


## Kulturhistorisk museum på Bygdøy



**Vurdering av byggets tåleevne ved klimatisering**

2010-05-07

# RAPPORT

Tittel: Kulturhistorisk museum på Bygdøy- Vurdering av byggets tåleevne ved klimatisering					
Oppdragsgiver:  Statsbygg Postboks 8106 Dep 0032 Oslo			Rådgiver:  <b>Norconsult</b>  <b>Norconsult AS</b> Vestfjordgaten 4, 1338 Sandvika Telefon: 67 57 10 00 Telefax: 67 54 45 76 E-post: firmapost@norconsult.no www.norconsult.no Foretaksreg.: NO 962392687 MVA		
Oppdragsgivers kontaktperson:  Rolf Jullum			Oppdragsleder:  Pål Kjetil Eian <Sign>		
Oppdragsnr.:	Dokumentnr.:	Utarbeidet av: Sign.:			
5101543	5101543-01	Pål Kjetil Eian og Grete Kjeldsen <Sign>			
Revisjon:	Dato:	Fagkontrollert av: Sign.:			
0	2010-05-07	Grete Kjeldsen <Sign>			
Antall sider og bilag  Antall sider 16, antall vedlegg 0			Godkjent av: Sign.:		
Pål Kjetil Eian <Sign>					
Revisjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent
<b>SAMMENDRAG</b>					
<p>Det er foreslått å flytte Kulturhistorisk museum (KHM) til nye, tidsmessige og publikumsvennlige arealer i Bjørvika. Som et alternativ til å flytte er det foreslått å beholde og oppgradere eksisterende Vikingskipshus og flytte hele KHM til en ny bygning som oppføres inntil eksisterende bygning.</p> <p>Norconsult har fått i oppdrag å vurdere hvilken grad av klimatisering de eksisterende konstruksjonene tåler uten å få skader. Det er samtidig sett på mulighetene for installering av balansert ventilasjon, muligheter for etterisolering av bygningen samt også bygningsfysiske konsekvenser av akustisk regulering gjennom bruk av såkalt akustisk puss.</p> <p>Bygget, som med unntak av vestibylen har plasstøpt betong eller murt tegl i yttervegger, tak og gulv er i utgangspunktet en veldig robust konstruksjon. At den har tålt dagens både innvendige og utvendige klima godt, ser vi tydelig ut fra byggets gode tilstand i dag. Men dagens museum har flere identifiserte svakheter, blant annet på klimasiden. Bygningen er naturlig ventilert (uventilert) og uten noen form for befuktning. For å holde relativ fuktighet i Vikingskipshuset på et fornuftig nivå vinterstid, så holdes innnetemperaturen relativt lav og svinger i takt med utetemperatur.</p> <p>En klimatisering vil omfatte installering av mekanisk balansert ventilasjon og en styring av temperatur og relativ fuktighet. Et utgangspunkt for klimatisering kan være:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Lufttemperatur som kan gli mellom 18 °C om vinteren og 26 °C om sommeren.</li><li>- Relativ fuktighet som kan variere mellom 35 % om vinteren opp til 65 % om sommeren.</li></ul> <p>Vikingskipshuset slik det er konstruert vil tåle den foreslåtte klimatiseringen godt.</p> <p>En klimatisering bør innebære følgende tiltak:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Installering av mekanisk balansert ventilasjon.</li><li>- Etterisolering av tak og vegger.</li><li>- Utskifting av vinduer</li><li>- Etablering av et fysisk skille mellom vestibyle og utstillingsrom.</li></ul> <p>Alle disse tiltakene vurderes være gjennomførbare.</p>					

## INNHALDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>INNLEDNING .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>OPPDRAGSBESKRIVELSE .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>AVGRENSNINGER.....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>BESKRIVELSE AV BYGNINGEN.....</b>	<b>5</b>
	4.1 Bygningshistorie.....	5
	4.2 Beskrivelse av byggets konstruksjon.....	6
	4.3 Vurdering av dagens bygningsmessige tilstand.....	8
<b>5</b>	<b>BESKRIVELSE AV DAGENS INNEKLIMA .....</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>VURDERING AV AKTUELLE TILTAK KNYTTET TIL KLIMATISERING .....</b>	<b>9</b>
	6.1 Termisk inneklima - termisk komfort.....	9
	6.2 Vurdering av muligheter for etterisolering .....	11
	6.3 Klimatisering - hva innebærer det av økte belastninger?.....	12
	6.4 Etablering av ventilasjon .....	13
	6.5 Fysisk skille mellom vestibyle og utstillingsrom .....	14
<b>7</b>	<b>VURDERING AV BYGGETS TÅLEEVNE MHT. KLIMATISERING .....</b>	<b>14</b>
<b>8</b>	<b>LITTERATUR.....</b>	<b>16</b>
<b>9</b>	<b>KORT BESKRIVELSE AV RAPPORTENS FORFATTERE.....</b>	<b>16</b>

## 1 INNLEDNING

Det er foreslått å flytte Kulturhistorisk museum (KHM) til nye, tidsmessige og publikumsvennlige arealer i Bjørvika.

Som et alternativ til å flytte er det foreslått å beholde og oppgradere eksisterende Vikingskipshus og flytte hele KHM til en ny bygning som oppføres inntil eksisterende bygning.

Dagens museum har flere identifiserte svakheter, blant annet på klimasiden. Bygningen er naturlig ventilert (uventilert) og uten noen form for befuktning. Vinterstid kan det raskt bli svært lav relativ luftfuktighet (RF) inne på grunn av uteluftens lave vanninnhold ved lave temperaturer. Uten tilførsel av fukt kan RF bli så lav som ned i 10 % under kalde vinterforhold. Dette vil påvirke fuktnivået i tregjenstandene som igjen gir fuktbevegelser. Tre har ulik fuktutvidelse tangentielt på fibre, radielt på fibre og i fiberretningen, og spenninger som oppstår kan føre til oppsprekking av gjenstandene.

For å holde relativ fuktighet i Vikingskipshuset på et fornuftig nivå vinterstid, så holdes innnetemperaturen relativt lav og svinger i takt med utetemperaturen. Så langt vi har opplysninger om, har gjenstandene tålt det klimaet som har vært svært bra.

Skal vikingskipene fortsatt stå i eksisterende bygning er det nærliggende å klimatisere lokalene gjennom installering av ventilasjon, befuktning og en høyere og jevnere temperatur blant annet for å bedre publikumsvennligheten vinterstid, samt gjøre belastningen fra de besøkende på museumsgjenstandene mindre enn de er i dag.

Den eksisterende bygningen er, etter dagens standard, dårlig isolert, og en heving av temperaturen vinterstid vil øke energiforbruket. En klimatisering bør sees i sammenheng med dette, og mulighetene for å bedre byggets isolasjonsevne bør vurderes.

Med buede hvelv av pusset betong har bygningen vesentlige akustiske utfordringer. Disse kommer klart til syne under dager med godt besøk hvor bl.a. guider har store vanskeligheter med å kommunisere med sitt publikum. Et foreslått tiltak er å legge akustisk puss i hvelvene. Dette må vurderes i sammenheng med klimatiseringen og etterisoleringen på grunn av potensiell kondensfare.

## 2 OPPDRAGSBESKRIVELSE

Oppdraget er utført på anmodning fra Statsbygg v/ Rolf Jullum. Oppdraget har vært å vurdere hvilken grad av klimatisering de eksisterende konstruksjonene tåler uten å få skader. Dette spørsmålet kan ikke sees isolert på uten å se på mulighetene for installering av balansert ventilasjon, muligheter for etterisolering av bygningen samt også bygningsfysiske konsekvenser av akustisk regulering gjennom bruk av såkalt akustisk puss.

## 3 AVGRENSNINGER

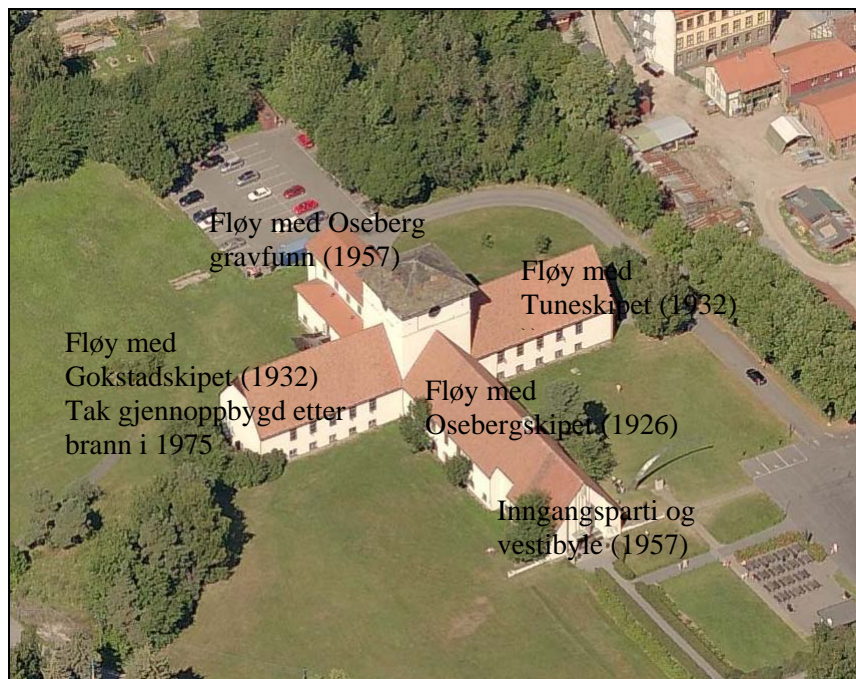
Rapporten er skrevet i løpet av en svært kort periode, og det har ikke vært anledning til å gå i dybden på konkrete løsninger. Rapportens overordnede mål har vært å konkludere på overordnet nivå om gjennomførbare av en klimatisering og de forhold som naturlig er knyttet til dette.

Rapporten har ikke tatt hensyn til spesielle forhold, eksempelvis vibrasjoner ved saging og hulltakning som kan være problematisk ved den praktiske gjennomføringen av flere av tiltakene som en klimatisering naturlig vil innebære.

## 4 BESKRIVELSE AV BYGNINGEN

### 4.1 Bygningshistorie

Vikingskiphuset på Bygdøy er tegnet av arkitekt Arnstein Arneberg etter at han vant en arkitektkonkurranse utlyst i 1913. Byggingen har foregått i flere etapper. I dag er bygningen korsformet med et tårn sentralt plassert i krysset, se bilde 1. Osebergskipets fløy, som ligger mot sørøst, sto ferdig i 1926. ”Tverrskipene”, fløyene for Gokstad- og Tuneskipet samt tårnet sto ferdige i 1932. Den siste fløyen, som ligger mot nordvest som en forlengelse av Osebergfløyen, sto ferdig først i 1957. Denne inneholder gravfunnene fra Oseberg. Vestibylen, som inneholder bl.a. museumsbutikk og toaletter, ble også bygd i 1957. Den ligger som en forlengelse av Osebergfløyen mot sørøst.



**Bilde 1:** Skråfoto fra sør av bygningen med angivelse av de ulike fløyene og deres respektive byggeår.



**Bilde 2:** Osebergskipet og hvelvet rundt.

#### 4.2 Beskrivelse av byggets konstruksjon

Bortsett fra deler av vestibylen, er det kjeller under hele bygningen. Alle fløyene er i en etasje. Vestibylen har i tillegg en mesaninetasje.

Bygningens bærende vegger og etasjeskillet mellom kjeller og 1. etasje er generelt utført i plasstøpt armert betong. Den buede himlingen mot loftet er utført som en skallkonstruksjon i plasstøpt betong som er støpt sammen med buede, bærende betongbjelker. I fløyen med Osebergfunnene er det flatt tak, ikke bue. Loftet er generelt et ventilert kaldt loft med bærekonstruksjon i tre. På loftet er ytterveggene i gavlen også i tre. I vestibylen fra 1957 ligger tretaket synlig på bærende betongbjelker.

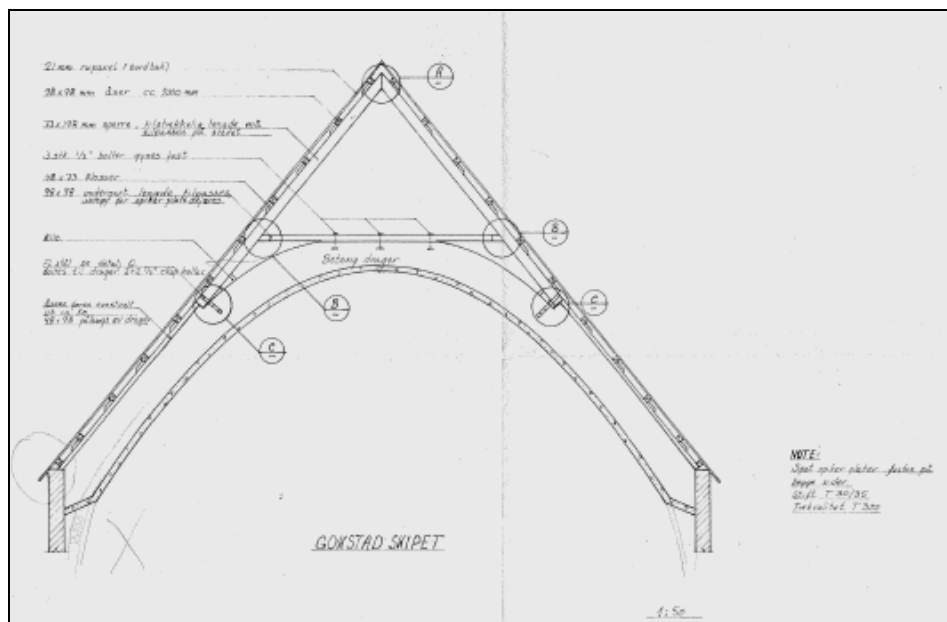


*Bilde 3: Loftet over Gokstadskipet.*



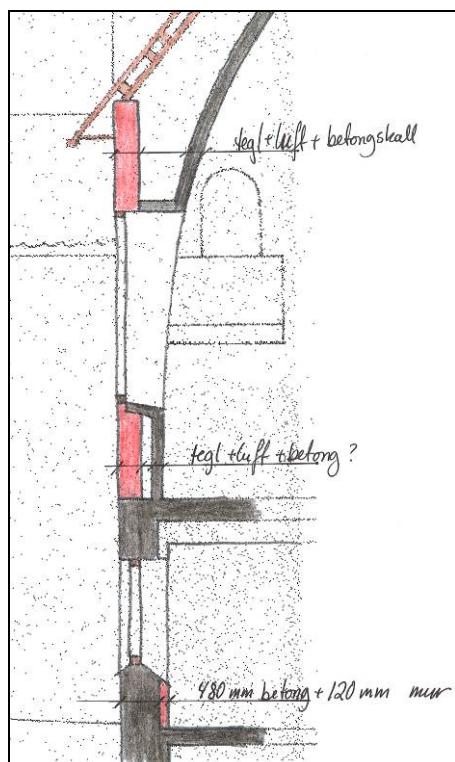
*Bilde 4: Isoleringen av selve hvelvet og betongdragerne som ble gjennomført etter brannen i 1975*

Taket over Gokstadskipet brant i 1975. Da ble betongkonstruksjonene isolert med 180 mm mineralull og tretaket bygd opp igjen. Det ser ikke ut til å være gjort noe tilsvarende over Oseberg- og Tune-fløyen. Loftet over Osebergfunnene er ikke tilgjengelig da åpningen inn fra tårnet er murt igjen.



**Figur 1:** Snitt gjennom takkonstruksjonen over Gokstadskipet. Snittet viser oppbyggingen etter brannen i 1975.

Vi har ikke hatt tilgang til tegninger som viser alle ytterveggskonstruksjonene i detalj. Ytterveggene fra 1926 og 1932 består til dels av plasstøpt betong, til dels av teglsteinsvegger. Bl.a. er gavlveggene til Gokstad- og Tunefløyen murt opp av tegl etter at skipene har kommet på plass. Veggpartiene mellom betongbjelkene over vinduene, er også murt opp av tegl, se bilde 4. Av tegninger kan det se ut som om også partiene under vinduene er murt opp av tegl. Se skisse i figur 2. Ytterveggene fra 1957 er plasstøpt betong isolert utvendig med 100 mm og 150 mm tykk porebetong (siporex). Ytterveggene er pusset og malt på begge sider. Innvendig er det, så langt vi kan se, brukt en PVA (latex) maling med lav glans. Det ser ut til å være malt to ganger over den opprinnelige malingen.



**Figur 2:** Snitt gjennom Gokstadfløyen hvor betong er tegnet med grått og tegl er tegnet med rødt.

### 4.3 Vurdering av dagens bygningsmessige tilstand

Ytterveggene står godt og har svært få skader. Dette skyldes først og fremst at ytterveggene ikke er utsatt for fukt i særlig grad. Puss og maling beskytter både tegl og betong. Frost bryter ned murverk i tegl og armeringskorrosjon ødelegger betong. Dette er fuktavhengige skademekanismer. Uten fukt i konstruksjonene er risikoen for skader derfor minimal.

Betong og murverk av tegl isolerer dårlig med en U-verdi på 3,6 W/(m<sup>2</sup>K). De betongveggene som er utvendig isolert med 100 mm porebetong har en U-verdi på 1,0 W/(m<sup>2</sup>K).

Takene er tette og loftene fungerer som forutsatt som kalde, luftede loft.

## 5 BESKRIVELSE AV DAGENS INNEKLIMA

Bygningen er i dag hva vi kan kalle naturlig ventilert. Bygningskroppen i plaststøpt betong og noe pusset tegl må generelt vurderes å være svært tett. Av sikkerhetsmessige årsaker er det ikke aktuelt å ventilere via åpne vinduer eller dører. Det er grunn til å tro at den ventileringen som foregår i hovedsak er knyttet til trafikk gjennom hovedinngangen og den konveksjonen av luft som så foregår gjennom denne åpningen. På grunn av byggets høyde i det midtre tårnet vil det, spesielt om vinteren, (på grunn av termisk oppdrift) være et overtrykk som lekker luft ut gjennom utettheter. Luftskiftet i bygningen vurderes å være svært lavt, men det tas forbehold om at det er lufteåpninger vi ikke har oversikt over.

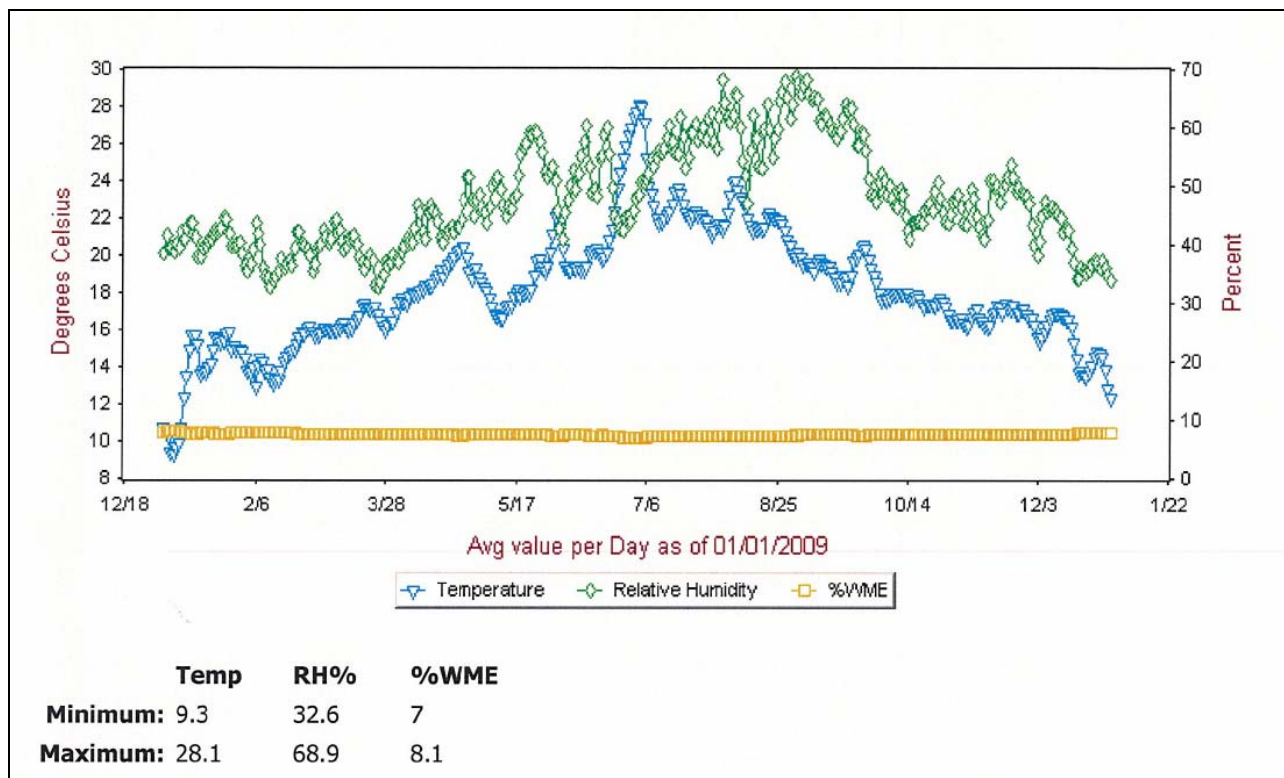
Bygget er oppvarmet med radiatorer som er tilknyttet to oljekjeler med en samlet innfyrt effekt på 600 kW. Temperaturen har bevisst blitt holdt lav om vinteren, og i stor grad svingt i takt med utetemperaturen. Men det er sannsynlig at dagens varmeanlegg heller ikke har tilstrekkelig kapasitet til å holde temperaturen på et fornuftig nivå.

Tilsvarende om sommeren har temperaturen også svingt med utetemperaturen samt vært påvirket av varmelasten på 60 - 100 kW fra de opp til 600 samtidig besøkende.

Bygget må beskrives som termisk sett svært tungt, og med betydelig evne til varmelagring. Dette virker temperaturutjevner slik at varmelasten fra besøkende og været ute ikke fører til brå temperaturforandringer inne.

Figur 3 viser loggninger av temperatur, relativ luftfuktighet og materialfuktighet gjennom ett år (2009).





**Figur 3:** Målinger av lufttemperatur, luftens relative fuktighet og fuktnivå i Osebergskipet gjennom ca. ett år. Presenterte verdier er døgnmiddelverdier. Data fra KHM.

Som vi ser av kurvene, så varierer temperaturen betydelig over året. Temperaturen (døgnmiddel) svinger fra ned i ca. + 9 °C og i overkant av + 28 °C under det varmeste sommerværet. Relativ fuktighet varierer også betydelig over året med relativ fuktighet ned i ca. 32 % på vinteren og opp mot 70 % på sommeren.

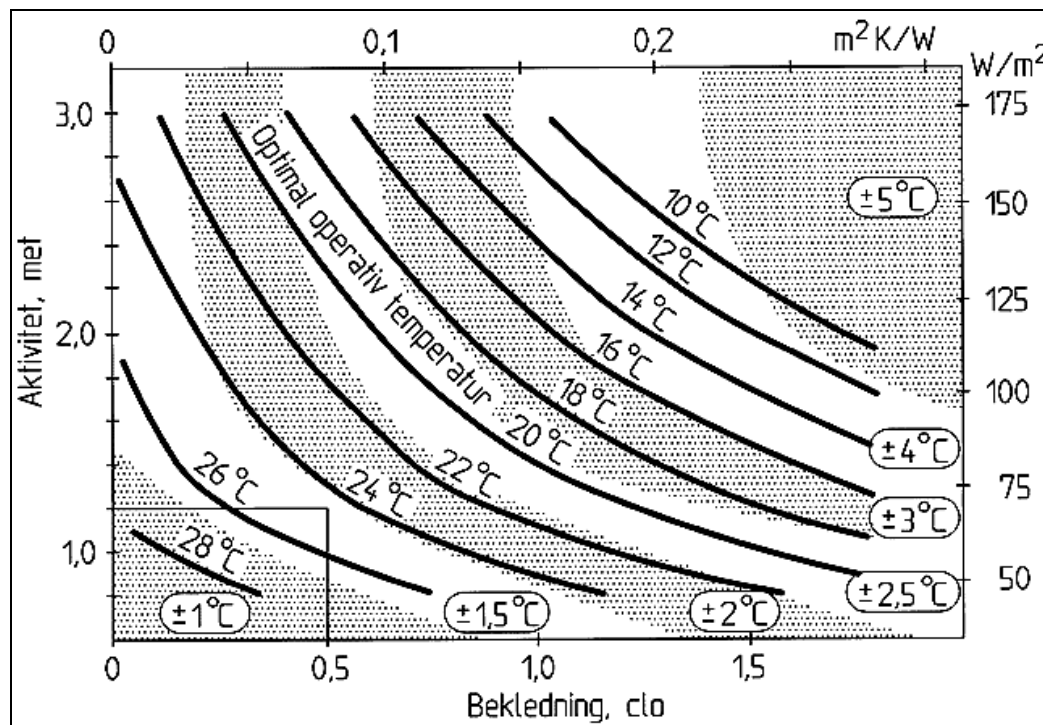
Målt fuktighet i selve Osebergskipet ligger imidlertid stabilt mellom 7 - 8,1 vektprosent gjennom året. Det er ingen synlig samvariasjon mellom luftens relative fuktighet og materialfuktigheten.

## 6 VURDERING AV AKTUELLE TILTAK KNYTTET TIL KLIMATISERING

### 6.1 Termisk inneklima - termisk komfort

Mye av begrunnelsen for å ønske en større grad av klimatisering enn i dag er å bedre forholdene for de besøkende. Med temperaturer ned under 10 °C på kaldeste vinteren vil mange besøkende oppleve dette som ubehagelig kaldt. Men denne opplevelsen er avhengig av mange faktorer.

Termisk komfort er en tilstand hvor vi synes klimaet er behagelig; vi er verken for varme eller for kalde. Den termiske komforten er avhengig av mange ulike parametere, som det kort redegjøres for i de følgende. Det blir også anskueliggjort hvilke lufttemperaturer vi typisk snakker om.



**Figur 4:** Diagram som viser kombinasjoner av temperatur, aktivitetsnivå og bekledding som gir optimal termisk komfort. Typisk aktivitetsnivå vil variere fra 1,0 met sittende avslappet, stående stille 1,5 met til gående hvor aktivitetsnivået ligger i størrelsesorden 2,0 - 3,0 met. Typisk bekledding kan variere fra lett sommertøy 0,5 clo til kraftig utendørs vintertøy 2,0 - 2,5 clo. Vi kan også lese ut av grafen en sammenheng mellom varmeeffekt (uttrykt i  $W/m^2$  hudoverflate (som gjennomsnittlig ligger på  $1,8 m^2$  for et menneske)) og aktivitet. En person som går har en total varmeavgivelse på over 200 W. De skraverte hvite og grå områdene angir variasjonsområder hvor ikke mer enn 10 % av en større gruppe vil være misfornøyd med forholdene.

De parametere som styrer den termiske komforten er operativ temperatur (lufttemperatur, strålingsforhold og trekk), aktivitet og påkledning. Figur 4 viser hvilke kombinasjoner av disse parametere som gir optimal termisk komfort for en større gruppe mennesker.

Ut fra grafene i figur 4 kan vi lese at en stillestående person med et aktivitetsnivå 1,5 met iført en vinter innbekledding på 1,5 clo vil ha det termisk optimalt med en temperatur på 16 °C. En normalt anbefalt innnetemperatur i eksempelvis kontormiljø om hhv. vinteren og sommeren er 21 °C og 24 °C.

I bygninger hvor personer oppholder seg mer eller mindre permanent er det naturlig å vurdere faste temperaturnivåer. Vikingskiphuset er imidlertid ikke en slik sone for permanent opphold så lenge en ser bort fra vaktpersonalet. De fleste besøkende vil kanskje ta av seg jakken i vinterhalvåret. Størsteparten av de besøkende må forventes å være i bevegelse, kun med korte opphold hvor de står stille. Noen vil vel også sitte ned i perioder i enkelte soner.

De fleste besøkende vil kle seg naturlig etter været, med mer bekledding om vinteren enn om sommeren.

Det er derfor ikke selvsagt at en trenger å ha konstante temperatur og fuktforhold året rundt, men en temperatur som til en viss grad følger årstidene.

Et tilstrekkelig konservativt utgangspunkt kan være at temperaturen skal kunne gli mellom 18 °C på vinteren og 26 °C på sommeren. Dette vil være fullt ut akseptabelt for de besøkende, og bør også være akseptabelt for personalet.

## 6.2 Vurdering av muligheter for etterisolering

Bygningen vurderes generelt å være dårlig isolert, dette gjelder både vegger, tak og vinduer. I sammenheng med en klimatisering er det nærliggende å foreta en etterisolering.

Med unntak av fløyen med Osebergfunnene er alle takene buede skallkonstruksjoner. Delen over Gokstadskipet er i dag isolert med ca. 180 mm mineralull på utsiden av skallet. I tillegg er betongbuene isolerte. Det vurderes som relativt enkelt å isolere alle buene på samme måte, fortrinnsvis med enda mer isolasjon. På grunn av manglende tilgang til loftet over Osebergfunnene har vi ikke oversikt over om, eller hvor godt dette taket er isolert. Men i prinsippet legger vi til grunn at dette også kan isoleres fra oversiden på en enkelt måte.

Vi anser det som uaktuelt å foreta noen etterisolering av veggene på utsiden. Av akustiske årsaker er det aktuelt å montere akustisk puss på innsiden av buehvelvene. Dette er hard mineralull som pålegges en porøs, damp- og luftåpen puss. Aktuell tykkelse er 20 - 50 mm. Med klimatisering må det beregnes hvor kondenspunktet blir liggende i konstruksjonen. Dette er avhengig av klimatiseringen selvsagt, men også tykkelsen på innvendig akustisk puss og tykkelsen på isoleringen som legges utenpå hvelvet.

Denne innvendige isoleringen i hvelvet kan fortsettes ned over veggene med innvendig montering av skumglassisolasjon. Denne kan monteres direkte på innsiden av eksisterende vegger og pusses slik at overflaten fremstår på samme måte som dagens innvendige overflater. Skumglassisolasjonen er fullstendig damp- og vanntett og danner da en dampsperre på innsiden av veggene. Se også figur 5.

En kombinasjon av akustisk puss i hvelvet og skumglassisolasjon på veggen vil være en løsning som forbedrer dagens akustikk dramatisk til det bedre, samt at U-verdien, spesielt for veggene kan forbedres vesentlig.



**Figur 5:** Illustrasjon av foreslått strategi for etterisolering.

Det er i sikkerhetsgjennomgang pekt på nødvendigheten av å forbedre sikkerheten for vinduene. Det er i denne sammenheng naturlig å se på løsninger som også innebærer vinduer med en bedre U-verdi.

### 6.3 Klimatisering - hva innebærer det av økte belastninger?

En klimatisering vil omfatte installering av mekanisk balansert ventilasjon og en styring av temperatur og relativ fuktighet.

Tatt i betraktning av at de mest sensitive gjenstandene står i klimatiserte monterer, og at skipene har stått i svært mange år med høyst varierende klima uten å ta vesentlig skade ser ikke vi uten videre noen begrunnelse for å kjøre en like streng styring av temperatur og relativ fuktighet som en gjør i eksempelvis kunstmuseer. Som beskrevet under kapitlet om termisk komfort er det heller ikke behov for å kjøre konstante forhold året rundt for å ivareta hensynet til de besøkende.

Med tanke på klimatisering som potensiell belastning på bygningskonstruksjonene vurderer vi det som et godt utgangspunkt å la temperatur og relativ fuktighet gli noe gjennom året. Jo høyere temperatur en ønsker om vinteren, jo mer fuktighet må tilføres for å holde relativ fuktighet på et akseptabelt nivå. Tilsvarende om sommeren, jo høyere temperatur en tillater seg under varme sommerdager, jo mindre behov er det for å ha kjøling og avfukting.

Et utgangspunkt kan være:

- Lufttemperatur som kan gli mellom 18 °C om vinteren og 26 °C om sommeren.
- Relativ fuktighet som kan variere mellom 35 % om vinteren opp til 65 % om sommeren.

Det viktige spørsmålet i denne rapporten er hva en klimatisering betyr for bygget, og hvilken tåleevne bygget har. Dette henger selvsagt sammen med graden av klimatisering.

Generelt kan vi si følgende:

I vinterhalvåret er det aktuelt å øke lufttemperaturen. Dette vil automatisk senke den relative fuktigheten, og befuktning er derfor aktuelt for å forhindre at relativ fuktighet blir for lav. En temperaturøkning og befuktning vil øke det såkalte damptrykket innendørs. Damptrykk kan beskrives med flere synonyme begreper, blant annet ved den såkalte duggpunktstemperaturen. En temperaturøkning og befuktning vil bevirke at duggpunktstemperaturen blir høyere. For alle overflater som har lavere overflatetemperatur enn den aktuelle duggpunktstemperaturen vil det bli utfelt kondens på overflaten. Dette kan i de mest ekstreme tilfellene føre til drypp eller vann som renner nedover. I vedvarende tilfeller kan dette også gi muggsoppdannelse. Men slike scenarier er ikke aktuelle i vårt tilfelle.

For å sette klimatiseringen inn i en noenlunde forståelig ramme skal vi bruke noen eksempler:

- I et badeland er lufttemperaturen gjerne 30 °C og relativ fuktighet rundt 55 %. Under disse forholdene har vi en kondensetemperatur så høy som 20 °C, så det blir kondensutfelling på alle overflater som har lavere temperatur. I et slikt miljø er det av største viktighet å ha konstruksjoner som er fullstendig lufttette, svært dampstett indre sjikt, og kuldebroer må unngås. Vindusflater må bestrykes med ventilasjonsluft for å unngå kondens.
- I et moderne museum for malerier kan vi ha konstant lufttemperatur på 20 °C og relativ fuktighet på 50 %. I et slikt miljø vil kondensstemperaturen ligge på ca. 8 °C. Dette kan bety problemer eksempelvis med kondens på takvinduer. Gamle teglbygninger med et slikt klima kan på sikt få kondensering av vann inne i konstruksjonen på grunn av diffusjon.

- Gitt en strategi for Vikingskipshuset hvor en har en lufttemperatur på 18 °C i den kalde årstiden, så ligger duggpunktstemperaturen på ca. 2 °C. Dette er sammenlignbart med forholdene om vinteren i et bolighus som ikke er alt for godt ventilert.
- Dersom en ønsker å ha en noe høyere lufttemperatur om vinteren, eksempelvis 20 °C og en relativ fuktighet på eksempelvis 45 % så øker duggpunktstemperaturen til ca. 7 °C.

Problemet med en høy duggpunktstemperatur kan oppsummeres som følger:

- Problemet med overflatekondens er økende.
- Faren for fuktskader knyttet til at fuktig luft strømmer ut i klimaskallet og kondenserer er økende.
- Faren for fuktoppopping på grunn av diffusjon av vann inn i konstruksjonen er økende. Dette er spesielt skadelig i konstruksjoner hvor trematerialer inngår, og hvor simuleringer viser fuktakkumulering ved at fukttilførselen i vinterhalvåret er større enn uttørkningen som foregår i sommerhalvåret.

Dette vil bli diskutert videre konkret for Vikingskipshuset i kapittel 7 om konstruksjonens tåleevne.

#### 6.4 Etablering av ventilasjon

En klimatisering av lokalene vil innebære etablering av mekanisk ventilasjon. I praksis snakker vi da om såkalt balansert mekanisk ventilasjon med varmegjenvinning. Dette gir de mest kontrollerbare forholdene og er energiteknisk også den klart beste løsningen.

Partner Engineering AS gjorde i 1989 en vurdering av mulighetene for installering av ventilasjon. Rapporten anbefaler å installere ventilasjon med såkalt diffus innblåsing. Dette vil si at luften tilføres ved gulvet, og ved lave hastigheter. Dette vil være den arkitektonisk sett mest akseptable løsning da luften typisk tilføres via gulvet, og kanalføring for tilluften føres som helhet i kjelleren.

Den tilførte luften vil stige oppover rundt de besøkende og stige mot taket. Gitt at det er gjennomførbart, kan vi tenke oss at luften trekkes av sentralt i tårnet i senter. Bruk av diffus innblåsing krever at luften som tilføres er svakt undertemperert i forhold til rommets lufttemperatur. Dette betyr at byggets varmetap (transmisjonstap) må dekkes opp med varmeanlegget i form av radiatorer. Og generelt kan vi si at jo høyere temperatur som kreves, jo flere radiatorer må vi ha. Og jo dårligere bygningen totalt sett er isolert, jo flere radiatorer må vi ha. Så en strategi om å holde temperaturnivåene relativt lave om vinteren reduserer da behovet for varmetekniske installasjoner.

Partner Engineering har med utgangspunkt i en grunnflate på 1700 m<sup>2</sup> anbefalt en luftmengde basert på 40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/time. Til sammenligning ligger luftmengden i moderne kontorlokaler på ca. 10 - 12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/time. Basert på typisk luftmengdebehov pr. person på 25 m<sup>3</sup>/h pluss et tillegg for materialeemisjon p på 3,6 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup> gulvflate gir dette en totalluftmengde på 12,5 m<sup>3</sup>/h.

Anbefalingen på 40 m<sup>3</sup>/h virker derfor litt i overkant av hva vi tror er nødvendig. Når Partner baserer dette på kjølebehov så er vi usikre på om to-sone situasjonen som dannes med fortregningsventilasjon er korrekt utnyttet i betraktningen.

Men anbefalingen fra Partner Engineering virker konseptuelt sett å være fornuftig.

Installering av mekanisk balansert ventilasjon vil generelt ha mange gunstige effekter:

- Det vil kunne dekke opp for det kjølebehovet en har om sommeren slik at temperaturene ikke blir så påvirket av varmeavgivelsen fra de besøkende og fra belysning. Og gjennom kjøling av tilluften kan denne tilføres med en lavere temperatur enn uteluften. Pr. i dag er luften som kommer inn i lokalene prisgitt utetemperaturen.

- Det vil minske påvirkningen fra de besøkende generelt ved at fukt fra våte klær, fra svetting og utpust, bioeffluenter m.v. blir ventilert bort. Museumsgjenstandene som står uten montere vil da være i kontakt med mye ”friskere” og renere luft enn hva som er tilfellet i dag med mange besøkende.
- Det vil gi en mye mer stabil situasjon temperaturmessig og fuktighetsmessig, mindre avhengig av uteforholdene og mindre påvirket av de besøkende.

## 6.5 Fysisk skille mellom vestibyle og utstillingsrom

Dagens planløsning har intet fysisk skille mellom inngangsparti med vestibyle og selve utstillingsrommene. Dette utgjør en svakhet slik som situasjonen er i dag, og vil utgjøre en ytterligere svakhet dersom museet klimatiseres.

Det bør etableres et fysisk skille mellom disse to delene for å ha bedre kontroll på klimaet i de to sonene. Vi anser at det ligger vel til rette for å etablere et slikt fysisk skille i enden av den portalen som skiller de to rommene, se bilde 5. Dette kan være en glassvegg med svingdører.

Med en slik løsning kan en etablere et noe ulikt klima i de to sonene:

- Et temperaturnivå i vestibylen som er tilpasset de som har sine permanente arbeidsplasser der.
- Et temperatur- og fuktighetsnivå i utstillingsrommene som er tilpasset museumsgjenstandene ut fra et bevaringssynspunkt og som er akseptabelt for de besøkende.



**Bilde 5:** I forbindelse med klimatisering vil vi anbefale at det settes opp et fysisk skille, eksempelvis i form av en glassvegg i denne portalen for å fysisk skille vestibyle/inngangsparti og utstillingsarealet.

## 7 VURDERING AV BYGGETS TÅLEEVNE MHT. KLIMATISERING

Bygget, som med unntak av vestibylen har plasstøpt betong eller murt tegl i yttervegger, tak og gulv er i utgangspunktet en veldig robust konstruksjon. At den har tålt dagens både innvendige og utvendige klima godt, ser vi tydelig ut fra byggets gode tilstand i dag.

Bygget antas å ha svært god lufttetthet, så det foreligger etter vår oppfatning ingen fare for at en klimatisering skal føre til transport av fuktig luft gjennom uønskede utettheter. Vi legger da til grunn at alle tilsiktede lufteåpninger for naturlig ventilasjon tettes igjen ved en klimatisering og etablering av mekanisk ventilasjon.

Plaststøpt betong er i utgangspunktet et relativt damptett materiale. Når det i tillegg er pusset og malt med hva vi antar er en PVA-maling blir klimaskallet ytterligere damptett. Vi vurderer at dette uten problemer vil tåle et klima hvor temperaturen forsøkes holdt på eksempelvis 20 °C og en relativ fuktighet på eksempelvis 45 %.

Vi anser det som aktuelt å vurdere en innvendig etterisolering i forbindelse med en eventuell klimatisering. Her kan vi snakke om en etterisolering med 50 mm isolasjon som raskt vil halvere dagens relativt dårlige U-verdi på veggene. Resulterende U-verdi vil være i størrelsesorden 0,5 - 0,7 W/m<sup>2</sup>K. Med bruk av pålimt skumglass som pusses innvendig vil det ikke være noen problematikk knyttet til verken vannopphopning på grunn av diffusjon, eller overflatekondens på grunn av lav overflatetemperatur.

I taket er det aktuelt å legge på en mineralullsabsorbent med akustisk puss. Dette kan i utgangspunktet skape fare for kondens i overgangen mellom mineralullsabsorbent og betonghvelv, men på grunn av isolasjonen som ligger på utsiden av betonghvelvet er heller ikke dette noen problem gitt at utsiden blir godt isolert.

Det kan være aktuelt å legge på akustisk puss også på noen veggfelter, eksempelvis på gavlvegger. På grunn av veggens dårlige U-verdi kan det være aktuelt å vurdere at dette legges på innsiden av et første lag med skumglassisolasjon. Dette vil effektivt eliminere eventuell kondensfare inne i den akustiske absorbenten.

Dagens vinduer kan vise seg å være et potensielt svakt punkt ved klimatisering. De eventuelle problemene er knyttet til dels kondens i overgangen mellom glass og ramme, og dels til kondens av fuktig luft som kan lekke ut gjennom utettheter i vinduene eller rundt vinduene. Problemet antas å være knyttet først og fremst til de høytsittende vinduene i fløyen som huser monterne for Osebergfunnene. Men det totale risikoen for dette antas også å være begrenset.



**Bilde 6:** Typisk vindu i utstillingslokalet. Utettheter kan bidra til kondensutfelling av vann.

Dagens kalde loft virket under vår befaring å være i svært god tilstand. Med mindre det er store utettheter mellom utstillingsrommene og de kalde loftene vil en klimatisering og en eventuell etterisolering av hvelvene ikke ha noen nevneverdig negativ betydning for konstruksjonene på loftet.

Kjelleren benyttes til dels som arbeidsrom, til dels som lager, i tillegg til den delen som inneholder publikumstoalletter i Vestibylen. Siden lokalene er oppvarmet, bør de vurderes isolert.

## 8 LITTERATUR

- *Risikovurdering av vikingskipene*, momentliste fra Geir Solheim, UiO, datert 14.04.2010.
- *Ventilasjonsteknisk Vurdering*, rapport fra Partner Engineering AS datert 89.11.01.
- *Risikovurdering av Vikingskipsmuseet vedrørende vibrasjoner*, notat fra BS Akustikk datert 28.04.2010.
- *Risikovurdering relatert til flytting eller fortsatt lokalisering i oppdatert Vikingskipshus*, rapport fra COWI datert april 2010.
- *Informasjon om klimamålinger i vikingskipshuset for arbeidet med kvalitetssikring av planene for nytt kulturhistorisk museum*, notat fra Guro Hjulstad, konservator ved Konserveringsseksjonen, Kulturhistorisk museum, datert 23.04.2010.
- Kopier av originale tegninger fra Arnstein Arneberg.

## 9 KORT BESKRIVELSE AV RAPPORTENS FORFATTERE

### **Pål Kjetil Eian**

#### **Seksjonsleder Inneklima og bygningsfysikk**

Sivilingeniør bygg fra NTH -89 med hovedfokus på bygningsfysikk og husbyggingsteknikk. Han har utdanning og omfattende etterutdanning innen fagfeltene bygningsfysikk, husbyggingsteknikk, bygningsakustikk, bygningsmateriallære, ventilasjonsteknikk og innemiljø/arbeidsmiljø.

Han har 14 års rådgivererfaring og er RIF-godkjent rådgiver i faggruppene VVS- og climateknikk, Bygge- og anleggsteknikk og Bygningsfysikk.

### **Grete Kjeldsen**

#### **Senior bygningsfysiker, seksjon Inneklima og bygningsfysikk**

Sivilingeniør, bygg, NTH -88 med hovedfokus på bygningsfysikk. Hun har utdanning innen fagfeltene bygningsfysikk, husbyggingsteknikk, bygningsmateriallære og konstruksjonsteknikk.

Hun har ni års erfaring fra Byggforsk med bl.a. skadeutredninger, bygningsfysikk, produktdokumentasjon, fasadematerialer (betong, mur, puss og maling), våtrom og Byggforskserien. Videre har hun ni års rådgivererfaring fra ulike rådgivende ingeniørfirma.