

Huitfeldtbrygga – Moderne tiltak på klimaskjermen til bygg i verneklasse A

Huitfeldtbrygga – Modern Measures on the Building Envelope of a Building with Historical Value

Trondheim Mai 2022

Studenter:

Trine Halsebø

Vilde Frafjord Tungesvik

Jenny Margrethe Liodden

Intern veileder:

Robert Storm Mortensen

Ekstern veileder:

Ferry Smits

Prosjektnr.:

2022 - 26

Rapporten er ÅPEN



Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for bygg- og miljøteknikk

Rapporten er ÅPEN

Prosjektbeskrivelse og resultatmål

Introduksjon

Huitfeldtbrygga er med sine 1900m² både den største og eldste brygga i Kjøpmannsgata. Brygga er preget av 40-50 år med manglende vedlikehold og skal nå restaureres og bringes tilbake i god stand. Brygga er av svært høy antikvarisk verdi og er plassert i verneklasse A. Prosjekteier har i samråd med byantikvaren satt som overordnet mål at brygga skal istandsettes med utgangspunkt i foto fra starten av 1900-tallet.

Problemstilling

Hvordan optimalisere levetiden og samtidig sikre verneverdien til Huitfeldtbrygga når det gjennomføres moderne tiltak på klimaskjermen? Hvilken effekt har tiltakene på innklimaet og vil de bidra til eller redusere sjansen for skader på bygningen?

Resultatmål

Ved å sammenligne ulike løsninger for hver konstruksjonsdel skal gruppa komme fram til tiltak som reduserer sjansen for fuktskader og samtidig bevarer verneverdien til brygga i sin helhet. I første omgang skal tiltakene rangeres etter innvirkning på konstruksjonsdelens relative fuktighet og de som sikrer en stabil eller forbedret RF tas med videre. Deretter skal kulturminneforvalter avgjøre hvilke tiltak som best bevarer verneverdien. Oppgradering av varmetap legges til grunn dersom flere tiltak er aktuelle fra kulturminneforvalter.

Stikkord fra prosjektet:

Rehabilitering, verneklasse A, brygge, laft, fuktinnhold, u-verdi, WUFI, Therm

Forord

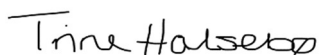
Denne oppgaven er skrevet av Trine Halsebø, Vilde Frafjord Tungesvik og Jenny Margrethe Liodden fra bachelor i ingeniørfag, bygg, ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim. Alle tre studentene har spesialisert seg i husbyggingsteknikk hvor oppgaven utgjør de siste 20 studiepoengene ved bachelorutdanningen.

Gruppen ønsket å finne en oppgave som omhandlet restaurering og rehabilitering. I samarbeid med Rambøll Trondheim fikk vi ta del i et spennende prosjekt på Huitfeldtbrygga.

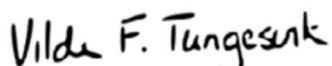
Vi ønsker å rette en stor takk til intern veileder, undervisningslektor Robert Storm Mortensen, og ekstern veileder Ferry Smits ved Rambøll Trondheim for god veiledning, hjelp på veien og for å alltid lage plass til oss i kalenderen på kort varsel.

Til slutt vil vi takke Morten Opøyen, ved Lord eiendom AS samt Syllstokken AS for å gi oss fleksibel tilgang til Huitfeldtbrygga ved behov. Kulturminneforvalter Sophie Gjesdahl Noach, Margrethe Wik Bårdsen ved Rambøll og arkitekt Ragnhild Snustad fortjener også en stor takk for å ha delt av sin kunnskap underveis.

Trondheim, 20.mai 2022



Trine Halsebø



Vilde Frafjord Tunesvik



Jenny Margrethe Liodden

Sammendrag

Huitfeldtbrygga står sentralt i Trondheims eldste bryggerekke og er den eneste av de eksisterende bryggene som ikke har gjennomgått moderne restaurering. Nå skal brygga få nytt liv og bruksendring, som medfører en oppgradering av klimaskjermen etter flere år uten vedlikehold.

Oppgaven ser separat på tiltak som er mulig å utføre på ytterveggene, gulvet og taket. Det settes som kriteria at variantene skal oppgradere klimaskjermen uten å påføre uakseptable fuktpåkjenninger til bygningsdelene. Som et verneverdig bygg er brygga unntatt fra kravene til u-verdi som stilles i TEK17, men løsningene etterstreber fremdeles å komme så nært opptil kravene som mulig.

Gjennom fuktmålinger gjennomført i laftet på Huitfeldtbrygga og fuktsimuleringer i WUFI Pro er det utarbeidet en systematisk oversikt av mulige løsninger som fargekodes etter hvor gunstige de er mot uønskede fuktpåkjenninger. Kulturminneforvalteren har ut fra de akseptable løsningene valgt ut aktuelle kandidater fra et verneverdig perspektiv. Ved flere enn ett aktuelt utfall er u- verdien beregnet i Therm som et siste kriteria.

Basert på denne prosessen har Huitfeldtbrygga fått skreddersydde tiltak for hver bygningsdel. De seks tiltakene anses som de mest optimale løsningene av oppgraderingstiltak basert på fuktpåkjenning, varmegjennomgangskoeffisient og bevaring fra et kulturminneverdi-perspektiv.

Abstract

Huitfeldtbrygga is the biggest and oldest pier in Kjøpmannsgata and the only one of the existing piers that has not undergone modern restoration. The restoration will not only bring the pier back to its glory days but will also make it available for the public.

The thesis will investigate different opportunities for the exterior walls, the floor, and the roof. As a criterion the different options must make an upgrade on the building envelope without causing any moisture problems. Caused by the piers historical value the requirement of u-value, set by TEK17, does not apply, but should still strive to be fulfilled.

By moisture measurements and moist simulations in WUFI there has been established a systematic overview of possible options. The versions have been color coded by how favorable they are towards unwanted stresses by moisture. The acceptable solutions will be considered by the culture heritage manager who will decide the best option for preserving the historical value of the pier. As a last criterion, when deciding between more than one option, Therm will be used to find the option that provides the lowest u-value.

Based on this process Huitfeldtbrygga will have a tailor-made solution for each of the building components. The final solutions will be seen as the optimal solutions for upgrading the building envelope.

Innhold

Forord.....	i
Sammendrag.....	iii
Abstract.....	iv
Innhold.....	vi
Begrepsliste.....	viii
1 Introduksjon.....	1
2 Teori.....	3
2.1 Verneklasser.....	3
2.2 Fukt i trekonstruksjoner.....	4
2.3 Inneklima.....	6
2.4 Etterisolering av trekonstruksjoner.....	6
2.5 Trefuktmåling.....	8
2.6 U-verdi.....	9
2.7 Materialer.....	10
2.7.1 Isolasjonsmaterialer.....	10
2.7.2 Vindsperre.....	11
2.7.3 Dampsperre.....	11
2.7.4 Gran.....	12
2.8 Fuktkriterier.....	12
2.9 Avgrensning av oppgaven.....	14
3 Metode.....	15
3.1 Fuktmålinger.....	15
3.2 Fuktsimuleringer i WUFI-1D.....	16
3.3 U-verdiberegninger i Therm.....	17
3.4 Usikkerhet og feilkilder.....	18
4 Drøfting.....	20
4.1 Yttervegger.....	20
4.1.1 Eksisterende konstruksjon.....	20
4.1.2 Fuktmålinger.....	20
4.1.3 Tiltak.....	22
4.1.4 U-verdiberegninger.....	25
4.2 Tak.....	26
4.2.1 Eksisterende konstruksjon.....	26

4.2.2	Fuktmålinger	27
4.2.3	Tiltak	27
4.2.4	U-verdiberegninger	29
4.3	Gulv	29
4.3.1	Eksisterende konstruksjon	29
4.3.2	Fuktmålinger	30
4.3.3	Tiltak	30
4.3.4	U-verdiberegning	33
5	Konklusjon	34
5.1	Østvegg	34
5.2	Vestvegg	34
5.3	Nord- og sørvegg	41
5.4	Tak	43
5.5	Gulv	44
6	Figurliste	45
7	Tabelliste	46
8	Referanser	47
9	Vedlegg	50

Begrepsliste

<i>Absolutt fuktinnhold</i>	Vanninnhold i et materiale oppgitt i vekt- eller volumprosent
<i>Akkumulere</i>	Oppsamling eller opphopning
<i>Antikvarisk verdi</i>	Verdi som tilegnes noe som er gammelt
<i>Dampbrems</i>	Et produkt/hinder med dampmotstand mellom verdigrensen for dampsperre og vindsperre
<i>Dampmotstand</i>	Et hinder for fukt fra varm til kald side av en bygningsdel
<i>Dampsperre</i>	Et diffusjons- og lufttett sjikt som skal hindre fukt fra å nå konstruksjonen
<i>Dampåpen</i>	Sjikt som tillater konstruksjonen å tørke både utover og innover
<i>Duggpunkt</i>	Temperaturen hvor vanndamp går over til væskeform
<i>Fibermetningspunkt</i>	Verdien fuktigheten i trevirket har når fiberveggen ikke lenger er i stand til å ta opp mer bundet vann
<i>Fuktskade</i>	Direkte eller indirekte skade eller problem som oppstår av for høy luftfuktighet
<i>Isoplett</i>	Et diagram som viser risikoen for muggvekst gjennom sammenhengen mellom RF og overflatetemperatur

<i>Kavlegulv</i>	Gulv av runde stokker i gran som er flathugget på over- og undersiden, opprinnelig brukt for å krysse myr og andre våte områder
<i>Kjerneved</i>	Den sentrale delen av en trestamme som består av døde celler
<i>Klimaskjerm</i>	Delene av et bygg som utsettes for vær og vind
<i>Kuldebro</i>	Konstruksjonsdeler som gir kalde overflater og varmetap grunnet dårligere varmeisolasjon i området
<i>Permeabilitet</i>	Gjennomtrengelighet
<i>Relativ fuktighet</i>	Forhold mellom vanndampinnhold ved metning og virkelig vanndampinnhold
<i>Restaurering</i>	Tilbakeføring av en bygning til sin opprinnelige stand
<i>Sd-verdi</i>	Vanndampdiffusjonsmotstanden til et materiale
<i>Smart dampsperre</i>	Dampsperre med varierende motstand etter behov
<i>Termisk konduktivitet</i>	Varmeledningsevnen til et stoff
<i>U-verdi</i>	Hvor lett en bygningsdel har for å slippe gjennom varme
<i>Vanndampinnhold</i>	Forholdet mellom totalt gassvolum og vanndampens masse
<i>Vektprosent</i>	Hvor mye vann et materiale inneholder i forhold til egenvekten

Vindsperre

Lufttett sjikt på kald side av varmeisolasjon

Yteved

Ytre del av en trestamme

1 Introduksjon

I Norge er det registrert rundt 30 000 vernede bygninger, hvor 13 prosent av dem i 2012 ble anslått til å ha behov for omfattende reparasjon. Ved en slik operasjon stilles det strenge krav for å sikre bevaring av bygget på en måte som ikke gir konsekvenser for materialer og overflater (Grindal, 2012).



Figur 1-1. Den østlige fasaden til Hutfeldtbrygga (Hutfeldtbrygga.no, 2020)

Som en del av Trondheims eldste bryggerække finner man Hutfeldtbrygga. Bygget er et laftet bryggehus på om lag 1900 m² langs Nidelva. Gjennom tidene er brygga blitt benyttet til ulike formål, men er mest kjent for sin trelastvirksomhet hvor beliggenheten gir direkte tilgang til havet i øst og bilvei i vest. Opprinnelig var brygga delt i tre separate brygger, hvor midtre brygge kan dateres tilbake til 1740-tallet og sidebryggene om lag 100 år senere. Brygga er av høy antikvarisk verdi etter flere år med endringer både utvendig og innvendig og er etter flere bybranner regnet som et viktig og verdifullt minne av en tid som er gått tapt (Hutfeldtbrygga.no, 2019; Trondheim kommune, n.d.). Hutfeldtbrygga ble i 2016 kjøpt opp av Lord Eiendom AS som planlegger å tilbakeføre bygget til 1900-tallet, samt prosjektere den for nytt bruk (Hutfeldtbrygga.no, 2021, 2020).

Som et ønske fra kulturminneforvalteren skal bryggas historie fremdeles være lesbart 50 år frem i tid. For at dette skal være mulig må oppgraderingstiltakene som utføres ikke øke faren for fukt i trekonstruksjonen, da dette øker faren for fuktskader og ødeleggelser på trematerialet betydelig (Noach, 2021). Oppgaven tar for seg ulike løsninger som kan bli utført på klimaskjermen i håp om å også forbedre forhold som u-verdi og inneklima.

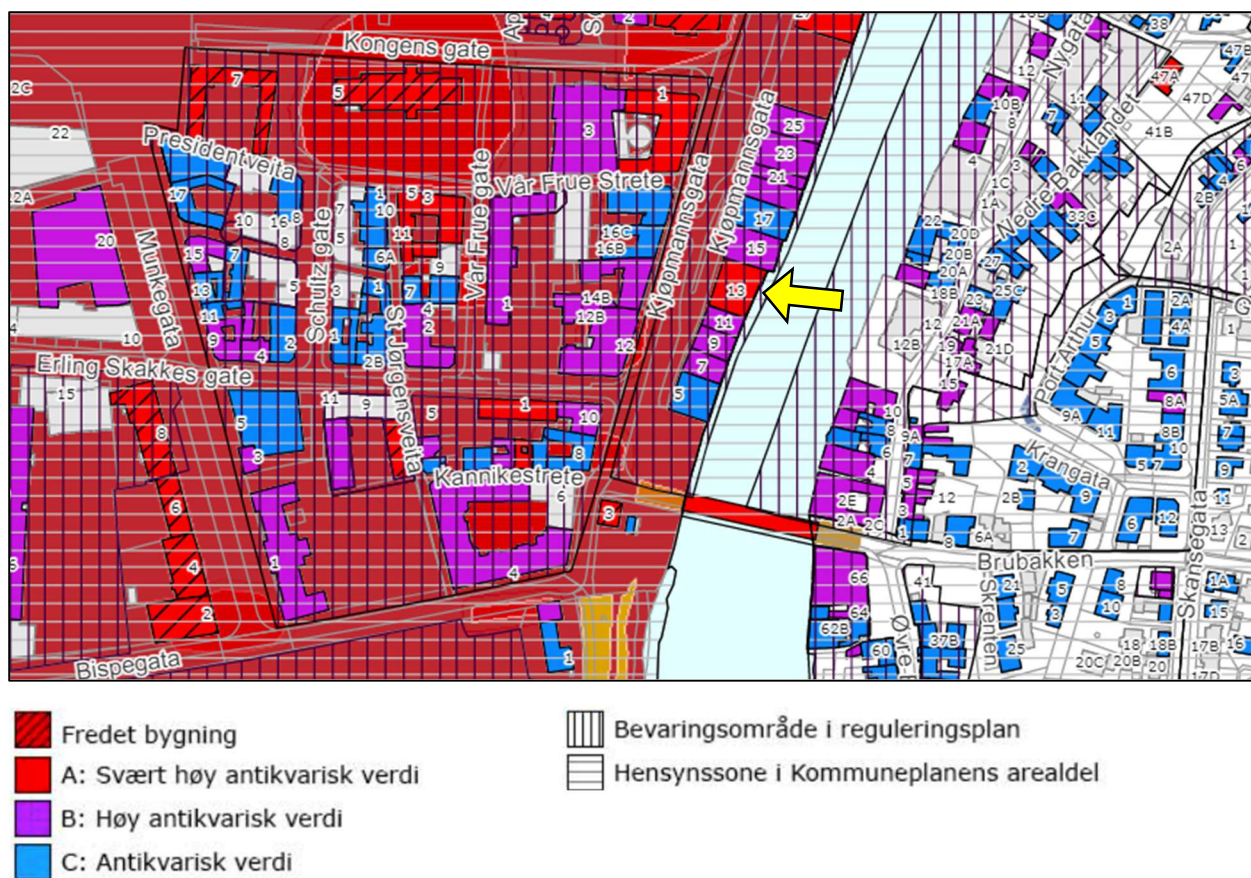
2 Teori

2.1 Verneklasser

Betegnelsen verneverdig benyttes om kulturminner som har så stor historisk verdi at de bør vernes og bevares for fremtiden. For å bli identifisert som verneverdig gjennomgår kulturminnet en kulturhistorisk vurdering hvor det avgjøres om kulturminnet har nasjonal, regional eller lokal verdi. Det er stort sett kulturminner av nasjonal verdi som fredes gjennom kulturminneloven, mens kulturminner av regional og lokal verdi vernes gjennom plan- og bygningsloven eller listeføres som verneverdig (Riksantikvaren, 2019). Kulturminner som vernes gjennom plan- og bygningsloven blir fordelt i verneklasse A, B og C der verneklasse A er høyeste vernestatus før en fredning (Noach, 2022).

Huitfeldtbrygga er vernet gjennom plan- og bygningsloven og følger dermed de reguleringene som er satt i kommunens arealplan. I kommuneplanens arealdel §10.2 står det: «Bebyggelse markert som antikvarisk verdifull i klasse A, B eller C på *Aktsomhetskart kulturminner* skal søkes bevart. Takform, fasader, vinduer og dører, materialbruk og farger skal søkes opprettholdt for å bevare bygningers og anleggs karakter». I bunn og grunn betyr det at alt som berører eksteriørverdier foreligger byantikvaren (Hansen and Harkjerr, 2012). Byantikvaren i Trondheim jobber for at hele bryggerekken skal fredes og det er derfor bestemt at Huitfeldtbrygga skal betraktes som fredet til tross for at den er plassert i verneklasse A (Noach, 2022). Figur 2-1 viser et aktsomhetskart over området rundt Huitfeldtbrygga.

Fra et kulturhistorisk perspektiv er det hovedstrukturen i Huitfeldtbrygga og fasaden ut mot elven som er viktigst å bevare. På østfasaden ser man tydelig at brygga en gang var tre mindre separate brygger før de ble satt under ett tak (Noach, 2022). Brygga har også vært gjennom flere store ombygginger, med sammenslåing av etasjer og endring av bærekonstruksjon, og denne historien skal kunne leses om 50-100 år (Trondheim kommune, 2014).



Figur 2-1. «Aksomhetskart kulturminner» fra Trondheim Kommunes arealdel (Trondheim kommune, 2014)

2.2 Fukt i trekonstruksjoner

Høye fuktverdier er uønsket i trekonstruksjoner, da fukten som trenger inn i konstruksjonen eller bygningsdeler øker sjansen for fuktskader (Holøs, 2018).

Fuktskader

Fuktskader kommer i flere varianter og gir ulike konsekvenser for bygningsdeler og brukerne av bygget. Nedbør, byggfukt, lekkasje fra overflatevann, fuktig inne- og uteluft er noen av hovedkildene til fuktige bygningskonstruksjoner. Sopp er blant de vanligste skadene, men vil kun oppstå om alle de fire vekstforholdene næring, vann/fukt, tid og temperatur, er til stede. Sopp trives aller best i temperaturer rundt 25-30 grader og dannes lett ved vannlekkasje eller kondens. Etablert sopp dør ikke ved lav temperatur, men går i

dvale og kan overleve frost. Ved høy temperatur vil derimot soppen kunne dø (SINTEF, n.d.).

Det skilles mellom muggsopp og råtesopp som begge er vanlig ved fuktskader i treverk. Muggsoppen er hurtigvoksende og kan være allergifremkallende. Dette grunnet gasser og damper som slippes ut som kan føre til luktproblematikk og misfarging. Muggsoppen vokser ved en RF rundt 80-85% på overflaten eller i porene til materialet. Råtesoppen vokser frem ved en høy RF, derfra utvikles den ved lavere verdier. Utviklingen til råtesoppen er langsom, og det er enzymer som står for nedbrytingen av stoffenes cellevegg. En slik skade kan forekomme både på utsiden og innsiden av et materiale og kan redusere materialets styrke ved at treverket brytes ned (Holme and Geving, n.d.). Høy fuktighet i bygninger vil også skape gode muligheter for overlevelsen og formeringen til skadedyr. For trekonstruksjoner er det snakk om biller og maur som kan påføre skader direkte på treverket (Bøhlerengen, 2018).

Kritiske verdier

For å kartlegge om fuktinnholdet i en bygning ligger på et akseptabelt nivå ser man på et materiales relative fuktighet i sammenheng med temperatur. Ved høye temperaturer inneholder luften mer fuktighet enn ved lave temperaturer. Dette gjør at varm damp som treffer materialer som holder en lavere overflatetemperatur oppnår kondens, som kan legge seg som dugg eller vanndråper på materialene (TEKNA, 2021). Kondens kan oppstå både på overflaten og innsiden av et materiale og vil over tid føre til fuktproblemer. Den relative fuktigheten til et materiale er en prosentandel av hvor stor mengde vanndamp et gitt volum inneholder sett i forhold til maksimalt vanndampinnhold ved en gitt temperatur. Tre materialer oppnår et kritisk fuktnivå ved en RF over 80% sammen med en temperatur på mer enn 0 grader. Ved overskridelse av den kritiske verdien øker sjansen for mugg- og råtesoppvekst (Aarseth et al., 2002).

2.3 Inneklima

Inneklimaet er viktig for alle brukerne av et bygg og påvirkes blant annet av fuktinnholdet i bygningen. Et forurenset inneklima kan føre til helseplager og sykdomssymptomer som irritasjon i øyne, nese, hals og hud, psykisk tretthet, hodepine, konsentrasjonsvansker og generell uvelfølelse ("Fukt og helse," 2016).

Høy relativ fuktighet kan forårsake soppvekst og skader på bygningskomponenter. Når fuktinnholdet øker, øker også avgassingene fra materialet. Dette er trolig den enkeltfaktoren som bidrar mest til dårlig innemiljø ("Fukt og helse," 2016). Sammenhengen mellom dårlig inneklima, høy RF inne og helseplager er godt dokumentert. Blant annet har rapporter fra både Institute of Medicine og WHO fastslått at fuktige bygninger gir økt risiko for luftveissykdommer og forverring av astma ("Fukt og fuktskader i norske boliger," 2016).

2.4 Etterisolering av trekonstruksjoner

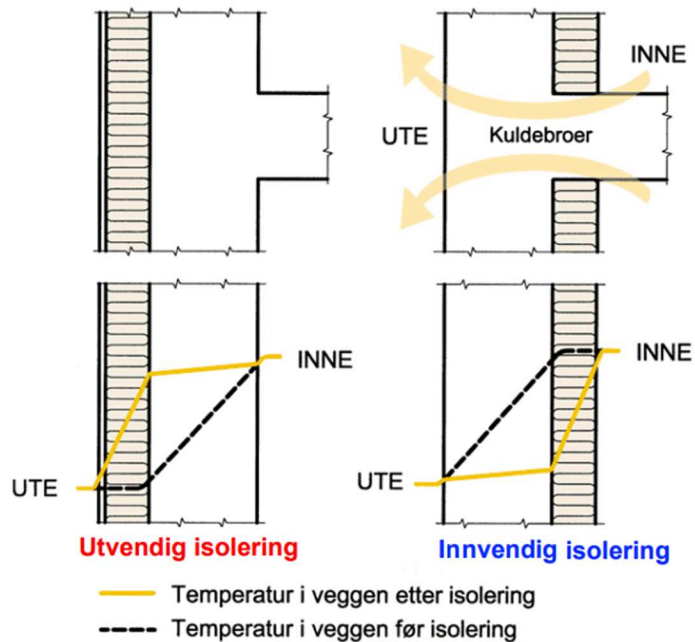
Når eldre luftige bygninger tettes og etterisoleres forstyrres den naturlige varme- og luftstrømmen. Dette fører til at konstruksjonen utsettes for varmere og fuktigere forhold som kan få eksisterende stabile råteskader til å blusse opp (Riksantikvaren, 2012). Når bygningskroppen blir tettere, må man derfor sørge for å øke ventilasjonen i bygget.

Innvendig etterisolering av yttervegger

Innvendig etterisolering reduserer temperaturen i den opprinnelige konstruksjonen, se figur 2-2. Dette fører til at konstruksjonen får dårligere uttørkingsevne og fuktigheten i treverket øker. Når treverket blir eksponert for høy fuktighet over lengre tid oppstår fukt- og sopp-skader (Stenby, 2020). Den byggtekniske risikoen som følger med innvendig etterisolering må derfor vurderes spesifikt for hvert enkelt tilfelle.

Dersom veggene som etterisoleres ikke er lufttette anbefales det å montere en vindspærre mellom lafteveggen og isolasjonen. Dette er ikke like effektivt som et heldekkende, lufttett sjikt på utsiden av veggene, men det vil bidra til å holde vinden ute og øke effektiviteten til varmeisolasjonen. Når det etterisoleres på innsiden av veggene vil det heller ikke være

mulig å eliminere kuldebroer ved etasjeskillere og skillevegger, se figur 2-2 (Byggforsk, 2004a).



Figur 2-2. temperatur ved innvendig og utvendig isolasjon (Bøhlerengen,2009)

Utvendig etterisolering av yttervegg

Utvendig etterisolering er gunstigere for fuktsikkerheten fordi den opprinnelige konstruksjonen blir varmere og tørrere. Varmetapet gjennom veggen blir i tillegg redusert i større grad enn ved innvendig isolering fordi kuldebroer i overganger brytes, se figur 2-2. Samtidig fører det reduserte varmetapet til at kledningen blir kaldere og får dårligere uttørkingsevne. For å sikre at kledningen tørker må det derfor etableres et luftsjikt på innsiden av kledningen (Stenby, 2018).

2.5 Trefuktmåling

Generelt

Elektrisk motstandsmåling baseres på at den elektriske motstanden i trevirket endrer seg med fuktinnholdet. Økt fuktinnhold gir bedre ledningsevne og dermed mindre motstand. Motstanden måles mellom to elektroder som drives inn i trevirket, og med en kalibreringskurve for det aktuelle materialet regnes motstanden om fra ohm til fuktinnhold i vektprosent. Forholdet mellom elektrisk motstand og fuktinnhold kan beskrives ved hjelp av følgende eksponentialfunksjon (Geving and Thue, 2002):

$$R = 10^{(10^{A-B \cdot u} - 1)} \quad (\text{F.1})$$

$R = \text{motstand (Mohm)}$

$u = \text{fuktinnhold (vektprosent)}$

$A = 1,072 \text{ (gran) eller } 1,055 \text{ (furu)}$

$B = 0,037 \text{ (gran) eller } 0,04 \text{ (furu)}$

Korrigerings

I tillegg til fuktinnhold avhenger den elektriske motstanden av treslag, temperatur, saltinnhold og densitet. Kompensering av målingene for treslag og temperatur gir en god indikasjon på fuktinnholdet i treet (Geving and Thue, 2002).

I motsetning til metaller faller den elektriske motstanden i tre med økende temperatur. Målingene som ikke kompenserer for dette direkte må korrigeres i etterkant etter tabell 2-1 eller ved hjelp av følgende funksjon (Norsk Standard, 2014):

$$u_k = \frac{u + 0,567 - 0,026 \cdot (t + 2,8) + 0,000051 \cdot (t + 2,8)^2}{0,881 \cdot (1,0056)^{t + 2,8}} \quad (\text{F.2})$$

$u_k = \text{korrigert fuktighet (vektprosent)}$

$u = \text{avlest fuktighet (vektprosent)}$

$t = \text{treets temperatur}$

Tabell 2-1. Korrigerte verdier for fukt i tre som funksjon av avleste verdier ved forskjellige temperaturer

Temp. °C	Avlest fukt (vektprosent)								
	10	12	14	16	18	20	22	24	26
-30	14,9	17,6	20,2	22,9	25,5	28,2	30,8	33,4	36,1
-25	14,4	16,9	19,5	22,1	24,6	27,2	29,8	32,3	34,9
-20	13,8	16,3	18,8	21,3	23,8	26,3	28,8	31,3	33,8
-15	13,2	15,7	18,1	20,5	23,0	25,4	27,8	30,2	32,7
-10	12,7	15,1	17,4	19,8	22,2	24,5	26,9	29,3	31,6
-5	12,2	14,5	16,8	19,1	21,4	23,7	26,0	28,3	30,6
0	11,7	14,0	16,2	18,4	20,7	22,9	25,1	27,4	29,6
5	11,3	13,4	15,6	17,8	20,0	22,1	24,3	26,5	28,7
10	10,8	12,9	15,1	17,2	19,3	21,4	23,5	25,6	27,7
15	10,4	12,5	14,5	16,6	18,6	20,7	22,7	24,8	26,8
20	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0	24,0	26,0
25	9,6	11,5	13,5	15,4	17,4	19,3	21,3	23,2	25,2
30	9,2	11,1	13,0	14,9	16,8	18,7	20,6	22,5	24,4
MERKNAD Normalt bør man oppgi den korrigerte verdien og ikke den avleste. [19]									

Målenøyaktighet og målenøyaktighet

I henhold til NS 3512:2014 regnes målenøyaktigheten normalt etter ligningen $\pm 0,1 \cdot u$, der u er avlest fuktighet i vektprosent. Eksempelvis betyr det at målenøyaktigheten ved 22 vektprosent blir $\pm 0,1 \cdot 22 = \pm 2,2$ vektprosent. For gran og furu ligger måleområdet mellom 8 og 28 vektprosent, som tilsier en nøyaktighet på $\pm 0,5 - 2$. På grunn av dårlig nøyaktighet anbefales det ikke å bruke motstandsmåling over fibermetningspunktet. Da ligger usikkerheten over ± 10 vektprosent (Geving and Thue, 2002).

2.6 U-verdi

U-verdi er en betegnelse på hvor mye varme som strømmer gjennom et gitt areal ved en temperaturforskjell som konstant ligger på 1 Kelvin. Varmen beregnes per tidsenhet og resultatet viser en bygningsdels varmeisolerende evne (Bunkholt, 2020a).

En ferdig utregnet u-verdi tar for seg den samlede varmemotstanden til gjennomsnittet av de ulike sjiktene i en bygningsdel, samt innvendig og utvendig overflate. En lav verdi er ønskelig da det vitner om lav varmeledningsevne og høy isoleringsevne. Samlet u-verdi tar også høyde for eventuelle kuldebroer (Byggogbevar.no, 2021).

Tabell 2-2 viser minimumskravene TEK 17 stiller til energieffektivitet for hver enkelt del av en laftet boligbygning og fritidsbolig av 6 toms laft. Det finnes ingen egen tabell for laftede bygninger som er større enn boligbygg og fritidsbolig (Berg, 2021).

Tabell 2-2. Krav om u-verdi for boligbygg og fritidsbolig med laftede yttervegger

Bygningsdel	U-verdi [W/m ² K]
Tak	≤ 0,18
Gulv	≤ 0,18

* Det stilles ingen krav til yttervegger av laft, men normalt settes den til 1 W/m²K.

Verneverdige bygninger er unntatt kravene som stilles til u-verdi i TEK17, da vern av bygget skal være hovedfokus. Bygg av antikvarisk verdi skal fremdeles etterstrebe kravene så godt som mulig (Noach, 2022).

2.7 Materialer

Som et ønske fra kulturminneforvalteren skal restaureringen av verneverdig hensyn gjennomføres med naturlige materialer så langt det lar seg gjøre. Naturlige materialer omtegnes materialer som kan brytes ned eller som lar seg gjenbruke og som er økologisk rene (Eaton, 2018).

2.7.1 Isolasjonsmaterialer

Isolasjon er et materiale med lav varmeledningsevne som i hovedsak legges mellom kald og varm side av en bygningsdel. Sjiktet skal sikre beskyttelse mot varmetap, varmelekkasje og fuktvandring. Varmetap oppstår når varm inneluft forsvinner ut mot kald

luft og varmelekkasje betegnes som den kalde utelufta som trenges inn til varm del av bygningen (Lorentzen and Årtun, 2018). Luftlekkasjer gir mulighet for kald eller fuktig luft å trenge inn i konstruksjonen og medfører redusert isolasjonsevne, ettersom stillestående luft isolerer (SINTEF, 2020).

Mineralull er samlebetegnelsen for steinull og glassull, og leveres hovedsakelig som ruller, plater og blåseisolasjon. Sjøttet er klassifisert til å ikke råtne eller absorbere fukt. Mineralull er mye brukt og har blitt benyttet som isolasjon i bygninger over lang tid. Isolasjon av mineralull har også gode miljøegenskaper (NORIMA, 2021).

Celluloseisolasjon er laget av trefibermasse eller returpapir og kommer som blåseisolasjon og matte. Cellulosen har evnen til å gi fra seg og ta opp fuktighet fra omgivelsene og ved at materialet er dampåpent tillater den diffundering av fuktighet fra varm til kald side via vindsperra. Vanndamp kan på denne måten slippe ut fra byggingen uten å påføre skade (Krumsvik, 2018a). Celluloseisolasjonen har i tillegg gode egenskaper for motvirkning av sopp og råte gjennom tilsetningsstoffer (Bunkholt, 2020b).

2.7.2 Vindsperre

Vindsperra beskytter den bakenforliggende konstruksjonen mot vind, kulde og fukt. Sjøttet er dampåpent for å slippe ut fukt fra innsiden og vannavvisende for å hindre regn fra å trenge inn i konstruksjonen (Uvsløkk, 2003). Det lufttette sjøttet som vindsperra danner, skal hindre kald luft fra å trenge inn og ødelegge effekten av isolasjonen. For isolerte konstruksjoner bør sd-verdien til vindsperra maksimalt ligge på 0,5 m som tilsvarer $2,5 \times 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$. En lav diffusjonsmotstand er ønskelig da det sikrer rask uttørring av byggfukt og hindrer oppsamling av fuktig inneluft (Edvardsen and Ramstad, n.d.).

2.7.3 Dampsperre

Dampsperre er et sjøtt som legges på varm side av isolasjonen i tak og yttervegger. Som en tommelfingerregel kan en fjerdedel av isolasjonen legges innenfor dampsperras plassering. Oppgaven til dampsperra er å hindre varmetap ved luftlekkasjer og hindre fukt

fra å transponere fra varm side av konstruksjonen til de kaldere delene. Diffusjonsmotstanden til dampsperra bør ha en sd-verdi over 10 m som tilsvarer 50×10^9 m²sPa/kg. Om diffusjonsmotstanden er for lav vil den varme innelufta få mulighet til å diffundere utover i veggen og skape kondens, noe som øker sjansene for mugg- og soppvekst i konstruksjonen (Edwardsen and Ramstad, n.d.).

2.7.4 Gran

Gran er et lett treslag som har høy styrke og stivhet i forhold til densiteten, samt relativt lav krymping. Gran kan oppnå krymping på 7,5 – 8% tangentielt, 3,5 – 4% radielt og 0,1 – 0,3% i lengderetning ved fibermetningspunktet på 28 – 30% fuktighet ned til 0% fuktighet. Dette gjør gran godt egnet som konstruksjonsvirke (Kilde, 2011).

Gran har en oppbygning bestående fra innerst til ytterst av marg, kjerneved og yteved. For gran er det ingen markant synlig forskjell mellom yteved og kjerneved, men yteved har mer fuktighet og mindre holdbarhet enn kjerneved. I Norge brukes gran både til kledning og gulvbord, men også til store konstruksjoner (Kilde, 2011)

Granens termiske konduktivitet avhenger av trevirkets fuktighet. Høyere fuktighet vil gi høyere varmeledningsevne. Den termiske konduktiviteten avhenger også av vedens retning, uregelmessigheter, densitet samt type og andel ekstraktivstoffer. Ved beregning benyttes en praktisk varmeledningsevne (λ) på tvers av fibrene hvor $\lambda = 0,12 \text{ W/mK}$. Denne verdien er gjeldene for gran ved 20% fuktighet med en tilhørende densitet på 500 kg/m³ (Kilde, 2011)

2.8 Fuktkriterier

For å sammenligne tiltakene er det satt opp syv kriterier. De to første kriteriene går ut på at det totale vanninnholdet i konstruksjonen og i hvert enkelt sjikt ikke skal akkumulere. Hvis vanninnholdet stabiliserer seg i løpet av testperioden tillates det en økning på starten av simuleringen.

Neste kriterium er at vanninnholdet i treverket ikke overstiger fibermetningspunktet, se tabell 2-3. Dette for å redusere mulighetene for oppstart av ny råtesopp. For at råtesopp skal starte å vokse i gran bør vanninnholdet være opp mot ca. 28 vektprosent eller 85% RF. Det kan oppstå råtesopp ved lavere vanninnhold, men da forutsettes det at treverket har vært fuktet opp til over 28 vektprosent tidligere (Thue and Geving, 2002a).

Tabell 2-3. Fuktkriterier av vanninnhold for gran

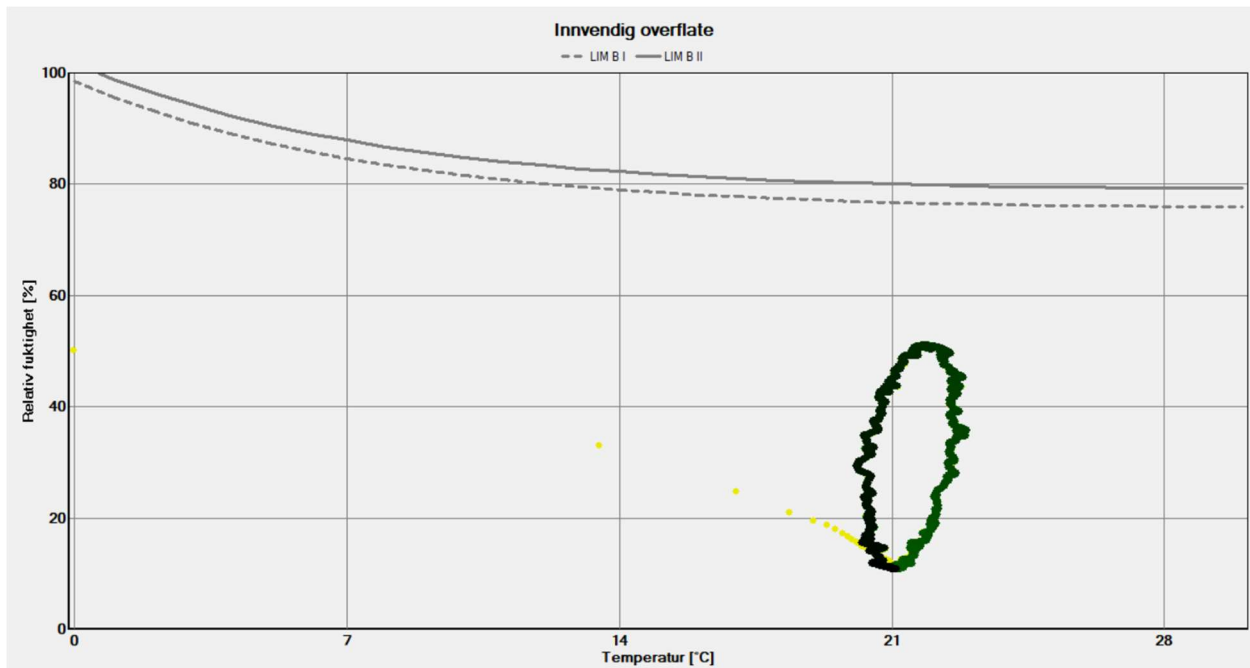
Fuktkriterier for vekst av råtesopp i gran			
Sjikt	Rødt nivå	Gult nivå	Grønt nivå
Treverk	≥ 30 vektprosent	28 – 30 vektprosent	≤ 28 vektprosent

De neste tre kriteriene tar hensyn til at det kritiske fuktnivået stiger når temperaturen synker, se tabell 2-4. Forskning viser at muggvekst på overflater typisk skjer ved en RF mellom 80% og 100% for forskjellige materialer. I tillegg til fuktinnhold er muggveksten temperaturavhengig. Optimale vekstforhold for muggvekst ligger mellom +20° og +35°C, men de fleste vokser ved temperaturer mellom +5°C og +40°C (Thue and Geving, 2002a).

Tabell 2-4. Fuktkriterier av RF for muggvekst på overflater

Fuktkriterier for muggvekst på overflater			
Temperaturintervall	Rødt nivå	Gult nivå	Grønt nivå
$0 < t < 5$	95 – 100% RF	90 – 95% RF	$< 90\%$ RF
$5 < t < 15$	90 – 95% RF	85 – 90% RF	$< 85\%$ RF
$15 < t < 50$	85 – 90% RF	80 – 85% RF	$< 80\%$ RF

Det siste kriteriet leses av fra en egen isoplett i WUFI. Dersom isopletten for innvendig overflate ligger under parabelen i koordinatsystemet skal det ikke oppstå muggvekst på innvendig overflate som vist på figur 2-3.



Figur 2-3. Eksempel på isoplett hvor muggvekst ikke vil oppstå fra variant 1

2.9 Avgrensning av oppgaven

Som avgrensninger til oppgaven betraktes klimaskjermen som tak, yttervegger og gulv hvor dører og vinduer utelates. Innholdet tar ikke høyde for overgangen mellom de ulike løsningene som presenteres, men ser på løsningene som fiktive scenarier som kan videreutvikles både for Huitfeldtbrygga og andre lignende bygninger.

Det tas ikke hensyn til plassmangel, utfordringer med jordforhold og utgraving av eksisterende konstruksjoner i variantene som er gitt i vedlegg 1, 2 og 3. Fremtidig bruksområde er ikke fastsatt og er dermed unnlatt fra vurderingen. Det antas optimal ventilering i den ferdige brygga. Oppgaven tar ikke hensyn til branntiltak og dette må vurderes ytterligere. Begrensningene som er særskilte for Huitfeldtbrygga tas i betraktning for valg av oppbygging. Her inngår betingelsene som sier at østveggen ikke kan endre fasade og at nord og sørveggen ikke vil bli eksponert for slagregn.

3 Metode

I denne bacheloroppgaven er det gjennomført fuktsimuleringer i WUFI Pro av klimaskjermen i Huitfeldtbrygga. For å skaffe realistisk inngangsdata i simuleringene er det gjennomført fuktmålinger av treverket i bygningen. Videre hentes informasjon og kunnskap om bryggens historie, verneverdige bygninger, fukt og fuktproblematikk i trebygninger i forbindelse med nye tiltak på klimaskjermen. Denne innhenting består av en litteraturstudie i kombinasjon med møter og samtaler med personer med relevant kunnskap og erfaring.

3.1 Fuktmålinger

Fuktmålinger ble gjennomført i henhold til NS 3512:2014 for å anskaffe et realistisk bilde av bryggas fukttilstand. Måleprinsippet med elektrisk motstandsmåling står beskrevet i kapittel 2.5. Målingene brukes videre som startbetingelser for fuktsimuleringer i WUFI.

Betingelser

Målingene ble gjennomført 15.02.2022. Totalt ble det tatt 21 målinger fordelt på vegger og tak over bryggas seks plan, se vedlegg 4. Grunnet restaureringen er opprinnelig gulvkonstruksjon midlertidig tildekket og det ble derfor ikke gjennomført fuktmålinger her. Utetemperaturen var 0°C og innetemperaturen anslås tilsvarende da bygget ikke var oppvarmet samt deler av nord- og sørveggen var fjernet for restaurering. Målingene ble temperaturkorrigert etter tabell 2-1 og det ble brukt interpolering i de tilfellene hvor nøyaktig avlest fuktighet ikke var tilgjengelig i tabellen.

Utførelse

Elektrodene ble plassert parallelt med fiberretningen på alle målingene mens kvister, spiker og sprekker ble unngått. For å minimere merket etter slaghammeren ble elektrodene drevet inn på kanten av laftestokkene og på siden av taktro og stendere. Elektrodene var 42 mm lange og isolerte i henhold til NS 3512:2014. Elektrodene ble slått helt inn og verdien ble avlest etter to minutter hvis verdien var stabilisert.

For taket og veggene ble det tatt flere målinger og medianen er her valgt som startebetingelsen inn i WUFI. Målingene som oversteg fibermetningspunktet på 28 vektprosent ble ikke tatt med i denne beregningen grunnet for høy usikkerhet. Det ble ikke utført målinger i bryggas nordvegg da denne var under restaurering. Hele nordveggen laftes med ny tømmer og verdien for denne veggen er satt til den samme som for målingen av nytt tømmer på sørveggen.

3.2 Fuktsimuleringer i WUFI-1D

WUFI er en tyskutviklet programvare for analysering og beregning av varme- og fukttransport i bygningskomponenter over en gitt periode. I denne oppgaven brukes WUFI Pro til å simulere fuktutviklingen i ulike tiltak for å danne et godt sammenligningsgrunnlag. Materialene som brukes for simulering hentes i den tilgjengelige materialdatabasen, men den er noe mangelfull og ikke alle materialer ligger inne. I tilfeller hvor materialene som skal testes ikke finnes i databasen velges det materialet som ligger nærmest materialparameterne (Geving, 2016). Se vedlegg 5 for materialene som er brukt i simuleringene i dette prosjektet. Inngangsdataene som er brukt står i tabell 3-1.

Tabell 3-1. Inngangsdataen som er brukt ved simuleringer i WUFI

Inndata		Årsak
Startdato	15.02.2022	Dato for gjennomføring av fuktmåling
Sluttdato	15.02.2027	Ønsker simulering for 5 år
Orientering	Nord, Sør, Øst og Vest	
Starttemperatur i konstruksjonen	0°C	Temperatur i konstruksjonen ved gjennomføring av fuktmålinger
Klima	Trondheim	
Temperatur inne	Middelverdi: 22°C Amplitude: 1 K	Erfaringstall fra Rambøll
RF inne	Middelverdi: 30% Amplitude: 20%	Erfaringstall fra Rambøll
Luftvekslinger	2 per time	Erfaringstall fra Rambøll

3.3 U-verdiberegninger i Therm

Therm er programvare som beregner u-verdien til en bygningskomponent. Programmet utføres i 1D og tillater egendefinerte valg av tykkelse og størrelse på materialene som inngår i bygningsdelen. Materialer tilegnes de ulike sjiktene via det eksisterende biblioteket eller fra egendefinerte komponenter med ønsket konduktivitet. Ettersom simuleringene fra WUFI allerede inneholder gitte konduktivetsverdier benyttes disse videre. De ulike komponentene tegnes inn i programmet som et snitt fra varm til kald side med innsatte millimetermål.

Begrensningsbetingelse definerer verdier for utvendig og innvendig side av bygningskomponenten. Temperaturen settes til -20°C utvendig og $+20^{\circ}\text{C}$ innvendig. Varmegjennomgangsmotstanden settes til verdiene fra tabell 3-2.

Tabell 3-2. Verdier for varmegjennomgangsmotstand benyttet i Therm

Varmestrømsretning/ Overflate	Oppover	Horisontalt	Nedover
Innvendig	10	7.69	5.88
Utvendig	25	25	25
Utvendig, inkludert ventilert kledning	10	7.69	5.88

Inngangsdata

Tabell 3-3 viser inngangsdataen til materialene som er brukt for å beregne u-verdier i Therm.

Tabell 3-3. Inngangsdata for beregning av u-verdi i Therm

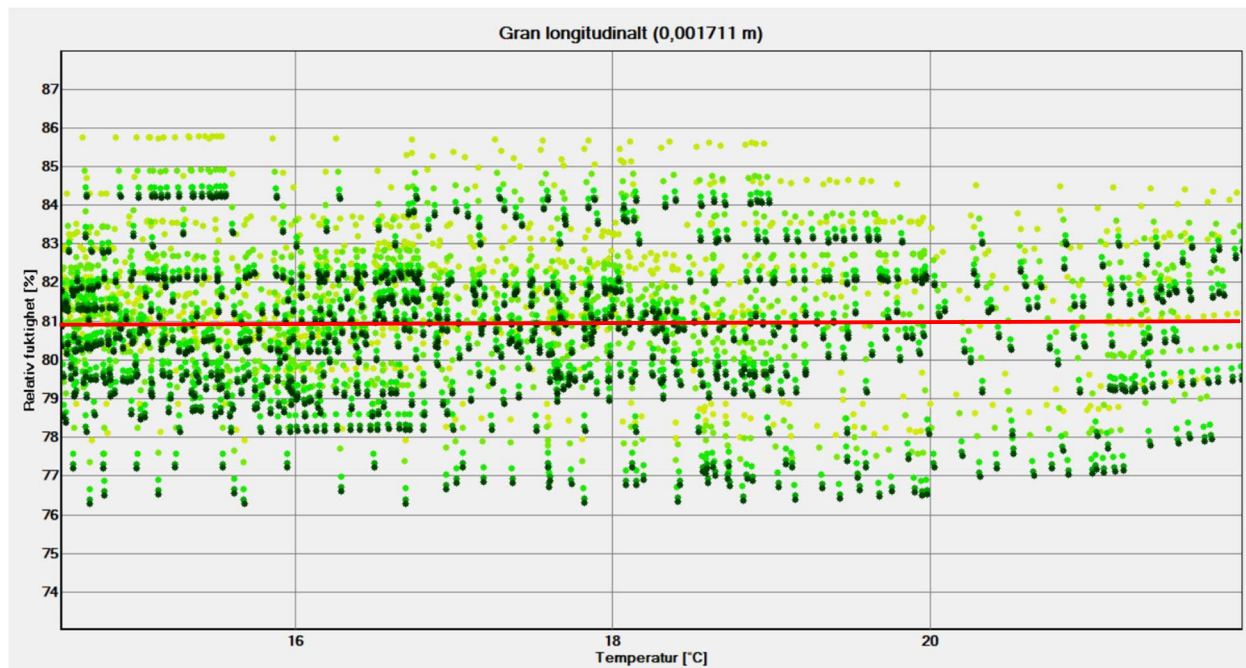
Materiale	Konduktivitet
Dampsperre gulv	1.65
Dampsperre tak	1.65
Dampsperre vegg	2.2
EPS	0.04
Gran	0.23
Isolasjon	0.04
Vindsperre gulv	1.65
Vindsperre tak	1.65
Vindsperre vegg	2.2
Lettklinker	0.13
Teglpanne	0.6
Sponplate	0.11
Asfaltplate	2.3
Glass	0.2
Luftsjikt	0.23

3.4 Usikkerhet og feilkilder

Databasen til WUFI inneholder ikke alle materialer fra dagens konstruksjon. For eksempel består dagens konstruksjon av kjerneved av gran som både er tyngre, tørrere og har høyere permeabilitet enn yteveden som brukes i WUFI (Skaug, n.d.). Ved disse tilfellene velges materialene utfra størst likhet med opprinnelig komponent. Takkonstruksjonens sinuskorrigerte bølgeplater ligger ikke i databasen og simulering av nåværende

konstruksjon er dermed ikke helt korrekt. Prosjektbeskrivelsen beskriver at ny takkonstruksjon skal belegges med teglpanner og variantene er derfor simulert med dette.

Ved analysering av simuleringene må grafene for isoplett tolkes. Feil avlesning av grafene gir opphav til en mulig feilkilde. Figur 3-1 viser i rødt hvordan avlesningen av isoplett er utført i oppgaven.



Figur 3-1. Eksempel på avlest isoplett

Materialer som ikke har blitt målt ved elektrisk motstandsmåling er satt til RF 50% og omregnet til vanninnhold i vektprosent. Dette kan medføre noe feilmargin i simuleringene og vil ikke alltid være korrekt. Gulvet er et eksempel på dette da det ikke var mulighet å gjennomføre målinger der ved befaring.

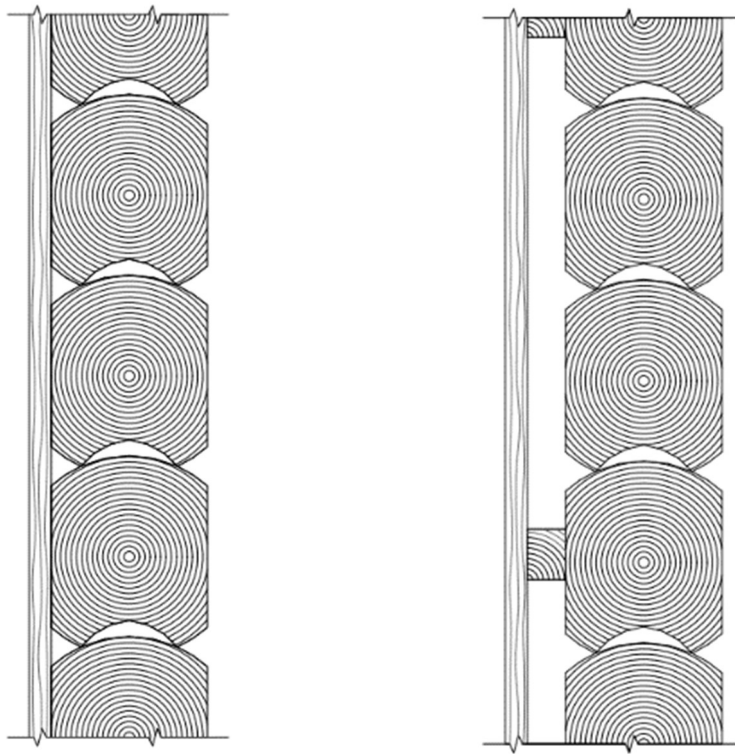
Trefuktmåleren skal kalibreres regelmessig. Det er knyttet usikkerhet til tid mellom kalibrering og gjennomførte målinger, det kan derfor ikke betraktes som noe annet enn en indikasjon på fuktinnholdet i treet.

4 Drøfting

4.1 Yttervegger

4.1.1 Eksisterende konstruksjon

Huitfeldtbryggas yttervegger består i all hovedsak av 6 toms sletthugget laft i gran med utvendig kledning spikret rett på laftet. Dette er illustrert i figur 4-1. Noen steder er det brukt 5 toms laft, men alt laftet som blir byttet ut erstattes med 6 toms. Vestveggen skiller seg ut fra de resterende veggene ved at kledningen er lektet ut og behandlet med maling.



Figur 4-1. Eksisterende ytterveggskonstruksjon, sletthugget laft med utvendig kledning av tre

4.1.2 Fuktmålinger

Tabell 4-1 viser informasjon om fuktmålingene som ble utført i ytterveggene av Huitfeldtbrygga 15.02.22. Nøyaktig plassering av målingene finnes i vedlegg 4.

Tabell 4-1. Verdiene og plassering av fuktmålingene på Huitfeldtbrygga

Måling	Orientering	Hvor	Vektprosent
1	Vest	Plan 5, midtre brygge	13,0
2	Vest	Plan 5, midtre brygge	13,3
5	Øst	Plan 5, midtre brygge	11,6
6	Øst	Plan 5, midtre brygge	11,5
8	Øst	Plan 3, midtre brygge	13,3
9	Vest	Plan 3, midtre brygge	13,7
10	Øst	Plan 3, nordre brygge	14,0
11	Vest	Plan 3, nordre brygge	15,6
12	Øst	Underetasje, nordre brygge	19,1
13	Øst	Plan 1, søndre brygge	17,1
14	Sør	Plan 1, søndre brygge	14,2
15	Øst	Underetasje, søndre brygge	100,0
16	Øst	Underetasje, søndre brygge	66,5
17	Øst	Plan 2, søndre brygge	16,9
18	Vest	Plan 2, søndre brygge	18,6
19	Vest	Plan 3, søndre brygge	16,6
20	Øst	Plan 3, søndre brygge	43,3
21	Vest	Plan 1, søndre brygge	22,7
Medianverdier			
Østvegg			16,2
Vestvegg			17,96
Sørvegg			16,97
Nordvegg			16,97

4.1.3 Tiltak

Bryggas yttervegger har alle ulike forutsetninger og begrensninger som påvirker hvilke tiltak som er aktuelle og hvordan fuktinnholdet oppfører seg i konstruksjonen. Det er kun utvalgte tiltak som trekkes fram i teksten, men samtlige undersøkte tiltak finnes i vedlegg 1.

Østveggen

Fasaden ut mot elva har høy antikvarisk verdi og skal, så langt det er forsvarlig, ikke røres. Deler av kledningen ble demontert i hjørnene på nord- og sørbygga på grunn av råteskade, store deler ble ødelagt i prosessen og kan ikke monteres opp igjen. Det er derfor ikke aktuelt å se på tiltak som involverer demontering av kledningen. Kledningen er spikret rett på laftet, så det er ingen luftemuligheter på baksiden av kledningen.

Fra simuleringene kommer det tydelig fram at tykkelsen på isolasjonslaget har stor innvirkning på fukttilstanden i veggen. Alle tiltak som har en isolasjonstykkelse over 100mm får problemer med akkumulering av vanninnhold og tiltak med 50mm eller mer opplever for høy relativ fuktighet når temperaturen ligger mellom 5 og 15°C. Dette er en konsekvens av at temperaturen i opprinnelig konstruksjon blir lavere og får redusert uttørkingsevne. Et vanlig mottiltak er montering av dampsperre på innsiden av isolasjonen for å hindre varm og fuktig luft i å trekke inn i konstruksjonen, men vedlegg 1 viser at en dampsperre i dette tilfelle ikke har noen positiv innvirkning. Blant annet vil tiltak nr. 23 med 50 mm innvendig isolasjon og vindsperre være et aktuelt tiltak, men kombinert med dampsperre (nr. 28) blir den relative fuktigheten for høy både i kledningen og i laftet ved temperaturer over 15°C. En forklaring på dette kan være at dampsperreren hindrer fukten fra å tørke ut til innelufta. Østveggen har ikke gunstige uttørkingmuligheter mot uteluften på grunn av den manglende luftespalten og da kan det være en fordel at fukten kan tørke innover i konstruksjonen (Geving, 2015). I slike tilfeller kan det være aktuelt å teste om en smart dampsperre kan være aktuelt.

Det er kun tre av de undersøkte tiltakene som tilfredsstillende alle de satte kriteriene. Det første er tiltak nr. 21, som kun innebærer å montere en vindsperre mellom laftet og en innvendig kledning av tre. Vindsperra er tilstrekkelig dampåpen og alene har den liten eller ingen påvirkning på temperaturen i den opprinnelige konstruksjonen. Det medfølger derfor ingen økt risiko for fuktskader med dette tiltaket. De andre aktuelle tiltakene er nr. 23 og 26 som består av vindsperre, 50mm isolasjon og innvendig kledning. Forskjellen mellom disse tiltakene er at nr.26 har vindsperre på begge sider av isolasjonen. Fra simuleringene stiller de to tiltakene helt likt, men det bør gjøres en ekstra vurdering på dampåpenheten til veggen når det brukes to vindsperrer.

Til tross for at simuleringen viser høy RF når temperaturen ligger over 15°C tas tiltak nr. 33 med videre til kulturminneforvalter. Tiltaket går ut på å flytte klimaskjermen inn i bygget med en glassvegg. På den måten blir lafteveggen synlig og verneverdien opprettholdes. Grunnen til at tiltaket ikke skrotes er at WUFI ikke har noen god måte å etterligne denne konstruksjonen på. Det største luftsjiktet som kan legges inn er på 150mm, som er 1/10 av bredden rommet vil ha. Dette er det eneste tiltaket som ikke forringer innsiden og et tiltak alle parter har vært interessert i å undersøke.

Vestveggen

I motsetning til østveggen er det aktuelt å demontere kledningen på veggen ut mot Kjøpmannsgata. Det åpner opp for muligheten til å legge inn vindsperre på utsiden av veggen. Det kan også være aktuelt å etterisolere på utsiden, men det må gjøres en vurdering på hvor store konsekvenser det får for bryggas verneverdi. Hvis det isoleres på utsiden vil veggen bygge mer utover enn opprinnelig, som medfører at fasadens proporsjoner endres. Blant annet vil takutstikk reduseres, forholdet mellom vegg og grunnmur endres og vinduene blir liggende dypt i veggen (SINTEF, 2004).

I likhet med østveggen skaper større isolasjonstykkelser problemer. Alle tiltak over 50mm isolasjon opplever akkumulering av vanninnhold eller høye RF-verdier ved alle temperaturer. Dette skjer uavhengig av om isolasjonen legges på innsiden eller utsiden

av lafteveggen. Problemene oppstår på innsiden av vindsperra ved at fuktig luft samler seg opp. Det er brukt en dampåpen vindsperra med $s_d=0,017$ for å redusere faren for slik opphoping og gi raskere uttørking, men det har ikke vært tilstrekkelig med de gitte forutsetningene. Det er også uaktuelt å fjerne vindsperra da det fører til akkumulering av vanninnhold i laftet.

Tiltak nr. 2 og nr. 4 er aktuelle for vestveggen. Førstnevnte innebærer å montere en vindsperra på utsiden av lafteveggen. Som tidligere nevnt vil ikke et slikt tiltak føre til økt risiko for fuktproblemer. Dette forutsetter at vindsperra som benyttes er tilstrekkelig dampåpen. Det andre aktuelle tiltaket er å etterisolere med 50mm utvendig isolasjon i kombinasjon med utvendig vindsperra som vist i tiltak nr. 4. En fordel med dette tiltaket er oppnåelse av et sammenhengende vindsperra- og isolasjonssjikt over hele veggflaten, slik at eventuelle trekkproblemer ved etasjeskillere og skillevegger elimineres.

Nord- og sørveggen

Utfordringen med nord- og sørveggene er at de ligger så tett på nabobryggene at det er vanskelig å gjennomføre tiltak på utsiden av veggene. I teorien er det plass til utvendig isolasjon, men det er ikke nødvendigvis mulig å utføre i praksis grunnet plassmangel for håndverkerne. På sørveggen står bryggene for tett, og veggene er for skjeve, til at det er aktuelt med andre utvendige tiltak enn å montere en vindsperra og sørge for lufting på innsiden av kledningen. På nordveggen er det bedre plass og er derfor undersøkt for utvendige tiltak med opptil 50mm isolasjon.

Basert på gitte kriterier har nord- og sørveggen flere aktuelle tiltak. I motsetning til øst- og vestveggen viser vedlegg 1 at isolasjonstykkelser opp til 100mm er aktuelle både på innsiden og utsiden av lafteveggen. Dette skyldes at regnpåkjeningen i disse tilfellene er satt lik null grunnet felles takrenne- og nedløpssystem som prosjekteres for Huitfeldtbrygga og nabobryggene, se kapittel 4.2.1. Til tross for dette er det uaktuelt med isolasjonstykkelser opp mot 300mm på innsiden av veggene.

Basert på kriteriene og begrensningene av plassmangel er tiltak nr. 41, 46 og 48 aktuelle for sørveggen. Førstnevnte innebærer montering av vindspærre på utsiden av lafteveggen og luftsjikt på 36mm. På den måten sikres totrinnstetting av kledningen og øker veggens uttørkingsevne. Det vil fortsatt være et stort varmetap gjennom konstruksjonen, men det heldekkende, lufttette vindspærresjiktet reduserer luftlekkasjer gjennom veggen. Tiltak nr. 46 og 48 har i tillegg til totrinnstetting 100mm innvendig isolasjon med og uten dampspærre. Tiltakene scorer helt likt på fuktkriteriene, som kan skyldes celluloseisolasjonens evne til å suge opp og transportere bort fukt. Siden celluloseisolasjonen er hygroskopisk er det ikke behov for dampspærre på samme måte som ved bruk av mineralull (Krumsvik, 2018b). Likevel kan det være aktuelt å montere en dampspærre fordi den sammen med vindsperra vil redusere luftlekkasjer i veggen. I motsetning til tiltak nr.41 vil disse tiltakene redusere veggens u-verdi, se tabell 4-2.

4.1.4 U-verdiberegninger

Tabell 4-2 viser resultatene fra u-verdi beregninger i Therm. Dette er tiltakene som ble sendt til kulturminneforvalter til vurdering.

Tabell 4-2. Resultater fra u-verdi beregningene i Therm

Orientering	Variant	U-verdi
Nord og sør	41	1.095
	42	0.462
	43	0.293
	46	0.288
Øst	21	1.003
	33	0.920*
Vest	7	0.444
	2	1.096
	18	1.096
	4	0.462
Opprinnelig	1, 20, 40	1.010

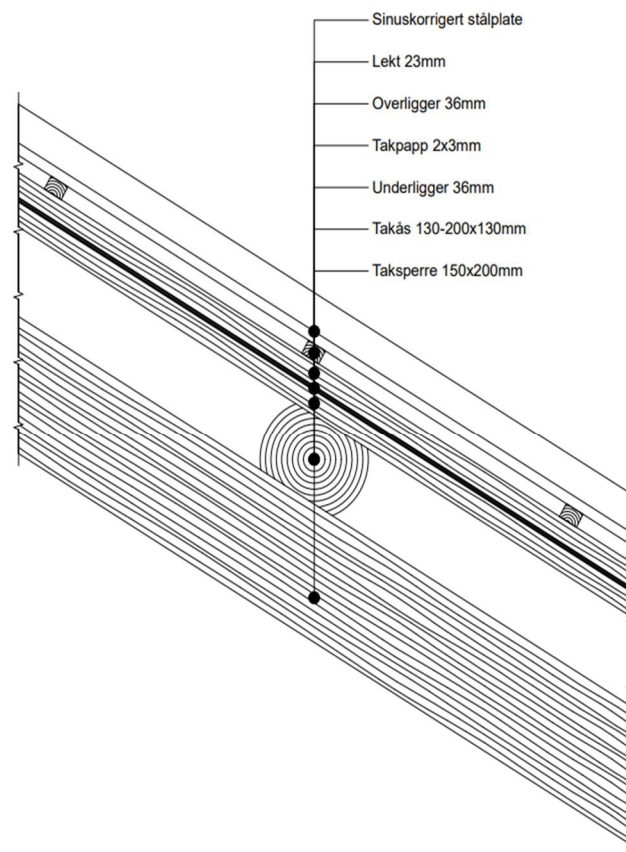
*Kun glasset med verdier fra kilder

4.2 Tak

4.2.1 Eksisterende konstruksjon

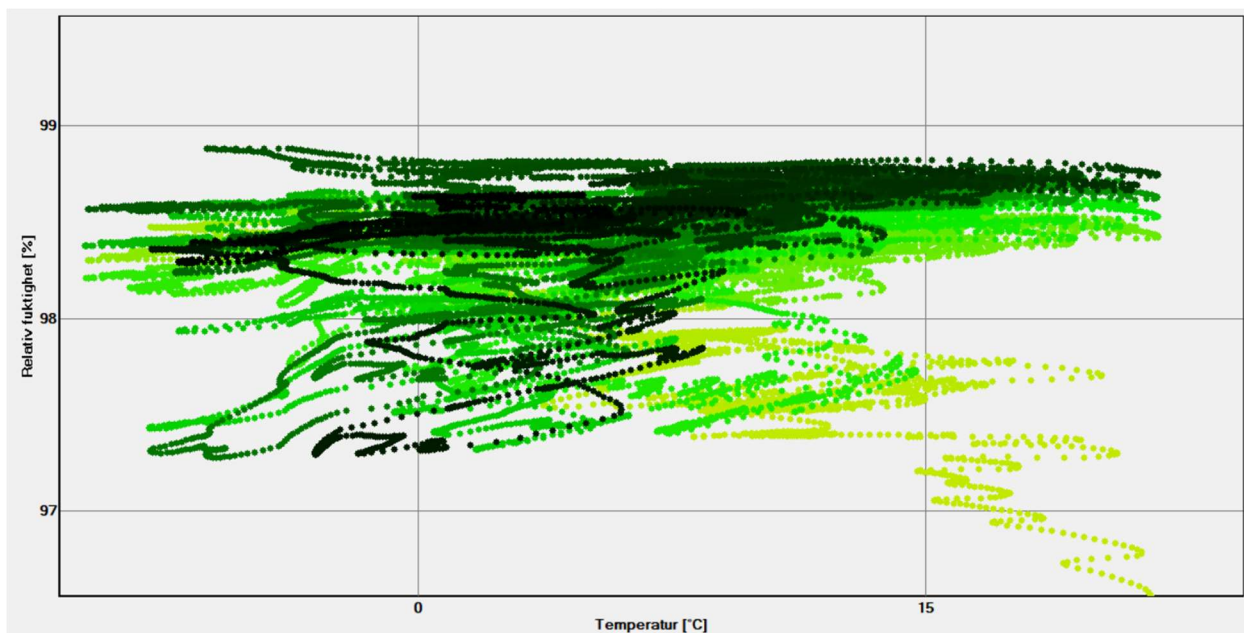
Huitfeldtbrygga har en sammenhengende takflate på 588m² som knytter de tre bryggene sammen. Helning er på 26 % hvor dagens takkonstruksjon er tekket med sinuskorrigerte bølgeblekkplater (Hutfeldtbrygga.no, 2021). Platene skal byttes ut med teglpanner, som det opprinnelige taket var tekket med på 1900-tallet. Bærekonstruksjonen er bygget opp av sperrer på 150x200mm og takåser på 130-200x130mm. Taktroen er lagt med 20% glippe mellom bordene med en dimensjon på 130-225x36mm. Over er takpapp lagt i to lag på 3 mm med overligger på 36mm. Løsningen med overbord over pappen i taktroen er en veldig uvanlig og er gjennomført som midlertidig løsning da taket hadde store lekkasjer ved oppstart av restaureringen (Saugen, 2022). Se figur 4-2 for oppbygging av eksisterende takkonstruksjon.

Per dags dato er takrenner og nedløp på Huitfeldtbrygga og nabobryggene underdimensjonert slik at vannet renner over og ned på ytterveggene. Nord- og sørveggene er spesielt utsatt grunnet liten avstand til nabobryggene, hvor raftet til Huitfeldtbrygga ligger over raftet på nabobryggene. Vannet som takrennene ikke klarer å føre bort renner ned på taket til nabobryggene, som sammen med takvannet spruter over på ytterveggene på Huitfeldtbrygga. Det prosjekteres derfor et felles takrenne- og nedløpssystem for disse bryggene.



Figur 4-2 Eksisterende takkonstruksjon

Først ble både damp tett og dampåpent undertak undersøkt. Vedlegg 2 viser at tiltakene med dampåpent undertak opplever høy relativ fuktighet. Grafene viser fuktansamling på innsiden av vindsperra og utsetter den opprinnelige taktroen for råteskader, se figur 4-4. Dette problemet oppstår ikke i tiltakene med damp tett undertak. Det er simulert med samme vindsperra i begge metodene. Det eneste som skiller tiltakene er det damp tette belegg på undertaket. Dette tyder på at det er fukt fra uteluften som skaper problemer ved vindsperra.



Figur 4-4. Isoplett av taktro fra tiltak nr 64

For å begrense antall simuleringer ble kun damp tett undertak undersøkt videre, med ulike isolasjonstykkelse. Vedlegg 2 viser at det ikke er aktuelt å isolere både mellom åsene og sperrene. Simuleringene viser akkumulering av vanninnholdet i både den opprinnelige taktroen og takåsen. I utgangspunktet er det optimalt å isolere begge sjiktene da det gir et heldekkende lufttett sjikt på utsiden av sperrene. I motsetning til kun isolering mellom takåsene. Til slutt ble det sett på tiltak som innebærer å isolere på utsiden av den opprinnelige takkonstruksjonen. Ved å gjøre det på denne måten blir hele den opprinnelige bærekonstruksjonen synlig fra innsiden. I motsetning til innvendig isolering

vil ikke temperaturen i den opprinnelige konstruksjonen reduseres og vedlegg 2 viser at det blir aktuelt å isolere med større isolasjonstykkelser.

4.2.4 U-verdiberegninger

Tabell 4-4 viser til u-verdi beregningene som ble gjennomført i Therm av taket. Dette er tiltakene som ble sendt til kulturminneforvalter til vurdering.

Tabell 4-4. U-verdier for taket i Huitfeldtbrygga fra Therm

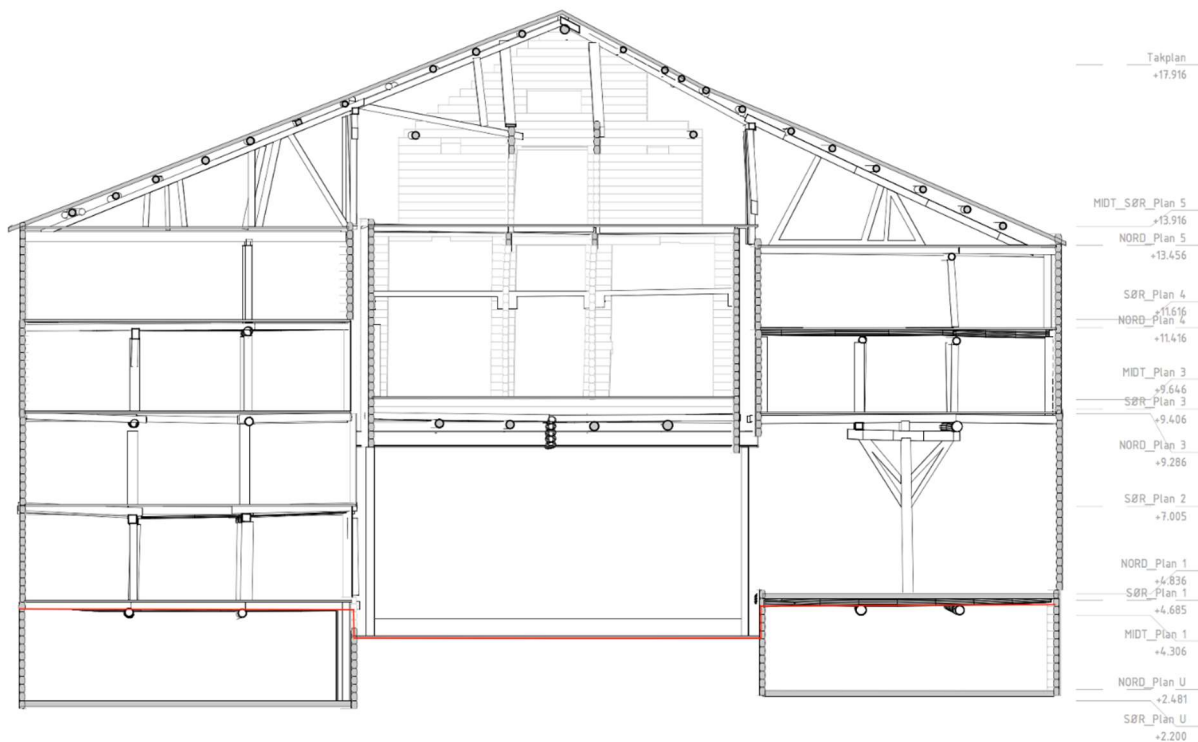
Variant	U-verdi
1	0.2182
8	0.2259

4.3 Gulv

4.3.1 Eksisterende konstruksjon

Fundamenteringen av brygga er todelt. Ut mot elva er det åpen fundamentering med søyler av tømmerstokker og inn mot Kjøpmannsgata er det gulv på grunn. Oppbyggingen og tilstanden til delen som ligger inne på landkartet er uklar siden konstruksjonen foreløpig ikke er tatt opp. Fra de delene som kan inspiseres er det tydelig at flere år med bruksendringer har satt sitt preg. Noen steder består bjelkelaget av kryssende tømmer i ett lag og andre steder er det flere. I midtbrygga er det et område med betong som trolig er støpt for å gi gulvet nok styrke til å tåle vekten av en bil og enkelte steder er tømmeret råtnet helt bort da tømmeret ligger i direkte kontakt med jord.

Det er valgt å se på tiltak som flytter klimaskjermen fra underetasjen og opp til etasjeskilleren mellom plan U og plan 1. Dette gjøres siden plan U periodevis er utsatt for høy vannføring i elva og tiltak som tetter denne etasjen vil få store utfordringer med fukt og vannskader. Plassering av den nye klimaskjermen er vist i Figur 4-55.



Figur 4-5. Snitt av Huitfeldtbrygga med illustrert klimaskjermen mot gulv i rødt (Oslo Works, 2020)

4.3.2 Fuktmålinger

Grunnet gulvdekket som beskytter opprinnelig gulvkonstruksjon under restaureringen ble det ikke gjennomført fuktmålinger av gulvet.

4.3.3 Tiltak

Fra befarings ser det ut til at bjelkelaget ligger i direkte kontakt med bakken i deler av brygga. Når trevirke utsettes for fuktighet på denne måten vil det bli råteskadet. Dette kommer tydelig fram i underetasjen i sørbrygga hvor tilsvarende konstruksjon ble funnet. Her er tømmerstokkene nesten råtnet helt bort. Siden resten av brygga står over Nidelva er det sett på muligheten for å lage kryperom i den delen av brygga som nå ligger på grunn.

Grunnet veihevingen av Kjøpmannsgata vil kryperommet ligge lavere enn terrenget utenfor. For at tiltakene som beskrives skal være aktuelle forutsettes det at kryperommet

er tilstrekkelig drenert og at ventilasjonen er god nok til å transportere fukten bort fra kryperommet (Byggforsk, 2004b). Ventilasjon av kryperommet utfordrende ettersom veihevingen har redusert og delvis stengt av luftgjennomstrømningen mellom øst og vest. Denne problemstillingen er ikke behandlet i denne oppgaven.

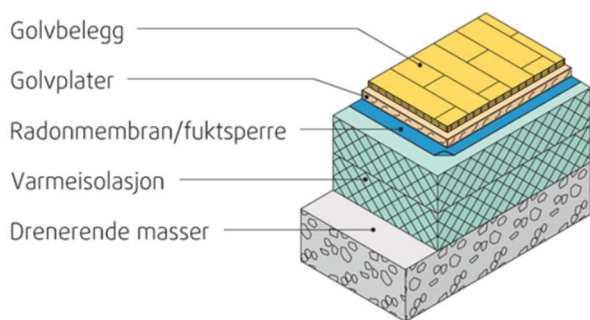
Oppbyggingen av gulvkonstruksjonen mot grunn er ukjent og det tas derfor utgangspunkt i oppbyggingen av gulvet mot det fri. Det er undersøkt tiltak med varierende isolasjonstykkelse i bjelkelaget, med og uten isolasjon og fuktsperre på grunn. Vedlegg 3 viser at tiltak med fuktsperre på bakken kun fungerer dersom den kombineres med isolasjon. Dette er uventet ettersom hensikten med fuktsperren er å hindre avdunsting av fukt fra terrengoverflaten og burde redusere fuktinnholdet (Thue and Geving, 2002b). Det kommer fram at isolasjonstykkelsen ikke har noen innvirkning på fuktigheten i konstruksjonen. Bjelkelag mot uteventilerte kryperom skal i utgangspunktet ha samme effekt av tykkere isolasjon som yttervegger; den relative fuktigheten i de kalde delene av konstruksjonen skal øke mens uttørkingsevnen reduseres når isolasjonstykkelsen øker. Det stilles derfor stor usikkerhet til simuleringene av denne gulvkonstruksjonen. Problematikken skyldes sannsynligvis utfordringer med etterligning av den hygrottermiske situasjonen i gulvet.

Noe av samme problematikk kommer fram i den delen av gulvet som ligger over elva. Også her ser det ut til at isolasjonstykkelsen ikke har noen innvirkning på fukttilstanden i gulvkonstruksjonen. Dette tyder på at det er noen feil i inngangsdataene i simuleringene. Tiltakene som presenteres for gulvkonstruksjonen i dette prosjektet baseres derfor på kjent teori om gulv mot det fri, men kan ikke støttes opp av simuleringer i WUFI. Dersom disse tiltakene vurderes brukt for Huitfeldtbrygga må det gjøres en ny vurdering av tiltaket.

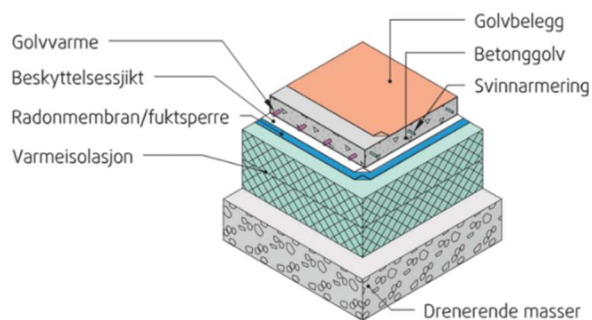
Et alternativ til kryperom er å legge gulv på grunn. I dette prosjektet er det sett på to ulike metoder for gulv på grunn: plate på mark og lett gulvkonstruksjon. Det gjøres en antagelse om at gulvet ikke skal ta opp laster fra bærende vegger og simuleringene er derfor gjennomført med 50mm betong (Byggforsk, 2003).

EPS er vanlig å benytte i fuktige miljøer siden det absorberer lite fuktighet (Stagrum, 2018). Tross dette viser simuleringene at vanninnholdet i EPS-en akkumulerer i begge tiltakene hvor det legges betonggulv på grunn. I tillegg til at EPS-en ikke er i kontakt med sopputsatte, naturlige materialer viser grafene videre opp i konstruksjonen stabilt vanninnhold og lav RF på innsiden av fuktspærren. Det stilles derfor spørsmål ved om denne akkumuleringen vil få konsekvenser for fuktilstanden i konstruksjonen. En konsekvens er uansett at varmeisolasjonsevnen vil reduseres etter hvert som isolasjonen absorberer vann (Stagrum, 2018)

Det andre alternativet er å beholde gulv på grunn, enten som plate på mark eller lett gulvkonstruksjon, se figur 4-6 og 4-7. Vedlegg 3 viser at dette er gode løsninger fra et fuktteknisk perspektiv. Forskjellen på tiltakene er at den lette gulvkonstruksjonen ikke har den tradisjonelle betongplaten. Denne typen konstruksjon kan bare benyttes dersom gulvet ikke utsettes for store belastninger (Thue and Geving, 2002c). Ulempen med både plate på mark og lett gulvkonstruksjon er at eksisterende gulv må fjernes.



Figur 4-6. Illustrasjon av lett gulvkonstruksjon (521.111)



Figur 4-7. Illustrasjon av varmeisolert betonggulv på grunnen (521.111)

4.3.4 U-verdiberegning

Tabell 4-5 viser resultatene av u-verdi beregninger for gulv utført i Therm.

Tabell 4-5. U-verdier av gulv beregnet i Therm

Variant	U-verdi
4	0.0329
12	0.0341
13	0.0291

5 Konklusjon

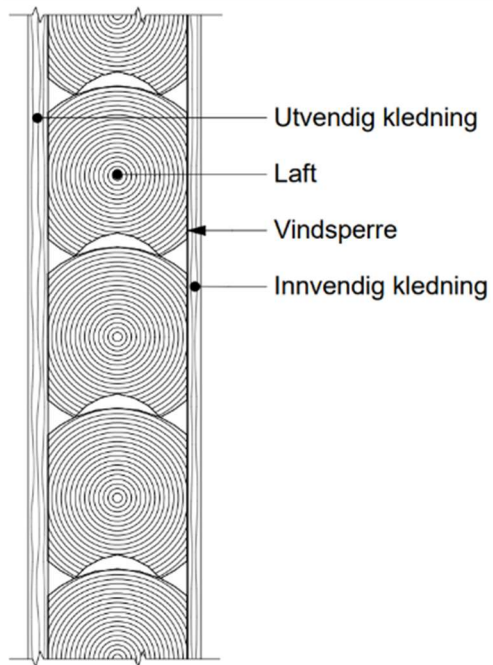
Simulerte tiltak baseres på løsninger som skal optimalisere Huitfeldtbryggas levetid samt sikre verneverdi og et godt inneklima ved å unngå fuktfremkallende oppgraderinger av klimaskjermen. Tabell 2.3 og 2.4 viser skalaen som er benyttet for å kartlegge hvorvidt tiltakene fører til overskridelse av kritisk verdi av relativ fuktighet som kan medføre muggvekst og problemer for inneklima. Som belyst i kapittel 2.3 vil fuktskader medføre negative konsekvenser for helsen til de som skal oppholde seg i bygget over lengre tid og det er derfor viktig at tiltakene oppfyller kravene som er stilt. En stabil og lav RF sikrer også mot andre fuktskader som igjen reduserer sjansen for skader på brygga. Under presenteres løsningene som foreslås for de ulike bygningskomponentene.

5.1 Østvegg

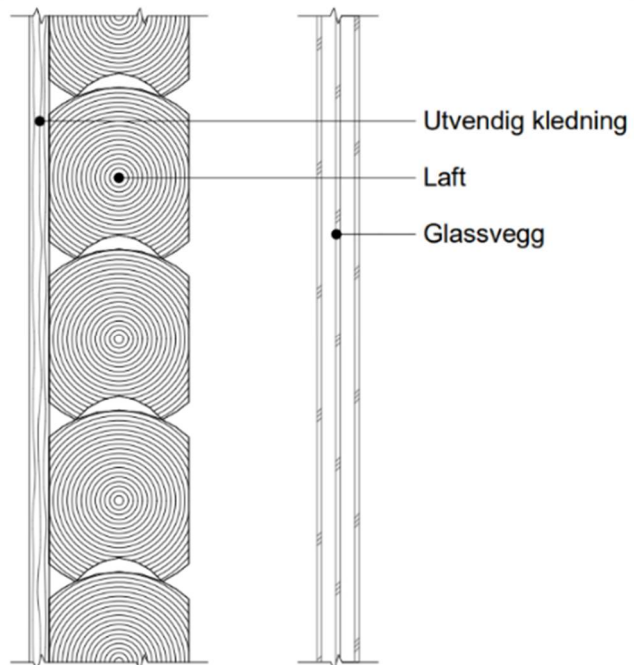
For østveggen anbefales det å prosjektere for variant nummer 33 som er illustrert på figur 5-2. Denne består av opprinnelig konstruksjon, luftsjikt og en glassvegg. Løsningen oppnår både synlig laft fra innsiden, akseptabel RF og en u-verdi lik 0,92. I tillegg er variant 21 vurdert for østveggen og består av innvendig vindsperre og kledning som vist på figur 5-1. Varianten har god RF og en u-verdi lik 1,00. U-verdien for disse to variantene er tilnærmet lik, men kulturminneforvalters ønske om synlig laft fra innsiden oppfylles for variant 33 og dette vektet her tyngst.

5.2 Vestvegg

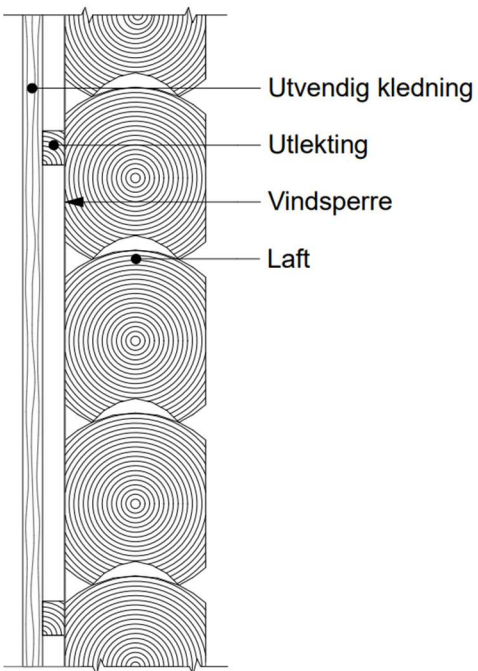
For vestveggen anbefales variant 4 som har et utvendig isolasjonssjikt på 50 mm. Varianten er illustrert på figur 5.4. RF i konstruksjonen holder et akseptabelt nivå og har en u-verdi på 0,46. Her møtes kulturminneforvalters ønske om synlig laft på innsiden. Variant 2 er også vurdert som aktuell med gode verdier på RF, men har betydelig høyere u-verdi lik 1,10 sammenliknet med variant 4. Variant 2 er illustrert på figur 5-3.



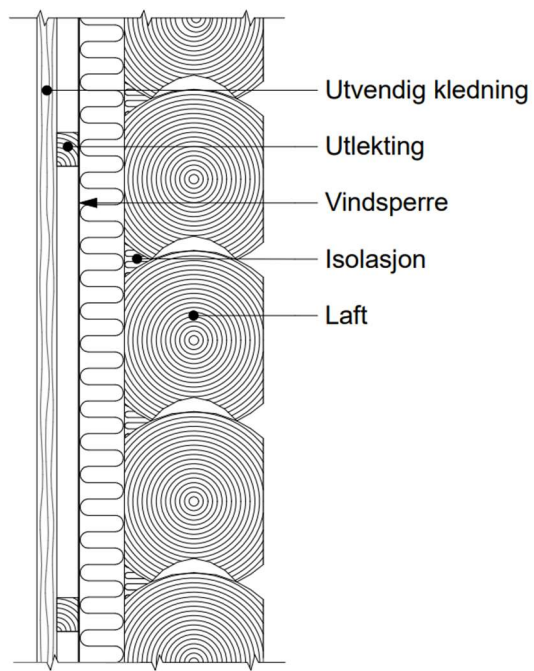
Figur 5-1. Variant 21



Figur 5-2. Variant 33



Figur 5-3. Variant 2



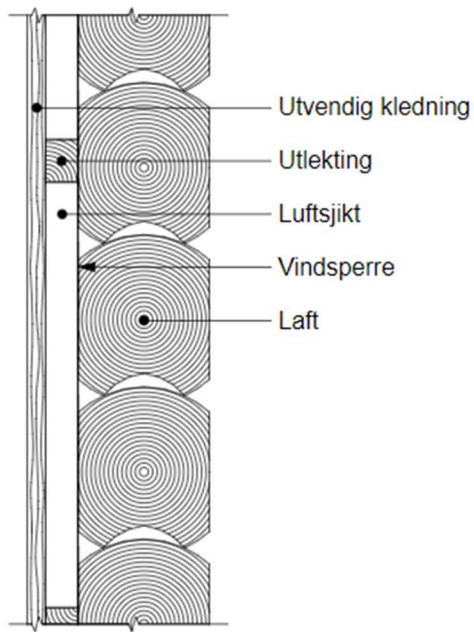
Figur 5-4 Variant 4

5.3 Nord- og sørvegg

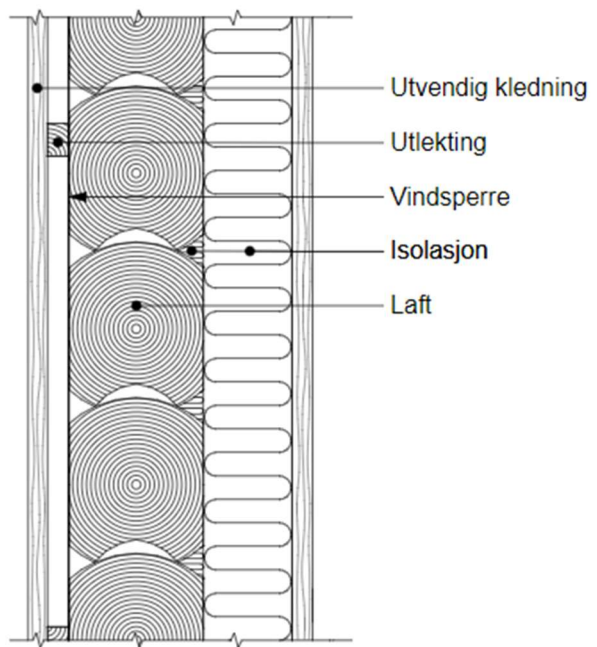
Kulturminneforvalter ønsker i utgangspunktet ikke fjerning av synlig laft ved å isolere på innsiden. Grunnet plassmangel mellom sørvegg og nabobrygge er ikke utvendig isolasjon et alternativ. Kulturminneforvalter ønsker derfor variant 47 og 48 for nordveggen samt 52 og 47 for sørveggen.

For sørveggen anbefales variant nummer 46, vist på figur 5-5. Denne løsningen består av luftet kledning, vindsperre og 100 mm innvendig isolasjon. Simuleringer i WUFI gir grønne resultater på RF som holder seg godt innenfor akseptabelt nivå og beregninger i Therm gir en u-verdi på 0,29. Variant 41 består av lufting og utvendig vindsperre, gir grønn RF i WUFI, men får en u-verdi på 1,09 som er mye høyere enn verdien for variant 46. Variant 41 er illustrert på figur 5-6.

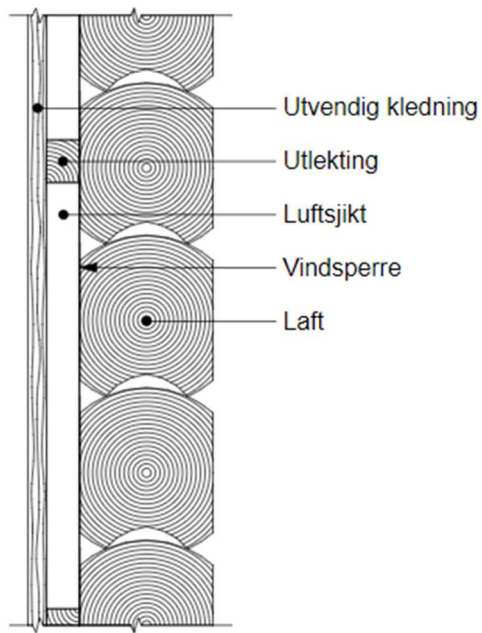
For nordveggen velges variant 42, vist på figur 5-8. Denne består av et 50 mm isolasjonssjikt på utsiden av laftet. Løsningen vil både sikre kulturminneforvalters ønske om synlig laft på innsiden, samtidig som den gir gode resultater på RF og en u-verdi på 0,46. Variant 41 vil igjen ha for høy u-verdi for å kunne velges til fordel for variant 42. Variant 41 er illustrert i på figur 5-7.



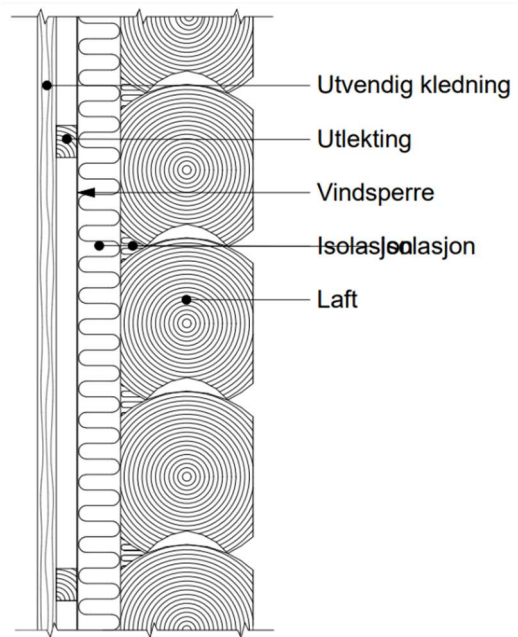
Figur 5-5. Variant 46



Figur 5-6. Variant 41



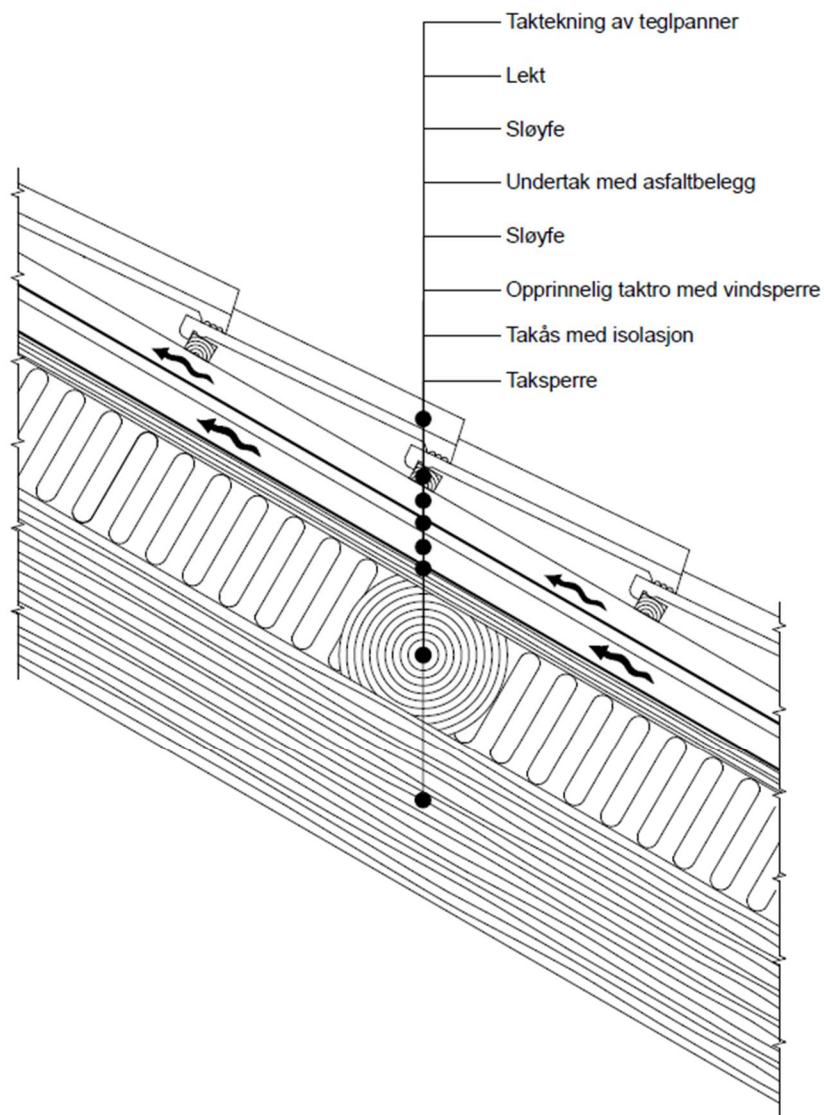
Figur 5-7. Variant 41



Figur 5-8. Variant 42

5.4 Tak

For taket anbefales variant nummer 61. Med 150 mm innvendig isolasjon mellom takåsene, dampnett undertak, teglpanner og himling holdes RF på et akseptabelt nivå. Varianten gir en akseptabel u-verdi på 0.22 og illustreres i figur 5-9. Som alternativ til variant 61 er variant 68 et godt alternativ. Oppbygningen er lik variant 61, men har utvendig isolering og dampsperre. Variant 68 gir en u-verdi på 0.23 som ansees akseptabel. Kulturminneforvalter ønsker bevaring av eksteriøret og ønsker derfor ikke utvendig isolering, derfor velges variant nummer 61 for taket.

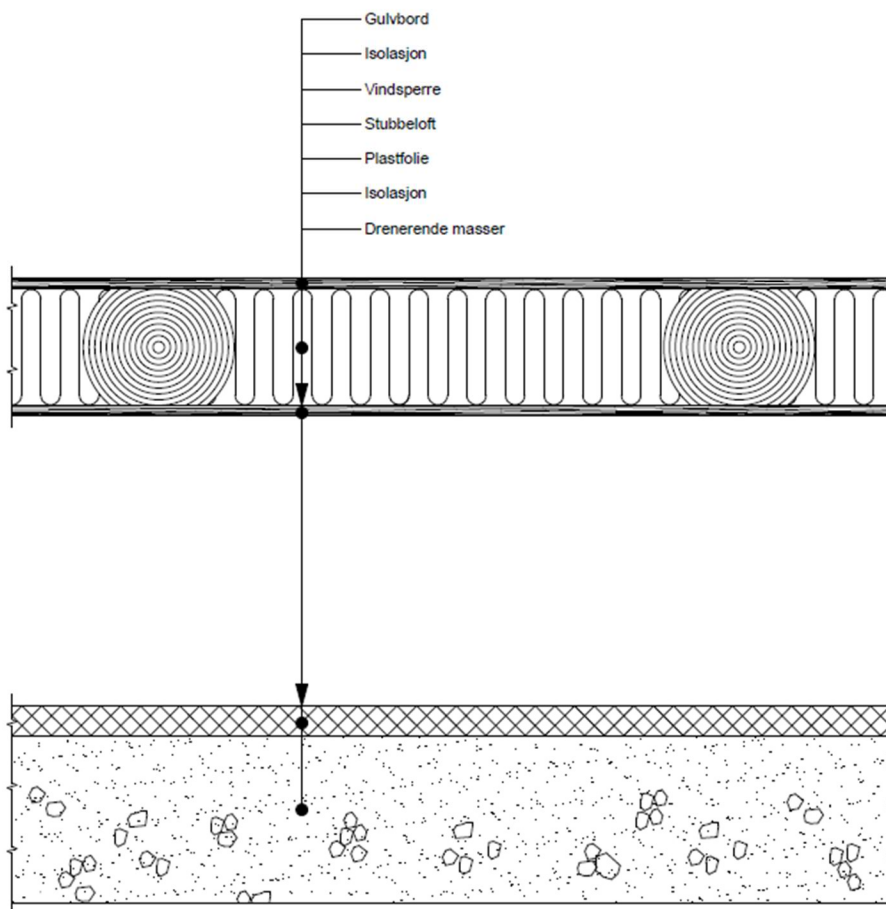


Figur 5-7 Variant 61

5.5 Gulv

Variante 84 er valgt som anbefaling for gulvet. Varianten er bygd opp som kryperom med 200 mm EPS-isolasjon som gir akseptable fuktbetingelser. U-verdien er 0.033 og gir dermed også en god varmeisolerende evne. Oppbygningen til varianten sikrer i tillegg at bjelkelaget over kryperommet kan dras videre til den delen av gulvkonstruksjonen som ligger over elva. Variante 84 er illustrert på figur 5-10.

Variante 93 er lett gulvkonstruksjon og velges som alternativ til kryperom. Nummer 83 er bygd på drenerende masser av lettklinker, 300 mm EPS-isolasjon og fuktsperre. Denne varianten har akseptable fuktbetingelser og en u-verdi på 0.029. U-verdien er her noe bedre enn for variante 84, men forskjellen er så liten at ønsket til kulturminneforvalter vektet tyngre enn u-verdiberegningen. Derfor anbefales variante 84 som løsning.



Figur 5-8. Variante 84

6 Figurliste

<i>Figur 1-1. Den østlige fasaden til Huitfeldtbrygga (Huitfeldtbrygga.no, 2020)</i>	1
<i>Figur 1-2. variant 41</i>	
<i>Figur 1-3. Den østlige fasaden til Huitfeldtbrygga (Huitfeldtbrygga.no, 2020)</i>	1
<i>Figur 2-1. «Aksomhetskart kulturminner» fra Trondheim Kommunes arealdel (Trondheim kommune, 2014)</i>	4
<i>Figur 2-2. temperatur ved innvendig og utvendig isolasjon (Bøhlerengen,2009)</i>	7
<i>Figur 2-3. Eksempel på isoplett hvor muggvekst ikke vil oppstå fra variant 1</i>	14
<i>Figur 3-1. Eksempel på avlest isoplett</i>	19
<i>Figur 4-1. Eksisterende ytterveggskonstruksjon, sletthugget laft med utvendig kledning av tre</i>	20
<i>Figur 4-2 Eksisterende takkonstruksjon</i>	26
<i>Figur 4-3. Markering av snittene som er benyttet i WUFI for takkonstruksjon</i>	27
<i>Figur 4-4. Isoplett av taktro fra tiltak nr 64</i>	28
<i>Figur 4-5. Snitt av Huitfeldtbrygga med illustrert klimaskjermen mot gulv i rødt (Oslo Works, 2020)</i>	30
<i>Figur 4-6. Illustrasjon av lett golvkonstruksjon (521.111)</i>	32
<i>Figur 4-7. Illustrasjon av varmeisolert betonggulv på grunnen (521.111)</i>	32
<i>Figur 5-1. Variant 21</i>	35
<i>Figur 5-2. Variant 33</i>	35
<i>Figur 5-3. Variant 2</i>	35
<i>Figur 5-4 Variant 4</i>	35
<i>Figur 5-5. Variant 46</i>	42
<i>Figur 5-6. Variant 41</i>	42
<i>Figur 5-7. Variant 41</i>	42
<i>Figur 5-8. Variant 42</i>	42
<i>Figur 5-9 Variant 61</i>	43
<i>Figur 5-10. Variant 84</i>	44

7 Tabelliste

<i>Tabell 2-1. Korrigerte verdier for fukt i tre som funksjon av avleste verdier ved forskjellige temperaturer.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabell 2-2. Krav om u-verdi for boligbygg og fritidsbolig med laftede yttervegger.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabell 2-3. Fuktkriterier av vanninnhold for gran.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabell 2-4. Fuktkriterier av RF for muggvekst på overflater.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabell 3-1. Inngangsdataen som er brukt ved simuleringer i WUFI.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabell 3-2 . Verdier for varmegjennomgangsmotstand benyttet i Therm.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabell 3-3. Inngangsdata for beregning av u-verdi i Therm.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabell 4-1. Verdiene og plassering av fuktmålingene på Huitfeldtbrygga.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabell 4-2. Resultater fra u-verdi beregningene i Therm.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabell 4-3. Resultatene fra fuktmålinger på taket i Huitfeldtbrygga.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabell 4-4. U-verdier for taket i Huitfeldtbrygga fra Therm.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabell 4-5. U-verdier av gulv beregnet i Therm.....</i>	<i>33</i>

8 Referanser

Byggforsk, 2004a. 723.511 Etterisolering av yttervegger av tre [WWW Document]. URL https://www.byggforsk.no/dokument/679/etterisolering_av_yttervegger_av_tre (accessed 2.2.22).

Byggforsk, 2004b. 521.203 Fundamentering med ringmur og ventilert kryperom [WWW Document]. URL https://www.byggforsk.no/dokument/329/fundamentering_med_ringmur_og_ventilert_kryperom#i22 (accessed 5.19.22).

Byggforsk, 2003. 522.111 Betonggolv på grunnen [WWW Document]. URL https://www.byggforsk.no/dokument/332/522111_betonggolv_paa_grunnen (accessed 5.19.22).

Fukt og fuktskader i norske boliger, 2016.

Fukt og helse [WWW Document], 2016. . Astma- og Allergiforbundet. URL <https://www.naaf.no/subsites/drift-og-helse/fukt/fukt-og-helse/> (accessed 5.14.22).

Geving, S., 2016. WUFI.NO - WUFI-1D, endimensjonal beregningsmodell [WWW Document]. URL <http://www.wufi.no/Wufi1d.php3> (accessed 5.11.22).

Geving, S., 2015. Smarte dampsperrer. Byggeindustrien 1.

Geving, S., Thue, J.V., 2002. 10.3 Bestemmelse av fuktinnhold ved motstandsmåling, in: Fukt i Bygninger. pp. 275–278.

Grindal, K., 2012. Godt håndverk i nye generasjoner 57.

Hansen, E.A., Harkjerr, A.-M., 2012. Kommuneplanens arealdel Trondheim 2012-2024 [WWW Document]. Trondheim kommune. URL <https://www.trondheim.kommune.no/kpa12-24/> (accessed 4.18.22).

Holme, J., Geving, S., n.d.

Hutfeldtbrygga.no, 2021. Prosjektplan.

Hutfeldtbrygga.no, 2020. Forprosjekt.

Hutfeldtbrygga.no, 2019. Historien. Hutfeldtbrygga. URL <https://www.hutfeldtbrygga.no/historien/> (accessed 4.30.22).

Noach, S.G., 2022. Møte med kulturminneforvalter.

Noach, S.G., 2021. Antikvarisk verdi.

Norsk Standard, 2014. NS3512 Måling av fukt i trekonstruksjoner.

Riksantikvaren, 2019. Fredet - vernet - verneverdig. URL <https://www.riksantikvaren.no/les-om/fredet-vernet-verneverdig/> (accessed 4.18.22).

Riksantikvaren, 2012. Eksempel på energisparing.

Saugen, E., 2022. Eksisterende gulv i Huitfeldtbrygga.

SINTEF, 2020. 471.010 Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer - Byggforskserien [WWW Document]. URL https://www.byggforsk.no/dokument/209/varmekonduktivitet_og_varmemotstand_for_bygningsmaterialer (accessed 2.17.22).

SINTEF, 2018. 700.117 Undersøkelse av fuktskader i bygninger - Byggforskserien [WWW Document]. URL https://www.byggforsk.no/dokument/631/undersokelse_av_fuktskader_i_bygninger (accessed 4.9.22).

SINTEF, 2004a. 723.511 Etterisolering av yttervegger av tre - Byggforskserien [WWW Document]. URL https://www.byggforsk.no/dokument/679/etterisolering_av_yttervegger_av_tre (accessed 2.17.22).

SINTEF, 2004b. Fiin gammel aargang.

Skaug, E., n.d. Fokus på tre.

Stagrum, A.E., 2018. Fuktopptak i plastisolasjon 1.

Stenby, O.C., 2020. Innvendig etterisolering av laftevegg [WWW Document]. URL <https://www.byggogbevar.no/enoek/artikler/tiltak/innvendig-etterisolering-av-laftevegg> (accessed 5.19.22).

Stenby, O.C., 2018. Utvendig isolering av tømmervegger [WWW Document]. URL <https://www.byggogbevar.no/enoek/artikler/utvendig-isolering-av-toemmervegger> (accessed 5.19.22).

Thue, J.V., Geving, S., 2002a. 4.1 Fuktegenskaper generelt, in: Fukt i Bygninger. pp. 42–43.

Thue, J.V., Geving, S., 2002b. 5.3 Kryperom, in: Fukt i Bygninger. pp. 89–92.

Thue, J.V., Geving, S., 2002c. 5.2 Golv på grunnen, in: Fukt i bygninger.

Trondheim kommune, 2014. Aktsomhetskart kulturminner.

Trondheim kommune, n.d. Trondheim [WWW Document]. URL

<https://kart5.nois.no/trondheim/Content/Main.aspx?layout=trondheim&map=aktsomhetskartkulturminner2&time=637869141742102137&vwr=asv> (accessed 4.30.22).

9 Vedlegg

Vedlegg 1: Vegger

Vedlegg 2: Tak

Vedlegg 3: Gulv

Vedlegg 4: Fuktmålinger plassering

Vedlegg 5: Materialparametere fra WUFI Pro

Vedlegg 6: Plakat

Vedlegg 7: Artikkel