

Kenneth Selebø Pettersen
Kinga Turlaj

Dimensjonering og energievaluering av et kulturbygg i loft

Mai 2021

NTNU

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

Bacheloroppgave

2021



Kenneth Selebø Pettersen
Kinga Turlaj

Dimensjonering og energievaluering av et kulturbygg i laft

Bacheloroppgave
Mai 2021

NTNU

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



Kunnskap for en bedre verden

Oppgavens tittel: Dimensjonering og energieuvaluering av et kulturbygg i laft.	Dato: 20. Mai 2021		
	Antall sider: 61		
	Masteroppgave		Bacheloroppgave
			x
Navn: Kenneth Selebø Pettersen Kinga Turlaj			
Veileder: Thomas Haavi			

<p>Sammendrag:</p> <p>Hensikten med denne bacheloroppgaven er å undersøke om et tenkt kulturbygg i laft kan tilfredsstille dimensjoneringskravene for trekonstruksjoner og om det tilfredsstiller kravene for energi i TEK17. Oppdragsgiver er NTNU, med Thomas Haavi, på vegne av utbygger i Valldal.</p> <p>For å undersøke om bygget klarer energikravene blir det gjort evalueringer i programvaren Simien, der det blir brukt 4 forskjellige scenarier for kulturbygget. Det blir også gjort håndberegninger for U-verdi for vegg og tak, samt nødvendig luftmengde i ventilasjon. Laster og trekonstruksjoner i bygget dimensjoneres med hjelp av håndberegninger.</p> <p>Resultatene viser at bygget vil klare kravene for dimensjonering av trekonstruksjoner, men det er muligheter for å kunne redusere last og samtidig kunne redusere tverrsnittet på flere av komponentene i bæresystemet.</p> <p>Resultatene for evalueringen viser at bygget vil få vanskeligheter med å kunne tilfredsstille kravene som er satt for energi i TEK17.</p>
--

Stikkord:

Konstruksjon
Dimensjonering
Bæresystem
Energikrav
U-verdi
Luftmengde
Tre
Laft

Forord

Denne oppgaven er skrevet og utarbeidet som avsluttende bacheloroppgave, skrevet våren 2021. Prosjektgruppen har bakgrunn fra studieretningen byggingeniør ved NTNU i Gjøvik, med spesialisering innenfor konstruksjonsteknikk.

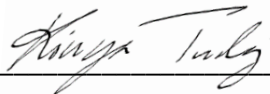
Motivasjonen for denne bacheloroppgaven var interessen innenfor fagområdene dimensjonering av trekonstruksjoner og energiberegninger. Det har både vært en lærerik og morsom opplevelse å få jobbe med noe så interessant og som samtidig er samfunnsnyttig.

Vi ønsker først og fremst å rette en spesiell takk til Thomas Haavi ved Instituttet for vareproduksjon og byggteknikk ved NTNU i Gjøvik, som var vår oppdragsgiver og veileder under bacheloroppgaven. Han har også veiledet oss under prosessen for energiberegningene. Vi ønsker å gi en stor takk til Marthin Landgraff som har veiledet oss under dimensjoneringsprosessen. Vi ønsker også å rette en takk til medoppdragsgiver fra Valldal, som gjennom diskusjoner har gitt oss nyttig informasjon og god hjelp for vår gjennomføring av oppgaven.

Gjøvik, 19. mai 2021



Kenneth Selebø Pettersen



Kinga Turlaj

Abstract

The purpose of this bachelor's thesis is to explore and investigate the possibility of building a church with timber log walls and see if it meets the requirements for designs of timber structures and if it meets the energy requirements set by TEK17. The client of this project is NTNU on behalf of the developer in Valldal, Norway.

Evaluations are made with the software Simien to investigate whether the building meets the energy requirements. Hand calculations are also made to find the value of the thermal transmittance for the walls and roofs, as well as the required amount of air volume for the ventilation system. Loads and timber structures are also designed with the help of hand calculations.

The results show that the building will meet the requirements for design of timber structures, but it is possible to both reduce the size of loads and at the same time reduce the required cross section of several of the structures in the support system.

The results for the energy evaluations of the building show that it will be difficult to meet the requirements for energy set by TEK17.

Innhold

1	Innledning	1
1.1	Tema	1
1.2	Bakgrunn	1
1.3	Problemstilling	2
1.4	Beskrivelse av prosjektet	3
1.5	Avgrensninger	3
2	Teori	5
2.1	Lover, forskrifter og regelverk	5
2.1.1	Byggteknisk forskrift	5
2.1.2	Norsk Standard	5
2.1.3	Byggforskserien	5
2.2	Programvare	6
2.2.1	Simien	6
2.2.2	Microsoft Office Excel	6
2.2.3	AutoCAD	6
2.3	Bygningsmaterialer	7
2.3.1	Tre	7
2.3.2	Laft og lafting	7
2.3.3	Konstruksjonsvirke og limtre	8
2.3.4	Isolasjon	9
2.4	Miljø	9
2.4.1	FN's Bærekraftsmål	9
2.4.2	Tre og miljø	10
2.5	Bygningsfysikk	10
2.5.1	Lekkasjetall	10
2.5.2	Kuldebro	11
2.5.3	U-verdi	11
2.5.4	Luftmengde	11
2.6	Kilder og referansebruk	12

3	Metode	13
3.1	Lastberegninger og dimensjonering	14
3.1.1	Laster	14
3.1.2	Egenlast	14
3.1.3	Snølast	14
3.1.4	Vindlast	16
3.1.5	Lastkombinering	17
3.1.6	Dimensjonering av trekonstruksjoner	18
3.1.7	Kontroll for moment	18
3.1.8	Kontroll for skjær	19
3.1.9	Kontroll for nedbøyning	19
3.1.10	Kontroll for søyleknekking	20
3.1.11	Kontroll for trykk på tvers av fiberretning	21
3.1.12	Kontroll for brann	21
3.1.13	Laftet vegg	22
3.2	Evalueringer i Simien	22
3.2.1	Arealberegninger	22
3.2.2	U-verdier for ikke-homogene sjikt	23
3.2.3	U-verdi for vegger	27
3.2.4	U-verdi for taket	28
3.2.5	U-verdi for gulvet	29
3.2.6	U-verdier for vinduer og dører	30
3.2.7	Simien-beregning	30
4	Resultater	36
4.1	Lasteberegninger og dimensjonering	36
4.1.1	Laster	36
4.1.2	Taksperrer og gradsperrer	36
4.1.3	Møne og takås	37
4.1.4	Søyler	38
4.1.5	Bindingsverk og laftet vegg	38
4.1.6	Brann	39
4.2	Arealer	40

4.2.1	Vegg	40
4.2.2	Tak	41
4.2.3	Gulv	42
4.2.4	Vinduer og dører	42
4.3	U-verdier	43
4.3.1	Vegg	43
4.3.2	Tak	44
4.4	Luftmengder	45
4.5	Evaluering	46
4.5.1	Resultater av evaluering	46
4.5.2	Energiramme	46
4.5.3	Minstekrav	47
4.5.4	Energibudsjett reelle verdier	48
5	Diskusjon og analyse	49
5.1	Realistisk bygging av bygget	49
5.1.1	Laster og konstruksjonselementer	49
5.1.2	Regelverk	51
6	Konklusjon	56
	Referanser	57
7	Vedlegg	61

Figurer

1.1	Forslag til utforming av klosteret	2
3.1	Tabell 42, hentet fra Byggforsk, 2018.	24
4.1	Arealberegninger vegg	40
4.2	Arealberegninger tak	41
4.3	Bygningstegning sett ovenfra	42
4.4	Vindus- og dørarealer	43
4.5	U-verdier for laftede trevegger uten isolasjon, (Byggforsk 471.431, 2013)	44
4.6	U-verdier for tak med isolasjon	45
4.7	Beregning av nødvendig luftmengde	45
4.8	Resultater av evalueringen - Case 1 og 2	46
4.9	Resultater av evalueringen - Case 3 og 4	46
4.10	Sammenligning av energiramme i alle caser	47
4.11	Minstekrav - Alle caser	47
4.12	Energibudsjett for alle caser	48
5.1	Minstekrav U-verdi og lekkasjetall for alle bygninger, unntatt boligbygning og fritidsbolig med laftede yttervegger [15]	52
5.2	Minstekrav U-verdi og lekkasjetall for boligbygning og fritidsbolig med laftede yttervegger [15]	53

Tabeller

4.1	Laster på tak	36
4.2	Dimensjonering av sperrer	37
4.3	Dimensjonering av gradsperrer	37
4.4	Dimensjonering av møne og takås	38
4.5	Dimensjonering av søyler	38
4.6	Dimensjonering av bindingsverksvegg	38
4.7	Dimensjonering av laftevegg	39
4.8	Dimensjonering av laft over veggåpning	39
4.9	Branndimensjonering av søyler	39
4.10	Branndimensjonering av møne og takås	40

Forkortelser

BRA Bruksareal. 42

CEN Den Europeiske Standardiseringsorganisasjonen. 5

DiBK Direktoratet for byggkvalitet. 5

EN Europeisk Standard. 5, 6, 23

ISO Internasjonale Standarder. 5, 23

NS Norsk Standard. 5, 6, 12, 23, 54

1 Innledning

1.1 Tema

Hovedtemaet for oppgaven omhandler prosjektering av et kulturbygg, samt energiberegninger. Under arbeidet med bacheloroppgaven er det et ønske om å bruke kunnskap fra bachelorløpet i et realistisk prosjekt. Det har i tillegg vært et fokus på å tilegne seg ny kunnskap underveis. Under studietiden har prosjektdeltakerne fått interesse for konstruksjonsfagene, samt energi, miljø og bygningsfysikk. Gjennom bacheloroppgaven ønskes det derfor å slå sammen denne kunnskapen for å utarbeide en oppgave, som kan være relevant for et fremtidig arbeidsliv.

1.2 Bakgrunn

Siden starten av 90-tallet har det vært ønsket å bygge et gresk-ortodoks kloster på Syltefjell, hvor ordfører i Norddal kommune tilbydde tomt til klosteret i 1991. Det lokale sagnet om ormen i Syltefjell og Olav den hellige gjorde dette til en ypperlig plass for et gresk-ortodoks kloster. Gjennom årene har det vært flere oppturer og nedturer. I juni 2002 ble klosteret avvist av den ortodokse patriarken, men senere det året ble saken om klosteret tatt opp igjen.

Det har også vært flere ulike tegninger av klosteret gjennom de siste tiårene, hvor den første utformingen av klosteret kom i 1991, ved ei diplomoppgave ved NTH. I senere tid har det blitt produsert flere tegninger av forskjellige arkitekter, men den siste utformingen av bygget har kommet fra en polsk arkitekt.

Bakgrunnen for denne oppgaven startet med at veileder, Thomas Haavi, kom i kontakt med en av de gresk-ortodokse nonnene som ønsket å bygge dette klosteret. Her kom fram at det var ønsket å bygge et bygg i laft og at bygget skulle minne om en stavkirke. Der det ble aktuelt å se på om bygget tilfredsstillte energikravene i TEK17, og dimensjonere lastene på bygget og trekonstruksjonene i bygget. Hovedsakelig er bygget ment for bruk på sommerhalvåret.



Figur 1.1: Forslag til utforming av klosteret

1.3 Problemstilling

Problemstillingen som er valgt av gruppen for denne oppgaven er:

Kan et kulturbygg i laft tilfredsstillende dimensjoneringskravene for trekonstruksjoner og klarer bygget å tilfredsstillende energikravene i TEK17?

Målet med oppgaven er å kunne svare på problemstillingen med hjelp av de ulike teknikkene og hjelpemidlene vi har lært gjennom studiet, og kunne komme med en konklusjon i slutten av rapporten.

1.4 Beskrivelse av prosjektet

Dette prosjektet tar for seg et tenkt kloster som har blitt utformet og tegnet av en polsk arkitekt. Dette har blitt gjort på vegne av gresk-ortodokse nonner og munkere som ønsker å bygge dette klosteret på Syltefjell. Klosteret er tenkt i tre og laft hvor bygget skal minne om en stavkirke. Plassering på bygget vil ligge i Fjord kommune, tidligere Norddal kommune, på toppen av et fjell innerst i Storfjorden i Møre og Romsdal.

Det tenkte klosteret vil ha en maks høyde på 13 meter, som er toppen av det ønskede tårnet, mens høyden opp til toppen av det største taket er på 8,59 meter. Klosteret er 9 meter på sitt bredeste, og 5 meter på sitt smaleste, mens bygget har en lengde på 13 meter.

Oppgaven vil ta for seg tegningene av klosteret og vurdere om bygget kan klare de ulike kravene som er satt for lastdimensjonering, dimensjonering av trekonstruksjoner, og energiforbruk. Det ble gjort håndberegninger for lastdimensjonering og dimensjonering av trekonstruksjonene, samt enkelte U-verdier, enkelte arealer, og luftmengder. Programmet Simien ble også brukt for energievalueringen.

På grunn av at det tenkte bygget er symmetrisk om vest-øst akse og tilnærmet symmetrisk om nord-sør akse vil det kun bli dimensjonert for den mest utsatte delen av bygget. Det vil si tårnet, samt vest-siden av klosteret. Oppgaven tar også for seg 4 ulike case for energievalueringen. Der 3 av de vil være med laftede vegger, mens siste case vil bestå av bindingsverksvegg.

Det vil også bli vurdert om dagens gjeldene regelverk er tilpasset konstruksjonen av bygg i laft, og om disse kravene er godt nok tilpasset ulike byggemetoder.

1.5 Avgrensninger

I denne oppgaven vil følgende temaer og elementer bli utelukket for å kunne avgrense oppgavens og studiets omfang:

- Dimensjonering og beregning av gulv/grunnmur
- Dimensjonering og beregning av forbindelser i konstruksjonen
- Økonomi

- Frakt og montering
- Testing av materialer
- Energiforsyning til bygget - vil ikke gå i dybden
- Nødvendig effekt til belysning
- Nødvendig effekt til oppvarming
- Beregninger av kuldebro

2 Teori

2.1 Lover, forskrifter og regelverk

2.1.1 Byggteknisk forskrift

Byggteknisk forskrift også kalt for TEK17, tar for seg de tekniske kravene som stilles til et byggverk. Herunder må bygget minimum tilfredsstillende de minste kravene. Kravene som finnes i forskriftene er satt til ulike typer bygg, som for eksempel bolig, fritids- og publikumsbygg. TEK17 er dagens gjeldende forskrift (DiBK, u.å.).

2.1.2 Norsk Standard

Innenfor byggbransjen er Norsk Standard (NS) ulike samlinger av standarder som gjelder i Norge. Dette beskriver blant annet standardiserte produkter, arbeidsprosesser og krav. Det er Standard Norge som står bak NS. De er et av medlemmene i Den Europeiske Standardiseringsorganisasjonen (CEN), som gjør at de er nødt til å implementere alle Europeisk Standard (EN), for deretter å gjøre disse om til Norske Standarder. Det finnes i tillegg Internasjonale Standarder (ISO). Norge er ikke forpliktet til å fastsette ISO standarder som Norsk Standard, men ISO gis ut som Norsk Standard ut ifra en faglig og behovsmessig vurdering (Standard Norge, 2019).

2.1.3 Byggforskserien

Byggforskserien er en samling av dokumenterte løsninger og anbefalinger for prosjektering, utførelse og forvaltning. Serien oppfyller alle TEK17 kravene, og det er derfor mulig å bruke serien i hele landet. Byggforskserien består av omtrent 800 gjeldende anvisninger som tar for seg utforming og utførelse av konstruksjoner og arealer, det er også mulig å se eldre utgåtte forskrifter i samlingen. Og i tillegg inneholder denne en beregningsprogram TEK-sjekk Energi. Byggforskserien er blant annet anbefalt av Direktoratet for byggkvalitet (DiBK). Serien er laget av SINTEF (Byggforsk, u.å.).

2.2 Programvare

2.2.1 Simien

Simien er en programvare som brukes for beregninger av energibruk og energibehov i bygninger. Programvaren er utarbeidet av ProgramByggerne. Simien er validert etter EN 15265 og bygger på den dynamiske beregningsmetoden beskrevet i NS3031:2014. Simien brukes til dynamiske simuleringer av energibehov, samtidig som det kan brukes til en vurdering av inneklimate og dimensjonering av oppvarmingsanlegg, ventilasjonsanlegg og romkjøling. Programmet evaluerer i henhold til TEK17 og NS3700 ved passivhusstandarder og energimerking (Kjell, 2019). Simien gjennomfører ulike beregninger som årssimuleringer, dimensjonerende vinter- og sommerforhold, evalueringer opp mot forskrifter, energimerking, evaluering mot passivhusstandard og lønnsomhetstiltak (Programbyggerne, u.å.). I denne oppgaven er det kun evaluering som benyttes.

2.2.2 Microsoft Office Excel

Microsoft Excel er et program som kan brukes til å organisere data på en oversiktlig måte. I programmet er det mulig å sette opp maler, gjennomføre beregninger, sette opp diagrammer og plote grafer. (Microsoft, u.å.). I oppgaven vil det hovedsaklig være Excel som brukes til beregninger av U-verdier samt arealer i tillegg til lastberegninger. Grunnen til dette er fordi programmet gir god oversikt over beregninger samt enkel muligheten til å endre på verdier uten at man må gjøre hele beregningen selv.

2.2.3 AutoCAD

AutoCAD er en velkjent programvare for arkitekter, ingeniører og fagfolk innen byggebransjen. ”CAD” står for ”computer-aided design” (*data-assistert design*), og programmet brukes i hovedsak for presise 2D- og 3D-tegninger. AutoCAD innehar en rekke funksjoner, som er nyttige ved prosjektering av bygg i 2D- og 3D. (Autodesk, u.å.). Programmet blir brukt til å finne enkelte paramere for arealberegninger i oppgaven.

2.3 Bygningsmaterialer

2.3.1 Tre

Tar man et tverrsnitt av en trestamme vil det bestå av de følgende elementene: Bark, silvev, kambium, vedvev, og marg. Margen er det vi finner i midten av stammen, og er vanligvis mykere enn veden rundt. Vedvevet består av forskjellige celler som danner vevstrukturen, og denne strukturen er tilpasset treets livsfunksjoner. Mellom vedvevet og silvevet ligger kambiet som en sylinder som driver treets tykkelsesvekst. Silvevet transporterer fotosynteseprodukter til treets vekstsoner fra kronen, mens barken har som oppgave å beskytte treet mot forskjellige angrep, og for å hindre uttørking.

Den viktigste faktoren for vurdering av treets fasthetsegenskaper, holdbarhet, impregnerbarhet, og andre egenskaper er densiteten. På grunn av at celleveggen hos alle treslag har så og si lik densitet, 1500 kg/m^3 , så er det andelen mellom cellevegg og cellehulrom som bestemmer densiteten til treet, men siden trevirke kan både ta til seg vann og avgi vann vil det være meningsløst å snakke om treets densitet uten å nevne treets fuktighet. (Sandaker, Sandvik, og Vik, 2019, s. 70 og 71)

For trevirke er det seks fastheter som er av interesse når man ser på tre som konstruksjonsmateriale. Strekkfasthet i fiberretning og på tvers av fiberretningen, trykkfasthet i fiberretning og på tvers av fiberretningen, bøyefasthet, og skjærfasthet. For strekkfastheten i fiberretning har det blitt målt en styrke opp mot 500 N/mm^2 , men dette er for små, feilfrie prøver. For konstruksjonsvirke, C24, er fastheten kun 14 N/mm^2 , dette er på grunn av at virkefeil som kvist og fiberhelning er svært ugunstig for strekk langs fiberretningen. (Bell, 2017, s. 61)

2.3.2 Laft og lafting

Lafting er en 1000 år gammel byggeteknikk, og som var den dominerende byggemetoden her i Norge helt frem til slutten av 1800-tallet. Noen av de eldste, bevarte laftehus eksemplene vi har her i landet daterer helt tilbake til 1200-tallet. Nå i vår tid brukes lafting nesten utelukkende kun i forbindelse med hyttebygging. (Thue, 2020)

Det som definerer laft er teknikken å sammeføye to tømmerstokker i et krysningspunkt. Selve prinsippet er å hugge stökkene slik at de kan settes sammen horisontalt. I Norge er det vanligste å benytte seg mest av gran, og ved noen tilfeller furu. Dette er på grunn av at disse tresortene vokser langt og rett.

Tømmerstokkene bør tørkes før bruk, slik at man kan unngå dimensjonsendringer ved endret fuktighet, og for å unngå råte og sopp. Tømmervegger burde helst skjermes for mye slagregn, for treet trenger mulighet til å tørke, og det fører til begrenset bestandighet ved konstant fukt. Dette er trolig hovedgrunnen til at laftede vegger er kledd med utvendig kledning på vestlandet og i Nord-Norge.

Ulike tradisjoner rundt om i landet har ført til ulike former på laftestokkene, det er i tillegg både håndlaft og maskinlaft. For moderne laftestokker er det vanlig at det blir saget på to parallelle sider til samme tykkelse, hvor fire, seks, og åtte tommer er vanlig. Kantede stokker som er sideskåret er det vanligste i dag, men ovale eller runde stokker blir også brukt av mange. Tømmerstokkene blir tilpasset hverandre ved å lage et u- eller v-formet hulkilspor, som kalles medfar. Dette blir gjort ved å benytte et redskap som heter meddrag. Dette verktøyet risser konturen av understokken inn i overstokken.

Et laftetbygg og laftede vegger kan ikke sammenlignes med bindingsverksvegg når det kommer til tetthet. Et laftetbygg vil ha en naturlig ventilasjon på grunn av at tømmeret ”puster”. Tykke tømmervegger kan gi bygget en jevn temperatur, samt beskyttelse mot kulde og varme. (Treteknisk, 2008)

2.3.3 Konstruksjonsvirke og limtre

Konstruksjonsvirke er trevirke som er sortert etter styrke for bruk som konstruksjonselementer, og de vanligste anvendelsene er takbjelker, taksperrer, og stendere. Det blir også brukt til limtre og takstoler. Fasthetsklassen til konstruksjonsvirke blir definert etter standarden NS-EN 338, og denne lister opp de karakteristiske egenskapene til de forskjellige fasthetsklassene. Konstruksjonsvirke kan bli sorter ved hjelp av maskiner eller det kan sorteres visuelt. Ved visuell sortering brukes sorteringsklassene T3, T2, T1, og T0, som tilsvarer C30, C24, C18, og C14 for gran og furu. Nummeret i fasthetsklassen til furu og gran tilsvarer bøyefastheten. (Treteknisk, 2007)

Limtre er et bearbeidet treprodukt som er satt sammen av fingerskjøtte bord eller lameller av styrkesortert virke som gjør det mulig å produsere bjelker av varierende form og lengde, og produsere tverrdimensjoner som ikke er mulig ved bruk av rent konstruksjonsvirke. Ved å sette sammen flere styrkesorterte lameller vil kvaliteten bli både høyere og jevnere for limtrebjelker. Ved limtre produksjon limes det to typer limtrebjelker, homogent og kombinert limtre. For homogent limtre benyttes lameller med samme kvalitet, mens kombinert limtre benytter seg av lameller av bedre kvalitet i de ytterste i tverrsnittet. (Bell, 2017,

s. 97 og 101)

2.3.4 Isolasjon

Isolasjon brukes til varmeisolerings av byggkonstruksjoner. Formålet med isolering er å redusere varme-gjennomganger i konstruksjonsdelene (Lorentzen og Årtun, 2018). Varmeenergi overføres fra gjenstander med høyere temperaturer, til gjenstander med lavere temperaturer. Ved bruk av isolering kan man derfor i større grad ta vare på varmeenergien på innsiden av huset (Ung Energi, u.å.). Det finnes mange ulike materialer man kan bruke til isolering av bygg. Denne oppgaven tar utgangspunkt i vanlig isolasjon med varmeledningsevne, lambda verdi, som er antatt å være på $0,037 \text{ W/(mK)}$ (Byggforsk 471.010, 2020).

2.4 Miljø

2.4.1 FN's Bærekraftsmål

I 2015 vedtok alle FN's medlemsland 17 bærekraftsmål. Målene innebærer å utrydde fattigdom, bekjempe ulikheter og stoppe klimaendringene innen 2030. Disse bærekraftsmålene er viktige i alle bransjer, også i byggbransjen. Her er det spesielt viktig å ta hensyn til hvordan det bygges og hva slags materiale som brukes i nye konstruksjoner. I tillegg til hvordan avfall håndteres slik at hele byggeprosessen, samt bruken av bygget, gir en bærekraftig gevinst. Derfor vil det i oppgaven legges vekt på hva slags energiforsyninger og materialer som brukes. Dette med tanke på hvor bærekraftige materialet er. Herunder hvordan materialet bidrar til at bygget holdes levende lenge og samtidig holder innsiden av bygget varmt. Relevante mål for byggingeniører i FN's bærekraftsmål er 9, 11 og 12 (FN, 2015).

Det første relevante bærekraftsmålet er mål nummer 9, som omhandler industri, innovasjon og infrastruktur. Delmål 9.4 er relevant for oppgaven. Delmålet innebærer blant annet å omstille næringslivet til å bli mer bærekraftig og med mer effektiv bruk av ressurser. I denne oppgaven vil det derfor diskuteres hvordan materialbruken kan reduseres, samtidig som lik effekt oppnås.

Det 11. målet handler om bærekraftige byer og lokalsamfunn. Her er delmål 11.6 relevant for denne rapporten. Dette delmålet omhandler å redusere den negative påvirkningen på miljøet. I denne oppgaven settes det derfor fokus på et mer energieffektivt bygg. Dette fordi et energieffektivt bygg reduserer behovet for energikilder, og har dermed en mindre negativ påvirkning på miljøet.

2.4.2 Tre og miljø

Ved riktig anvendelse er tre et bærekraftig materiale, og skogen kan høstes slik at kvaliteter og verdier bevares. Gjennom fotosyntesen blir CO₂ omdannet til biomasse mens treet vokser, og etter at treet brytes ned går CO₂ tilbake til karbonsyklusen. Ved å benytte skogen som konstruksjonsvirke og treprodukter kan denne syklusen forlenges, disse produktene kan da omtales som et karbonlager.

Trevirke og treprodukter kan også brukes til å erstatte CO₂-intensive produkter, som for eksempel sement, og treprodukter er også en av få byggematerialer som kan gi et negativt CO₂-utslipp. Den største delen av treprodukter i Norge blir produsert med bruk av norsk skog, og tilveksten av norsk skog er høyere enn bruken. Volum-tilveksten er bortimot det dobbelte av hogsten.

Produksjonen av trevirke og treprodukter er lite energi-krevende, og treet bakes og sages med verktøy og maskiner som har et moderat strømforbruk. Det er tørkeprosessen av treet som krever det største energiforbruket, det er på grunn av at det er viktig at treet tørkes riktig for å unngå skader på materialet. (Treteknisk, 2004)

2.5 Bygningsfysikk

2.5.1 Lekkasjetall

Ifølge Simien er lekkasjetall definert som målt luftlekkasje i m³ per time, dividert på det innvendige volumet i et bygg. Lekkasjetallet angis med enheten 1/h ved 50 Pa. Det kan også angis som antall luftvekslinger per time (Blom og Uvsløkk, 2012). Det er spesielt luftlekkasjer gjennom klimaskjermen som kan stå for betydelige deler av bygningens varmetap. Luftlekkasjer som er utilsiktede kan gi ukontrollert tilførsel av kald uteluft som er nødt til å varmes opp. Dette svekker derfor isolasjonsevnen til bygningskroppen, som gjør at varmetapet blir større og energibehovet øker. I bygninger med ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning, så kan luftlekkasjer gjennom klimaskjermen føre til at en betydelig del av luftutskiftingen skjer utenom varmegjenvinneren. Dette øker energibehovet til oppvarming (Byggforsk 520.401, 2013). I henhold til TEK17 kan ikke lekkasjetallet overstige 1,5 1/h luftveksling per time (DiBK,2018).

2.5.2 Kuldebro

En kuldebro er et begrenset parti av en bygningsdel som har vesentlig større U-verdi enn gjennomsnittet i bygningskroppen. Dette vil si at partiet har en dårligere varmeisolasjonsevne, og det vil derfor gå en sterk varmestrøm gjennom partiet. Kuldebroer kan føre til ulike negative effekter i et bygg. Dette gjelder blant annet at bygningens samlede varmetap øker, og i verste fall bygningstekniske skader. I denne oppgaven beregnes ikke kuldebroverdiene, men det er viktig å ta hensyn til hvordan dette kan påvirke konstruksjonen ((Thue, 2016, s. 222-223)). I beregningene brukes det en antatt standardverdi fra Simien på $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$.

2.5.3 U-verdi

U-verdi [$\text{W/m}^2\text{K}$] eller varmegjennomgangskoeffisient er et standardisert mål på hvor lett en bygningsdel slipper gjennom varme. U-verdien angir derfor hvor mye varme som strømmer gjennom et areal på 1 m^2 per tidsenhet, og per grad temperaturforskjell mellom omgivelsene på hver side av bygningsdelen. Varmestrømmen per tidsenhet måles i watt [W] og temperaturforskjellen måles i Kelvin ($\Delta\text{K} = \Delta^\circ\text{C}$) (Byggforsk serienr. 471.008, 2018). Metode for beregning av U-verdi beskrives nærmere i delkapittel 3.2.2 U-verdier for ikke-homogene sjikt.

2.5.4 Luftmengde

Konstruksjonen er avhengig av å ha tilstrekkelig nok luft gjennom ventilasjonsanlegget, for å sikre en god luftkvalitet inne i bygget. Det er nødvendig med ventilasjon i et bygg, for å kunne fjerne eller tynne ut forurensninger som på andre måter ikke kan unngås. Et ventilasjonsanlegg sørger derfor for at forurenset luft fjernes, og erstattes av filtrert uteluft. I og med at det finnes ulike kilder til forurensning, vil nødvendig luftmengde øke proporsjonalt med samlet forurensningstilskudd. Dette vil si at den nødvendige luftmengden vurderes ut ifra tre komponenter, hvor to av disse er relevante for oppgaven. Dette beregnes derfor med bakgrunn i antall personer, og luftmengde per areal. Dette summeres til nødvendig luftareal for bygningen (Arbeidstilsynet, 2006).

2.6 Kilder og referansebruk

Det er viktig med god og sikker kildebruk når det kommer til tekniske undersøkelser og forskning. Ved informasjonsinnhenting er det derfor viktig å filtrere bort usikre kilder, for å sikre god kvalitet på informasjonen. Det vil derfor bli brukt kilder som NS, TEK17 og Byggforskseriene. Alle disse kildene er basert på en mengde forskning, og er godt sikret. Disse antas derfor å være pålitelige.

Beregningene i oppgavene er hovedsaklig gjort etter metoder fra NS og Byggforsk. Som nevnt er dette pålitelige kilder, men det tas forbehold mot beregningsfeil fra håndberegninger. Konklusjonen blir skrevet ut ifra beregningene, og dersom arbeidet skal brukes videre må dette undersøkes slik at aktuelle verdier brukes i virkelige prosjekter.

3 Metode

Denne delen av rapporten tar for seg de ulike metodene som ble brukt for ulike beregninger på kulturbygget. Resultatet av disse beregningene brukes i evalueringer, som igjen bestemmer hvorvidt bygget blir godkjent i henhold til gjeldende regelverk. Disse beregningene innebærer blant annet utregning av laster som forekommer på kulturbygget, dimensjonering av bjelker og søyler, samt U-verdier og lekkasjetall.

Gruppen tar for seg lastberegninger og dimensjonering av bæresystemer med hjelp av håndberegninger etter dimensjoneringsprosedyrene utgitt av Standard Norge. Hvor komiteer av meget kvalifiserte fagfolk med tilknytning til fagmiljøet har utarbeidet disse standardene.

I denne oppgaven og ved disse beregningene ble følgende standarder brukt for å utføre dimensjoneringen:

- NS-EN 1990 (E0) Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner.
- NS-EN 1991-1-1 (E1-1) Laster på konstruksjoner; Del 1-1: Allmenne laster: Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger.
- NS-EN 1991-1-3 (E1-3) Laster på konstruksjoner; Del 1-3: Allmenne laster: Snølaster.
- NS-EN 1991-1-4 (E1-4) Laster på konstruksjoner; Del 1-4: Allmenne laster: Vindlaster
- NS-EN 1995-1-1 (E5) Prosjektering av trekonstruksjoner; Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger.
- NS-EN 1995-1-2 Prosjektering av trekonstruksjoner; Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering.

Standardene er delt inn i flere forskjellige kategorier og spesifikke situasjoner så det vil derfor ikke være aktuelt å bruke alt som blir nevnt i disse standardene for å løse denne oppgaven.

Gruppen tar også for seg 4 ulike scenarioer ("*cases*") for beregninger av de ulike verdiene, nevnt innledningsvis. Det første scenarioet (case 1) innebærer at bygget er totalt uisolert, og bygget i laft. Det andre scenarioet (case 2) innebærer å bruke materialet laft, men med isolasjon i taket. Her er det ingen isolasjon i vegger. Det tredje scenarioet (case 3) tar for seg at bygget er bygget i laft, med isolasjon i både tak og vegger. Mens det fjerde scenarioet (case 4) innebærer at bygget bygges ut med vanlig bindingsverk, og kledd i et materiale som likner på laft. Her er det isolasjon i både taket og veggene.

3.1 Lastberegninger og dimensjonering

3.1.1 Laster

Ved dimensjonering av forskjellige bæresystemer som bjelker og søyler må det først dimensjoneres hvilke ulike laster som kommer til å påvirke bygget og de ulike komponentene i ulike situasjoner. Disse dimensjonerende situasjonene, eller grensetilstandene, velges slik at de ulike komponentene eller konstruksjonene skal klare å bevare sin funksjon under de ulike forholdene som kan ramme bygget. (Standard Norge, 2019)

De ulike lastene som påvirker konstruksjonen blir kombinert avhengig av hvilken dimensjonerende situasjon som blir benyttet, men skal velges slik situasjonene skal være så variert og alvorlig at de dekker alle forhold som kan forventes under bruk og utførelse. (Standard Norge, 2019)

Med tanke på at denne oppgaven kun tar for seg tak og vegger vil det kun være egenlaster, snølast, og vindlaster som blir aktuelle for disse konstruksjonene. Det vil derfor ikke være nødvendig, eller logisk, å ta med nyttelast.

3.1.2 Egenlast

Egenlaster blir dimensjonert etter NS-EN 1991-1-1, og her medregnes konstruksjonen og ikke-bærende deler som egenlast. I dette tilfelle vil ikke-bærende deler være kledning, varmeisolasjon, og taktekningsmaterialer. I denne oppgaven blir det benyttet verdier fra bladet 471.031 fra byggforskserien, et blad som viser tyngdetettheten for de vanligste bygningsdelene og byggematerialene. Dette bladet fra byggforskserien baserer seg på de ulike standardene fra Standard Norge.

3.1.3 Snølast

I store deler av landet vil det komme snø i løpet av vinterhalvåret, som vil påvirke den aktuelle lasten på konstruksjonene. Denne lasten vil avhenge, og kan variere sterkt, av hvor man befinner seg i Norge, hvor mange meter over havet man befinner seg, og avhenge av nærliggende natur og terreng.

Snølast på mark sier noe om hvor mye snø man kan forvente i en bestemt kommune i Norge. I nasjonalt tillegg NA:2018 har Standard Norge kommet med en liste med de ulike verdiene for snølast på mark for hver kommune her i landet. Den karakteristiske snølasten på mark, s_k , angir antatt snølast på mark med 50 års returperiode. Om høydegrensen H_g er større eller lik den aktuelle høyden for stedet vil s_k være lik

grunnverdien s_{k0} .

Men ved tilfeller der $H > H_g$ bestemmes s_k etter likningen:

$$s_k = s_{k0} + n \Delta s_k \quad [kN/m^2] \quad (3.1)$$

Der

$$n = \frac{H - H_g}{100} \quad (3.2)$$

Hvor n rundes oppover til nærmeste heltall, og hvor $s_k = s_{k,max}$ dersom $s_k > s_{k,max}$.

Og hvor alle verdiene er å finne i tabell NA.4.1(901), verdt å merke seg at tabellen viser kommunene før sammenslåingen 1. januar 2020.

Lasten s_k blir der etter benyttet for å finne den dimensjonerende lasten på bygges tak. Hvor takets form, termiske egenskaper, nærheten til tilgrensende bygninger, og lignende er med på å avgjøre den dimensjonerende lasten på taket. Snølast på tak bestemmes da etter følgende likning:

$$s = \mu_i C_e C_t s_k \quad [kN/m^2] \quad (3.3)$$

Hvor μ_i er snølastens formfaktor, hvor C_e er eksponeringskoeffisienten, og hvor C_t er den termiske koeffisienten. Begge koeffisientene kan settes lik 1, noe som blir gjort i denne oppgaven.

For alle tak med en takvinkel $\alpha \leq 30^\circ$ vil μ_i være lik 0,8, for $\alpha \geq 60^\circ$ vil μ_i være lik 0. For en takvinkel $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ blir formfaktoren bestemt med likningen:

$$\mu_i = 0,8 \frac{60^\circ - \alpha}{30^\circ} \quad (3.4)$$

Disse verdiene forutsetter at snøen ikke hindres i å skli ned fra taket, ved bruk av snøfanger blir formfaktoren satt lik 0,8.

I denne oppgaven vil det også være nødvendig å ta for seg situasjonen der det kan komme snø fra tak på høyere byggverk. Med tanke på at taket til tårnet ligger høyere enn nærliggende tak. Hvor tilfelle 2 er mest aktuelt, som gir en formfaktor lik:

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w \quad (3.5)$$

For tak med en vinkel $\alpha > 15^\circ$ bestemmes μ_s ut i fra at 50% av lasten fra det høyereliggende faller ned på det underliggende taket. Og μ_w bestemmes etter likningen:

$$\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2h} \leq \gamma \frac{h}{s_k} \quad (3.6)$$

Hvor γ er snøens tyngdetetthet, hvor b_1 og b_2 er bredden på de forskjellige takkonstruksjonene, og hvor h er høyden fra det underliggende taket til taket som ligger over. Det er anbefalt at μ_w ikke skal ha en verdi under 0,8 og skal ikke ha en verdi over 4. (Standard Norge, 2018)

3.1.4 Vindlast

Vindlastene beregnes etter NS-EN 1991-1-4. Vindlasten er en last som ofte kun oppstår noen timer av gangen, og hvor toppverdiene kun varer i noen sekunder. Dette er vesensforskjell fra egenlasten, som er en permanent last på konstruksjonen, og snølasten, som kan være en halvårslast. Men i likhet med snølasten så varierer vindlasten med terrengets ruhet og vindlasten varierer også med høyden over bakken.

For å beregne vindlasten på et tak må man starte med å finne stedsvindhastighet. Dette blir gjort ved å benytte seg av likningen:

$$v_b = c_{dir} c_{season} c_{alt} c_{dir} v_{b,0} \quad [m/s] \quad (3.7)$$

Den formelen finner basisvindhastigheten, og kan deretter bli benyttet til å finne stedsvindhastigheten:

$$V_m(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) v_b \quad [m/s] \quad (3.8)$$

Faktorene c_{dir} og c_{season} kan bli satt lik 1, mens c_{alt} og c_{prob} avhenger av konstruksjonens returperiode og hvor høyt konstruksjonen ligger over havet. Referansevindhastigheten, $v_{b,0}$, kan bli funnet i tabell NA.4(901.1). Denne tabellen viser referansevindhastigheten for Norges kommuner før sammenslåingen 1. januar 2020. k_r er terrengruhetfaktoren, og kan bli funnet i tabell NA.4.1, sammen med z_0 som er ruhetlengden. Disse to verdien avhenger av terrengruhetkategorien. Faktoren z er høyden over terrenget.

Med hjelp av stedsvindhastigheten kan man finne vindkasthastighetstrykket:

$$q_p(z) = k_w v_b^2 \quad [N/m^2] \quad (3.9)$$

Hvor k_w kan bli funnet med hjelp av likningen:

$$k_w = 0,625 \left(k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \right)^2 \left(1 + \frac{7}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \right) \quad (3.10)$$

Med disse faktorene og likningene har man nå funnet den aktuelle vindkasthastighetstrykket for konstruksjonens sted. For å finne den aktuelle vindkasthastighetstrykket på taket må man benytte seg av faktoren $c_{pe,10}$. Denne faktoren avhenger av takform og takvinkel, og kan bli funnet i tabell 7.2, 7.3a og 7.3b, 7.4a og 7.4b, eller 7.5. Denne faktoren, $c_{pe,10}$ avgjør også om vindlasten blir trykk eller sug. (Standard Norge, 2009)

3.1.5 Lastkombinering

Lastkombineringen avhenger av den dimensjonerende situasjon, hvor det er tre tilfeller som er aktuelle for denne oppgaven. Lastkombinering i bruddgrensetilstand, bruksgrensetilstand, og i ulykkestilstand, dette tilfelle brann, og disse blir dimensjonert etter NS-EN 1990. Bruddgrensetilstand er av betydning for menneskers sikkerhet og/eller konstruksjonens sikkerhet, mens bruksgrensetilstand har betydning for menneskers komfort, konstruksjonens utseende, og konstruksjonens funksjonsdyktighet ved vanlig bruk. For bruksgrensetilstand skilles det også mellom reversible og irreversible tilstander.

For brudd i konstruksjons elementer brukes likning 6.10a:

$$1,35 G_{gj,sup} + 1,5 \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} 1,5 \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (3.11)$$

Eller 6.10b:

$$1,20 G_{gj,sup} + 1,5 Q_{k,1} + \sum_{i>1} 1,5 \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (3.12)$$

Hvilken likning man bruker avhenger av hvilken likning som gir størst verdi. For trekonstruksjoner er det ofte 6.10b som blir brukt.

Bruksgrensetilstand brukes ofte ved kontroll av nedbøyning av bjelker, og her benytter man seg av likning 6.14b for irreversible grensetilstander:

$$G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{0,i} \quad (3.13)$$

Eller 6.15b for reversible grensetilstander:

$$G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (3.14)$$

Eller 6.16b for langtidsvirkninger eller utseende:

$$G_{k,j} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (3.15)$$

Hvilken likning som skal brukes avhenger av lastsituasjonen og konsekvenser.

Ved ulykkestilstand, brann, brukes likning 6.11b:

$$G_{k,j} + (\psi_{1,1} \text{ eller } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (3.16)$$

I alle grensetilstand likningene blir det brukt de samme faktorene. G er egenlasten eller permanent last, $Q_{k,1}$ er dominerende variabel last, mens $Q_{k,i}$ er øvrige variable laster. $\psi_{i,i}$ er kombinasjonsfaktorer eller sannsynlighetsfaktorer, og alle disse faktorene kan bli funnet i tabell NA.A1.1. (Standard Norge, 2016)

3.1.6 Dimensjonering av trekonstruksjoner

Ved dimensjonering av konstruksjoner eller konstruksjonselementer av tre blir det brukt NS-EN 1995-1-1 og NS-EN 1995-1-2. Ved dimensjoneringen blir det brukt de forskjellige karakteristiske fasthetene til treet, i og med at tre er et anisotrop materiale vil man få forskjellige fastheter avhengig av hvilken retning man ser på. Noe som er det motsatte av stål som er et isotropt materiale.

De dimensjonerende fasthetene blir brukt til å sammenligne med de oppstående spenningene i konstruksjonen fra de dimensjonerende lastene. Dette blir da utnyttet til å omgjøre formler og likninger til å benytte seg av dimensjonerende kreftene til å finne det minste nødvendige tverrsnitt på konstruksjonselementene. De dimensjonerende lastene som blir benyttet er de som ble funnet ved de forskjellige lastkombinasjonene.

3.1.7 Kontroll for moment

For moment/bøyning skal likning 6.11 være oppfylt:

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d} \quad (3.17)$$

Hvor $\sigma_{m,y,d}$ er dimensjonerende bøyespenning om hovedasken, og $f_{m,y,d}$ er den tilhørende dimensjonerende bøyefastheten.

Denne likningen kan utnyttas til å finne en likning for det minste motstandsmomentet bjelken trenger:

$$W_{min} \geq \frac{M_d}{f_{m,y,d}} \quad (3.18)$$

M_d er det dimensjonerende momentet, mens W_{min} er minimum motstandsmoment. Men minimum motstandsmoment kan man finne det nødvendige tverrsnittet på bjelken, enten ved å regne det ut eller ved å finne det i en tabell. (Standard Norge, 2010)

3.1.8 Kontroll for skjær

For skjær skal likning 6.13 være oppfylt:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (3.19)$$

Hvor τ_d er den dimensjonerende skjærspenningen, og $f_{v,d}$ er den dimensjonerende skjærfastheten under de faktiske forholdene.

Denne likningen kan omgjøres slik at man kan finne nødvendig tverrsnittsareal som kan bære den opptredende lasten. For konstruksjonsvirke brukes:

$$A_{konstruksjonsvirke}^{min} \geq \frac{9}{4} \frac{V_{z,d}}{f_{v,d}} \quad (3.20)$$

Og for limtre brukes:

$$A_{limtre}^{min} \geq \frac{15}{8} \frac{V_{z,d}}{f_{v,d}} \quad (3.21)$$

Hvor $V_{z,d}$ er den opptredende skjærkraften. Grunnen til at man får ulike likninger for konstruksjonsvirke og limtre er på grunn av at faktoren k_{cr} , som er sprekkfaktoren, er forskjellig for limtre og konstruksjonsvirke. (Standard Norge, 2010)

3.1.9 Kontroll for nedbøyning

For utregning av nedbøyning avhenger det av hva slags last som angriper bjelken. For en jevnt fordelt last blir likningen for nedbøyning slik:

$$\delta_m = \frac{5 q_d l^4}{384 EI} \quad [mm] \quad (3.22)$$

Hvor q_d er den dimensjonerende lasten i bruksgrensetilstand, l er lengden til bjelken, E er elastisitetsmodulen

til materialet, og I er treghetsmomentet til tverrsnittet.

For en bjelke hvor lasten angriper som en punktlast til siden for midten av bjelken blir likningen for nedbøyning slik:

$$\delta_m = \frac{P_d b (3l^2 - 4b^2)}{48 EI} \quad [mm] \quad (3.23)$$

Hvor P_d er den dimensjonerende punktlasten, b er lengden til nærmeste opplager fra punktlasten. Disse formlene finner nedbøyning på midten ($l/2$) av bjelken. (Haugan, 2017, s. 102 og 104)

3.1.10 Kontroll for søyleknekking

For søyleknekking og aksialkapasitet med trykk i fiberretningen skal likningen 6.2 være oppfylt:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,i} f_{c,0,d} \quad (3.24)$$

Hvor $\sigma_{c,0,d}$ er opptredene spenning, $f_{c,0,d}$ er dimensjonerende fasthet, og $k_{c,i}$ er en spenningsreducerende faktor som avhenger av slankheten til søylen.

$k_{c,i}$ finner man med hjelp av formelen:

$$k_{c,i} = \frac{1}{k_i + \sqrt{k_i^2 - \lambda_{rel,i}^2}} \quad (3.25)$$

der:

$$\lambda_{rel,i} = \frac{\lambda_i}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (3.26)$$

hvor:

$$\lambda_i = \frac{L_k}{i_i} \quad (3.27)$$

Og for å finne k_i må man bruke likningen:

$$0,5 \left(0,97 + 0,1 \cdot \lambda_{rel,i} + \lambda_{rel,i}^2 \right) \quad (3.28)$$

Der L_k er søylens kneklengde, $E_{0,05}$ er 50% fraktilen av elastisitetsmodulen i fiberretningen, i_i er treghetsradius, og $f_{c,0,k}$ er karakteristisk trykkfasthet i fiberretning. (Standard Norge, 2010)

3.1.11 Kontroll for trykk på tvers av fiberretning

For trykk vinkelrett på fiberretningen skal likning 6.3 være oppfylt:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} \quad (3.29)$$

Hvor:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \quad (3.30)$$

Der $\sigma_{c,90,d}$ er den dimensjonerende trykkspenningen vinkelrett på fiberretningen, $F_{c,90,d}$ er den dimensjonerende trykklasten, A_{ef} er den effektive kontaktflaten, $f_{c,90,d}$ er dimensjonerende trykkfasthet vinkelrett på fiberretningen, og $k_{c,90}$ er en faktor som tar hensyn til splitting, trykkdeformasjon, og lastkonfigurasjon. Faktor $k_{c,90}$ avhenger om det er massivt bartrevirke eller om det er limtre, og det avhenger også om konstruksjonen hviler på et enkeltopplegg eller et kontinuerlig opplegg. (Standard Norge, 2010)

3.1.12 Kontroll for brann

For denne oppgaven ble det brukt redusert tverrsnitt”metoden for å dimensjonere for brann. Ved dimensjonering for brann blir laster i ulykkesgrensetilstanden benyttet. For å kunne benytte seg av redusert tverrsnitt”metoden må man finne den riktige brannmotstanden for hoved- og sekundærbæresystem. Før å finne riktig brannmotstand må man finne risikoklasse og brannklasse for konstruksjonen.

I Tek 17 under paragraf 11-2 tabell 1 kan man finne den tilhørende risikoklassen for ulike virksomheter. Ut ifra den tilhørende risikoklassen og antall etasjer kan man der etter finne den tilhørende brannklassen for konstruksjonen under paragraf 11-3 tabell 1.

Etter man har funnet riktig brannmotstand kan man benytte seg av likning 4.1 i NS-EN 1995-1-2:

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 d_0 \quad [mm] \quad (3.31)$$

Der

$$d_{char,n} = \beta_n t \quad (3.32)$$

$$d_0 = 7mm \quad (3.33)$$

$$k_0 = \frac{t}{20} \quad (3.34)$$

t er tiden bæresystemet skal holde i et brannforløp før det oppstår brudd. Etter at d_{ef} har blitt funnet skal høyden og bredden bli trukket fra med denne verdien avhengig av hvor mange av sidene på konstruksjonselementet som blir utsatt for brann. (Standard Norge, 2010)

3.1.13 Laftet vegg

For laftede vegger blir det vanligvis ikke utført statiske beregning av bæreevne. Det blir som regel dimensjonert utfra erfaring og vurderinger, og det står derfor ingenting om dimensjonering av laft i NS-EN 1995-1-1. Men for smale partier mellom veggåpninger kan en lafte stoff bli dimensjonert etter NS-EN 1995-1-1 som om det var en vanlig bjelke. (Byggforsk, 2019)

Benytter også formlene for trykk på tvers av fiberretningen, for en sjekk av den laftede veggen med tanke på at vi vil få krefter som angriper fra taket, og dermed få et trykk tvers på fiberretningen.

3.2 Evalueringer i Simien

Denne delen av rapporten tar for seg de ulike metodene som må gjennomføres, for å kunne iverksette evalueringer av konstruksjonen. For at evalueringen skal gi et godt vurderingsgrunnlag, er det essensielt med gode verdier og antagelser. Dette gjelder blant annet for areal, U-verdi, klimadata, energiforsyning, ventilasjon, oppvarming og internlast.

3.2.1 Arealberegninger

For å kunne gjennomføre de ulike evalueringene, er det viktig med gode arealberegninger av de ulike overflatene i konstruksjonen. Dette gjelder blant annet for gulvet, veggene, vinduene, dørene og taket. Beregningene har blitt gjort i Excel, men i enkelte tilfeller er det benyttet AutoCAD-funksjoner for beregning av areal. Med unntak av disse har arealet blitt regnet ut etter følgende formel:

$$A = b \cdot h \quad (3.35)$$

der b er overflatens bredde og h er overflatens høyde.

Denne formelen har blitt brukt for beregninger av arealet til veggene, dørene og vinduene. AutoCAD-funksjonene har blitt brukt til å beregne arealene av overflatene på taket, samt veggarealene på overflatene i tårnet.

3.2.2 U-verdier for ikke-homogene sjikt

Beregningene av U-verdiene ble gjennomført i henhold til eksempel 4.19 i Bygningsfysikk Grunnlag (Thue, 2016, s. 219). I og med at det er ulike scenarioer det tas stilling til, må disse beregnes på ulike måter.

For å finne U-verdien må man først finne varmemotstanden for alle sjikt gjennom konstruksjonen. Konstruksjonen består i dette tilfelle av både homogene og ikke-homogene sjikt. For enkelte sjikt er varmemotstanden oppgitt. Dette gjelder blant annet når det kommer til vindsperre og dampspærre. I disse tilfellene er verdiene relativt lave. I tillegg tas det hensyn til varmeovergangsmotstander for innvendige og utvendige sjikt. Disse har en liten effekt på helhetsresultatet. Metoden er delt opp i to forskjellige utregninger. Den ene går ut på å beregne en nedre grenseverdi (U-metoden), mens den andre beregner øvre grenseverdi (Lambda-metoden). Deretter finnes U-verdien som middelveiden av den nedre og øvre grenseverdien.

Varmeovergangsmotstand

Varmeovergangsmotstanden for innvendig og utvendige sjikt er oppgitt i tabell 42 i Byggforskserien med serienr. 471.008. Denne serien omhandler beregning av U-verdier etter NS-EN ISO 6946. Tabellen er vist nedenfor i figur 3.1. I alle beregningene er det antatt at varmestrømsretningen er oppover, derfor blir det brukt i beregningen at R_{si} er $0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$ og R_{se} er $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Tabell 42
Varmeovergangsmotstander i henhold til NS-EN ISO 6946

Overflate	Varmeovergangsmotstand (m^2K/W)		
	Varmestrømsretning		
	Oppover	Horisontalt ¹⁾	Nedover ²⁾
Innvendig (R_{si})	0,10	0,13	0,17
Utvendig (R_{se})	0,04	0,04	0,04
Utvendig, inkludert ventilert kledning	0,10	0,13	0,17

¹⁾ Horisontalt gjelder varmestrømsretninger som ikke avviker mer enn 30° fra horisontalplanet.

²⁾ Brukes også på undersiden av gulvkonstruksjoner mot uoppvarmet/kald kjeller og uventilert kryperom

Figur 3.1: Tabell 42, hentet fra Byggforsk, 2018.

Homogene sjikt

Formelen for varmemotstand gjennom homogene sjikt er vist i likning 3.36, hvor:

d er materialsjiktets tykkelse [m]

λ_d er materialets dimensjonerende varmekonduktivitet [$W/(mK)$]

$$R = \frac{d}{\lambda_d} \quad [m^2K/W] \quad (3.36)$$

Total varmemotstand for homogene sjikt, med varmeovergangsmotstand for innvendig og utvendig sjikt er gitt i formel 3.37.

$$R_{hom} = R_{se} + R_1 + \dots + R_n + R_{si} \quad (3.37)$$

Der:

R_{si} er varmeovergangsmotstanden på innvendig side

$R_1, R_2 \dots R_n$ er varmemotstandene for hvert sjikt

R_{se} er varmeovergangsmotstanden på utvendig side

U-metoden

For å finne den nedre grenseverdien for U-verdi benyttes "U-metoden", også kjent som metoden for "varmetette skotter". Denne metoden går ut på å dele konstruksjonen opp i mindre deler der den består av flere materialer i samme sjikt. Dette er for å skape en homogen konstruksjon. Deretter summeres

varmemotstanden til de ulike delene, og gir den totale varmemotstanden R . Denne oppgaven vil kun ta for seg tilfeller der isolasjon og trevirke ligger i samme sjikt. Dette fører til to beregninger av varmemotstanden R :

Først beregnes varmemotstanden for tre. Dette gjøres ved å dividere materialsjiktets tykkelse på materialets dimensjonerende varmekonduktivitet, som vist i ligning 3.38.

$$R_{tre} = \frac{d_{tre}}{\lambda_{tre}} \quad (3.38)$$

Den totale varmemotstanden gjennom trestendere blir så:

$$R_t = R_{hom} + R_{tre} \quad (3.39)$$

Varmemotstand for isolasjon beregnes på samme måte:

$$R_{iso} = \frac{d_{iso}}{\lambda_{iso}} \quad (3.40)$$

Den totale varmemotstand gjennom isolasjonen blir så:

$$R_i = R_{hom} + R_{iso} \quad (3.41)$$

U-verdi for den nedre grenseverdien til konstruksjonen er derfor gitt av ligningen:

$$U_U = \frac{L_{iso}/L}{R_i} + \frac{L_{tre}/L}{R_t} \quad (3.42)$$

der $L_{materiale}/L$ er andelen av materialet,
 $L_{materiale}$ er lengden av materialet i avgrenset område,
 og L er senteravstand.

Lambda metode

Metoden for å finne den øvre grenseverdien kalles "Lambda-metoden". Ved beregninger med denne metoden blandes isolasjonen og treet til ett materiale, en såkalt legering. Det vil si at man finner den legerte varmemotstandsverdien for begge materialene som befinner seg i det samme sjiktet. Denne verdien brukes videre sammen med total varmemotstand for homogene sjikt (likning 3.37), for å beregne den totale varmemotstanden til konstruksjonen, og deretter U-verdien.

Først finner man varmemotstanden for hver del, som vist i likning 3.38 og 3.40. Dette brukes til å finne en legert varmemotstand, på følgende måte:

$$R_{leg} = \frac{1}{\frac{L_{tre}/L}{R_{tre}} + \frac{L_{iso}/L}{R_{iso}}} \quad (3.43)$$

Dette brukes videre til å finne varmemotstanden for de samlede materialene, R_{leg} :

$$R_{leg, tot} = R_{leg} + R_{hom} \quad (3.44)$$

Videre brukes den legerte varmemotstanden, til å finne den øvre U-verdien:

$$U_{\lambda} = \frac{1}{R_{leg, tot}} \quad (3.45)$$

Endelig U-verdi

U_U og U_λ er de teoretiske nedre og øvre grenseverdiene. Dette vil si at den reelle verdien vil ligge et sted mellom disse to. En god tilnærming vil derfor være middelveiden mellom den nedre og øvre U-verdien. Dette gjøres på følgende måte:

$$U = \frac{U_U + U_\lambda}{2} \quad (3.46)$$

3.2.3 U-verdi for vegger

Denne delen av oppgaven tar for seg tre ulike typer vegger. Herunder vegg i bare laft, laft med isolasjon og bindingsverk med kledning i 2" laft. TEK17 beskriver i §14-3-1-a at U-verdien i yttervegger bør være 0,22 W/m²K eller mindre for alle bygninger, med unntak av boligbygg og fritidsboliger i laft. Konstruksjonen må derfor tilfredsstillе kravene i første ledd, bokstav a.

Vegg i laft

I første og andre case består veggkonstruksjonen av kun laft. U-verdien for 6" uisolert laft er hentet fra Byggforskserien med serienummer 471.431. (Byggforsk, 2013)

Vegg i laft med isolasjon

I tredje case er veggen bygget opp av 6" laft, vindspærre, isolasjon (250mm) med stendere (223mm), dampspærre og innvendig kledning. Den innvendige kledningen er antatt å være 2" laft. Materialrekkefølgen er satt opp etter forslag fra ROCKWOOL (ROCKWOOL, u.å.). Den eneste modifikasjonen er stendere i isolasjonssjiktet. U-verdiene for denne veggkonstruksjonen har blitt regnet ut for hånd, ved hjelp av Excel. Her ble metoden for ikke-homogene sjikt brukt, for å komme frem til en mest mulig presis U-verdi. I beregningene ble det sett bort ifra effekten av vindspærren og dampspærren, da disse har en liten påvirkning på U-verdien. U-verdien har blitt beregnet med følgende antatte lambdaverdier:

- Laft - 0,126 W/(mK)
- Isolasjon - 0,0037 W/(mK) Hentet fra Byggforsk, 471.010

- Trevirke - 0,12 W/(mK) Hentet fra Byggforsk, 471.010

Lambdaverdien for laft har blitt beregnet ved hjelp av U-verdi beregning, motsatt vei. Hvor U-verdien som har blitt brukt i beregningen ligger på 0,84 W/(m²K) og er hentet fra Byggforsk, 471.431.

Bindingsverk med laft

I fjerde case er veggene bygget opp av 2" laft i utvendig kledning, utlekting og sløyfer, vindsperre, isolasjon (250mm) med stendere (223mm), dampsperre og innvendig kledning i 2" laft. Materialkonstruksjonen er satt opp etter modell fra ROCKWOOL sine sider kalt "Konstruksjonsprinsipp - yttervegg med stendere" (ROCKWOOL, u.å.). I likhet med avsnittet over er disse U-verdiene beregnet for hånd, ved hjelp av Excel. Her har metoden for ikke-homogene sjikt blitt brukt for å regne ut en så presis U-verdi som mulig. Her ble også effekten av vindsperren og dampsperran sett bort ifra. Varmemotstand for luftsjikt er antatt å være 0,15 m²·K/W (Byggforsk 471.008, 2018). U-verdien ble beregnet med samme antatte lambdaverdier for laft, isolasjon og trevirke som i case for vegg i laft med isolasjon.

3.2.4 U-verdi for taket

Kulturbygget innehar et stort tak, som har ulike krav for å kunne godkjennes. I henhold til regelverket i TEK17 bør U-verdien være 0,18 W/m²K eller lavere. Verdiene for U-verdiene har blitt beregnet ved hjelp av to ulike metoder. Den første metoden som brukes for uisolert tak, er vanlig U-verdi. Den andre metoden hvor det er isolering i taket, er metoden for ikke-homogene sjikt.

Tak uten isolasjon

I første case er takkonstruksjonen i kulturbygget uisolert. Dette vil si at taket består av taktekking, undertak, oppføring, vindsperre og stendere. Stenderne er oppført i nødvendige lengder for å holde konstruksjonen som ble beregnet i dimisjoneringsdelen av oppgaven. I konstruksjonen finnes det 2 ulike størrelser på disse, som er 198 mm og 173 mm i lengde. Det finnes 3 forskjellige bredder på henholdsvis 98 mm, 61 mm og 48 mm.

For beregning av denne konstruksjonen, har det blitt benyttet en standard beregning av U-verdi for alle takflater. Her finnes varmemotstanden for de enkelte sjiktene. Disse summeres til en total varmemotstand, som brukes for å finne U-verdien etter ligningen $U = 1/R_{tot}$. U-verdien ble beregnet med en antatt lambdaverdi for innvendig kledning på $0,126 \text{ W}/(\text{mK})$, og tekking av plater med undertak med en antatt varmemotstand på $0,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$. Varmemotstand for luftsjikt er antatt å være $0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ (Byggforsk 471.008, 2018).

Tak med isolasjon

I hele tre av de fire casene er taket konstruert med isolasjon. Takkonstruksjonen består da av taktekking, undertak, oppføring, vindsperre, det er også to som består av sjikt av isolasjon (250mm) og stendere (223mm), en dampspærre og innvendig kledning. I beregningen av U-verdien til denne type konstruksjon sees det bort ifra oppføring, vindsperre og dampspærre. Dette er på grunn av liten påvirkningen på U-verdien.

I og med at taket ikke krever like stor bredde på alle stendere, brukes den minste nødvendige bredden på disse. Dette fører til 4 forskjellige beregninger av U-verdi. U-verdiene endrer seg med andelen av trevirke i sjiktet. I disse konstruksjonene er det fra 16,33 %, til 6,86 % trevirke. En annen faktor som påvirker U-verdien er senteravstanden på takkonstruksjonen. En av disse har en senteravstand på 700mm, og ikke 600mm. Lambdaverdier og varmemotstand verdier brukt i beregningene er lik som for uisolert tak og vegger.

3.2.5 U-verdi for gulvet

Når det kommer til gulvet i kulturbygget, så har ikke U-verdien blitt regnet ut på egenhånd. Det er brukt standard verdier som finnes i Simien. Konstruksjonen består av et 200-250 mm betongdekke og 400mm med isolasjon, hvor 150mm befinner seg over dekket. Kravet i henhold TEK17 §14-3 første leff bokstav a er $0,18 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ eller mindre. Konstruksjonen i Simien har en U-verdi på $0,09 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$.

3.2.6 U-verdier for vinduer og dører

Det har ikke blitt beregnet U-verdier for vindu- eller dørelementene i bygget. U-verdiene til vinduene har blitt funnet ut ifra spesifikasjonene på de som er valgt. I bygget skal det plasseres totalt 22 vinduer, og spesifikasjonene til disse ligger under egenskaper til produktet på leverandørens sider (Bygghjemme.no, 2021). U-verdien på disse ligger da på $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Dørene som er valgt, er hentet fra Simien. Hoveddøra befinner seg i vest. Denne er 1,96m bred og 2,34m høy. Det er i tillegg en dør mot sør, som har mål på 1,2m bredde og 2,19m høyde.

Dørene har en standard verdi som ligger på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ som er en standard verdi for godt isolerte dører i Simien.

3.2.7 Simien-beregning

Klimadata og bygningskategori

Bygget regnes som et kulturbygg, og skal bygges på et fjell. Fjellet det skal bygges på heter Syltefjellet, og plasseringen er valgt i omtrent 330 til 340 meter over havet. I Simien er det derimot få valgmuligheter for byggplasseringer, så det ble valgt den nærmeste muligheten. Området i Simien er valgt til Åndalsnes, som ligger omtrent 56km unna kommunen bygget faktisk skal bygges i. Når bygget skal evalueres mot byggeforskrifter og energimerker, vil programmet benytte klimadata fra Oslo.

I Simien finnes det klimadata som er listet opp for området. Her er det spesifisert at middeltemperaturen på sommeren er $16 \text{ }^\circ\text{C}$ og på vinteren er den $-15,6 \text{ }^\circ\text{C}$. Når det kommer til kulturbygg er det en rekke krav som stilles for at bygget skal kunne driftes etter dagens regler. Herunder stilles det blant annet krav om at driftstiden til bygget er 11 timer om dagen, 5 dager i uken i 52 uker. Det er dette som blir tatt med i beregningene når bygget vurderes i henhold til evalueringen, mot TEK17.

Energiforsyning

Det er ingen andre som benytter seg av Syltefjellet på liknende måte, og det er derfor ingen tilrettelagte energikilder tilgjengelig. Dette ville det eksempelvis vært dersom plasseringen for bygget var i en by eller bygd. Det er derfor tatt utgangspunkt i bruk av biobrensel og solenergi. Med biobrensel menes det vedfyring, som i hovedsak brukes til oppvarming av romarealet. Årsaken til at solenergi spiller en viktig

rolle er grunnet byggets plassering på fjellet, som gir gode solforhold. Her er det derfor tenkt å bruke solcellepaneler, slik at solenergien står for elektrisiteten som brukes til innvendig belysning og ventilasjon.

I oppgaven vil det ikke bli sett på virkningsgraden av disse energikildene, da disse bare er forslag. Datakildene er derfor satt til å være standard fra Simien. Dekningsgraden er justert med tanke på hva disse to ulike kildene skal dekke. Det vil ikke bli satt opp solceller i Simien. Det vil heller ikke bli beregnet tilskudd fra denne energikilden, for å se hva som skal til for å dekke behovene til bygget når det gjelder energiforsyning.

Sone

I Simien er man nødt til fylle ut informasjon om byggets soner. Dette innebærer blant annet størrelse på sonens bruksareal, sonens oppvarmede volum, infiltrasjon, grad av møblering i sonen, driftsdager og kuldebroer. Dette er fylt ut på følgende måte:

Sonens bruksareal har blitt beregnet ut ifra gulvets areal. I og med at bygget kun består av et rom, er det kun definert én sone. Metoden er blitt beskrevet tidligere i kapitlet, under delkapittel 3.2.1 Arealberegninger. Volum har blitt beregnet ved hjelp av AutoCAD.

Bygningens lekkasjetall (N_{50}) beregnes ved å dividere lekkasjeluftmengden på oppvarmet volum. Lekkasjetallet brukes blant annet som en inngangsverdi ved energiberegning, i tillegg til at det sammenliknes med forskriftskrav. I og med at lekkasjeluftmengden fysisk må måles i en bygning, er det brukt antatt lekkasjetall for bygget.

- Case 1 - 2,5 (N_{50})[1/h]
- Case 2 - 2,5 (N_{50})[1/h]
- Case 3 - 1,5 (N_{50})[1/h]
- Case 4 - 1 (N_{50})[1/h]

Skjermingsklasse er en parameter i Simien, og vil si hvor skjermet bygget er med tanke på sine omgivelser. I Simien har man ulike skjermingsklasser å velge mellom. Det første alternativet er "ingen skjerming", og

vil si bygget befinner seg i et åpent landskap, eller i boligblokker. Det andre valget er ”moderat skjerming” og vil si bygninger som er på landet med trær eller andre bygninger rundt. Det siste valget er ”høy skjerming” og vil si at bygget har flere bygninger rundt i middels høyde. Dette kan også gjelde bygninger i skogsområder, med mye trær rundt. I og med at kulturbygget skal plasseres på et fjell med trær rundt, settes skjermingsklassen til ”moderat skjerming”.

Fasadesituasjonen definerer hvor mange vindutsatte fasader et bygg har. Her har man to alternativer i Simien. Valgalternativene er ”én vindutsatt fasade” og ”mer enn én vindutsatt fasade”. Bygget befinner seg på et fjell, med moderat skjerming. Det er derfor valgt ”mer enn én vindutsatt fasade”.

Den interne møbleringen til bygget, har en effekt på hvor godt varmen holder seg i bygget. Jo flere møbler et bygg har, jo lengre holder varmen seg i rommet. Bygget er et kulturbygg, og gruppen antar derfor at det vil være delvis møblert. Det er derfor valgt valgalternativet ”middels møblert” i Simien.

Antall driftsdager i et bygg har en stor effekt på energibehovet til bygget. Standardene definerer et kulturbygg med følgende driftsdager; 11 timer om dagen, 5 dager i uken i 52 uker i året. Det er derimot slik at dette ikke passer helt overens med kulturbygget i denne rapporten. Her vil bygget driftes betydelig mindre. Etter samtaler med oppdragsgiver er det kommet frem til at bygget kun skal driftes i sommerhalvåret, som vil si fra 1. Mai til 15. August. Dette vil si kun 107 dager i året.

Vegger

Når det kommer til veggene er det minst like viktig å beregne arealet til veggene, som U-verdi. Her ble arealene beregnet med bakgrunn i tegningene gruppen har mottatt, og ved hjelp av Excel og AutoCAD.

Varmelagringen i det innvendige sjiktet er en antatt verdi. Denne verdien er hentet fra Simien. Verdien gjelder for massivt tre hvor tykkelsen er over 40 mm, og denne er valgt i og med at det innvendige sjiktet av laft er på 50 mm på case 3 og 4, samtidig som case 1 og 2 består kun av laft. Varmelagring i innvendig sjikt er derfor satt til $12 \text{ Wh}/m^2\text{K}$ i alle casene. Alle fasadene som er vendt mot himmelretningene sør og vest er betraktet som solutsatte fasader. Derfor beregnes det med en standard utvendig absorpsjonskoeffisient hentet fra Simien som ligger som standard på 0,8.

Gulv

I tillegg til U-verdien, er det en rekke andre faktorer som trengs å tas hensyn til når gulvkonstruksjonen settes opp i Simien. Her er det først og fremst viktig å velge en godt tilpasset gulvtype. I Simien finnes det tre ulike valg når det kommer til gulv; gulv på grunn, gulv mot friluft og gulv mot uoppvarmet rom/sone. I og med at bygget er lokalisert på fjellet, og da med berggrunnen under gulvet, blir det beregnet med gulv mot grunn.

Grunnmuren er satt til en standard størrelse i programmet Simien som er 0,3 m og med en utvendig omkrets på 44 m. Varmelagringen i innvendig sjikt er satt til "tungt gulv", og varmekapasiteten er satt til en standard verdi på 63,0 Wh/m²K fra Simien. For byggets grunnforhold finnes det tre ulike valgmuligheter i programmet. I og med at bygget er lokalisert på et fjell, er det gjort beregninger med "fjell" som grunnforhold. Varmeledningsevnen til fjell er 3,50 W/mK og varmekapasiteten ligger på 556 Wh/m³K. I og med at oppgaven ikke tar for seg gulvdimensjonering, tar ikke oppgaven hensyn til kantisolasjonen i casene.

Vinduer og dører

Vindurammens dybde er hentet fra spesifikasjonene til det valgte vinduet, og avrundet til nærmeste desimal av Simien. Varme-tilskuddsegenskaper er satt til fast (konstant) skjerming, med en total solfaktor på 0,75. Rammens tykkelse ligger på 0,092 m, men siden Simien avrunder tallene opp eller ned er denne verdien i programmet 0,09 m.

Slik bygget er konstruert på tegningene, finnes det overheng over vinduene. Disse stikker 0,7 m ut ved vinduene nede, og 0,6 m ved vinduene i tårnet. I tillegg er det slik at det er vertikale utspring enten på høyre eller venstre siden for vinduene, da dette finnes flere steder som vist i figur 4.3.

Dørene i bygget er antatt godt isolert. Dette for å redusere varmetransporten gjennom dørene, og U-verdien er derfor satt til en standardverdi for dører i programmet, som tilsvarer 1,2 W/m²K.

Tak

Som tidligere nevnt er det flere ulike takkonstruksjoner som blir tatt med i videre beregninger. Varmelagringen i det innvendige sjiktet er lik for alle takkonstruksjonene. Den består av 2" laft og er derfor satt til

massivt tre (>40 mm). Den effektive varmekapasiteten til taket er derfor satt til 12 W/m²K. Dette er fordi uavhengig om taket er isolert eller ikke, vil det innvendige sjiktet være en kledning i laft. Det har ikke blitt valgt horisontretning på takflatene. Retningene og vinklene på takflatene er oppført ut ifra konstruksjonstegningene.

Ventilasjon

I denne oppgaven tas det utgangspunkt i balansert ventilasjon. Denne ventilasjonstypen gir både tilluft og avtrekk. I evalueringen av bygget vil Simien bruke standardverdien 12 m³/h · m² innenfor driftstiden. Utenfor driftstiden er standardverdien 3 m³/h · m². Dette er store anlegg, og det vil bli diskutert nærmere hvorvidt dette er nødvendig for denne typen bygning. Spesielt med tanke på antall personer som skal benytte seg av bygget. For å sjekke nødvendig luftmengde, har dette blitt beregnet i henhold til Arbeidstilsynet sin veiledning med en sikkerhetsmargin på 1,3 (Arbeidstilsynet, 2016). I følge Arbeidstilsynet er ventilering nødvendig for å fjerne forurensninger som ikke på annen måte kan unngås. Her vurderes ventilasjonsbehovet ut ifra 3 komponenter. Disse komponentene er ulike kilder til forurensning.

Den første kilden til forurensning er personbelastning, den andre kilden er bygning, interiør og installasjoner, mens den tredje kilden er arbeid eller prosess. Det er kun de to første som er relevante for dette bygget, og dermed de to som blir tatt med i beregningene. Her er summen av forurensningsbelastningene ventilasjonsbehovet for bygningen.

Forurensning fra personer krever en luftmengde på 7 - 10 l/s per person.

Materialer med dokumentert lav emisjon krever en luftmengde på 0,7 l/s per m²

Den nødvendige luftmengden etter anbefalingen blir derfor i driftstiden beregnet ut ifra følgende formel:

$$V[m^3] = (V/pers \cdot x_{pers} + V/m^2 \cdot A_{gulv}) \cdot 1,3 \quad (3.47)$$

der V [m³] er nødvendig luftmengde,

V/pers er luftmengde per person,

x_{pers} er antall personer,

V/m^2 er luftmengde per m^2 av gulv,

A_{gulv} er gulvarealet,

1,3 er sikkerhetsmarginen fra Arbeidstilsynets anbefaling.

Utenom driftstiden antas det at det ikke befinner seg mennesker i bygget. Den nødvendige luftmengden utenfor driftstiden beregnes derfor etter følgende formel:

$$V[m^3] = (V/m^2 \cdot A_{gulv}) \cdot 1,3 \quad (3.48)$$

Tilluftstemperaturen er satt til å være 21 grader, slik som standard verdi i Simien. Driftstiden på ventilasjonen er satt til å være mellom følgende klokkeslett; 05:00-08:30, 09:30-10:00, 17:00-18:00 og 18:30-19:00. Dette gjelder mellom 1. mai og 15. august. Dette er satt med bakgrunn i at det er da oppdragsgiver har spesifisert at bygget skal brukes. Til beregningene er SPF-faktoren antatt å ligge på 1, mens varmegjenvinningen er antatt til 0,7.

Oppvarming

Oppvarmingen av bygget er en del av Simiens evaluering. I beregningene brukes det antatte standardverdier utenom driftstiden, innhentet fra programmet. I driftstiden blir det satt en settpunktstemperatur på 21 °C, mens utenfor driftstiden er denne satt til 19 °C. Driftsdagene er like som i de andre tilfellene. Her er det brukt standard verdier hos Simien. Maksimal avgitt effekt står derfor på 50 W/m² hvor konvektiv andel avgitt effekt ligger på 0,5.

Internlaster: Belysning og personer

Konstruksjonen har to internlaster, i form av belysning og personer. På begge disse faktorene benyttes det standardverdier fra Simien, som bruker videre i beregningene. Når det kommer til belysning er denne satt til null utenom driftstiden, og til en standardverdi i driftstiden. Det samme er valgt når det gjelder personer. Det vil si en standardverdi i driftstiden, og null utenom driftstiden.

For belysning er den midlere effekten antatt til 8 W/m² i driftstiden, og 100 % ligger på varmetilskudd. Både utenfor driftstiden og i helger/ferier er denne satt til 0 W/m². Når det gjelder personer er midlere effekt fra mennesker antatt til 3,20 W/m², og 100 % varmetilskudd.

4 Resultater

I denne delen av oppgaven vil gruppen legge fram sine resultater som har blitt oppnådd ved de ulike håndberegningene og simuleringene. Her blir både resultatene for lastdimensjonering og dimensjonering av konstruksjonselementer, samt U-verdier, lekkasjetall og de ulike resultatene fra Simien presentert. Detaljerte utregninger og flere resultater ligger i de ulike vedleggene.

4.1 Lasteberegninger og dimensjonering

4.1.1 Laster

For endetaket på klosteret vil det ikke forekomme noe snølast på grunn av at takvinkelen er over 60° , men det vil være en liten økning i vindlast hvor man har måtte bruke interpolasjon for å finne riktig verdi for takvinkler mellom 60° og 70° .

Tak	Egenlast	Snølast	vindlast	senteravstand
Tårn	1 kN/m^2	$1,33 \text{ kN/m}^2$	$0,90 \text{ kN/m}^2$	$0,7 \text{ m}$
Ende	1 kN/m^2	-	$0,94 \text{ kN/m}^2$	$0,6 \text{ m}$
Langside	1 kN/m^2	$10,81 \text{ kN/m}^2$	$0,90 \text{ kN/m}^2$	$0,6 \text{ m}$
Utstikker	1 kN/m^2	$10,81 \text{ kN/m}^2$	$0,90 \text{ kN/m}^2$	$0,6 \text{ m}$

Tabell 4.1: Laster på tak

De store snølasten for taket på utstikkerene og langsiden er på grunn av at disse takene ligger under tårnet til klosteret, hvor ras fra overliggende tak og snø som blir blåst opp mot veggen til tårnet fører til økt last. I NS-EN 1995-1-1 blir det kun tatt høyde for at det underliggende taket er flatt.

4.1.2 Taksperrer og gradsperrer

For sperrene i tårnet, endetaket, og takene på utstikkerene vil bjelken ligge over to opplagere, og her har det blitt gjort forenklinger under utregningen slik at sperrens overheng ikke har blitt tatt med. Dette gir et litt høyere moment, men litt lavere verdier for skjær. For alle sperrene var skjær underordnet momentet, selv med det lille tillegget sperrens overheng ga.

Sperre	Bruddgrense	Moment	Dimensjon	Bruksgrense	Nedbøyning
Tårn	1,45 <i>kN/m</i>	2,79 <i>kNm</i>	C24 48x173	0,71 <i>kN/m</i>	9,7 <i>mm</i>
Ende	1,07 <i>kN/m</i>	3,4 <i>kNm</i>	C24 48x173	0,45 <i>kN/m</i>	16,4 <i>mm</i>
Langside	4,48 <i>kN/m</i>	3,79 <i>kNm</i>	C24 61x173	1,52 <i>kN/m</i>	4,68 <i>mm</i>
Utstikker	4,54 <i>kN/m</i>	9,43 <i>kNm</i>	C24 98x198	1,54 <i>kN/m</i>	7,96 <i>mm</i>

Tabell 4.2: Dimensjonering av sperrer

For sperrere på langsiden vil bjelkene ligge over tre opplagere, altså være en kontinuerlig bjelke. Største skjærkraften opptrer over midtre opplager, og det var denne som ble brukt for kontroll av skjær. Det er usannsynlig at et skjærbrudd vil skje over midtre opplager på en kontinuerlig bjelke, og det vil mest sannsynlig skje ved en av de ytre opplagerene. Men skjær var i tillegg underordnet i momentet i dette tilfellet også. (Bell, 2017)

For gradsperrere vil lasten komme fra sperrere som ligger oppå bjelken. Gradsperrere vil da ta halve lasten til de vanlig sperrere. Det vil ligge en sperre på hver side av gradsperreren. For gradsperreren mellom endetaket og langsiden vil avstanden være veldig lang, og dette bidrar til et stort moment over bjelken. Dette fører til at det er behov for et stort tverrsnitt og høy kvalitet på bjelken.

Gradsperre	Moment	Skjær	Dimensjon	Nedbøyning
Tårn	10,92 <i>kNm</i>	9,31 <i>kN</i>	C24 98x223	16,94 <i>mm</i>
Ende + langside	29,75 <i>kNm</i>	18,65 <i>kN</i>	GL30C 115x315	26,3 <i>mm</i>

Tabell 4.3: Dimensjonering av gradsperrere

4.1.3 Møne og takås

Selvom møne tar kreftene fra både sperrere på langsiden og gradsperrere mellom endetaket og langsiden så vil momentet bli lavere på grunn av at de store kreftene fra gradsperreren vil oppstå i enden på møne, altså i opplageren. Dette gjør at man vil få et større moment i takåsene, enn i møne. Den korte lengden, og høye treghetsmomentet, på møne og takås gjør at det blir relativt lav nedbøyning.

	Moment	Skjær	Dimensjon	Nedbøyning
Møne	10,99 kNm	16,54 kN	GL30C 115x180	6,69 mm
Takås	15,6 kNm	22,28 kN	GL30C 225x225	4,69 mm

Tabell 4.4: Dimensjonering av møne og takås

På grunn av at det er en skårlast som angriper takåsen fra sperrene vil det bli en kombinasjon av bøyesspenning om både z- og y-aksen. Man må derfor måtte bruke et tverrsnitt som er større enn om man bare hadde dimensjonert for moment om y-aksen. I møne har det også blitt tatt høyde for kombinasjon av spenninger, men her vil det være en aksiallast fra gradsperrere og ikke et moment om z-aksen. Dette er på grunn av at lastene kanselleres på grunn av møne har sperrer på begge sider.

4.1.4 Søyler

Søylene som blir plassert under tårnet vil ta lasten fra tårnet, samt laster fra møne og takås. Med et kvadratisk tverrsnitt så vil det ikke være en svak- eller sterk-asse. På grunn av den lille forskjellen mellom aksiallasten og aksialkapasiteten kan det være aktuelt å bruke et større tverrsnitt, men da må både bredden og høyden økes samtidig.

	Knekk lengde	Aksiallast	Dimensjon	Aksialkapasitet
Søyler tårn	5 m	89 kN	GL30C 140x140	89,7 kN

Tabell 4.5: Dimensjonering av søyler

4.1.5 Bindingsverk og laftet vegg

For stenderene i bindingsverket blir det antatt at z-aksen blir forsterket, det vil føre til at y-aksen blir den svake aksene. Det vil si at en eventuell knekking vil skje om denne aksene.

	Aksiallast	Knekk lengde	Dimensjon	Minimum areal	Areal
Bindingsverk	19,10 kN	3 m	C24 42x113	3737 mm^2	4746 mm^2

Tabell 4.6: Dimensjonering av bindingsverksvegg

For kontrollen av trykk på den laftede veggen har det blitt gjort en overvurdering av hvor stor last veggen kommer til å ta, og selv med denne urealistiske lasten vil det ikke være problematisk for tømmerstokkene.

	Dim. last	Effektivt areal	Dim. spenning	Dim. fasthet
Laftvegg, trykk	318,4 <i>kN</i>	762500 <i>mm</i> ²	0,42 <i>N/mm</i> ²	1,6 <i>N/mm</i> ²

Tabell 4.7: Dimensjonering av laftevegg

Lasten har også blitt overvurdert for kontrollen av laftestokk over veggåpning. Det er urealistisk at denne lasten vil angripe laftestokken, men det er fortsatt ikke noe problem. I dette tilfellet var momentet underordnet skjærkraften.

	Moment	Skjær	Minimum areal	Areal
Laft over veggåpning	7,96 <i>kNm</i>	31,8 <i>kN</i>	25372 <i>mm</i> ²	30988 <i>N/mm</i> ²

Tabell 4.8: Dimensjonering av laft over veggåpning

4.1.6 Brann

For søylene vil alle fire sider være utsatt for flammer ved et brannforløp, og vil derfor få et betydelig mindre tverrsnitt, men det vil fortsatt være stort nok til å klare aksiallastene ved ulykkesgrensetilstand.

Komponent	Krav	effektivt areal	Aksiallast	Aksialkapasitet
Søyler tårn	R15	108,5x108,5	44,5 <i>kN</i>	54,4 <i>kN</i>

Tabell 4.9: Branndimensjonering av søyler

Ved et brannforløp vil møne og takåsene bli utsatt for flammer på tre av sidene, og dette vil ha størst betydning for bredden av bjelken. Men den effektive høyden vil fortsatt være større enn minste tillatte høyde.

Komponent	Krav	Minimum høyde	Effektiv høyde	Effektiv bredde
Møne	R15	107 mm	164,25 mm	83,5 mm
Takås	R15	96 mm	209,25 mm	193,5 mm

Tabell 4.10: Branndimensjonering av møne og takås

4.2 Arealer

4.2.1 Vegg

Nedenfor vises resultatene av arealberegningene av veggene i konstruksjonen. Høyden er fastsatt til 3 m i hele bygger, med unntak av veggarealene i tårnet. Arealene på veggoverflatene varierer fra 20,04 m² og helt ned til 2,52 m² som vist i figur 4.1. Det totale veggarealet, inkludert dører og vinduer, ligger på 174,4 m². Uten veggene og dørene ligger dette arealet på 148,71 m²

I Simien beregnes veggarealet uten vinduer og dører. I tillegg avrundes verdien til nærmeste heltall. Simien har derfor beregnet arealet til 149 m², som da er tilnærmet likt egenberegnet areal.

Arealer på vegger			
Side	Bredde (m)	Høyde (m)	Areal (m ²)
Nord			
Nord 1	2,66	3	7,98
Nord 2	4,5	3	13,5
Nord 3	5,16	3	15,48
Nord 4	1,16	3	3,48
Nord 5			13,84
Sør			
Sør 1	2,66	3	7,98
Sør 2	4,5	3	13,5
Sør 3	5,16	3	15,48
Sør 4	1,16	3	3,48
Sør 5			13,84
Vest			
Vest 1	6,68	3	20,04
Vest 2	0,84	3	2,52
Vest 3	0,84	3	2,52
Vest 4			7,26
Øst			
Øst 1	5,387	3	16,161
Øst 2	0,84	3	2,52
Øst 3	0,84	3	2,52
Øst 4	0,84	3	2,52
Øst 5	0,84	3	2,52
Øst 6			7,26
Sum			174,401

Figur 4.1: Arealberegninger vegg

4.2.2 Tak

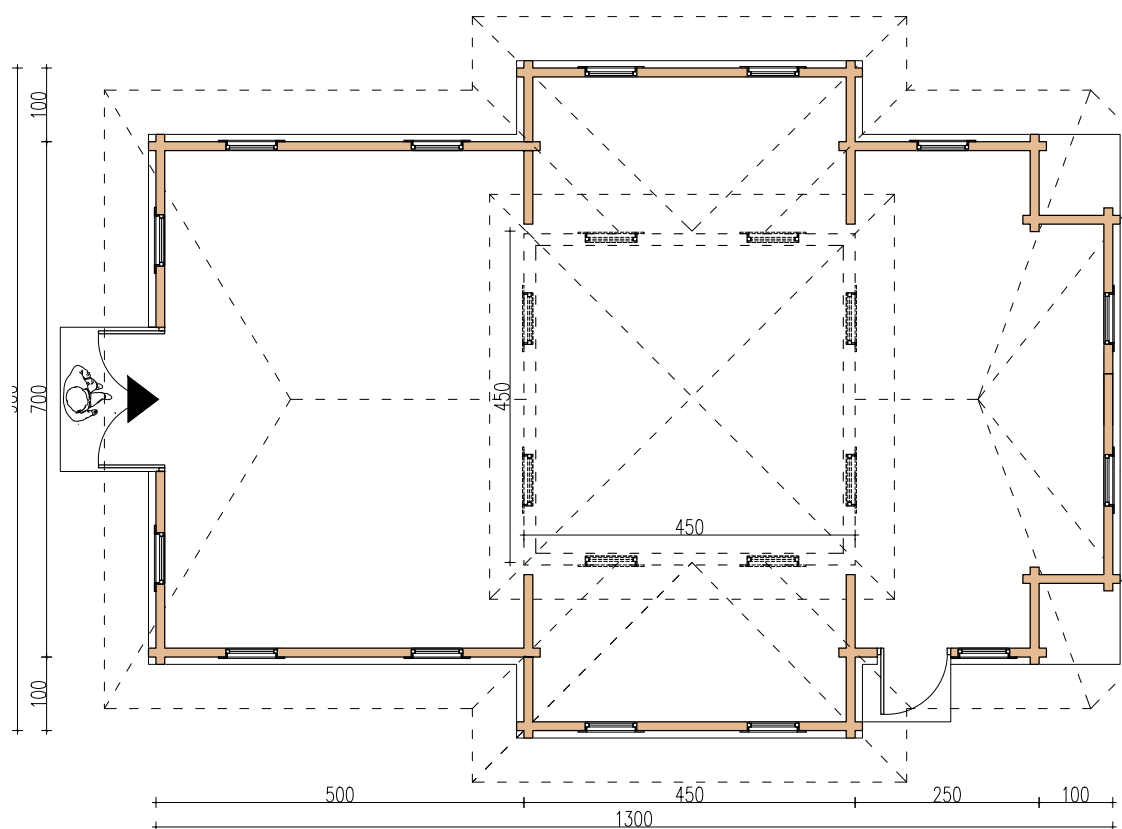
Nedenfor er oversikten over de ulike arealene på takoverflatene. Disse verdiene er kun beregnet i AutoCAD, ved hjelp av funksjonen som beregner arealet av utvalgte overflater. Dette har blitt brukt for enkelthets skyld. AutoCAD-funksjonen beregner arealet presist og effektivt. Under beregningene via AutoCAD-funksjonen er det blitt brukt himmelretninger og takvinkler, i henhold til konstruksjonstegningene mottatt fra oppdragsgiver. Resultatene viser at arealene varierer fra 25,07 m² og ned til 3,1 m², mens vinklene varierer fra 52,2° til 74,4°. Det totale arealet av takoverflatene ligger på 203,87 m², avrundet til 204 m² i Simien. Resultatet av beregningene er vist i figur 4.2.

Arealer på taket		
Side	Vinkel (°)	Areal (m ²)
Nord		
Nord 1	52,2	10,8
Nord 2	52,2	25,07
Nord 3	52,2	14,13
Nord 4	55	10,9
Nord-Øst		
Nord-Øst 1	53,2	3,1
Nord-Øst 2	74,4	2,7
Nord-Vest		
Nord-Vest 1	53,2	3,1
Sør		
Sør 1	52,2	10,8
Sør 2	52,2	25,07
Sør 3	52,2	14,13
Sør 4	55	10,9
Sør-Øst		
Sør-Øst 1	53,2	3,1
Sør-Øst 2	74,4	2,7
Sør-vest		
Sør-Vest 1	53,2	3,1
Vest		
Vest 1	65,2	22,97
Vest 2	55	10,9
Øst		
Øst 1	65,2	19,5
Øst 2	55	10,9
Sum		203,87

Figur 4.2: Arealberegninger tak

4.2.3 Gulv

Byggets bruksareal (BRA) er beregnet ved hjelp av AutoCAD-funksjonen ”Area”. Arealberegningene viste at konstruksjonen har et BRA på $92,2 \text{ m}^2$. Dette kombinert med byggets høyde gir volumet på kulturbygget. Volumet er derfor beregnet til 376 m^3 , ved hjelp av AutoCAD-funksjonen. En oversiktstegning over gulvarealet er vist i figur 4.3.



Figur 4.3: Bygningstegning sett ovenfra

4.2.4 Vinduer og dører

Vinduene innehar målene $1,2 \text{ m}$ i høyde, og $0,7 \text{ m}$ i bredde. Dette innebærer at et vindu har et areal på $0,84 \text{ m}^2$. Bygget er prosjektert slik at det er 22 identiske vinduer i hele bygget. Det totale arealet av vinduene tilsvarer derfor $18,48 \text{ m}^2$. Arealet per overflate varierer fra $1,68 \text{ m}^2$ til 0 m^2 avhengig av veggens utforming. Resultatet av beregningene er vist i figur 4.4.

Det er to dører i bygget. Den sørvendte døren har et mål på 1,2 m bred, og 2,19 m høy. Dette tilsvarer et areal på 2,628 m². Hovedinngangen befinner seg på vestsiden av bygget, og har mål på 1,96 m ganger 2,34 m. Dette tilsvarer et overflateareal på 4,586 m². Det samlede overflatearealet av dørene ligger derfor på 7,21 m². Totalt er arealet av dørene og vinduene 25,69 m².

Arealer på vinduer					Arealer på dører		
Side	Bredde (m)	Høyde (m)	Antall	Areal (m ²)	Bredde (m)	Høyde (m)	Areal (m ²)
Nord							
Nord 1	0,7	1,2	2	1,68			0
Nord 2	0,7	1,2	2	1,68			0
Nord 3	0,7	1,2	1	0,84			0
Nord 4			0	0			0
Nord 5	0,7	1,2	2	1,68			0
Sør							
Sør 1	0,7	1,2	2	1,68	1,2	2,19	2,628
Sør 2	0,7	1,2	2	1,68			0
Sør 3	0,7	1,2	1	0,84			0
Sør 4			0	0			0
Sør 5	0,7	1,2	2	1,68			0
Vest							
Vest 1	0,7	1,2	2	1,68	1,96	2,34	4,5864
Vest 2			0	0			0
Vest 3			0	0			0
Vest 4	0,7	1,2	2	1,68			0
Øst							
Øst 1	0,7	1,2	2	1,68			0
Øst 2			0	0			0
Øst 3			0	0			0
Øst 4			0	0			0
Øst 5			0	0			0
Øst 6	0,7	1,2	2	1,68			0
Sum			22	18,48			7,2144

Figur 4.4: Vindus- og dørarealer

4.3 U-verdier

4.3.1 Vegg

Vegg i laft

U-verdiene for laftede vegger uten isolasjon har blitt hentet ut byggforsk sin serie med serie nr. 471.431. Verdiene er hentet fra tabellen vist i figur 4.5. Her har laft i en størrelse på 6", en U-verdi på 0,84 W/m²K.

Laft (mm)	U-verdi (W/(m ² K))
50 (2")	2,0
100 (4")	1,2
150 (6")	0,84
200 (8")	0,65
250 (10")	0,54

Figur 4.5: U-verdier for laftede trevegger uten isolasjon, (Byggforsk 471.431, 2013)

Vegg i laft med isolasjon

For vegg i laft med isolasjon, ble U-verdiene beregnet for hånd. Dette ble gjort ved hjelp av Excel. I beregningene er det sett bort ifra dampsperre og vindsperre. Den beregnede U-verdien ble 0,132 W/m²K. I og med at Simien avrunder til to desimaler, vil programmet benytte seg av verdien 0,13 W/m²K.

Vegg i bindingsverk

For vegg i bindingsverk ble U-verdien beregnet for hånd. I likhet med ovenfor ble dette gjort ved hjelp av Excel. I beregningene har det blitt sett bort ifra dampsperrere og vinsperrere. Andelen av trevirke er også her på 8 %. U-verdien ble beregnet til 0,145 W/m²K. I likhet med ovenfor avrundes verdien, og i beregningene velger Simien derfor å avrunde verdien til 0,14 W/m²K.

4.3.2 Tak

Takkonstruksjon uten isolasjon

Når det gjelder takets konstruksjon uten isolasjon, er denne sett på som lik over alt. Her tas det ikke hensyn til størrelsen på stenderne i taket, med bakgrunn i liten påvirkning. U-verdien er derfor beregnet til å være 1,13 W/m²K.

Takkonstruksjon med isolasjon

Takkonstruksjonen med isolasjon, består av totalt 0,5 m med isolering. For dette taket er de beregnede U-verdiene mellom 0,08 W/m²K og 0,095 W/m²K som vist i figur 4.7. I isolasjonssjiktet består alle takkonstruksjonene av ikke-homogene sjikt. I og med at Simien avrunder disse verdiene, blir det beregnet med U-verdier på 0,08 W/m²K, 0,09 W/m²K og 0,10 W/m²K.

U-verdier tak med isolasjon	
Isolert takflater	U-verdi
U-verdi på takflater der c/c er 600mm C24 98x223	0,095 W/m ² K
U-verdi på takflater der c/c er 600mm C24 61x223	0,086 W/m ² K
U-verdi på takflater der c/c er 600mm C24 48x223	0,082 W/m ² K
U-verdi på takflater der c/c er 700mm C24 48x223	0,08 W/m ² K

Figur 4.6: U-verdier for tak med isolasjon

4.4 Luftmengder

Den nødvendige luftmengden i driftstiden ble beregnet til 6,07 m³/h · m². Utenom driftstiden ble den nødvendige luftmengden beregnet til 2,52 m³/h · m². I henhold til Arbeidstilsynets anbefaling om en sikkerhetsmargin på 1,3, er de nødvendige luftmengdene 6,83 m³/h · m² og 3,28 m³/h · m². Resultatene er vist i figur 4.7.

Nødvendig luftmengde ut ifra Arbeidstilsynets anbefalinger								
Antall personer	10							
Luftmengde per person	7	l/s						
Gulvarealet	92,2	m ²						
Luftmengde per m2 gulv	0,7	l/s						
							Med 1,3 sikkerhetsmargin	
Nødvendig luftmengde i driftstiden	134,54	l/s	484,34	m ³ /h	5,25	m ³ /h*m ²	6,83	m ³ /h*m ²
Nødvendig luftmengde utenom driftstiden	64,54	l/s	232,34	m ³ /h	2,52	m ³ /h*m ²	3,28	m ³ /h*m ²

Figur 4.7: Beregning av nødvendig luftmengde

4.5 Evaluering

4.5.1 Resultater av evaluering

Resultatene av evalueringene for case 1 og 2 er vist i figur 4.8. Disse tilfredsstillers kun kravet om energiforsyning. De øvrige kravene tilfredsstilles ikke i case 1 og 2. Figuren nedenfor, 4.9, viser resultatene av evalueringen for case 3 og 4. Det er også slik at disse tilfredsstillers de samme kravene. Kravene som er godkjente omhandler energiforsyning og minstekrav. De øvrige kravene tilfredsstilles ikke.

Resultater av evalueringen	
Evaluering av	Beskrivelse
Energiramme	Bygningen tilfredsstillers ikke energirammen ihht. §14-2 (1)
Minstekrav	Bygningen tilfredsstillers ikke minstekravene i §14-3
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstillers ikke minstekrav gitt i NS3031:2014 (tabell A.6)
Energiforsyning	Fossilt brensel benyttes ikke i oppvarmingsanlegget (§14-4)
Samlet evaluering	Bygningen tilfredsstillers ikke byggeforskriftenes energikrav

Figur 4.8: Resultater av evalueringen - Case 1 og 2

Resultater av evalueringen	
Evaluering av	Beskrivelse
Energiramme	Bygningen tilfredsstillers ikke energirammen ihht. §14-2 (1)
Minstekrav	Bygningen tilfredsstillers minstekravene i §14-3
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstillers ikke minstekrav gitt i NS3031:2014 (tabell A.6)
Energiforsyning	Fossilt brensel benyttes ikke i oppvarmingsanlegget (§14-4)
Samlet evaluering	Bygningen tilfredsstillers ikke byggeforskriftenes energikrav

Figur 4.9: Resultater av evalueringen - Case 3 og 4

4.5.2 Energiramme

Det er blitt laget en oversiktlig tabell, vist i figur 4.10. Denne er blitt laget for å forenkle sammenlikningen mellom de ulike verdiene fra de forskjellige casene. Tabellen viser at alle casene har mange identiske verdier. Det er derimot litt variasjon i enkelte energirammer. Det beregnede energibehovet for romoppvarming er størst i case 1. Deretter er det nest størst i andre case, mens verdien er under halvparten så stor i case 3 og 4. Dette resulterer i at det totale netto energibehovet er størst i case 1. Deretter nest størst i case 2, nest minst i case 3 og minst i 4.

Energiramme (§14-2 (1), samlet netto energibehov)				
Beskrivelse	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
(1a) Beregnet energibehov romoppvarming	289,2	222,7	100,5	97,7 kWh/m ²
(1b) Beregnet energibehov ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0	0	0	0 kWh/m ²
(2) Beregnet energibehov varmtvann (tappevann)	10	10	10	10 kWh/m ²
(3a) Beregnet energibehov vifter	10,8	10,8	10,8	10,8 kWh/m ²
(3b) Beregnet energibehov pumper	0	0	0	0 kWh/m ²
(4) Beregnet energibehov belysning	23	23	23	23 kWh/m ²
(5) Beregnet energibehov teknisk utstyr	2,9	2,9	2,9	2,9 kWh/m ²
(6a) Beregnet energibehov romkjøling	0	0	0	0 kWh/m ²
(6b) Beregnet energibehov ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0	0	0	0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov	335,9	269,4	147,2	144,4 kWh/m²
Forskriftskrav netto energibehov	130,0	130,0	130,0	130,0 kWh/m ²

Figur 4.10: Sammenligning av energiramme i alle caser

4.5.3 Minstekrav

TEK17 §14-3 første ledd stiller krav til minimumsverdier på U-verdi og lekkasjetall. Resultatene av evalueringen sammenliknet mot kravene er vist i figur 4.11. Her indikerer fargen rød at kravet ikke tilfredsstilles, mens grønnfargen indikerer at kravene er tilfredsstilt. De to eneste casene som tilfredsstiller alle kravene er 3 og 4. Case 1 og 2 tilfredsstiller ikke kravene, og er derfor ikke godkjent.

Minstekrav (§14-3)					
Beskrivelse	Krav	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
U-verdi yttervegg (W/m ² K)	0,22	0,84	0,84	0,13	0,14
U-verdi tak (W/m ² K)	0,18	1,13	0,09	0,09	0,09
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri (W/m ² K)	0,18	0,09	0,09	0,09	0,09
U-verdi glass/vinduer/dører (W/m ² K)	1,2	0,9	0,9	0,9	0,9
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger per time]	1,5	2,5	2,5	1,5	1

Figur 4.11: Minstekrav - Alle caser

4.5.4 Energibudsjett reelle verdier

Resultatene av evalueringen i energibudsjett med reelle verdier er vist i figur 4.12. Første case innebærer en konstruksjon i kun laft, og har dermed de høyeste verdiene. Her ender det totale netto energibehovet på 92 kWh/m². Andre case, hvor taket er isolert, har noe lavere verdier. Her har konstruksjonen et totalt netto energibehov på 45,3 kWh/m². De to siste casene har like lave energibehov. Disse har et totalt netto energibehov på henholdsvis 15,7 kWh/m² og 15,1 kWh/m². Resultatene er vist i figur 4.12.

Energibudsjett reelle verdier (§14-2 (5))				
Energipost	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
(1a) Romoppvarming	84	37,3	7,7	7,1 kWh/m ²
(1b) Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0	0	0	0 kWh/m ²
(2) Varmtvann (tappevann)	0	0	0	0 kWh/m ²
(3a) Vifter	3,3	3,3	3,3	3,3 kWh/m ²
(3b) Pumper	0	0	0	0 kWh/m ²
(4) Belysning	4,7	4,7	4,7	4,7 kWh/m ²
(5) Teknisk utstyr	0	0	0	0 kWh/m ²
(6a) Romkjøling	0	0	0	0 kWh/m ²
(6b) Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0	0	0	0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	92	45,3	15,7	15,1 kWh/m ²

Figur 4.12: Energibudsjett for alle caser

5 Diskusjon og analyse

5.1 Realistisk bygging av bygget

5.1.1 Laster og konstruksjonselementer

For takene liggende under tårnet vil det være en stor snølast som påvirker en stor del av de bærende elementene, denne lasten er muligens mye større enn den realistiske lastene som vil angripe takene. Det vil være naturlig å tenke at takvinkelen vil påvirke mengden snø selvom det er et overliggende tak, men likningene i NS-EN 1991-1-3 for tak som grenser til høyere byggverk tar liten vurdering for det underliggende takets vinkel. Ser man på likning 5.7:

$$\mu_s = \mu_s + \mu_w \quad (5.1)$$

Der μ_s kan skrives som:

$$\mu_s = \mu_\phi \frac{b_3}{l_s} \quad (5.2)$$

Og hvor μ_w kan skrives som:

$$\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2h} \leq \gamma \frac{h}{s_k} \quad (5.3)$$

I disse to likningene er det kun faktoren μ_ϕ som tar høyde for det underliggende takets vinkel, og for oppgavens bygg er det faktoren for snølast som skyldes vind som har det største bidraget til takets dimensjonerende last.

Nesten alle takene på konstruksjonen er mellom 50° og 60° , ved å øke vinkelen til over 60° vil formfaktoren for snølast bli satt lik 0. Altså vil vinkelen være så bratt at vi kan anta at det ikke vil ligge snø på taket. Om vinkelen er så bratt at det ikke blir liggende snø der, så må man også kunne anta at det ikke blir dannet noe snøfonn på grunn av vind på de underliggende takene på konstruksjonen. Det vil være vanskelig å danne snøfonn på grunn av vind på konstruksjonen når det ikke blir liggende noe snø på taket.

En mer detaljert prosedyre i standarden for snølast, og en mer gjennomtenkt vurdering av takvinkelens effekt på snølast for underliggende tak i likningene ville gjort det mulig å få en mer detaljert lastbeskrivelse for konstruksjonene. Med et mer detaljert lastbilde er det mulig å være mer effektiv når det kommer til

materialbruk.

Om takvinklene var over 60° vil det føre til en liten økning i vindlast, men den økningen er minimal i forhold til den lasten som blir borte på grunn av snø. Lasten på taket vil være 25% av den originale lasten om takvinklene var over 60° , sperrere hadde blitt litt lenger på grunn av det brattere taket, men lasten er såpass redusert at det er mulig å benytte seg av bjelker med mindre tverrsnitt.

Med den reduserte lasten er det også mulig å legge sperrer på kun to opplagere på langsiden, møne og vegg. Det vil også være en redusert last på møne med sperrer på kun to opplagere, og det gir muligheter for å redusere tverrsnittet på møne og andre elementer, og derfor ha et lavere materialforbruk og ha en mer effektiv utnyttelse av materialene. Som er i samsvar med FNs bærekraftsmål nr. 12.

For konstruksjonen vil gradsperrere mellom endetaket og langsiden kreve et stort tverrsnitt, på grunn av lengden på gradsperreren og lastene som angriper sperrere som ligger oppå. Ved å endre takformen fra valmtak til saltak vil det være mulig å unngå å bruke gradsperrere som krever et voldsomt tverrsnitt. Utbygger ønsker et bygg som skal minne om en stavkirke, og det er fortsatt tilfellet ved bruk av et saltak.

For søylene som holder tårnet oppe vil det være en liten restkapasitet om det blir brukt GL30C 140x140 søyler, her må det muligens bli brukt et større tverrsnitt, men da må både bredde og høyde økes. Hvis kun bredden eller høyden hadde blitt økt hadde den svake akselen om søylen hatt den samme kapasiteten som før. Men på grunn av de ulike sikkerhetsfaktorene som blir brukt ved dimensjonering av både laster og trekonstruksjoner, og den store snølasten, så vil søylens nåværende tverrsnitt mest sannsynlig være stort nok.

Om det blir brukt bordtak på konstruksjonen vil det være mulig å lede de horisontale kreftene som angriper takåsene ned i veggen eller opp i møne. Da vil kun den vertikale lasten være aktuell og man kan dermed redusere det nødvendige tverrsnittet. Dette er mest aktuelt om det blir benyttet kontinuerlige bjelker på takets langside.

Mengden isolasjon som må brukes vil også ha en effekt på dimensjoneringen, om isolasjonen blir plassert på utsiden og det er ønsket at takets overheng skal være likt vil det føre til lengre sperrer og et større takareal. Dette vil føre til økt last, samt økt moment og skjær. Om isoleringen skjer på innsiden vil bruksarealet bli kraftig redusert, noe som ikke er ønskelig.

5.1.2 Regelverk

For at bygget skal bli godkjent er det en rekke krav som må tilfredstilles. Under evalueringen i Simien, finnes det en oppsummering over hvilke krav bygget tilfredsstillter. Her indikeres det også hvilke krav som ikke tilfredsstilltes. Med bakgrunn i regelverket er det ingen av casene som tilfredsstillter alle kravene. De ulike kravene, og årsakene til at disse ble godkjent/ikke godkjent, vil bli diskutert nærmere i denne delen av rapporten.

Minstekrav

I §14-3 i TEK17 omhandler første ledd minstekrav for U-verdier og lekkasjetall. Disse minstekravene er fordelt på to forskjellige kategorier i første ledd, herunder bokstav a og b. §14-3-1-a gjelder for alle bygninger med unntak av boligbygg og fritidsboliger med laftede yttervegger, mens bokstav b gjelder for boligbygg og fritidsboliger med laftede yttervegger. Kravene i disse kategoriene er tilnærmet like, med unntak av kravene for yttervegger og lekkasjetall. I og med at konstruksjonen i denne rapporten tar for seg et kulturbygg, må konstruksjonen tilfredsstillte kravene i henhold til første ledd bokstav a som vist i figur 5.1. Det finnes derfor ingen ledd med spesifikke krav til kulturbygg i laft.

U-verdien for gulvet, vinduer og dører er lik i alle casene. U-verdien for vinduene og dørene ligger på 0,9 W/m²K, mens for gulvet er den 0,09 W/m²K. Resultatene fra evalueringen av minstekravene viser at case 1 har flere ikke-godkjente verdier, som vist i figur 4.11. Her har U-verdien for både yttervegg og tak, i tillegg til lekkasjetall, for høye verdier. Taket har en U-verdi på 1,13 W/m²K, mens resultatene viser at verdiene for ytterveggene og lekkasjetallet er på 0,84 W/m²K og 2,5 [1/h].

Årsaken til at konstruksjonen i case 2 ikke får godkjent minstekravene, er for høy U-verdi i yttervegg i tillegg til for høyt lekkasjetall. Denne konstruksjonen har de samme verdiene for yttervegg og lekkasjetall, som case 1. I motsetning til første case som består av et uisolert tak, er taket nå isolert. Dette viser at taket har fått en gjennomsnittlig U-verdi på 0,09 W/m²K.

I tredje case er alle minstekravene godkjent. Resultatene av U-verdiene og lekkasjetallet tilfredsstillter minstekravene. U-verdien til ytterveggene ligger på 0,13 W/m²K. I likhet med case 3, er også alle verdiene

godkjente i case 4. Her har konstruksjonen i tillegg et lavere lekkasjetall, sammenliknet med case 3. Lekkasjetallet ble antatt til 1 [1/h].

U-verdi yttervegg [W/(m² K)]	U-verdi tak [W/(m²K)]	U-verdi gulv på grunn og mot det fri [W/(m² K)]	U-verdi vindu og dør inkludert karm/ramme [W/(m² K)]	Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell (luftveksling per time)
≤ 0,22	≤ 0,18	≤ 0,18	≤ 1,2	≤ 1,5

Figur 5.1: Minstekrav U-verdi og lekkasjetall for alle bygninger, unntatt boligbygning og fritidsbolig med laftede yttervegger [15]

Med bakgrunn i resultatene av minstekravene, vil det være vanskelig å få case 1 godkjent i henhold til §14-3-1 bokstav a. Dette er fordi verdiene på både taket, veggene og lekkasjetallet er betydelig over minstekravet. Det ville derimot vært mer reelt å sammenlikne resultatene mot §14-3-1 bokstav b, med bakgrunn i at kulturbygget har laftede yttervegger. Som vist i figur 5.2 stilles det krav om dimensjon på laftet yttervegg. Kravet er 6" laft, noe konstruksjonen består av. Dette vil si at ytterveggene i case 1 ville tilfredsstilt minstekravene. I tillegg ville minstekravet for lekkasjetall vært tilfredsstilt. Det er derimot ingen endring på kravet for U-verdi i tak, så case 1 ville derfor i sin helhet ikke godkjent minstekravene, selv dersom §14-3-1 bokstav b hadde gjeldt.

Case 2 viser seg å være utfordrende å få godkjent med gjeldende regelverk. I likhet med første case, har case 2 for høy U-verdi i ytterveggene. I tillegg er lekkasjetallet for høy. Med unntak av disse to bygningsdelene, er resten av kravene i henhold til §14-3-1 bokstav a godkjent. Dersom det også her sammenliknes med §14-3-1 bokstav b ville alle minstekravene vært godkjent. Case 2 har samme verdier som første case når det gjelder yttervegger og lekkasjetall. Disse ville derfor vært godkjent i henhold til §14-3-1 bokstav b. I og med at case 2 kunne blitt godkjent, er det ikke et behov for isolering av veggene. Det ville derfor ikke vært nødvendig å gått videre til case 3 og 4, da det er kost- og materialbesparende å benytte konstruksjonen i case 2.

Case 3 og 4 har tilnærmet like verdier når det kommer til minstekrav. Her er alle minstekravene godkjent i henhold til det gjeldende regelverket. Det er derimot en del ulemper med denne konstruksjonen. Dette gjelder tykkelsen på tak- og veggkonstruksjonene. I veggen brukes det 25 cm isolasjon, mens i taket brukes det 50 cm. Dette gir lave U-verdier, men kan skape problemer med tanke på fuktdannelse i

sjiktene. Dette gjør at konstruksjonen er avhengig av ventilasjon, i og med at materialene ikke slipper luft igjennom (Byggmakker, 2013). Problematikken rundt isolering i taket gjelder også for case 2, noe som blir nærmere diskutert i Energibudsjett og energiramme.

Dimensjon yttervegg	U-verdi tak [W/(m ² K)]	U-verdi gulv på grunn og mot det fri [W/(m ² K)]	U-verdi vindu og dør, inkludert karm/ramme [W/(m ² K)]	Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell (luftveksl per time)
≥ 6" laft	≤ 0,18	≤ 0,18	≤ 1,2	≤ 6

Figur 5.2: Minstekrav U-verdi og lekkasjetall for boligbygning og fritidsbolig med laftede yttervegger [15]

I og med at det ikke finnes spesifikke reglementer for å bygge et kulturbygg i laft, er det utfordrende å konstruere dette slik at alle minstekravene dekkes. I tillegg til å ta hensyn til ønskene fra oppdragsgiver.

Energibudsjett og energiramme

En sammenlikning av energibudsjettet og energirammene, viser at det er store forskjeller mellom disse to beregningene. Under beregningene av energirammene, tar ikke Simien hensyn til selvvalgte verdier, men kjører beregningene i henhold til reglene og standardene som er satt. Dette gjelder eksempelvis driftsdager. Her beregner Simien i henhold til de spesifikasjonene som er satt for kulturbygg. Her spesifiseres en driftstid på 11 timer om dagen, 5 dager i uka, 52 uker i året. Dette tilsvarer 260 dager i året, eller 2860 timer per år. I problemstillingen brukes bygget kun på sommerstid og brukstiden er derfor satt til å være mellom 1. mai og 15. august. Dette tilsvarer 107 dager i året. Samtidig er det en planlagt driftstid på 5,5 timer per døgn, som tilsvarer 588,5 timer per år. Driftstiden i henhold til regelverket viser seg til å være altså 4,85 ganger større enn den reelle driftstiden.

Dette gjelder for driftstiden for internlast, ventilasjon og oppvarming. Det vil derfor være slik at energiramme-beregningene ikke vil vise den reelle verdien av energibehovet i bygget, i og med at bygget ikke skal brukes ellers. Det blir i tillegg lagt til en del verdier under evalueringsberegninger som ikke samsvarer med bruken av bygget. Det er blant annet ikke prosjektert opplegg for varmtvann (tappevann) i bygget. Tilleggsverdien her på 10,8 kWh/m² er derfor irrelevant. Det er heller ikke planlagt bruk av teknisk utstyr i bygget. Denne verdien på 2,9 kWh/m² er derfor også irrelevant i dette prosjektet.

Det reelle energibehovet i evalueringen, tar for seg alle verdiene som er valgt for casen. Disse verdiene gir et bedre innblikk i hvor stort energibehovet til bygget faktisk er. Med utgangspunkt i disse, samt dokumentasjon av driftstiden til bygget, kan man søke om disposisjon fra denne regelen. I og med at beregningene av energiramme i henhold til vurderingen, ikke stemmer overens med selvvalgte verdier. Dette vil også føre til at det beregnede netto energibehovet (figur 4.10) er betydelig større enn i energibudsjettet (figur 4.12).

I og med at de reelle verdiene er betydelig lavere, kan det vurderes å redusere tykkelsen av isoleringsmateriale. Dette vil redusere kostnad og materialbehov. En reduksjon i materialbruken er i tråd med delmålet 9.4, under FNs bærekraftsmål. Dette med tanke på effektiv bruk av ressurser. En reduksjon i isoleringsmateriale vil også føre til høyere U-verdi og et høyere energibehov. Dette vil derimot redusere faren for fuktdannelse i sjiktene, og samtidig gi større mulighet for naturlig ventilasjon som omtales under 5.1.2.

Luftmengde

Ett av kravene som ikke ble godkjent i evalueringen er luftmengden i ventilasjonsanlegget. Denne tilfredsstillende ikke minstekravet gitt i NS 3031.

Simien beregner ut ifra det minste kravet til luftmengde, som er satt til å være $12 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ i driftstiden. Utenfor driftstiden er denne satt til å være $3 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$. Disse verdiene er hentet fra NS3031, fra 2014. Det vil derimot sammenliknes med NS3031 fra 2020. Den minste spesifikke luftmengden i gjeldende regelverk, er derfor spesifisert i driftstiden til $8 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$. Utenfor driftstiden er kravet $2 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$.

I konstruksjonen er det beregnet en nødvendig luftmengde på $6,83 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ i driftstiden. Utenfor driftstiden er denne beregnet til $3,28 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$. Verdiene ble beregnet med en sikkerhetsfaktor på 1,3, i henhold til Arbeidstilsynets anbefalinger (Arbeidstilsynet, 2016). Selv uten sikkerhetsmarginen på 1,3, ble den nødvendige luftmengden beregnet til $5,25 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ i driftstiden, og $2,52 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ utenfor. Sammenliknet med kravene så er de nødvendige luftmengdene derfor godkjente innenfor driftstiden, men for høye utenfor driftstiden.

Luftmengden på $12 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$, som er satt av Simien, vil være alt for stor. Det er ikke et behov for så stor luftmengde i bygget. En luftmengde på omtrent $8 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ vil være litt for mye. Med tanke på

energibruket er den mest optimale løsningen, den som er beregnet. Dette vil si en luftmengde på 6,8 m³/h·m². Årsaken er at denne bruker minst energi, og er dermed med på å redusere energibehovet. Dette er i tråd med FNs bærekraftsmål 11.6, som omhandler energieffektive bygg. De reelle verdiene viser at bygget har et lavt energibehov, det kan derfor vurderes litt større ventilasjon. Dette vil være fornuftig dersom flere brukere enn planlagt, benytter seg av bygget.

Med tanke på den realistiske driftstiden for bygget og ønsket om å kun benytte seg av laft vil det å ha dispensjon for naturlig ventilasjon være et alternativ. Med vinduer øverst i tårnet på konstruksjonen, og vinduer nederst kan man skape termisk oppdrift der varmluften kan bli vekslet med kaldere luft. Laftede vegger er ikke i nærheten av å være like tette som bindingsverk som benytter seg av vindtetting, isolasjon og diffusjonstett plast som gjør at det er nødvendig med et ventilasjonssystem.

Med naturlig ventilasjon vil det ikke være mulig å klare minstekravene for ventilasjon og energieffektivitet i TEK17.

Energiforsyning

Det eneste kravet som ble tilfredsstilt i alle casene er energiforsyning, som ikke er basert på noe fossilt brensel. Løsningen med biobrensel og solenergi er en svært miljøvennlig og bærekraftig løsning. Denne løsningen er i tråd med FNs bærekraftsmål 11.6, med tanke på at denne løsningen reduserer den negative påvirkningen på miljøet. Riktig bruk av biobrensel er klimanøytralt, og det er derfor en ettertraktet energikilde (Norsk varme, u.å). Solenergi er i tillegg en fornybar energikilde, som ikke har noe negativ påvirkning på miljøet.

6 Konklusjon

Hensikten med dette prosjektet var å undersøke om et kulturbygg i laft kunne klare de ulike kravene for konstruksjonsdimensjonering og om bygget tilfredstilte energikravene i TEK17.

Konstruksjonen vil kunne klare kravene satt av de ulike standardene fra Standard Norge. Det kan dermed konkluderes med at et kulturbygg i laft vil kunne klare å ta de dimensjonerende lastene som vil angripe konstruksjonen og at de bærende treelementene vil tåle denne lasten.

Ut ifra evalueringen av de fire casene i Simien er det flere grunner til hvorfor casene ikke vil bli godkjent. I tre av fire case er hovedmaterialet i veggen laft, og TEK17 tar ikke høyde for kulturbygg som benytter seg av laft i sine krav. Dermed må en laftet vegg klare U-verdi kravene som egentlig er ment for bindingsverksvegger. Med dette kan vi konkludere med at et kulturbygg laft i denne størrelsen og med denne utformingen ikke klarer å tilfredstille energikravene satt av TEK17.

For videre arbeid kunne det vært aktuelt å se på de økonomiske aspektene ved å konstruere et slik kloster, og vurdere hvordan elementene til denne konstruksjonene skal fraktes med tanke på at beliggenheten er på et fjell med kun en smal sti opp. En vurdering av fastheten og styrken til en laftet vegg kunne også vært aktuelt med tanke på at det ikke er satt noen klare krav for laft.

En videre vurdering av klosterets bygningsfysikk, spesielt med tanke på energi burde også være relevant. I tillegg til å se på hvilke endringer og tiltak som må til for å kunne klare energikravene.

Referanser

- [1] Arbeidstilsynet (2006), *Veiledning om klima og luftkvalitet på arbeidsplassen..* Tilgjengelig fra: <https://www.arbeidstilsynet.no/contentassets/3f86f6d2038348d18540404144f76a22/luftkvalitet-pa-arbeidsplassen.pdf> (Hentet: 17.03.2021)
- [2] AUTODESK (u.å.), *Hva er AutoCAD?*. Tilgjengelig fra: <https://www.autodesk.no/products/autocad/overview?term=1-YEAR&fbclid=IwAR0Z95xNti51wJnzojaWJAQcQumn6rWbXyyAy0wfks5bs7Asj117YRQkdw> (Hentet: 06.04.2021)
- [3] Bell, K. (2017) *Dimensjonering av trekonstruksjoner*. Bergen: Fagbokforlaget.
- [4] Blom, P. og Uvsløkk, S. (2012), *Bygg tett!*. Tilgjengelig fra: https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/fagartikler/v__info_pub_utgivelser_prosjektrapport_sintef-byggforsk-prosjektrapporter_sb-prrapp-98_nettsb-prprapp-98.pdf?fbclid=IwAR2hN0fHrF402QCIYZxtlG5LIwF3w5aqzRjxj_5p0a-zR23Xeh-FPgQUgew (Hentet: 10.04.2021)
- [5] Byggforskserien (2018), *Beregning av U-verdier etter NS-EN ISO 6946*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/208/beregning_av_u-verdier_etter_ns-en_iso_6946 (Hentet: 02.03.2021)
- [6] Byggforskserien (2019) *Bygninger med laftede vegger*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/365/bygninger_med_laftede_vegger (Hentet: 15.03.2021)
- [7] Byggforskserien (2013) *Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/215/egenlaster_for_bygningsmaterialer_byggevarer_og_bygningsdeler (Hentet: 25.02.2021)
- [8] Byggforskserien (u.å.), *Hva er Byggforskserien*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/side/198/hva_er_byggforskserien/ (Hentet: 09.05.2021)
- [9] Byggforskserien (2013), *Lufttetting av bygninger. Framgangsmåte for å oppnå lavt lekkasjetall*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/4110/lufttetting_av_bygninger_framgangsmaate_for_aa_oppnaa_lavt_lekkasjetall (Hentet: 04.03.2021)
- [10] Byggforskserien (2013), *U-verdier. Vegger over terreng – laftet tre*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/4101/u-verdier_vegger_over_terreng_laftet_tre (Hentet: 24.02.2021)

- [11] Byggforskserien (2020), *Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/209/varmekonduktivitet_og_varmemotstand_for_bygningsmaterialer (Hentet: 25.02.2021)
- [12] bygghjemme.no (u.å.), *Vindu Gilje Toppsving 3-Lags Tre*. Tilgjengelig fra: https://www.bygghjemme.no/hus-och-bygg/vinduer/toppsving-vindu/toppsving-vindu-tre/vindu-gilje-toppsving-3-lags-tre/p-467884-1015907?gclid=CjwKCAjw7diEBhB-EiwAskVi19rictgh272YDGAJUxxcU1SQcJWDOQCbBB3DmElydbWZ1D_TJt1WihoCzjAQAvD_BwE&fbclid=IwAROp2amZwqqd17NrKmkL04BTui03rSPtMFuMFJT1Pn5WK_ncC3bdTTQUtNY (Hentet: 24.04.2021)
- [13] Byggmakker (2013), *Lufttetting, fukt og ventilasjon*. Tilgjengelig fra: <https://www.byggmakker.no/artikler/kunnskap/lufttetting-fukt-og-ventilasjon/?fbclid=IwAR3ESVxB7jn9a5EuKJgqSEs434ss5xrZZYIpSrGorLpPSzr7iT2sEs12eT8> (Hentet: 14.05.2021)
- [14] Direktoratet for Byggkvalitet (2017) *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/> (Hentet: 06.04.21)
- [15] Direktoratet for Byggkvalitet (2017) *Kapittel 14 Energi § 14-3 Minimumskrav til energieffektivitet*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-3/> (Hentet: 25.02.21)
- [16] FN-sambandet (2021), *FNs bærekraftsmål*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal> (Hentet: 06.04.2021)
- [17] Haugan, J. (2017) *Formler og tabeller*. 3. utg. Bergen: Fagbokforlaget.
- [18] Kjell (2019), *Validering. Generelt om valideringen*. Tilgjengelig fra: <https://www.programbyggerne.no/SIMIEN/validering> (Hentet: 07.04.2021)
- [19] Lorentzen, G. og Årtun, T. (2018), *varmeisolering*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/varmeisolering> (Hentet: 07.04.2021)
- [20] Microsoft (u.å.), *Microsoft Excel*. Tilgjengelig fra: <https://www.microsoft.com/nb-no/microsoft-365/excel> (Hentet: 08.04.2021)
- [21] Mosvold, R. (2005) *Takvinkler til besvær?* Tilgjengelig fra: http://www.caspar.no/artikkel_pdf/33c_t2005-1.pdf (Hentet: 20.03.2021)

- [22] Norsk varme (u.å.), *Fakta om vedfyring..* Tilgjengelig fra: <http://norskvarme.org/fakta-om-vedfyring/> (Hentet: 08.04.2021)
- [23] ProgramByggerne (u.å.), *SIMIEN er et simuleringsverktøy for beregning av energibruk og vurdering av inneklime i bygninger..* Tilgjengelig fra: <http://www.programbyggerne.no/> (Hentet: 07.04.2021)
- [24] ProgramByggerne (u.å.), *ProgramByggerne.* Tilgjengelig fra: <http://www.programbyggerne.no/> (Hentet: 07.04.2021)
- [25] ROCKWOOL (u.å.), *Isolering av yttervegg med trestendere.* Tilgjengelig fra: <https://www.rockwool.no/konstruksjoner/vegg/yttervegger/yttervegg-med-trestendere/> (Hentet: 11.03.2021)
- [26] ROCKWOOL (u.å.), *Laftet yttervegg med isolert bindingsverk.* Tilgjengelig fra: <https://www.rockwool.no/verdt-a-vite/tek-10---byggeregler/fritidsboliger/laftet-yttervegg-med-isolert-bindingsverk/> (Hentet: 11.03.2021)
- [27] Sandaker, B.N. Sandvik, M. og Vik, B. (2019) *Materialkunnskap.* 1. utg/13. opplag. Bergen: Fagbokforlaget.
- [28] Standard Norge (u.å.) *Norsk Standard.* Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/standardisering/norsk-standard/> (Hentet: 25.02.2021)
- [29] Standard Norge (2016) *NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016. Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner.* Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=814847> (Hentet: 25.02.2021)
- [30] Standard Norge (2019) *NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2019. Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-1: Allmenne laster - Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger.* Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1015211> (Hentet: 25.02.2021)
- [31] Standard Norge (2018) *NS-EN 1991-1-3:2003+A1:2015+NA:2018. Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-3: Allmenne laster - Snølaster.* Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1004200> (Hentet: 25.02.2021)
- [32] Standard Norge (2009) *NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009. Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-4: Allmenne laster - Vindlaster.* Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=392208> (Hentet 25.02.2021)

- [33] Standard Norge (2010) *NS-EN 1995-1-1:2004+A1:2008+NA:2010. Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner - Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=436137> (Hentet: 27.02.2021)
- [34] Standard Norge (2010) *NS-EN 1995-1-2:2004+NA:2010. Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner - Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=418958> (hentet: 04.03.2021)
- [35] Thue, J.V. (2016) *Bygningsfysikk grunnlag* Bergen: Fagbokforlaget
- [36] Thue, J.V. (2020), *Lafting*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/lafting> (Hentet: 20.04.2021)
- [37] Treteknisk (2007), *Konstruksjonsvirke*. Tilgjengelig fra: <http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-43.pdf> (Hentet: 08.05.2021)
- [38] Treteknisk (2008), *Laft og lafting*. Tilgjengelig fra: <http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-44.pdf> (Hentet: 09.05.2021)
- [39] Treteknisk (2004), *Tre og miljø*. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/8-Tre-og-miljo.pdf> (Hentet: 13.05.2021)
- [40] Ung Energi (2020), *Isolasjon*. Tilgjengelig fra: <https://ungenergi.no/miljoteknologi/bygg/isolasjon/> (Hentet: 14.05.2021)

7 Vedlegg

1. Areal beregninger
2. Asbjorn Senior Syltefjel Kapel 201116.
3. CASE 1 LAFT
4. CASE 2 LAFT + ISOLASJON I TAKET
5. CASE 3 LAFT MED ISOLASJON
6. CASE 4 BINDINGSVERK
7. evaluering - CASE 1
8. evaluering - CASE 2
9. evaluering - CASE 3
10. evaluering - CASE 4
11. Laster og dimensjonering - Syltefjellet kapell
12. Asbjorn Senior Syltefjel Kapel 201116