kan kappes til slik at de passer i trekanten. Videre er det sterke materialer som ikke krever stor høyde for å ta opp de opptredende lastene.

Den andre løsningen er også mulig å forme etter buede vegger, ved å plassere bjelkene slik det ble vist i skissen. Dette medfører som sagt et behov for mange sammenføyninger ved utforming av trekanten. Denne trekanten må ta opp laster over et stort spenn og krever derfor stor dimensjon på de tre bjelkene. Bjelkene må ha en høyde på 500 mm etter beregninger utført i kapittel 4.1.4 *Takkonstruksjon*. Videre er det store spenn over resten av huset, opptil åtte meter. Dette medfører at også bjelkelaget må være av store dimensjoner, der kun limtretragere eller fagverksbjelker er stabile nok til å ta spennet.

For begge løsningene må bjelkene kappes til ved endene slik at de ikke stikker ut av veggen. For bjelker av tre er dette en enkel prosess, mens stålbjelkene vil kreve spesialutstyr. En fordel med stålbjelkene er at de har mer passende profilutforming til bæring av dekker, og en mye større kapasitet enn trebjelker i tilsvarende dimensjon.

Skissene til arkitektene har ingen klar definisjon på hva slags materiale som skal brukes i taket, men tre var et generelt ønske i bygget. Begge løsningene inneholder derfor tre og vil av den grunn fungere til fellehuset. Det er viktig å merke seg at taket er med på å skape et arkitektonisk uttrykk. Det kan derfor tenkes at massivtre er mest egnet, da det fungerer som naturlig kledning. Sammen med massivtretaket vil stålbjelkene også komme til syne. Disse må beskyttes mot brann, der brannisolasjonen kan males etter ønske. Det vil allikevel ikke ta seg godt ut, slik som ved massivtre som eneste materiale i taket. Foruten om det arkitektoniske sikrer begge løsninger god byggteknikk og konstruksjonssikkerhet.

4.4.2 Energikrav og miljø

Med tanke på miljø vil løsningene skille seg noe fra hverandre. Ved å bruke stålbjelker fremfor bjelker av tre, vil klimaregnskapet for prosjektet bli dårligere. I tillegg krever den ene løsningen mer trykkfast isolasjon enn den andre. Ved bjelkelag kan isolasjonen legges mellom bjelkene, og det kan isoleres med mineralull. Mineralull er et mer miljøvennlig materiale enn trykkfast isolasjon som XPS eller EPS.

Når det kommer til energikrav og energibruk må man passe på kuldebroverdiene. Stål er et svært varmeledende materiale, som kan bidra til store kuldebroverdier. På grunn av denne varmeledningsevnen må stål også brannisoleres, for å forhindre videre spredning av brann. Hvordan disse må brannisoleres blir sett nærmere på i kapittel 4.8 *Brannsikkerhet*.

For alternativ 1 er skal det brukes massivtredekker i høyde på 240 mm, med tilhørende stålbjelker i samme høyde. Det er nødvendig med trykkfast isolasjon over massivtredekkene, da man skal oppholde seg på taket. Dette gir en dekkhøyde på 240 mm massivtre og 200 mm trykkfast isolasjon, altså 440 mm. Den komplette takkomponenten vil gi en U-verdi på $0,14 W/(m^2K)$, med en oppbygning som vist i vedlegg D detaljtegning 3.2.

For alternativ 2 vil det antageligvis være nødvendig med et limtrebjelkelag med dimensjoner på 140 x 500 mm og c/c 600. Dette gir en U-verdi på $0,09 W/(m^2K)$ som er en veldig lav U-verdi. Dette kommer av at bjelkelaget er veldig høyt på grunn av så store spenn i huset. Siden taket må tåle lett trafikk, må taket bygges som et duotak der membranen må være beskyttet mot påkjenning. Dette fører til et enda tykkere tak.

4.4.3 Oppsummering

For det arkitektoniske uttrykket kan begge løsningene benyttes, så valget faller derfor naturlig ut fra relevante kriterier. De mest relevante kriteriene som ble nevnt under metoddelen var blant annet formbarhet, tekniske krav, miljø, energi og materialer. I og med at begge løsningene besvarer problemstillingen blir valget basert på de nevnte kriteriene.

Bjelkelag vil helt klart være mest egnet hvis det fokuseres på miljø, materialer og energi.

Løsningen benytter seg av bare trematerialer, som gir en positiv innvirkning på klimaregnskapet. Den er også svært energieffektiv, men gir til gjengjeld et overforbruk av isolasjonsmaterialer. Et viktig poeng for utformingen at takkonstruksjonen er hvor gjennomførbart løsningen er. Det viser seg at et bjelkelag kan bli krevende på grunn av sammenføyningen av stavene i trekanten. For å sikre en god og stabil konstruksjon er det lurt å utforme trekanten som vist i figur 24. Dette gir mange sammenføyninger som kan være vanskelig å gjennomføre da stavene har ulike vinkler. Det er tenkt at stavene skal plasseres i bjelkesko, men det må eventuelt ses nærmere på da bjelkeskoene må utformes etter vinklene.

Studentgruppen ser på det som mest gjennomførbart å ha en takkonstruksjon bestående av stålbjelker og massivtredekker. Utformingen av takkonstruksjonen er enkel og består av få elementer. Massivtredekkene plasseres på stålbjelkene og formes etter veggens buer. Videre har løsningen en lavere oppbygning av taket. De fleste duotak bygges også oppå betong eller massivtredekker, da det er stabile og sterke materialer. Løsningen sikrer dermed konstruksjonssikkerhet og oppfyller også kravet til U-verdi på $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Det er skissert hvordan denne løsningen bør bygges opp for å oppfylle kravet til U-verdi i detaljtegning 3.1 i vedlegg D.

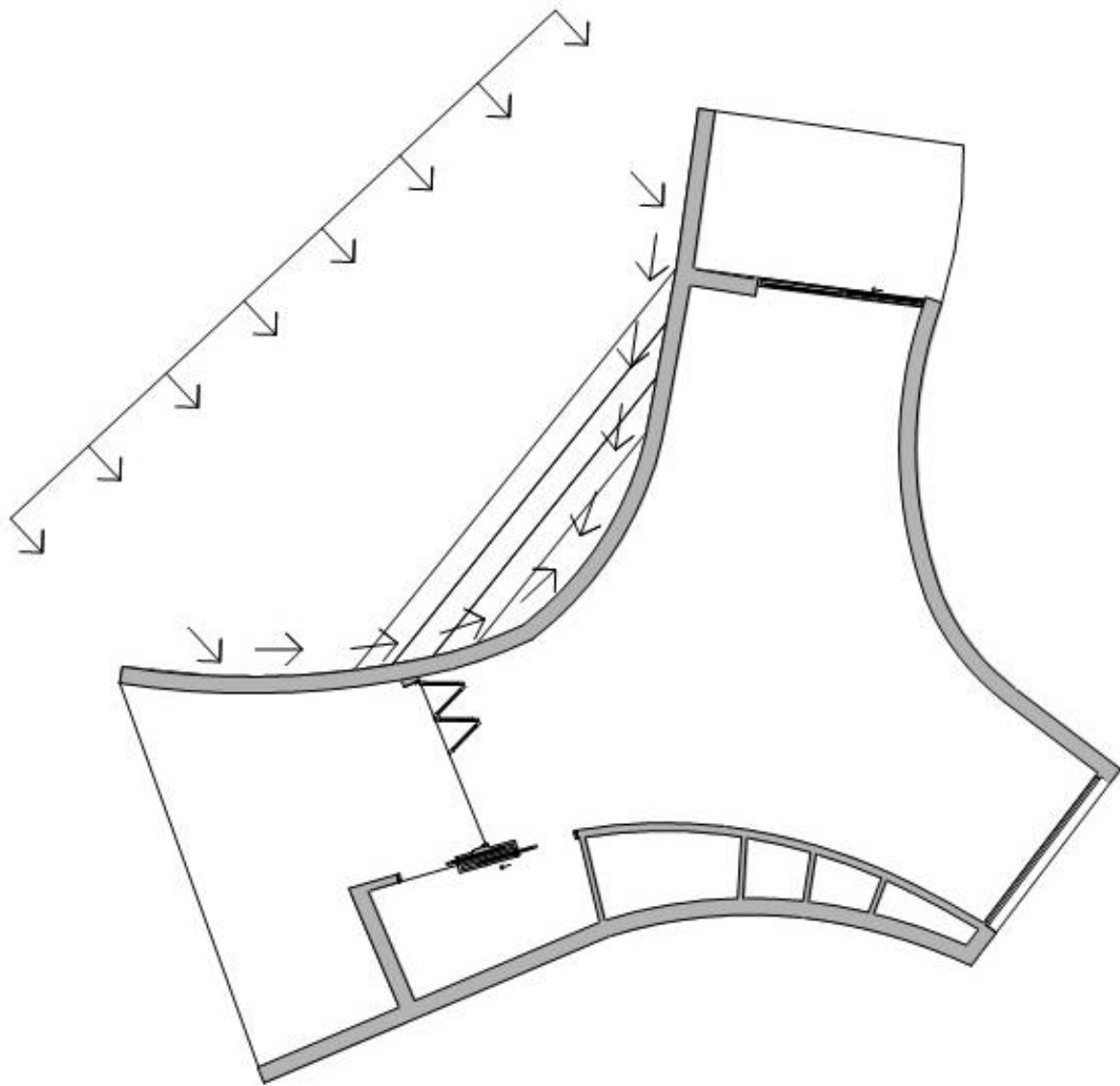
4.5 Bygningsform

Konstruksjonens utforming er ikke noe som kan endres på i særlig stor grad da den allerede er avgjort i skissene. Studentgruppen ønsker likevel å få frem utfordringer, enn det som er nevnt til nå, som oppstår i forbindelse med konstruksjonens utforming. Det ble nevnt under bakgrunnen for oppgaven at samarbeid mellom arkitekter og RIB kan være manglende. Det kan derfor tenkes at et godt samarbeid om utformingen kan minimere noen av utfordringene som blir nevnt her. Et samarbeid mellom arkitekter og ingeniører tidlig i prosjektet kan bidra til gjennomtenkte løsninger der både estetikk, funksjon og byggeteknikk blir vurdert.

Ut ifra teorien om volum av bygg, slik det er beskrevet i boka *Fra passivhus til plusshus* (Anda & Bjelland, 2013), vil en kvadratisk utforming være mest effektiv. For fellehuset med lange buede vegger, er veggareal stort i forhold til volumet av bygget. Med tanke på varmetap er altså formen med flere utstikk ugunstig. Studentgruppens valg av vegg-løsning falt som nevnt på todelt stenderløsning, da den var den mest gunstige med tanke på U-verdi og kuldebrobrytende effekt. Dette valget vil lønne seg da bygget har et stort veggareal, med potensielt stort varmetap. Det vil senere vises hvor stor andel av varmetapet veggen står for i kapittel 5.2 *Energioversikt og varmetapsrate*. Videre hadde det vært en fordel om de store glassarealene var sørvendte, da det kunne sikret en varmegevinst fra sola. Slik bygget er orientert nå vil ikke varmetransmisjon fra sola gi noen særlig effekt innendørs, og det er i tillegg er tett skog omkring bygget.

Videre er bygningsformen unik som gjør at pre-aksepterte løsninger ikke strekker til. Dette krever at nye løsninger må tas i bruk. Fordelen med pre-aksepterte løsninger er at de er sikre å ta i bruk, siden det er forsket på hvordan de fungerer i praksis. Standardiserte løsninger gjør det også enklere for de som skal bygge, og det er dermed enklere å sikre riktig utføring på byggeplass. Det er til syvende og sist hvordan utføringen blir gjort som avgjør hvor lenge bygget vil tåle de ytre påkjenningene.

Bygningens form har mye å si for hvor mye vindlast bygget utsettes for. Det er i figur 26 skissert hvordan ytterveggenes konkave form viderefører vindlaster til veggens sentrum. Dette medfører ekstra vindbelastning på huset, som må tas opp i konstruksjonen. Det er viktig å tenke over hvordan disse vindkreftene blir tatt opp i bygget, slik at man sørger for god heft mellom bygningsdeler som skal viderefører disse kreftene. Det er taket og gulvet som i hovedsak tar opp disse kreftene som stive skiver. Altså bør disse komponentene festes godt til veggen for en stabil konstruksjon.



Figur 26 – Mulig vindproblematikk. Skissert av studentgruppen.

Veggene ved inngangsdørene til huset er også med på å avstive konstruksjonen. Den opptegnede foldedøren vil være med på å svekke konstruksjonen, enn om det var en vanlig vegg. Det er viktig å være klar over at bærebjelken over foldedøren er med på å ta vindtrykket og stiver av den vegg. Det samme gjelder bærebjelken for det nordvendte inngangspartiet.

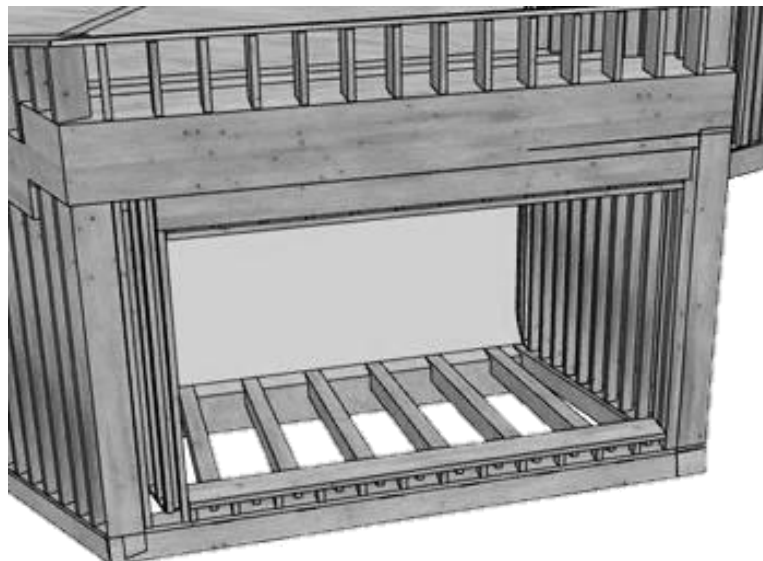
Mange av disse problemstillingene blir tatt hensyn til når det dimensjoneres for opptredende vindtrykk på konstruksjonen. En formfaktor tar for eksempel hensyn til effekten bygningers utforming har på vindhastigheten. Videre er bygget plassert i tett granskog, som medfører at det reelle vindtrykket blir mindre. Dette blir tatt hensyn til ved terrengrughetsfaktoren $c_r(z)$ (SINTEF Byggforsk, 2003). Det bør også kommenteres at atriumet er plassert foran den lengste vegg, som er med på å redusere vindtrykket stenderne må tåle.

Utstikket over bakken

Det er i arkitektenes skisser tegnet et utstikk som løftes over bakken. Utformingen av denne må detaljprosjekteres for å sikre konstruksjonsikkerhet. Det dimensjoneres for både løftekrefter på grunn av vind, samt laster fra utstikket, vinduet og personlaster. For at uttrykket til huset skal oppleves slik arkitektene har tenkt, må de buede veggene og gulvet i utstikket formes til i etterkant. Det kan også være vanskelig med overganger fra huset og til utstikket. Løsninger for dette må være enkle og presise, samt at overganger blir riktig utført for å oppfylle de tekniske kravene. Studentgruppen har valgt å ikke gå i dybden på utstikket på grunn av konstruksjonens kompleksitet og begrensning på tid. Gruppen vil allikevel presentere to mulige løsninger for bæring av utstikket, slik at det i en detaljprosjektering skal være enklere å gå frem.

Alternativ 1 – Bjelkelag

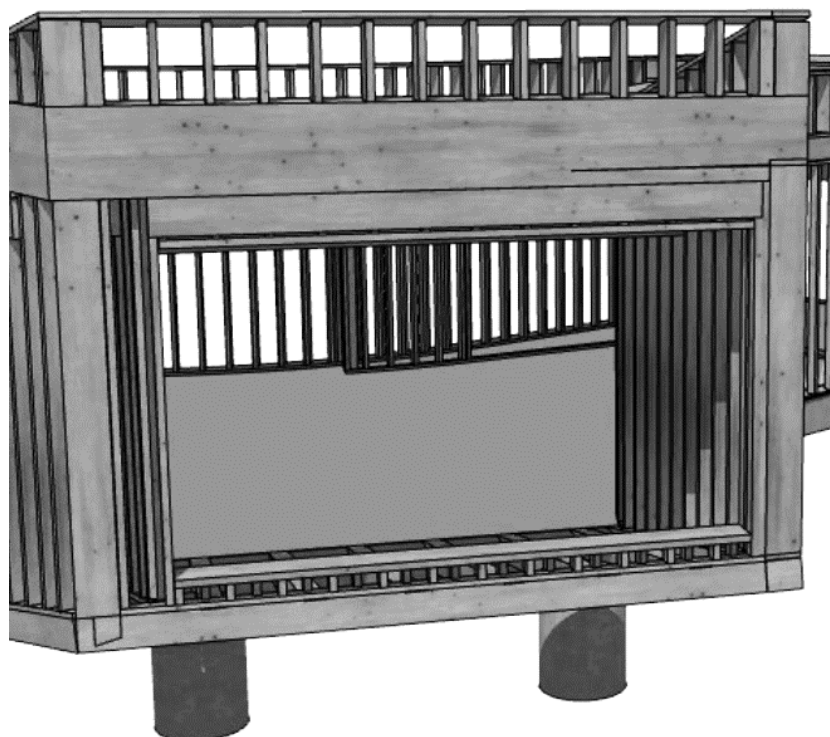
Den første løsningen er å bygge utstikket som et bjelkelag. Det er tenkt at bjelkene skal plasseres i utborede hull i ringmuren, og fungere som utkragerbjelker. Disse må forankres godt til fundamentet og sikres mot store momentkrefter i innfestningen. Løsningen er skissert i figur 27. Bjelkelaget kan også bæres av takkonstruksjonen. For at denne løsningen skal fungere må takkonstruksjonen være stiv, og ha nok styrke til å bære både utstikket, vinduet og personlaster.



Figur 27 – Utstikk konstruert som bjelkelag. Skissert av studentgruppen.

Alternativ 2 – Pilarer

En annen løsning er å sette inn pilarer som understøttelse til konstruksjonen. Dette er en enkel og stabil løsning som fører til at det utstikkende bjelkelaget kan være av mindre dimensjon. Det kan også støpes et betonggulv som hviler på pilarene, men det kan da være lurt å ha heft mellom betongdekke på grunn og det utstikkene betongdekke for en stødigere konstruksjon. Alternativt kan man plasseres ut flere pilarer for å støtte opp betongdekket. Denne løsningen vil bryte med de arkitektoniske prinsippene, og bør kun vurderes hvis den første løsningen ikke er gjennomførbar.



Figur 28 – Utstikk konstruert med pilarer. Skissert av studentgruppen.

4.6 Glassareal

Det er kun plassert et vindu i bygget, som fremstilles som et fastkarmvindu. Slike vinduer kan bestilles i egendefinert størrelse og med valgt antall glass. Vinduet kan altså lett oppfylle energikravene. Videre har bygget flere inngangsdører, utformet som foldedører. Begge foldedørene ønskes som glassdører. Det finnes flere leverandører på slike dører som kan sikre varmemotstand innenfor kravet. Det anbefales 3-lags vindu med argongass for lite varmetap. Glassarelaene kan bli en stor utgift i prosjektet, men studentgruppen vil anbefale å prioritere posten i budsjettet. Glassareal er typisk områdene i bygget med det største varmetapet.

Man ønsker å dra nytte av sola på kalde dager, og hindre overoppheting på varme dager. Solskjerming er derfor å anbefale og gjerne en utvendig variabel solskjerming.

For å oppnå krav om dagslysfaktor i TEK17 benyttes forenklet beregning av forholdet mellom glassareal og bruksarealet. Dagslysfaktoren regnes ut som følgende:

$$A_g \geq 0,1 \cdot A_{BRA}$$

Der

- A_g : Glassareal, lik 24 m^2 for fellehuset
- A_{BRA} : Bruksareal, lik $89,9 \text{ m}^2$ for fellehuset

$$24,0 \text{ m}^2 \geq 0,1 \cdot 89,3 \text{ m}^2$$

$$24,0 \text{ m}^2 \geq 8,93 \text{ m}^2$$

Glassarealet er mer enn 10% av bruksarealet og oppfyller kravet om dagslys med god margin.

4.7 Brannsikkerhet

Veiledningen til TEK17 legger til grunn hvilke brannsikringskrav som er gjeldene for byggverket. Under klassifiseres bygget med hjelp av tabeller fra VTEK. Videre vil brannklassen sette krav til materialene.

Tabell 4 – Risikoklasser hentet fra VTEK § 11-2 (DiBK, 2017).

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

Risikoklassen til bygget vurderes til klasse 4. I utgangspunktet er ikke bygget ment for overnatting, men studentgruppen velger å klassifisere det slik av to grunner. For det første er det ikke umulig at bruken til bygget endres gjennom byggets levetid. I utgangspunktet er formålet med bygget å skape et fellesområde med enkle fasiliteter til gjester, men det er ikke utenkelig at overnattingsgjester velger å tilbringe natten innendørs når muligheten eksisterer. Grunn nummer to vises i neste tabell, der både risikoklasse 3 og 4 vil havne i samme brannklasse. Det vil altså stilles de samme kravene til materialene uavhengig av dette valget, og det anses da som sikrere å gå opp en klasse.

I tabell 5 kombineres risikoklassen med antall etasjer og bygget havner dermed i brannklasse 1. Legg merke til at ved å definere taket som en gjeldene etasje, eller ta hensyn til fremtidig påbygging, vil bygget fortsatt ligge i brannklasse 1.

Tabell 5 – Brannklasser hentet fra VTEK §11-3 (DiBK, 2017).

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

Når brannklassen er bestemt, kan krav til motstand hos de ulike elementene leses ut av VTEK. Tabell 6 viser hvilke krav som gjelder for bæring og hvilke som gjelder for de ulike materialene. Kravene er for den gitte brannklassen, altså brannklasse 1.

Tabell 6 – Ytelleskrav til den gitte brannklassen (DiBK, 2017).

	Motstand	Kilde
Bæresystem	R15 (R30)	VTEK §11-4 (3) Preaksepterte ytelser (4.)
Ytterkledning vegg	$D - s3, d0[Ut - 2]$	VTEK §11-9 tabell 1A
Innerkledning vegg	$K_2 10 B - s1, d0[K1]$	VTEK §11-9 tabell 1A
Gulvoverflate	$D_{fl} - s1[G]$	VTEK §11-9 tabell 1A
Himling	$B - s1, d0[ln 1]$	VTEK §11-9 tabell 1A
Taktekning	$B_{ROOF}(t2)[T]$	VTEK §11-9 (2) F.

Tabellen viser at bæresystemet til bygget må tåle 15 minutters brannpåkjenning for å sikre rømning og slukking. Den viser også at innerkledningene på de ulike overflatene må være røyktette og ikke produsere brennende dråper.

Det kan nevnes at det for fellehuset er gode rømningsmuligheter i bygget. To store dører i ulike ender av bygget gir to rømningsveier. Videre er oppholdsarealet romslig med få hindringer. Dette gjør bygget oversiktlig og det skal være enkelt å finne veien ut.

Isolering av stålbjelkene

I forbindelse med brannprosjektering er den bærende stålkonstruksjonen kritisk for bygget. Den må isoleres mot brann for å sikre rømnings- og slukketiden. Det finnes ulike metoder for å isolere de ulike stålprofilene. Det velges her hardpressede plater. De kan produseres med en malt side, slik at den synlige delen av isolasjonen ikke trenger ekstra kledning. Dette er gunstig da prosjektet ikke har kledd himling.

Tabell 63 i 520.315 *Brannbeskyttelse av stålkonstruksjoner* (SINTEF Byggforsk, 2004) viser dimensjonering for hardpressede plater, der tabell 7 viser et utdrag av de relevante dimensjonene.

Tabell 7 – Isolasjonstykkelse av hardpressede plater (SINTEF Byggforsk, 2004).

Brannmotstand i minutter	Profiltype	Profilhøyde (mm)		Isolasjonstykkelse mm
		Firesidig brannpåkjent	Tresidig brannpåkjent	
30	IPE	160-600	100-600	15
	HE-A	100-600	100-600	15
	HE-B	100-600	100-600	15

Tabellen inkluderer ikke brannmotstandsklassen på 15 minutter, og heller ikke riktig stålprofil. En isolasjonstykkelse på 15 mm ser ut til å tilfredsstille et høyere krav om brannmotstand i minutter ved alle opplistede profiler. Det kan derfor antas at 15 mm hardpressede plater også vil tilfredsstille denne konstruksjonen.

5 Resultat av valgte løsninger

Resultatkapitlet vil først oppsummere hvilke løsninger som er studentgruppens byggtekniske prosjekteringsanbefalinger i tabell 8. Det er også henvist til detaljtegninger, som ligger vedlagt, for en presis illustrasjon av tenkt oppbygning til komponentene. Videre blir det i tabell 9 vist hvilke U-verdier alternativene i oppgaven har. Beregningene av U-verdi ligger også vedlagt, og baserer seg på detaljtegningene og løsningene slik de er blitt presentert i oppgaven. Som et resultat av enkelte valg gruppen har foretatt, blir det vist til varmetapsraten og den normaliserte kuldebroen til felleshuset.

5.1 Valgte løsninger

Tabell 8 – Oppsummerende tabell over anbefalinger fra kapittel 4.

	Løsning	Dimensjon	Detaljtegning
Fundament og gulv	Gulv på grunn med ringmur	80 mm betongdekke 220 mm gulvisolasjon 2 x 50 mm ringmursisolasjon 200 mm drenerende masser 50 mm markisolasjon	3.1
Vegg	Todelt stenderverk med kryssfinérplater som sviller	98 mm stender 50 mm isolasjon 98 mm stender 2 x 18 mm kryssfinérplater	3.3
Tak	Stålbjelker og massivtrelementer	240 mm HSQ Stålbjelker 240 mm massivtrelementer 200 mm trykkfastisolasjon	3.2
Glassarealer	Trelags vindu og foldedører med utvendig solskjerming		1.6

5.2 U-verdi og varmetapsrate

Tabell 9 – U-verdi for de ulike alternativene.

	U-verdi				Lekkasjetall
	Yttervegg	Tak	Fundament	Vindu og dører	Bygningsskallet ved 50 Pa trykkforskjell
Krav	$\leq 0,22 \frac{W}{m^2K}$	$\leq 0,18 \frac{W}{m^2K}$	$\leq 0,18 \frac{W}{m^2K}$	$\leq 1,2 \frac{W}{m^2K}$ *	$\leq 1,5 \frac{\text{luftveksling}}{\text{time}}$
Alt 1	0,14	0,14	0,16	0,9	**
Alt 2	0,21	0,09	0,19		

*Avhenger av valg av leverandør og budsjett, tallet er et eksempelvis overslag/snitt.

**Må måles når bygget står ferdig. Avhenger av gode og tette detaljer i overganger mellom bygningsdeler.

Tabellen viser U-verdien til de ulike alternativene for yttervegg, tak og fundament, og er sammenliknet med kravene i TEK17. Det kommer frem at alternativ 2 for yttervegg akkurat er innenfor kravet. Alternativ 2 for fundamentet når ikke kravet. Det bør likevel presiseres at dette kan oppnås med å øke dimensjonen på bjelkene. Det er da en økt isolasjonsmengde i bjelkelaget, og dermed en bedre varmemotstand. Resten av verdiene viser seg å havne innenfor minimumskravene.

For å få et bedre bilde av hvilke elementer som står for største del av varmetapet må vi sammenlikne både areal og U-verdi. Tabell 10 nedenfor viser hvilke elementer som har det største varmetapsbidraget. Beregningene er utført etter tabell 3.04 i boka *Fra passivhus til plusshus* (Anda & Bjelland, 2013). Her er det kun sett på løsningene som utgjør gruppens byggtekniske anbefalinger.

Tabell 10 – Varmetapsrate (Anda & Bjelland, 2013).

	U-verdi [$\frac{W}{m^2K}$]	Areal [m^2]	T [K]	Q [W]	%
Yttervegg	0,16	130	20	416	30
Tak	0,14	89,3	20	250	18
Gulv	0,16	89,3	20	285	21
Glassareal	0,9	24	20	432	31
Totalt				1383	100

Tabellen viser i prosent at ytterveggene står for en tredjedel av varmetapet. Det viser at det var et viktig valg å fokusere på en energieffektiv veggløsning. Dersom man ønsker bedre energieffektivitet, kan man vurdere å øke isoleringssjiktet i veggen. Videre viser tabellen at glassarealene gir det største bidraget. Det anbefales altså ikke å gå for vindu eller glassdør med lavere U-verdi enn beskrevet her. Det bør ikke regnes med noe ekstra soltransmisjon gjennom disse glassarealene da de vender vekk fra solen og er i tett skog.

5.3 Kuldebroverdier

Det er en vanlig problemstilling at bæreelementer danner kuldebroer i konstruksjonen. Her vil de prosjekterte stålbjeltene, med ekstremt god varmeledningsevne, forårsake kuldebroer i takkonstruksjonen. Det er derfor lagt inn en kuldebrobryter i dekkets ytterkant.

Kuldebrobryteren hindrer dekket i å hvile fullt på begge stenderne. Som nevnt oppstår kuldebroer typisk i overganger mellom elementer og i hjørner. Det er derfor fokusert på disse områdene i oppgavens detaljtegninger.

Tabell 11 viser kuldebroverdier og varmetapet til de kritiske overgangene og komponentene i bygget. Verdiene er hentet fra ulike kilder som har utført simuleringer på tilsvarende detaljer. Dette vil si at tallene i tabellen vil avvike fra realiteten. Det var for eksempel utført få simuleringer på todelte stenderverk. Gruppen tror derfor at kuldebroverdiene til hjørnene og overgangene fra ytterveggen i realiteten vil være bedre enn fremstilt. Det er valgt mest ugunstige verdi i de tilfellene der ingen av alternativene i kildene tilsvarte oppgavens anbefalinger.

Det er heller ikke tatt hensyn til at de fleste hjørner i bygget er butte vinkler og at få hjørner er 90°, som beregningene tar utgangspunkt i. Butte hjørner vil ha en lavere kuldebroverdi enn et spisst hjørne. Denne fordelene bruker å utjevne seg da butte vinkler krever at bygningsmassen får et større areal. Videre er de fleste hjørner i bygget utovervendte. Det vil si at yttersiden har et større areal og det oppstår en geometrisk kuldebro. Bygningen har også et innovervendt hjørne som vil ha motsatt effekt. Det er derfor en rad i tabellen under som viser negativ kuldebroverdi. Det vil altså være en fordel å ha innovervendte hjørnet når man ser på normalisert kuldebroverdi til et bygg.

For å ha noen tall å sammenlikne med kan det nevnes at passivhuskravet for kuldebro er $\leq 0,03 \frac{W}{m^2K}$ og kuldebrokravet til småhus i energitiltakstabellen er $\leq 0,05 \frac{W}{m^2K}$.

Tabell 11 – Normalisert kuldebro. Beregninger etter NS-EN ISO 14683 (Standard Norge, 2017).

	Lengde [m]	Kuldebro $[\frac{W}{mK}]$	Varmetap $[\frac{W}{K}]$	Kilde
Yttervegg/tak	63,7	0,03	1,9	Rapport 84 kapittel 7.7 (Norsk Treteknisk Institutt, 2011)
Stålbjelke mot yttervegg	3,52	0,03	0,12	Prosjektrapport 25 (SINTEF Byggforsk, 2008)
Yttervegg/ringmur	50	0,06	3,0	Prosjektrapport 25 (SINTEF Byggforsk, 2008)
Glassareal	43,7	0,013	0,57	Tabell 511 i 472.801 (SINTEF Byggforsk, 2015)
Hjørne innover	1,2	-0,061	-0,073	Tabell 31 i 472.711 (SINTEF Byggforsk, 2013)
Hjørne utover	8,4	0,037	0,31	Tabell 32 i 472.711 (SINTEF Byggforsk, 2013)
Sum			6,02	
Oppvarmet BRA			89,3 m ²	
Normalisert kuldebroverdi			0,046 $\frac{W}{m^2K}$	

Tabellen viser at det er mest å hente på kuldebroen som oppstår i overgangen mellom yttervegg og ringmur. Det skyldes at bygget har en stor omkrets og at denne kuldebroen er vanskelig å unngå. Dersom det var et mål å komme under passivhuskravet ($\leq 0,03 \frac{W}{m^2K}$), hadde en løsning vært å snevre inn gulvkonstruksjonen til fordel for mer isolasjon i overgangen. Beregningene viser at normalisert kuldebro er innenfor kravet til småhus, men at det er forbedringspotensiale. Overgangene der stålbjerkene møter ytterveggen bør simuleres for en nøyaktig verdi på kuldebroene.

6 Konklusjon

Studentgruppen har med oppdragsgivers skisser fått mulighet til å utvikle byggtekniske løsninger til byggeprosjektet. Skissene viste en kompleks konstruksjon som krevde nytenkende løsninger, og studentgruppen formulerte derfor følgende problemstilling: *"Er det mulig å utforme byggtekniske løsninger som oppfyller kravene til konstruksjonssikkerhet og byggteknikk, samt bevarer de arkitektoniske prinsippene?"*.

For å besvare problemstillingen har gruppen lagt frem to mulige løsninger til hver bygningskomponent. Disse har blitt drøftet og diskutert opp mot hverandre ut ifra aktuelle kriterier. Med problemstillingen i bakgrunn gjennom hele arbeidsperioden har gruppen klart å komme frem til gode løsninger som oppfyller de tekniske kravene beskrevet i TEK17. De arkitektoniske prinsippene har vært mulig å bevare i svært stor grad.

Målet om å bevare de arkitektoniske prinsippene har på noen områder medført at andre vurderingskriterier ble nedprioritert. Det er for eksempel i kapitlet om fundament, foreslått at fellesthuset fundamenteres som gulv på grunn med ringmur. Dette til tross for at pilarer er en løsning som medfører vesentlig mindre betongmasser og terrenginngrep.

Studentgruppen har på andre områder klart å finne løsninger som bevarer de arkitektoniske prinsippene i stor grad, og som oppfyller de tekniske kravene med god margin. Dette ser vi i kapitlet om veggkonstruksjon, der en todelt ytterveggløsning bidrar til god bygningsfysikk og konstruksjonssikkerhet, uten at det går på bekostning av det arkitektoniske.

På grunn av konstruksjonens avanserte form, har det vært nødvendig å finne løsninger som ikke baserer seg på standardiserte løsninger beskrevet i veiledningsdokumenter. Gruppens forslag til bøyde sviller i veggkonstruksjonen utfordrer det byggtekniske, men bevarer det arkitektoniske. Videre er takkonstruksjonen utformet med en kombinasjon av stålbjelker og massivtredekker. Ved å kombinere to kjente prinsipper klarte gruppen å finne en løsning på takkonstruksjonen til fellesthuset.

Avslutningsvis vil studentgruppen konkludere med at det er fullt mulig å utforme løsninger som oppfyller kravene til byggteknikk og konstruksjonssikkerhet uten at det går på bekostning av det arkitektoniske. Det bør allikevel presiseres at andre kriterier må nedprioriteres, ved å ha fokus på å bevare de arkitektoniske prinsippene. Det kan derfor tenkes at et godt samarbeid mellom arkitekter og ingeniører, i forbindelse med utforming av bygg, kan medføre mer bærekraftige bygninger.

7 Veien videre

Resultatet av denne oppgaven kan benyttes som underlag for videre prosjektering.

Studentgruppen har sett på hvilke materialer som kan benyttes, samt kravene som stilles til disse. Det er foreslått konkrete løsninger for utformingen av bygningen, slik at det i en detaljprosjektering skal være enklere å gå videre med løsningene. På grunn av studentgruppens begrensning på tid og kunnskap, er det nødvendig med videre detaljprosjektering på områder der studentgruppen kun har belyst problemer. Det anbefales at konstruksjonsberegninger gjennomføres i en datamodellering eller lignende, for å sikre konstruksjonssikkerhet. Videre vil gruppen anbefale å kjøre analyser i THERM eller liknende program, for å se nøyere på kuldebroen som vil oppstå på grunn av stålbjelkene i takkonstruksjonen.

På grunn av store endringer i bygningens størrelse, opplyst under senere samtale med oppdragsgiver, vil deler av oppgaven ha mindre relevans for prosjektet. Det vil allikevel være områder som har direkte relevans med bygget, slik som utformingen av veggen. Der oppgaven ikke har direkte relevans med byggeprosjektet, kan oppgavens løsninger være til inspirasjon for andre prosjekter.

På grunn av byggets plassering må det utarbeides en plan for hvordan bevare terrenget, både før og etter bygget er satt i drift. Eventuelt kan man se på nytten i å ferdigstille konstruksjonen på forhånd, for så å frakte den til tomten. Det er flere fordeler med å bygge innendørs, både med tanke på byggfukt og tilgang på materialer og verktøy. I forbindelse med kostnadsberegning på prosjektet kan denne oppgaven benyttes som grunnlag. Det at man er i en tidlig fase i prosjektet, betyr at kostnadene er lave ved eventuelle behov for endringer eller omprosjektering. Studentgruppen håper derfor at oppgaven har belyst utfordringer som bør betraktes i denne tidlige fasen, slik at endringer kan vurderes uten store kostnader.

8 Oppgaven i et større perspektiv

Oppgaven har gitt bidrag til byggfaget ved å konkret vise hvordan arkitekttegnet skisser og ideer kan ha innvirkning på miljø og materialsvinn. På grunn av byggets avanserte former, er det lite utvalg av materialer på markedet som er tilpasset denne formen. Det kreves at produkter spesialbestilles, eller at standardiserte løsninger brukes kreativt. Oppgaven har for det meste sett på hvordan standardiserte materialer kan brukes kreativt. Det er presentert detaljerte løsninger på hvordan buede trevegger og tak kan gjennomføres med tilgjengelige materialer. Videre har oppgaven belyst temaer som at samarbeid innenfor bransjen er viktig for å oppnå bærekraftige bygg. Et samarbeid tidlig i prosjektet gjør at potensielle utfordringen rundt bygningsformen blir tatt hensyn til, og diskutert allerede i skissefasen.

Det er lite fokus på avanserte former i byggfaget gjennom standarder, preaksepterte løsninger og ikke minst i undervisningen. Det blir derfor i neste kapittel presentert hva som burde bli studert ytterligere innenfor byggfaget ved dette området.

9 Innovasjon og forskning

Store deler av arbeidet bak oppgaven har møtt på utfordringer knyttet til den krummede utformingen av bygget. De krumme treveggene gir bygget et moderne utseende, og trekker paralleller med postmodernismen. Vil denne byggestilen bli populær igjen og prege fremtidens arkitektur?

Vegger som krummer seg i planet er ikke noe nytt i seg selv. Det finnes for eksempel utallige buede murvegger. Å bøye treverket er også ingen nyhet, heller gammel historie.

Vikingskipenes karakteristiske utseende inkluderer krumme planker som former båten. Tønner har også lenge vært produsert, der treverket fuktes, formes og tvinges på plass under tørking. Desto større dimensjon treverket har, desto vanskeligere blir det å bøye det. I dag benyttes også skjevt voksende trær som et naturlig bøyd materiale. Treverkets fleksibilitet er en av materialets velkjente egenskaper. Det må tas hensyn til at treverket krymper og vokser, da det er et naturmateriale. Det nye her er derimot i hvilken retning treet skal bøyes.

Innen limtre har bøyd bjelker lenge vært i produksjon. Her bøyes lamellene til ønsket form før de limes sammen og stivner. I Eurocode 5 beskrives et forholdstall mellom krumningsradius og lamelltykkelse for limtre lameller, som setter grenser for hvor mye de kan bøyes (Norske Limtreprodsenters Forening, 2015). Denne teknologien har gitt mulighet til flere flotte byggverk med krumning i høyden. Kan dette anvendes til annet materiale med ulik oppbygning og krumning?

Studentgruppen ser det på som hensiktsmessig å studere dette område nærmere. Det bør undersøkes hva som skjer med materialene i en bygning når de bøyes. Vil for eksempel en krummet kledningen være like sikker som en rett kledning? Det bør lages veiledninger på hvordan buet fuktpåkjente bjelker bør behandles på byggeplass. Hvor lang tørketid må påregnes før veggen kan kles igjen? Må veggen utformes med diffusjonsåpen damp- og vindsperre for å unngå byggfukt? Det er et kjent fenomen at treverket utvider seg i takt med fuktinnholdet. Dette må også tas hensyn til dersom det skal krummes ved hjelp av fukt.

Forskning rundt hvordan treverket forandrer seg når det bøyes, enten med fukt eller med press bør tilgjengeliggjøres. Vil fibre, treet grunnleggende oppbygning, forandre seg? I så fall, vil det svekke treverkets styrke? Hvordan skal prosjekterende ta hensyn til dette under prosjektering? Oppgaven diskuterer en løsning der topp- og bunnsviller bøyes for å gå langs veggen. Vil det svekke treet styrke når alle krefter de tar opp virker normalt på fibre? Ved å tilgjengeliggjøre slik forskning i form av standarder eller pre-aksepterte løsninger kan det være med på å sikre god byggteknikk ved avanserte former.

10 Referanseliste

- Anda, S. & Bjelland, A. S. H. (2013) *Fra passivhus til plusshus*. Bergen: Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS.
- Blom, P. & Uvsløkk, S. (2011) *Unngå byggskader ved å forhindre kuldebroer*. [Internett]
Available at: <https://www.byggforsk.no/file/index/542>
[Funnet 02. mars 2021].
- DiBK (2017) *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. [Internett]
Available at: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/>
[Funnet 25. februar 2021].
- Edwardsen, K. I. & Ramstad, T. (2014) *Håndbok 5 Trehus*. 1 red. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
- Leca (u.d) *Fundamentering*. [Internett]
Available at: <https://leca.no/losninger/fundamentering/>
[Funnet 26. februar 2021].
- Liebe, G. (2020) *Brannklassifisering*. [Internett]
Available at: https://snl.no/brannklassifisering#-Brannklasse_for_andre_bygningsprodukter
[Funnet 03. mai 2021].
- NIBIO (u.d) *Bruk av trematerialer i bygg*. [Internett]
Available at: <https://www.nibio.no/tema/skog/bruk-av-tre/tre-i-bygg>
[Funnet 26. februar 2021].
- Norconsult (2013) *Praktisk veileder for energimerking*, OSLO: Norsk vassdrags- og energidirektorat.
- Noreng, K., Brevik, B. G. & Jelle, B. P. (2008) *En temaveileder. Flate tak*. [Internett]
Available at: <http://tpf.zoom-grafisk.no/files/TemaveilederFlateTak.pdf>
- Norges skogeierforbund (2018) *Bruk av tre i bygg - et klimavennlig valg*. [Internett]
Available at: <https://www.skog.no/wp-content/uploads/2016/05/Bruk-av-tre-i-bygg-et-klimavennlig-valg.pdf>
[Funnet 26. februar 2021].
- Norsk Limtreprodusenters forening (2015) *Limtreboka*. [Internett]
Available at: https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/limtreboka_2015_el2.pdf
[Funnet 19. april 2021].

Norsk Stålforbund (u.d) *Stålsorter*. [Internett]

Available at: <https://www.stalforbund.no/stalsorter/>

[Funnet 19. april 2021].

Norsk Treteknisk Institutt (2011) *ENTRÉ - Energieffektive trekonstruksjoner*. (Rapport 84).

Available at: <http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/rapporter/Rapport-84.pdf>

[Funnet 02. mars 2021].

Plan- og bygningsloven (2008) *Lov om planlegging og byggesaksbehandling*. [Internett]

Available at: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71>

[Funnet 25. februar 2021].

SINTEF Byggforsk (2005) *521.011 Valg av fundamentering og konstruksjoner mot grunnen*.

[Internett]

Available at:

https://www.byggforsk.no/dokument/327/valg_av_fundamentering_og_konstruksjoner_mot_grunnen

[Funnet 02. mars 2021].

SINTEF Byggforsk (2008) *Kuldebroer - Beregninger, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk*. (Prosjektrapport 25).

Available at:

https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/sb_prosjektrapport_25.pdf

[Funnet 03. mai 2021]

SINTEF Byggforsk (2009) *522.891 Etasjeskillere i massivtre*. [Internett]

Available at:

https://www.byggforsk.no/dokument/3367/522891_etasjeskillere_i_massivtre

[Funnet 03. mai 2021].

SINTEF Byggforsk (2013) *472.711 Kuldebroverdier. Hjørne mellom bindingsverksvegger av tre*. [Internett]

Available at:

https://www.byggforsk.no/dokument/4089/kuldebroverdier_hjoerne_mellom_bindingsverksvegger_av_tre

[Funnet 15. april 2021].

SINTEF Byggforsk (2015) 472.801 *Kuldebroverdier. Vindu i bindingsverk av tre.* [Internett]

Available at:

https://www.byggforsk.no/dokument/4141/kuldebroverdier_vindu_i_bindingsverksvegg_av_tre

[Funnet 15. april 2021].

SINTEF Byggforsk (2015) 571.523 *Trevirke. Treslag og materialeegenskaper.* [Internett]

Available at:

https://www.byggforsk.no/dokument/578/trevirke_treslag_og_materialeegenskaper

[Funnet 05. mars 2021].

SINTEF Byggforsk (1996) 521.304 *Pilarer av betong i telefarlig grunn.* [Internett]

Available at:

https://www.byggforsk.no/dokument/330/pilarer_av_betong_i_telefarlig_grunn

[Funnet 17. mars 2021].

SINTEF Byggforsk (2003) 471.041 *Snølast på tak. Dimensjonerende laster.* [Internett]

Available at:

https://www.byggforsk.no/dokument/216/snoelast_paa_tak_dimensjonerende_laster

[Funnet 15. mars 2021].

SINTEF Byggforsk (2003) 471.043 *Vindlaster på bygninger.* [Internett]

Available at: https://www.byggforsk.no/dokument/3118/vindlaster_paa_bygninger

[Funnet 17. mars 2021].

SINTEF Byggforsk (2003) 522.111 *Betonggolv på grunnen.* [Internett]

Available at:

https://www.byggforsk.no/dokument/332/522111_betonggolv_paa_grunnen

[Funnet 02. mars 2021].

SINTEF Byggforsk (2003) 541.002 *Golvbelegg for bolig-, kontor- og institusjonsgolv.*

Egenskaper, krav og bruksområder. [Internett]

Available at:

https://www.byggforsk.no/dokument/453/golvbelegg_for_bolig_kontor_og_institusjons_golv_egenskaper_krav_og_bruksomraader

[Funnet 02. mars 2021].

SINTEF Byggforsk (2004) 520.315 *Brannbeskyttelse av stålkonstruksjoner.* [Internett]

Available at:

https://www.byggforsk.no/dokument/314/brannbeskyttelse_av_staalkonstruksjoner

[Funnet 07. april 2021].

- SINTEF Byggforsk (2007) 525.304 *Terrasse på etasjeskiller av betong for lett eller moderat trafikk*. [Internett]
Available at:
https://www.byggforsk.no/dokument/389/terrasse_paa_etasjeskiller_av_betong_for_lett_eller_moderat_trafikk
[Funnet 17. mars 2021].
- SINTEF Byggforsk (2008) 523.002 *Yttervegger over terreng. Egenskaper og konstruksjonsprinsipper. Krav og anbefalinger*. [Internett]
Available at:
https://www.byggforsk.no/dokument/348/yttervegger_over_terreng_egenskaper_og_konstruksjonsprinsipper_krav_og_anbefalinger
[Funnet 02. mars 2021].
- SINTEF Byggforsk (2008) 542.645 *Kledninger av ubehandlet tre*. [Internett]
Available at:
https://www.byggforsk.no/dokument/3345/542645_kledninger_av_ubehandlet_tre
[Funnet 17. mars 2021].
- SINTEF Byggforsk (2009) 542.640 *Overflatebehandling av utvendig trevirke*. [Internett]
Available at:
https://www.byggforsk.no/dokument/482/overflatebehandling_av_utvendig_trevirke
[Funnet 17. mars 2021].
- SINTEF Byggforsk (2011) 520.222 *Bjelker av tre. Dimensjonering*. [Internett]
Available at: https://www.byggforsk.no/dokument/304/bjelker_av_tre_dimensjonering
[Funnet 17. mars 2021].
- SINTEF Byggforsk (2011) 522.351 *Trebjelkelag. Dimensjonering og utførelse*. [Internett]
Available at:
https://www.byggforsk.no/dokument/334/trebjelkelag_dimensjonering_og_utfoerelse
[Funnet 02. mars 2021].
- SINTEF Byggforsk (2012) 521.111 *Gulv på grunnen med ringmur utførelse*. [Internett]
Available at:
https://www.byggforsk.no/dokument/328/golv_paa_grunnen_med_ringmur_utfoerelse
[Funnet 02. mars 2021].

- SINTEF Byggforsk (2013) 471.031 *Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler*. [Internett]
Available at: https://www.byggforsk.no/dokument/215/egenlaster_for_bygningsmaterialer_byggevarer_og_bygningsdeler
[Funnet 17. mars 2021].
- SINTEF Byggforsk (2014) 523.251 *Bindingsverk av tre i småhus. Dimensjonering og utførelse*. [Internett]
Available at: https://www.byggforsk.no/dokument/358/bindingsverk_av_tre_i_smaahus_dimensjonering_og_utfoerelse
[Funnet 01. mars 2021].
- SINTEF Byggforsk (2016) 572.205 *Betong. Typer, egenskaper og bruksområder*. [Internett]
Available at: https://www.byggforsk.no/dokument/5157/betong_typer_egenskaper_og_bruksomraade
[Funnet 26. februar 2021].
- SINTEF Byggforsk (2017) 321.022 *Oversikt over krav og løsninger ved brannteknisk prosjektering av bygninger*. [Internett]
Available at: https://www.byggforsk.no/dokument/3307/oversikt_over_krav_og_loesninger_ved_brannteknisk_prosjektering_av_bygninger#i41
[Funnet 03. april 2021].
- SINTEF Byggforsk (2018) 451.021 *Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring*. [Internett]
Available at: https://www.byggforsk.no/dokument/204/klimadata_for_termisk_dimensjonering_og_frostsikring
[Funnet 07. april 2021].
- SINTEF Byggforsk (2018) 525.207 *Kompakte tak*. [Internett]
Available at: https://www.byggforsk.no/dokument/387/kompakte_tak
[Funnet 02. mars 2021].
- SINTEF Byggforsk (2018) 533.102 *Vinduer. Typer og funksjoner*. [Internett]
Available at: https://www.byggforsk.no/dokument/437/vinduer_typer_og_funksjoner
[Funnet 17. mars 2021].

- SINTEF Byggforsk (2019) *521.112 Gulv på grunnen med ringmur. Telesikring og varmeisolering av oppvarmede bygninger*. [Internett]
Available at:
https://www.byggforsk.no/dokument/1541/gulv_paa_grunnen_med_ringmur_telesikring_og_varmeisolering_av_oppvarmede_bygninger
[Funnet 02. mars 2021].
- SINTEF Byggforsk (2019) *521.811 Telesikring av uoppvarmede bygninger og konstruksjoner. Dimensjonering og utførelse*. [Internett]
Available at:
https://www.byggforsk.no/dokument/331/telesikring_av_uoppvarmede_bygninger_og_konstruksjoner_dimensjonering_og_utfoerelse
[Funnet 19. mars 2021].
- SINTEF (2010) *CE-merking ikke nok*. [Internett]
Available at: https://www.byggforsk.no/nyheter/14/ce-merking_ikke_nok/125
[Funnet 25. februar 2021].
- SINTEF (2014) *Velg miljøvennlig isolasjon*. [Internett]
Available at: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2014/velg-miljovennlig-isolasjon/>
[Funnet 05. mai 2021].
- Skanska Stålteknikk AB, u.d. *Dimensjonering HSQ*. [Internett]
Available at: <https://www.stalforbund.no/wp-content/uploads/2021/02/HSQ-balken.pdf>
[Funnet 17. mars 2021].
- Standard Norge (2013) *NS 3700 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Boligbygninger*. [Internett]
Available at:
<https://www.standard.no/no/nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=636902>
[Funnet 19. februar 2021].
- Standard Norge (2016) *NS-EN 1990 Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner*. [Internett]
Available at:
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=814847>
[Funnet 17. mars 2021].

Standard Norge (2017) *NS-EN ISO 14683 Kuldebroer i bygningskonstruksjoner*. [Internett]

Available at:

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=941522>

[Funnet 20. april 2021].

Standard Norge (2018) *NS-EN 1991-1-3 Allmenne laster - Snølaster*. [Internett]

Available at:

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1004200>

[Funnet 15. mars 2021].

Standard Norge (2019) *Allmenne laster - Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger*.

[Internett]

Available at:

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1015211>

[Funnet 17. mars 2021].

Standard Norge (2019) *NS-EN 1991-1-1 Allmenne laster*. [Internett]

Available at:

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1015211>

[Funnet 05. mars 2021].

Standard Norge (2020) *SN-NSPEK 3031 Bygningers energiytelse — Beregning av energibehov og energiforsyning*. [Internett]

Available at:

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1124340>

[Funnet 26. februar 2021].

Standard Norge (u.d.) *Eurokoder*. [Internett]

Available at: <https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/eurokoder1/>

[Funnet 04. mai 2021].

Store Norske Leksikon (2019) *armert betong*. [Internett]

Available at: https://snl.no/armert_betong

[Funnet 23. april 2021].

- Store Norske Leksikon (2019) *Stålkonstruksjon*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/st%C3%A5lkonstruksjon>
[Funnet 19. april 2021].
- Store Norske Leksikon (2019) *totrinns tetting*. [Internett]
Available at: https://snl.no/totrinns_tetting
[Funnet 07. mai 2021].
- TreFokus (2011) *FOKUS på tre - Fleretasjes trehus*. (Nr. 32).
Available at: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/32-Fleretasjes-trehus.pdf>.
[Funnet 19. mars 2021].
- TreFokus (2011) *Massivtre*. [Internett]
Available at: <http://www.trefokus.no/treveilederen/temaer/byggesystemer/massivtre>
[Funnet 26. februar 2021].
- TreFokus (2013) *Treindustriens lille grønne*. [Internett]
Available at: <http://www.trefokus.no/resources/Treindustriens-lille-gronne.pdf>
[Funnet 26. februar 2021].
- TreFokus (u.d.) *God styrke i forhold til vekt*. [Internett]
Available at: <http://www.trefokus.no/treveilederen/temaer/styrke-og-materialegenskaper/god-styrke-i-forhold-til-vekt>
[Funnet 26. februar 2021].
- TreFokus (u.d.) *Konstruksjonstre*. [Internett]
Available at: <http://trefokus.no/proff/artikler/materialer/konstruksjonstre>
[Funnet 26. februar 2021].

11 Vedlegg

	Vedlegg	Antall sider	Format
A	Artikkel	2	A4
B	Plakat	1	A4
C	Energiberegninger	11	A4
D	Tegninger	34	A3