

Tilstandsvurdering af  
Vikingskibsmuseets  
vikingskibshal

---

Rapport

---

**KULTURMINISTERIET**

---

**4. JUNI 2018**

# Indhold

<b>1</b>	<b>Resumé</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Baggrund og grundlag</b>	<b>5</b>
2.1	Indledning	5
2.2	Eksisterende rapporter og undersøgelser	5
2.3	Fredningsværdier	6
<b>3</b>	<b>Tilstandsvurdering af Vikingskibshallen</b>	<b>7</b>
3.1	Gennemgang af tidligere undersøgelser	7
3.1.1	Tilstand af beton	7
3.1.2	Skader i forbindelse med stormflod	7
3.1.3	Vurderinger af sætningsskader, fundament og tæthed	7
3.2	Besigtigelse	8
3.3	Sammenfatning og vurdering af tilstanden	9
<b>4</b>	<b>Vurdering af konstruktionens sikkerhed</b>	<b>10</b>
4.1	Prognoser for vandstand og bølger samt stormflod	10
4.2	Konstruktionens fremtidige sikkerhed	11
4.2.1	Sikkerhed overfor opdrift	11
4.2.2	Sikkerhed overfor vandtryk på ydervægge	13
4.2.2.1	Facade mod nord	13
4.2.2.2	Facader mod øst, syd og vest	14
4.2.3	Sikkerhed mod overløb ved bygningsåbninger	14
<b>5</b>	<b>Forlag til renovering</b>	<b>16</b>
5.1	Beskrivelse af renovering	16
5.2	Konstruktionsændringer	16
5.2.1	KON-b: Etablering af vandspærre i bastion	17
5.2.2	KON-c: Forstærkning af kældervægskonstruktion i nordfacade	17
5.2.3	KON-d: Forstærkning og oversvømmelsessikring af vinduesfacade mod nord	18
5.2.4	KON-e: Sikring overfor vandtryk på facader mod øst, vest og syd	19
5.2.5	KON-f: Sikring mod overløb ved bygningsåbninger	19
5.2.6	KON-g: Sikring af afløbssystem mod overløb	21
5.3	Sikring af gulvkonstruktion mod opdrift	21

5.3.1	Koncept	21
5.3.2	Baggrund og forudsætninger	21
5.3.3	Projektomfang	22
5.3.4	Forbehold/usikkerheder	23
5.4	Beton- og tagreovering	24
5.4.1	Betonreovering	24
5.4.2	Tagreovering	25
5.5	Fremtidig drift og vedligehold	26
<b>6</b>	<b>Økonomiske overslag</b>	<b>27</b>
6.1	Økonomisk overslag for reovering	27
6.2	Økonomisk overslag for løbende vedligeholdsudgifter	27

---

<b>Appendix 1: Fotos fra besigtigelse 20. april 2018</b>	<b>28</b>
--	-----------

---

Projekt nr.: 10401201  
Dokument nr.: 15371083  
PRJ-2018-00263 - 15448388  
Version 3.0  
Revision -

Udarbejdet af jfj/ako/ssc/khju  
Kontrolleret af erk  
Godkendt af anbo

## 1 Resumé

Vikingskibshallen i Roskilde huser de fem Skuldelevskibe, og har til formål at formidle disse for publikum på Vikingskibsmuseet.

Byggeriet stod færdigt i 1969 og er et fredet byggeri. Over en længere årrække er der løbende foretaget undersøgelser og tilstandsvurderinger af hallens konstruktioner og i december 2013 blev konstruktionen hårdt medtaget under stormen Bodil. Det gik især ud over nordfacaden som står frit ud i Roskilde fjord, med en stor vinduesfacade.

Der er fra Vikingemuseets side ansøgt om at affrede bygningen. I denne forbindelse har Kulturministeriet anmodet NIRAS om at udføre en vurdering af konstruktionens tilstand. Dette blandt andet ud fra de allerede udførte tilstandsvurderinger. Vurderingen skal svare på om konstruktionen kan renoveres, og i så fald hvordan dette kan gøres, samt hvilke ændringer dette måtte medføre på bygningen.

Tilgangen der er valgt i nærværende rapport er, at en renovering kan gennemføres.

Det vurderes i rapporten at en renovering er mulig. Denne vil kræve omfattende forstærkninger af især nordfacaden, for at kunne modstå en tilsvarende storm som stormfloden Bodil i december 2013. Herudover skal renovereingen tage højde for en forhøjet vandstand, som kan forventes over de næste 50 år. Dette forhold vil kræve tiltag, som en drænløsning under bygningen, for at modvirke opdrift af bygningen ved forhøjet vandstand.

Udover konstruktive forstærkninger, er det nødvendigt generelt at renovere bygningens klimaskærm. Herunder betonen, som er under nedbrydning fra både et kloridbelastet miljø fra fjorden samt en beton, der ikke svarer til nutidens krav til en beton udsat for denne eksponering. Der er således flere nedbrydningsmekanismer i gang, som kræver, at betonen får en form for overfladebehandling.

Tagets taghuse med vinduespartier fremstår generelt med nedslidt isolering. Tagkonstruktion, der er beklædt med tagpap, har utætheder, som har resulteret i at der er opsat drypbakker under loftet indvendigt.

Den samlede pris for renovering af disse forhold, beløber sig til 55-65 millioner kroner. Dette inkluderer arbejder til sikring af bygningen, men ikke eventuelle alene æstetiske tiltag eller opgradering af installationer.

Hertil kommer løbende vedligeholdsarbejder, som vurderes at beløbe sig til ca. 30 millioner kr. jævnt fordelt over 50 år. Dette er en høj driftsomkostning, set i lyset af bygningens størrelse, men kan tilskrives bygningens tilstand og eksponering.



## 2 Baggrund og grundlag

### 2.1 Indledning

Vikingskibshallen, der stod færdigbygget i 1969, har i over 50 år beskyttet og udstillet de fem verdensberømte Skuldelevskibe. Bygningen ligger helt ned til Roskilde Fjord, hvilket bringer skibene tæt på deres historie og naturlige element, men samtidig udsættes hallens konstruktioner og klimaskærm for et barskt miljø.

Vikingskibshallen er i dag udfordret af periodevis stigende vandspejl i fjorden og af nedbrydning af den bærende beton. Flere rådgivende ingeniører har undersøgt bygningen. Der er udarbejdet flere rapporter og notater, som argumenterer for og imod om bygningen kan restaureres til en stand, hvor den kan rumme og beskytte Skuldelevskibene.

Bygningens primære formål er at formidle samt beskytte vikingskibene.

### 2.2 Eksisterende rapporter og undersøgelser

I forbindelse med udarbejdelsen af nærværende rapport er der modtaget følgende baggrundsmateriale:

- [1] Opgavebeskrivelse. Tilstandsvurdering af Vikingskibsmuseets vikingskibshal, Kulturministeriet, 23. marts 2018

Vedrørende fredningsværdier og fredning:

- [2] Fredningsværdier, Vikingskibshallen, Roskilde kommune, Kulturarvsstyrelsen
- [3] Vikingskibshallen. Præcisering af fredningsværdier og fortolkning heraf. Merete Lind Mikkelsen 03.04.2017
- [4] Fastholdelse af fredningen af Vikingskibshallen, Kulturministeriet, 19.12.1017
- [5] Klage over afgørelse i sag om affredning af Vikingskibshallen i Roskilde, 15.01.2018
- [6] Slots- og Kulturstyrelsen udtalelse vedrørende klage over styrelsens afgørelse om at fastholde fredningen af Vikingskibshallen, Kulturministeriet, 22. februar 2018

Vedrørende Skuldelevsskibenes bevaring

- [7] Risikovurdering af Skuldelevskibenes fremtid i forskellige scenarier, Nationalmuseet, 10. oktober 2016
- [8] Krav til midlertidig opbevarings- og udstillingsfacilitet, Nationalmuseet, 14. december 2017
- [9] Nationalmuseets krav til udstillingsforhold for vikingskibene, Nationalmuseet, 11. april 2018

Tekniske rapporter og notater:

- [10] Vikingskibsmuseet. Besigtigelse af udhæng, stern og søjler, Teknologisk Institut, 20. september 2010
- [11] Vikingskibsmuseet. Tilstandsundersøgelse af udhæng, stern og søjler, Teknologisk Institut 23. november 2010
- [12] Vikingskibsmuseet – Opstilling af restaureringsmetoder. Teknologisk Institut, 8. februar 2011

- [13] Vikingeskibsmuseet – Opstilling af budget for betonreovering, Teknologisk Institut, 6.april 2011
- [14] Notat fra besigtigelse 11.12.2013 af Vikingeskibsmuseet efter stormfloden den 06.12.2013, Erik Møller Arkitekter, 12. december 2013
- [15] Tilstandsvurdering af betonkonstruktioner i facade mod Roskilde Fjord, COWI, 16.01.2014
- [16] Vikingeskibsmuseet, Roskilde Havn – Vurdering af sætninger, Teknologisk Institut, 23. september 2016
- [17] Vikingeskibsmuseet, Roskilde. Vurdering af levetiden for udsatte konstruktioner, Teknologisk Institut, 31. maj 2016
- [18] Vikingeskibshallen. Undersøgelse af bygningens fundering og deformationer i dæk og gulvkonstruktion, 23. december 2016
- [19] Vikingeskibshallen. Undersøgelse af forhold vedr. vandindtrængning, Teknologisk Institut, 31. marts 2017
- [20] Vurdering af tæthed af membran og sætninger i Vikingeskibshallen, Rambøll, 12.01.2018

## 2.3 Fredningsværdier

Fredningsværdierne er her opridset meget kort i forhold til de reoveringstiltag, der præsenteres senere i rapporten. For den samlede beskrivelse af Fredningsværdierne henvises der til [2].

Fredningsværdierne påpeger bygningens arkitektoniske værdi og fremhæver den fritliggende placering i vandkanten som en vigtig parameter. Herudover lægges der vægt på Vikingeskibenes sammenhæng med deres element med udsigten fra museet til fjorden.

Citat [2]: *"I Vikingeskibshallens ydre knytter de bærende fredningsværdier sig til bygningens horisontalitet, dens frie placering ved bredden af fjorden omgivet af flade græsklædte arealer og dens fri udsigt mod nord. Til bygningens direkte kontakt med vandet og den oprindelige konstruktion udtrykt i en fagdelt, rationel og geometrisk form samt udkragninger, lysspalter og ovenlys."*

Konstruktions- og materialemæssigt er der lagt stor vægt på det både solide udtryk i betonen samt den slanke udformning af dimensionerne i konstruktionen. Det fremhæves at betonens struktur med grater efter brædeforskallingen har stor arkitektonisk værdi.

Citat [2]: *"Hertil kommer facadepartiet mod nord i sin helhed samt bygningens materialeholdning, herunder den rå betons tekstur med forskallingsgrater."*

## 3 Tilstandsvurdering af Vikingskibshallen

### 3.1 Gennemgang af tidligere undersøgelser

#### 3.1.1 Tilstand af beton

Den udvendige betonfacade blev vurderet i 2010 i [10] og [11].

I [10] er der udført en besigtigelse af overfladerne i betonen og skadesomfanget er registreret. Der er generelt konstateret revner i søjler, sterner og udhæng.

I forbindelse med [11] er der udtaget borekerner til betonanalyser, som viste følgende:

- Betonen indeholder et højt indhold af alkalireaktivt materiale
- Der er målt et højt niveau af klorider i søjlerne på nordfacaden
- Betonen er karbonatiseret i begrænset omfang

I søjlerne på nordfacaden, blev det vurderet, at det primært er grundet kloridindtrængen samt alkalikiselreaktioner, at der er opstået skader. Der er i udhæng og bjælker konstateret skader som følge af alkalikiselreaktioner.

I søjler og sterner er der ligeledes konstateret statiske og bevægelsesbetingede revner.

#### 3.1.2 Skader i forbindelse med stormflod

Skaderne i forbindelse med stormfloden i december 2013 er blevet registreret og vurderet i [14] og [15]. I forbindelse med stormfloden blev nordfacaden med det store vinduesparti, der vender mod fjorden, hårdt belastet. Flere ruder i vinduespartiet blev slået itu, ligesom der under stormen blev observeret kraftige bevægelser i vinduespartiet. Udover knuste ruder blev der ligeledes konstateret skader ved aluminiums-rammernes fastgørelse til betonkonstruktionen. De betonskiver der afstiver vinduesfacaden samt deres fastgørelse med stållankre til den underliggende betonmur, blev også voldsomt beskadigede.

I det nordvestlige hjørne blev de to murstensfacadevægge stærkt medtagede. Malingen blev afskallet og fugerne var flere steder næsten borteroderede.

I [15] blev det konstateret at der var beskadigelser på en væg i lecabeton i kælderen.

I [17] fra 2016, er levetiden af de mest udsatte konstruktionsdele på nordfacaden vurderet. Levetiden blev med udgangspunkt i disse bygningsdele vurderet til 8-10 år såfremt der ikke blev i gangsat renovering med forbehold for nye skader hvorved der kunne ske ekstra fugttilførsel.

#### 3.1.3 Vurderinger af sætningsskader, fundament og tæthed

Bygningens tæthed, samt vurdering af fundament og sætningsskader er rapporteret i [18], [19] og [20].

I [18] blev det vurderet at fundamentet er stabilt og der blev ikke konstateret skadelige sætninger eller større deformationer end normalt. Revner i gulvene i udstillingshallen blev således vurderet at stamme fra andre mekanismer end sætninger i bygningen.

Det blev ligeledes konstateret, grundet vandtilførsel i pumpebrøndene, at der tilføres vand på indersiden af bygningens vestlige del. Vandet kunne eventuelt komme ind via utætheder i membranen.

I [19] blev det konstateret, at indtrængende vand sandsynligvis kan henledes til forhøjet vandstand til et niveau, dels over membranens topkote, dels over nogle utætte gennemføringer. Vandindtrængen var altså ikke nødvendigvis grundet utætheder i membranen generelt.

I [20] kunne det konstateres, at der trængte vand ind i pumpebrøndene selv når vandstanden var lav. Membranens levetid blev i [20] vurderet til at være opbrugt og at det var en risiko for, at der trængte vand ind via utætheder i denne.

Der er umiddelbart ikke grundlag for, at vurdere membranens levetid, da der ikke foreligger andet grundlag end én ophugning på den lodrette del af membranen, samt observationer af indtrængende vand, som ikke har givet entydige svar.

### 3.2 Besigtigelse

Bygningen blev besigtiget i april 2018 i forbindelse med udarbejdelsen af nærværende rapport. Der henvises i øvrigt til bilag 1 for fotos fra besigtigelsen. De tidligere registrerede skader og revner på facaderne kunne fortsat konstateres. Der er udført nogle betonreparationer på søjlerne. På nogle af de mest udsatte overflader på nordfacaden, er der påført en malebehandling.

Indvendigt kunne det konstateres at der havde været fugtindtrængning. Der blev observeret fugtskjolder samt saltudtræk på murværket på indvendig side. Der var opsat drypbakker under loftet, for at opsamle vand fra utætheder i tagkonstruktionen.

På udvendig side er væggene siden stormfloden blev genmalede. Hvor omfattende reparationer der er foretaget af selve murværket vides ikke.

I flisegulvene indvendigt var der en del revner på tværs af bygningen.

Ved besigtigelse af krybekælder under udstillingshallen blev det konstateret at betondækket mellem udstillingshal og krybekælder var revnet vandret. Dette kan eventuelt skyldes armeringskorrosion fra ydersiden af dækket, der går ud til den nordvestlige facade under murværket.

Membranen under terrændækket blev besigtiget hvor der tidligere er hugget op på den lodrette del af indervæggen. Membranen virkede sprød, som det tidligere er rapporteret. Det kunne dog ikke på denne baggrund vurderes om membranen er utæt under konstruktionen og idet utætheder kan forekomme meget lokalt, blev det besluttet ikke at hugge yderligere op i konstruktionen for at besigtige denne.

På taget kunne der ses mange lapninger af tagpappen, som også fremstod med mange lunger. På taghusene var isolering ved at falde af og var tydeligt fugtskadede flere steder. Afvandinger fra taghusene blev ledet ned på den resterende tagflade, hvorfra der ikke var tydelige afvandingmuligheder. I udhæng blev det konstateret at der flere steder var mulighed for at vand kunne samle sig.



### 3.3 Sammenfatning og vurdering af tilstanden

Generelt er bygningen i dårlig stand og vil kræve en omfattende renovering, for at kunne opnå en fornuftig levetid. Dette under den forudsætning at vikingskibene skal holdes sikre mod lignende og eventuelt værre stormfloder end i december 2013.

Betonens kvalitet svarer ikke til det der i dag vil kræves af en beton til ekspone- ring i et marint miljø. Betonen er i en så skadet stand, at der vil skulle udføres omfattende betonreparationer, udskiftning af kloridinfiltreret beton samt en over- fladebehandling af alle udvendige betonoverflader til beskyttelse mod yderligere klorid- og fugtindtrængning. Desuden vil det være en fordel at beskytte konstruk- tionen med en karbonatiseringsbremsende behandling. Såfremt betonen udsættes for fugt vil skadesudviklingen blot fortsætte og forværres.

Skaderne der blev konstateret i 2010 er stadig ikke udbedrede og der er kun fore- taget absolut fornødent vedligehold, den anbefalede behandling fra tidligere un- dersøgelser er således ikke blevet udført.

Foruden beskyttelse af selve betonen er det nødvendigt med konstruktive for- stærkninger af især nordfacaden. Det vil ligeledes være nødvendigt at beskytte bygningen mod forhøjet vandstand i fremtiden. Disse tiltag bliver yderligere un- dersøgt i de følgende kapitel 4.

Membranen under bundpladen kan have udtjent sin levetid, hvorvidt den er utæt er ikke muligt at undersøge ved enkeltstående ophugninger og lokale besigtigel- ser. Eventuelle utæthederne kan forekomme hvor som helst under bygningen. Der er i nærværende rapport derfor set på en anden sikring mod vandindtrængning og opdrift af konstruktionen for kommende vandstandsforhold. Dette er beskrevet i afsnit 5.3.

Tagpap og isolering på taghuse er så medtaget, at disse skal udskiftes i forbindel- se med en generel renovering af bygningen. På indervæggene ved taget kunne der ses fugtskjolder fra tidligere vandindtrængen. Dette kunne observeres hvor nedlø- bene afvander fra tagflader på taghusene til den resterende tagflade. Nedløbene afvander ikke hensigtsmæssigt, så vandet løber ned langs væggene på taghusene.

Vedligehold på bygningen lader til at have været afholdt på et absolut minimalt niveau. Tilstanden er samlet set noget under middel. Dette sammen med bygnin- gens alder gør, at der skal udføres større renoveringsmæssige tiltag for, at få en brugbar bygning til formålet at sikre vikingskibene.

I nærværende notat er det valgt at begrænse renoveringen til strengt nødvendige tiltag og ikke inkludere eventuelle arbejder, for eksempel indvendigt, som hen- sigtsmæssigt kunne udføres såfremt dette ikke har direkte indflydelse på vikinge- skibenes sikkerhed.

Da der er tale om et forslag til en gennemgribende renovering, er udgangspunktet en levetid på 50 år, som man normalt bygger nye bygninger til. Der må efter re- novering altid forventes et vist vedligehold og bygningen vil efter den beskrevne renovering ikke opnå en stand, som ville forventes af en tilsvarende bygning op- ført i dag.



## 4.2 Konstruktionens fremtidige sikkerhed

Det forudsættes i det følgende, at bygningen som oprindeligt udført henstår med sikkerhed svarende til datidige regler.

Endvidere forudsættes, at der gennemføres en generel renovering af bygningen, hvor alle bevarede bygningsdele af betydning for sikkerheden bringes i en stand, så oprindelige bæreevner er reetableret, og hvorefter der fremtidigt gennemføres planlagt vedligehold af disse bygningsdele.

Den følgende vurdering af sikkerheden er derfor alene knyttet til forhold, der følger af, at der i fremtiden forventes betydelig øgede højvandsniveauer end forudsat i det oprindelige projekt.

Ved vurderingen påregnes, at bygningen i fremtiden skal være sikret for tilfælde med maksimal vandstand under højvande i DVR-kote +2,4 m. Hertil kommer hensyn til sikring overfor bølgehøjder på op til DVR-kote +2,75 m, samt for nordfacadens vedkommende bølgeopskyl på op til DVR-kote +3,7 m.

Det bemærkes, at bygningen oprindeligt er projekteret i DNN-kotesystemet, og at DNN-koter skal fratrækkes ca. 0,08 m ved omsætning til DVR-koter.

De sikkerhedsmæssige konsekvenser af de øgede højvandsniveauer drejer sig i det væsentlige om:

- sikkerhed overfor opdrift
- sikkerhed overfor vandtryk på ydervægge
- sikkerhed mod overløb ved bygningsåbninger

som beskrevet i det følgende.

### 4.2.1 Sikkerhed overfor opdrift

I de oprindelige statiske beregninger er der på side 56 anført følgende vedrørende maksimalt opadrettet vandtryk i grubeområdet under Vikingskibshallens vestlige del:

#### 4.11. Gulv i grube i kote + 0,10

t = 20 cm

Arm.: T 14, a = 25 i begge retninger og begge sider

#### Gulvfelter mod syd mellem linie 52 og 57

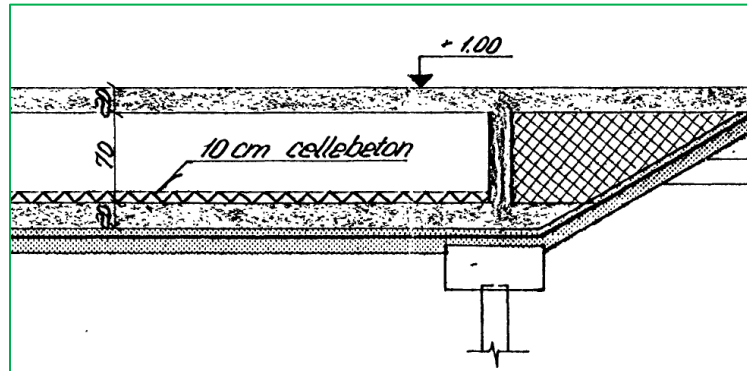
max. last:

20 cm jernbeton	480 kg/m <sup>2</sup>
50 cm grus	850 -
15 cm løs Leca	120 -
	<u>1450 kg/m<sup>2</sup></u>

min. last:

Som ovenfor	+ 1450 kg/m <sup>2</sup>
Vandtryk	+ 1730 -
	<u>+ 300 kg/m<sup>2</sup></u>

Sammenholdes dette med efterfølgende deludsnit af snit F-F vist på den oprindelige Tegning 310, hvoraf det fremgår at membranen i grubeområdet er placeret i DNN-kote ca. -0,15 m, svarer det oprindeligt anførte vandtryk på 1730 kg/m<sup>2</sup> til et dimensionsgivende vandspejl omkring DNN-kote +1,58 m, svarende til DVR-kote +1,5 m. Dette stemmer i rimelig grad overens med den anførte DNN-kote + 1,65 for højeste højvande på den oprindelige situationsplan, tegning B10.



De oprindelige statiske beregninger oplyser ikke noget om, hvorledes de store områder af bygningen, hvor bundpladen er placeret med overside i DNN-kote +1,0 m er tænkt sikret overfor et vandspejl i DNN-kote +1,58 m.

Antagelig er det blot overslagsmæssigt vurderet, at egenvægten af bundplade samt permanente bygningsdele er tilstrækkelig til at udbalancere det opadrettede vandtryk i disse områder, idet bundpladens armering i de mest kritiske områder vil kunne fordele en del af det opadrettede vandtryk ud til understøtninger for bygningens hovedkonstruktion.

Med et fremtidigt dimensionsgivende vandspejl i DVR-kote +2,4 m, vil det næppe være muligt at dokumentere bygningens stabilitet overfor det hertil svarende opadrettede vandtryk efter nutidige normer.

En konstruktiv sikring overfor opdriften svarende til et dimensionsgivende vandspejl i DVR-kote +2,4 m med lodrette forankringer i form af jordankre vurderes at være u hensigtsmæssig. Ud over at en løsning med jordankre i sig selv er bekostelig, vil en sådan løsning kræve meget omfattende følgearbejder både for i praksis at kunne etablere jordankrene og for at sikre fremtidig vandtætning af terrændækkene.

Tilsvarende vurderes en løsning ved tilvejebringelse af ballast på bygningens bundplade at være urealistisk, både som følge af de geometriske konsekvenser og på grund af merbelastningen af bygningens pælefundering.

I stedet kan en mulig løsning til sikring af bygningen mod opdriftsvirkning ved et fremtidigt dimensionsgivende vandspejl i DVR-kote +2,4 m ske via to kombinerede tiltag:

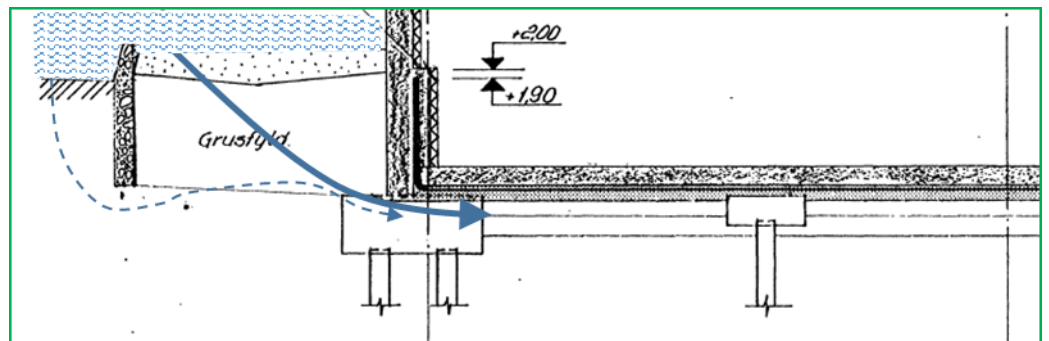
- a. Begrænsning af vandspejlsstigning under bygningen via dræn
- b. Afskærmning af bygningens perimeter mod vandstrøm ind under bygning



Vedrørende gennemførelse af punkt a: *Begrænsning af vandspejlsstigning under bygningen via dræn* henvises til nærværende rapports afsnit 5.3.

Ved at begrænse det fremtidige vandspejlsniveau under bygningen til omkring DNN-kote +0,75 m opnås samtidig, at den eksisterende membran under bygningen ikke mere vil være kritisk for sikring mod vandindtrængning, undtagen i grubeområdet tekniske arealer, hvor eventuel senere vandindtrængning i tilfælde af svækkelse af den eksisterende membran vurderes at kunne håndteres som en mere begrænset vedligeholdelsesopgave.

Vedrørende punkt b: *Afskærmning af bygningens perimeter mod vandstrøm ind under bygning*, drejer dette sig om, at der i tilfælde af højvande i DVR-kote +2,4 m med tillæg af bølgehøjde vurderes at være risiko for betydelig indstrømning af vand via bastionens grusfyld til drænlaget under terrændækket med overside i DNN-kote +1,0 m. Dette forhold er aktuelt langs bygningens facader mod øst, syd og vest, se den kraftigt markerede blå strømpil på figuren nedenfor. Det bemærkes i denne sammenhæng, at der mellem pælekronerne i facadelinjerne efter det oprindelige projekt at dømme stort set er fri hydraulisk forbindelse mellem bastionens grusfyld og drænlaget under terrændækket.

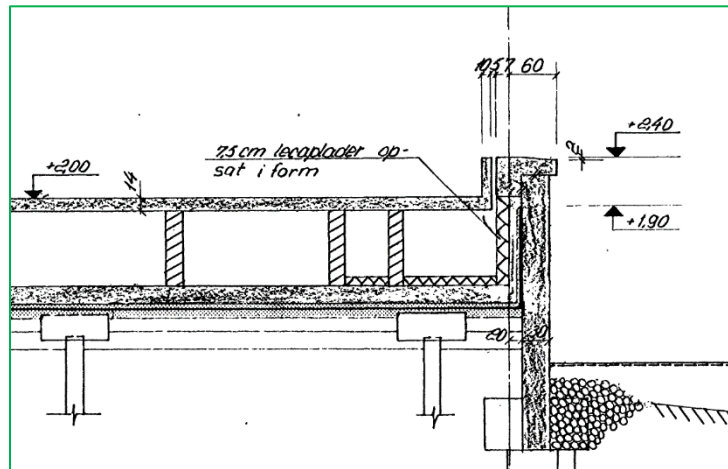


Det vurderes, at en strømning som beskrevet gennem grusfyldet i bastionen vil være væsentlig større end strømningen gennem jorden omkring bastionen jf. den stiplede strømpil på figuren, og at drænløsningen ikke vil kunne blive effektiv, medmindre der indlægges en vandspærre i bastionen. Se nærmere i nærværende rapports afsnit 5.2, punkt KON-b.

## 4.2.2 Sikkerhed overfor vandtryk på ydervægge

### 4.2.2.1 Facade mod nord

Kældervægsstrukturen i nordfacaden er en ca. 3,5 m høj betonvæg, der er funderet på pælekroner pr. 6,2 m og er projekteret med underside i DNN-kote -1,1 m. Betonvæggen er desuden vandret understøttet af bygningens bundplade, der i dette område er placeret med oversiden i DNN-kote +1,0 m. Fra bundpladen er betonvæggen lodret udkraget til DNN-kote +2,4 m, hvor den understøtter bygningens nordvendte glasfacade for både lodret og vandret last. Se nedenstående udsnit fra den oprindelige tegning 301.



Hverken kældervægskonstruktionen eller glasfacaden i nordfacaden vurderes at være dimensioneret for et vandtryk svarende til et vandspejlsniveau omkring DVR-kote +3,7 m svarende til fremtidigt dimensionsgivende højvande med tillæg for bølgeopskyl. For at tilvejebringe fornøden fremtidig sikkerhed overfor vandtryk på nordfacaden kan en mulig løsning derfor være følgende:

- c. Forstærkning af kældervægskonstruktion i nordfacade.
- d. Forstærkning og oversvømmelsessikring af vinduesfacade mod nord

Se nærmere i nærværende rapports afsnit 5.2, punkterne KON-c og KON-d.

#### 4.2.2.2 Facader mod øst, syd og vest

Facadernes murværksfelter mod vest og syd er fra DNN-kote +2,4 m til DNN-kote +3,8 m udført som en skalmur foran en bagvedliggende jernbetonvæg, der er vandret understøttet af bundpladen med oversiden i DNN-kote +1,0 m og af dæk over kælder i DNN-kote + 3,8.

Facadernes murværksfelter mod øst er i det væsentlige udført som en hulmurskonstruktion i hele væggenes højde.

Det vurderes, at disse murværksfelters sikkerhed overfor vandtryk ikke uden forstærkning/udskiftning vil kunne dokumenteres at være tilstrækkelig ved vandspejlsniveau omkring DVR-kote +2,75 m svarende til fremtidigt dimensionsgivende højvande med tillæg for bølgehøjde.

Endvidere er der enkelte lavtliggende vinduespartier i bygningen. Dette drejer sig dels om kældervinduer placeret i bygningens vestende, dels om lokale vinduespartier med bunden lidt over gulv i DNN-kote + 2,0 i bygningens østende. Disse vinduespartier vurderes ikke uden forstærkning/udskiftning at have tilstrækkelig sikkerhed ved vandspejlsniveau omkring DVR-kote +2,75 m svarende til fremtidigt dimensionsgivende højvande med tillæg for bølgehøjde.

Vedrørende de nævnte forstærkninger/udskiftninger henvises til nærværende rapports afsnit 5.2 punkt KON-e.

### 4.2.3 Sikkerhed mod overløb ved bygningsåbninger

I bygningens nordvestlige område er der placeret ventilationsåbninger med underside ca. i DNN-kote +2,4 m.

I bygningens sydøstlige hjørne er der placeret en rampe fra terræn, ca. i DNN-kote + 2,0 m, og ned til en port i kælderen med underside i DNN-kote +1,0 m.

Disse bygningsåbninger vurderes af hensyn til deres funktion i bygningens drift ikke i praksis på tilfredsstillende vis at kunne sikres ved hjælp af mobile lukningsanordninger mod oversvømmelse ved vandspejlsniveau omkring DVR-kote +2,75 m svarende til fremtidigt dimensionsgivende højvande med tillæg for bølgehøjde. Det anbefales i stedet at afskærme bygningen lokalt med permanente højvands-spærrer som beskrevet i nærværende rapport's afsnit 5.2 punkt KON-f.

Kloaksystemet er udført med brønde med dæksel i ca. DNN-kote +2,0 m. Uden yderligere tiltag vil derfor være risiko for opstuvning i bygningens afløbssystem. Se i nærværende rapport's afsnit 5.2 punkt KON-g.

## 5 Forlag til renovering

### 5.1 Beskrivelse af renovering

Det vurderes at bygningen kan renoveres til en stand, der kan modstå de klimaændringer og vejerforhold, der formodes at kunne opstå ved fjorden.

Bygningen vil efter en renovering fortsat overholde de på opførelsestidspunktet gældende regler og således ikke, for eksempel nuværende krav til varmeisolering. Der må forventes at skulle udføres løbende vedligehold på bygningen i et vist omfang efter en eventuel renovering.

Der er ikke taget stilling til istandsættelser af andre bygningsdel, såsom indvendige arbejder og installationer.

I de følgende afsnit er forslag til én mulig renovering beskrevet, og dette forslag er prissat.

De overordnede tanker bag renoveringen er at vikingskibene skal kunne stå sikkert i udstillingshallen. Følgende tiltag er beskrevet og prissat:

- Etablere vandspærre i bastionen
- At forstærke nordfacadens kældervægskonstruktion.
- Forstærkning og oversvømmelsessikring af vinduesfacade til at modstå de påvirkninger, der måtte opstå som følge af en stormflod.
- Sikring af murværk i facader mod syd, øst og vest mod vandtryk
- Sikring mod overløb ved bygningsåbninger
- Sikring af afløbssystem mod overløb
- Etablering af dræn til sikring mod opdrift af gulvkonstruktion.
- Udføre betonreparationer på alle facader samt udføre en overfladebehandling til beskyttelse af betonen.
- Renovere tagfladen med ny isolering og tagpap, ny isolering på taghuse, samt afløbskonstruktioner.

Det er vurderet at det er nødvendigt med en fuldstændig overfladebehandling af de udendørs betonoverflader. Dette kan gøres med en cementbaseret overfladebehandling, som tilnærmelsesvis kan have farve som en støbt betonoverflade, men den oprindelige overfladestruktur kan ikke genskabes ved en sådan behandling. Det er ikke anbefalelsesværdigt at lade den stå uden nogen form for overfladebehandling.

### 5.2 Konstruktionsændringer

De foreslåede tiltag forudsætter, at højvande ud over, hvad bygningen oprindeligt er projekteret for, kan betragtes som usædvanlige, midlertidige og varslede hændelse. Dermed accepteres, at der ved sådanne hændelser dels forlods skal aktiveres vandspærringer, dels efterfølgende skal foretages eftersyn af bygning og udføres udbedring af eventuelle mindre skader.

Forslagene er desuden baseret på, at bygningen er udført svarende til, hvad der er vist i det tilgængelige, oprindelige projektmateriale jf. den vedhæftede dokumentliste.

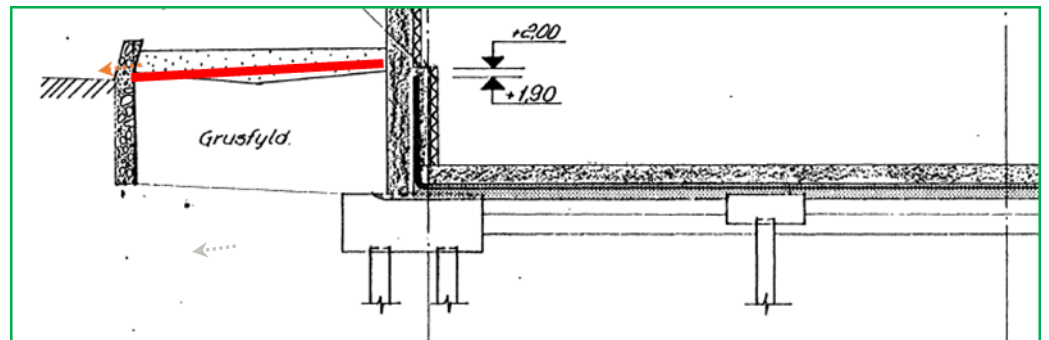
Endvidere er det med forslagene tilstræbt, at bygningens visuelle udtryk ved tiltagene i det væsentlige bevares uden disproportionale omkostninger.



Følgende ændringsforslag er baseret på anbefalede tiltag i afsnit 4.2.

### 5.2.1 KON-b: Etablering af vandspærre i bastion

Vandspærren kan eksempelvis etableres som en ca. 100 mm tyk, armeret betonplade over bastionens grusfyld som markeret med rødt på den efterfølgende skitse.



Figur 5.1 Lokalisering af vandspærre i bastion

For at tørholde bastionens sandfyld over den armerede betonplade under normale driftsforhold bør der eksempelvis etableres udspyere i bastionens støttemur over vandspærren.

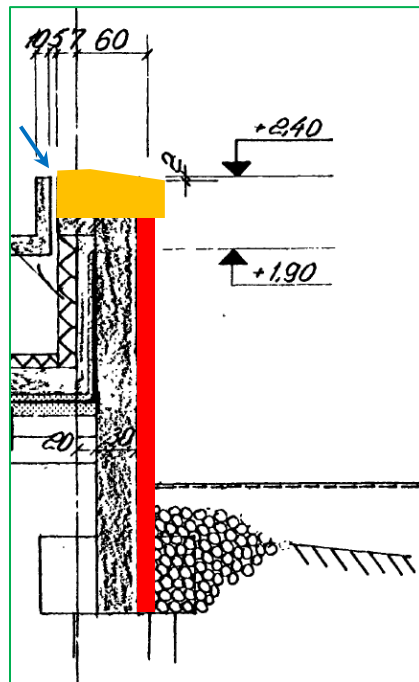
### 5.2.2 KON-c: Forstærkning af kælderydervægskonstruktion i nordfacade

Den eksisterende kælderydervæg vurderes at kunne forstærkes ved at påføre et armeret betonlag på hele væggen yderside som markeret med rødt på skitsen nedenfor.

Forinden skal udføres forberedende arbejder som følger:

1. Arbejdsområdet nord for bygningen sikres overfor fjorden med midlertidig spuns eller lign.
2. Fjordbunden afgraves til underside af eksisterende væg i helle væggen længde
3. Arbejdsstillads opstilles
4. Pumpeanlæg etableres for tørholdelse af arbejdsområdet
5. Skadede dele af den eksisterende kælderydervægs beton udskiftes
6. Ydersiden af væggen sandblæses og ruhugges
7. Strittere til forbindelse mellem gammel og ny beton indbores i eksisterende væg.

Af hensyn til de lokale geometriske forhold og af hensyn til fastgørelse af fremtidig konstruktion for glasfacaden mod nord udskiftes og udvides den armerede vægtop samtidig som markeret med orange på skitsen.



Figur 5.2 Illustration af forstærkning af kældervægskonstruktion på nordfacaden.

Ved arbejdets afslutning retableres fjordbunden, og den midlertidige spuns fjernes.

### 5.2.3 KON-d: Forstærkning og oversvømmelsessikring af vinduesfacade mod nord

En mulig løsning vurderes at kunne bestå i at udskifte hele den eksisterende glasfacade med de tilhørende udvendige, lodrette ribber ud for glasfacadens lodrette sprosser.

Ved udskiftningen udføres nye, forstærkede ribber med geometri stort set svarende til de eksisterende ribbers udseende. De nye ribber og deres fastgørelser til bygningens betonkonstruktion dimensioneres til at kunne modstå vandpåvirkning på nederste 1,3 meter af glasfacaden svarende til et vandspejl ved højvande med tillæg for bølgeopskyl i DVR-kote +3,7 m. De bærende profiler i ribberne forudsættes udført i rustfrit stål.

Den nye glasfacade kan udføres med lodrette og vandrette sprosser placeret som i den eksisterende facade. Som følge af vandbelastningen må disse sprosser forventes at blive kraftigere end de eksisterende. Tilsvarende vil termoruderne i glasfacaden blive kraftigere end de eksisterende, da der må stilles større krav til bæreevnen af yderglasset i termoruderne.

Vedrørende glasfacadens fugeløsninger foreslås det at acceptere, at der kan være risiko for mindre utætheder i tilfælde af, at der ved højvande indtræder vandspejlsniveauer over DVR-kote +2,3 m. Dette har baggrund i at der i så fald ikke er tale om en normal driftssituation, og at den type utætheder ikke vil have betydning for sikkerheden, samt at eventuelt indsvivende vand ret enkelt kan afdrænes via luftspalten ned til ventilationskanalen under gulvet lige inden for glasfacadens fod. Luftspalten er på skitsen vist med en blå pil.

#### 5.2.4 KON-e: Sikring overfor vandtryk på facader mod øst, vest og syd

Murværket i facaderne mod vest og syd vurderes at kunne sikres overfor vandtrykket svarende til et vandspejl ved højvande med tillæg for bølgehøjde i DVR-kote +2,75 m ved indbygning af supplerende, konstruktive forbindelser mellem skalmur og bagvæggene af jernbeton, der er understøttet af etagedækket med overside i DNN-kote + 3,8.

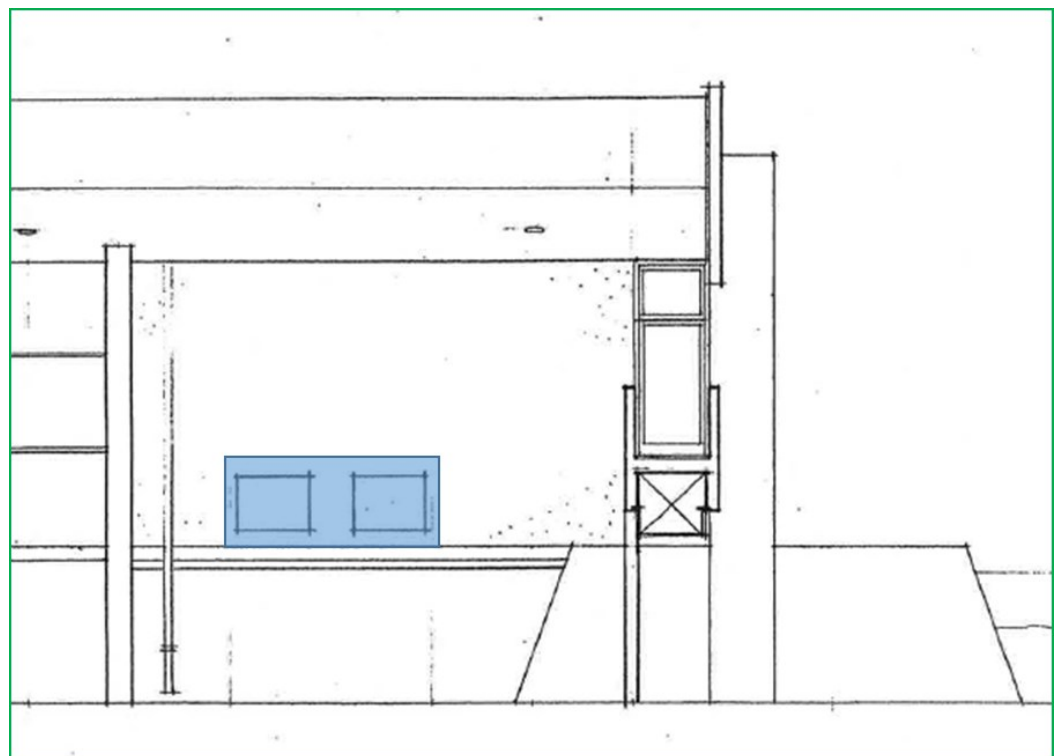
Murværksfelterne i bygningens østende er hulmure og omfatter i alt 5 felter, hver med bredde ca. 6 m og højde ca. 4,5 m. For disse felter vurderes det at være aktuelt med en udskiftning til nyt murværk med indlagte forstærkningsprofiler.

For murværk, der ved fremtidig højvandsstand kan blive udsat for at komme under vandspejlsniveau anslås at alle fuger i disse dele af murværket efter udkradsning afsluttes udvendigt med en egnet fugemørtel.

For de i afsnit 4.2 nævnte, lavtliggende vinduespartier i facaderne vurderes en udskiftning til vinduer sikret mod vandtryk at være mest hensigtsmæssig.

#### 5.2.5 KON-f: Sikring mod overløb ved bygningsåbninger

Ved ventilationsåbningerne i bygningens nordvestlige hjørne kan etableres en udvendig lyskasse ud for ventilationsåbningerne, som markeret med blå på ne-



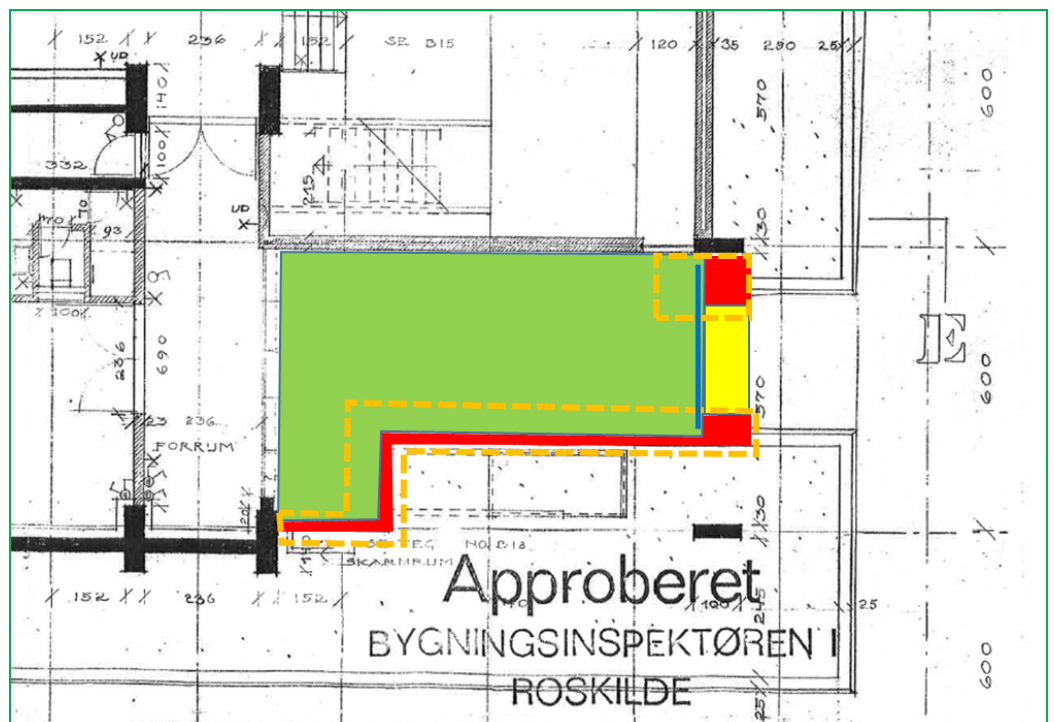
denstående udsnit af oprindelig tegning B07.

Lyskassen kan udføres i armeret beton, idet skalmuren foran den eksisterende bagvæg af jernbeton lokalt fjernes for at muliggøre tæt sammenbygning af lyskas-

se og bagvæg. Der udføres ny overligger ved overside af lyskassen for bæring af det ovenliggende murværk. Lyskassen vil være synlig fra fjordsiden.

For så vidt angår sikring mod overløb ved kælderindgangen i bygningens sydøstlige hjørne kan dette i hovedtræk udføres som følger:

1. Eksisterende rampe og bastionvægge beliggende i området bag den udvendige trappe til ovenliggende etage fjernes. Områder hvor eksisterende bastionvægge fjernes er markeret med punkteret orange strek på planskitsen nedenfor.
2. Nye bastionvægge med overkant i ca. DVR-kote +2,85 m opføres i armeret beton svarende til det med rødt markerede på planskitsen
3. Der etableres nedgravet grube i armeret beton for mekanisk højvandslukke ved toppen af rampen. Grubens placering er markeret med gult på planskitsen.
4. Ny rampe i armeret beton etableres i område som markeret med grønt på planskitsen.
5. Facade under vinduesparti ved fjernet del af eksisterende bastion retableres.
6. Der installeres elektrisk styret, hydraulisk højvandslukke i den etablerede grube. Højvandslukket udføres med overkant, der kan hæves til DVR-kote + 2,75 m.
7. Som ekstra sikring etableres mulighed for montage af supplerede, mobil afspærring bag højvandslukket som markeret med blå strek på planskit-



sen.

Det beskrevne løsningsforslag indebærer en mindre ændring af bygningens udseende; men det bemærkes, at denne ændring visuelt afskærmes af den eksisterende udvendige trappe, der i den sydlige del af det berørte område fører op til etageniveauet over kælderen.

### 5.2.6 KON-g: Sikring af afløbssystem mod overløb

Ved samlebrønde foreslås at udføre automatiske højvandslukker. Som ekstra sikkerhed foreslås samtidig, at der indenfor disse højvandslukker indbygges manuelt betjente afspærringsventiler.

## 5.3 Sikring af gulvkonstruktion mod opdrift

Da det vurderes, at den dimensionsgivende maksimale vandstand i Roskilde Fjord øges, skal det sikres, at der ikke i ekstremesituationer opstår risiko for, at vandtrykket på bundpladen overstiger hvad den oprindelige konstruktion har været dimensioneret for.

I dette afsnit beskrives kortfattet overvejelser vedrørende sikring af bygningen mod forhøjet grundvandsstand.

### 5.3.1 Koncept

Det er valgt at tage udgangspunkt i en løsning, der forhindrer vandtrykket i at bygge op under kælderkonstruktionen. Det er der flere løsninger der kan sikre, men, der er her valgt at prissætte en løsning hvor der etableres et system af dræn under bundpladerne, således at eventuelt vand, der måtte blive trykket ind under kælderens, kan ledes bort inden der kan opbygges et tryk på bundpladen, større end dimensionsgivende vandspejl.

Vandet i dræne skal pumpes bort fra en eller evt. flere pumpesumpe, hvor pumpen aktiveres ved et givent vandspejlsniveau. Systemet er således et semi-passivet system, der kun aktiveres hvis vandstanden bliver for høj. Med andre ord, der bortledes kun vand når det er nødvendigt.

Løsningen er fremtidssikret, idet den ikke er følsom overfor generelt øget vandstand i fjord eller grundvand eller hyppigere forekomne ekstremesituationer end antaget.

Det vurderes at vandmængderne vil blive begrænsede.

### 5.3.2 Baggrund og forudsætninger

#### Geologiske undersøgelser

Forud for opførelsen af bygningen er der i 1963 udført en geoteknisk undersøgelse. Ved undersøgelsen blev der udført to geotekniske borer. Den ene boring, ved det sydvestlige hjørne af bygningen, viser sandede og grusede aflejringer til kote ca. -5 m, og den anden boring (ved det nordøstlige hjørne) ses øverst sandede aflejringer og lavpermeabelt moræneler fra kote ca. 0 m og ned.

Ifølge de geotekniske borer fra undersøgelsen, vurderes det sandsynligt, at jordlagene umiddelbart under bundpladen består af mere eller mindre permeable sandaflejringer.

#### Bundpladen med overside i DNN-kote +1,0 m

Det fremgår af konstruktionstegningerne, at der under størstedelen af bygningens bundplade er udlagt et 15 cm kapillarbrydende lag i lecanødder ovenpå "20 cm grus". Underside af renselaget ligger i disse områder i kote 0.68 m.

Lecanødder er kendetegnet ved en meget høj hydraulisk ledningsevne. Der er ikke umiddelbart kendskab til grusfyldets hydrauliske egenskaber, men grus er typisk relativt højpermeabelt.

Det ca. 35 cm højpermeable lag fra kote 0.68-0.32 m, der således vurderes at være under 80-85% af bygningen, vil udgøre et godt udgangspunkt for en drænløsning, idet afstanden mellem de enkelte dræn kan øges uden at effektiviteten reduceres. Det kræver naturligvis at der er hydraulisk kontakt mellem dræn og Leca/grus-lag.

Bundpladen med overside i DNN-kote +0,10 m. Det kapillarbrydende lag er ikke anført på tegningerne for området mod vest med den dybereliggende bundplade.

Da det vurderes, at de intakte aflejringer under den dybe del af bundkonstruktionen også er permeable aflejringer, vil en drænløsning også være mulig her. Imidlertid er undersiden af renselaget her beliggende i kote -0.23 m. Det er under normalt vandspejlsniveau i både fjord og grundvand, og det vil medføre, at dræn her altid vil være vandfyldte, med mindre der foretages kontinuert bortledning af vand fra disse dræn. Kontinuert bortledning er umiddelbart ikke ønskværdig.

Hvis den eksisterende konstruktion vurderes at fungere som situationen er nu (forventeligt vandspejl omkring kote 0m), kan dræn under gulvkonstruktionen sikre, at vandspejlsniveauet her ikke stiger over nuværende niveau ved at hæve drændybden (niveauet for hvornår pumpen går i gang). Det vil reducere den kontinuerede bortledning markant. Drænet vil stadig kunne sikre mod forhøjet vandtryk på bundpladen i fremtiden.

#### **Vandmængder**

De vandmængder der skal håndteres, vil naturligvis afhænge af valget af løsning. Hvis der vælges en løsning hvor der kun skal bortledes vand når vandspejlet stiger højere end omkring kote +0,7 m vil vandmængden være meget begrænset. Mængderne er det svært at udtale sig om, da der ikke er kendskab til de lokale strømningsforhold eller hydrauliske parametre. Men et estimat på op til hundrede m<sup>3</sup>/d ved ekstreme højvandssituationer vurderes ikke urealistisk. De fleste løsninger må dog forventes at give anledning til væsentligt mindre vand.

Det er oplyst, at der i dag lejlighedsvist er behov for bortledning af vand fra området med bundpladens overside i kote +0,1 m. Det vurderes, at dette vand stammer fra utætheder i konstruktionens sider. Dette problem kan ikke forventes løst med dræn under gulvkonstruktionen, men med de konstruktive ændringer, beskrevet i foregående afsnit.

### **5.3.3 Projektomfang**

Med udgangspunkt i at bundpladerne i bygningen bevares, er det foreslået at bygningens opdrift sikres ved at etablere et system af dræn under bygningen. Dræne skal etableres med retningsstyret underboring eller tilsvarende og skal lægges tæt under bundpladen, således at der opnås god kontakt til de højpermeable lag.

Om der skal være et system under det dybe niveau og et system under resten, er ikke afgjort. Det vurderes dog, at være en fordel med 2 separate drænsystemer.

De etablerede dræn skal herefter forbindes til samlestrengene der igen skal tilsluttes samlebrønde. Samlebrøndene skal bestykses med pumper, niveaufølere og alarmer.

Der er ikke, i denne forbindelse, udarbejdet en detailplan for placering af dræn og brønde. Det vurderes dog, under de givne forudsætninger, at der ikke må være mere end 5-8 m mellem drænene. Etableres drænene i nord-syd gående retning, vil der således være behov for 12-14 drænstrengte af hver 30-35 m.

Det vurderes at være mest hensigtsmæssigt at skyde dræn fra ind fra enten fjord-siden eller fra landsiden. Der er fordele og ulemper ved begge løsninger, og det er ikke indenfor dette projekts rammer muligt at fastlægge hvilken løsning, der er den mest hensigtsmæssige.

Hvis der skydes fra landsiden ender boringen i en betonmur, der ikke umiddelbart kan gennembrydes indefra. At ramme et forudboret hul, kræver en meget nøjagtig retningsstyring af boret, der næppe kan opnås under en bygning. Skydes fra vandsiden er gennembrydning af muren ikke noget problem, og der er ingen mur på landsiden. Ved denne løsning udnyttes den alligevel nødvendige vandtætte byggegrube foran museets nordfacade, mens borearbejdet står på.

Af hensyn til systemets effektivitet i højvandssituationer, og for at minimere de vandmængder der skal håndteres, er det vigtigt at sikre en minimal hydraulisk kontakt mellem eventuelt vand på terræn og drænene under bygningen.

#### **5.3.4 Forbehold/usikkerheder**

Der er en række ukendte forhold og parametre, der skal undersøges /fastlægges forud for en projektering af sikringen. Det er forhold der kan have betydning for valg af metode og udformning af løsning. Men overordnet vurderes princippet med en drænløsning at være en sikker metode.

Der foreligger kun meget begrænset kendskab til de hydrogeologiske forhold og ikke mindst variationer i disse. Af hensyn til vurdering af vandmængder og placering dræn er det vigtigt at der opnås et vist kendskab til disse parametre.

Der foreligger ingen viden om i hvilket omfang vandspejlsvariationer i fjorden forplanter sig til "grundvandet" under bygningen. Dette er også en meget vigtig viden at have i forhold til vurdering af vandmængder.

Lokaliteten er kortlagt på vidensniveau 2, der er i den ene af de 2 borer, der er udført i 1963 konstateret slagge i de øverste 2-2,5 m. Andet vides ikke på nuværende tidspunkt. Der skal derfor foretages en nærmere gennemgang af, hvor og i hvilket omfang forurening i grundvandet under bygningen kan udgøre en risiko. Kommunens og Regionens arkiver ligger inde med grundlaget for kortlægningen. Generelt kræver etablering af en drænet løsning tilladelse fra myndighederne. Der kan eventuelt blive stillet krav om at vandet skal ledes til kloak.

## 5.4 Beton- og tagreovering

### 5.4.1 Betonreovering

Betonreovering omfatter udbedring af revner og skader på betonen og efterfølgende overfladebeskyttelse af overfladerne.

Det er medregnet at en stor del af overfladen skal betonreoveres. Betonafskalninger skal ophugges, afrensnes og udsættes med reparationsmørtel.

Revnedannelser skal repareres, afhængigt af hvilken skadesårsag der ligger til grund for revnerne, enten ved injicering af revner eller ophugning, afrensning og udsætning af skader med reparationsmørtel.

Reoveringen omfatter primært de udendørs betonkonstruktioner, samt enkelte indvendige reparationer.

En stor del af Vikingskibshallens udtryk ligger i den rå betonoverflade, der har tekstur efter den anvendte brædeforskalling ved hallens opførelse. Det er vurderet nødvendigt, betonens kvalitet og alder taget i betragtning, at beskytte betonoverfladen.

Beskyttelsen af betonoverfladen skal have fokus på at hindre vandoptagelse for at minimere yderligere skadesudvikling som følge af alkaliskreaktioner. Beskyttelsen skal stadig tillade facadens naturlige udadgående fugttransport. Desuden skal overfladebehandlingen være klorid- og karbonatiseringsbremsende. På grund af revnedannelserne, der allerede er udviklet, skal overfladebehandling være mest mulig revneoverbyggende.

Én metode vil som nævnt være overfladebeskyttelse – og i så fald med en vandafvisende, men diffusionsåben svummebehandling. Denne behandling vil kunne give udtrykket af en cementbaseret og betongrå overflade selvom det påregnes at der ikke vil kunne opnås en overflade som den oprindelige støbte betonoverflade med brædestruktur.

Med en svummebehandling kan afslutningen af overfladen besluttes ved prøver på stedet og dermed hvilken tekstur i overfladebehandlingen, der kan opnås, afhængigt af om der ønskes en glat eller mere grov overflade. Det kunne ligeledes overvejes om en kombination af en svumme- og malebehandling ville være mere fordelagtig med hensyn til den ønskede struktur.

Efterlades betonoverfladen afrenset, men ubehandlet må det forventes, at de allerede konstaterede alkaliskeskader blot vil udvikle sig og kloridindtrængningen fra havvandet vil ikke blive bremsset. En alene afrenset overflade struktur vil efterlade betonen mere udsat end oprindeligt på grund af den åbne porestruktur.

Såfremt man vælger at påføre en overfladebeskyttelse, vil behandlingen bestå af en afrensning til fjernelse af alle løse overfladelag, smuds og begroinger. Herefter vil synligt skadet beton blive mere synlig, og de nødvendige reparationer skal så udføres. Imens facaden står afrenset, skal den systematisk eftergås for visuelt synlige skader, som skal repareres.

Derefter skal overfladen efter behov udjævnes på ny. Herved udfyldes overfladiske porer og revner. Afslutningsvis skal hele fladen overfladebehandles med en elastisk overfladebehandling.



Vandrette og skrå betonoverflader på taget, primært indvendigt i udhæng, afdækkes.

Udført korrekt vil en sådan behandling kunne holde minimum 10 år uden genbehandling. Herefter må det formodes at der skal udføres vedligehold på behandlingen, især for de mest udsatte dele af konstruktionen, som de nordvendte konstruktionsdele.

#### **5.4.2 Tagreovering**

På taget anbefales det at udskifte tagpappen og den trykfaste isolering. Afløb på tagfladen bør udskiftes i samme forbindelse og det skal overvejes om nye udspyer er nødvendige for optimal afvanding af tag og udhæng. Tagpap i udhæng anbefales også udskiftet.

Der skal foretages reparationer af glassten langs tagkonstruktionen med indbygning af elastisk fuge som modsvarer deformationer fra taget.

Taghusene på taget skal have skiftet isolering på ydersiden og ruder skal udskiftes. På nuværende tidspunkt er afløbskonstruktionerne på taghusene så uhenigtsmæssigt udførte, at disse bør lægges om.

## 5.5 Fremtidig drift og vedligehold

I forbindelse med eventuel renovering må der forventes et vist omfang af drift og vedligehold af bygningen. Betonkonstruktionernes overfladebehandling må forventes at skulle vedligeholdes for at have en vedvarende effekt, især på de mest udsatte konstruktionsdele. Dog kan der forventes minimum 10 år før en genbehandling bliver nødvendig. For fuger, malebehandling og lignende må forventes hyppigere vedligehold.

Tagbelægningen må forventes at skulle vedligeholdes indenfor en levetid på 50 år og eventuelt udskiftes helt.

Derudover kommer der almindelig drift af pumper i forbindelse med dræn under bygningen.

De konstruktionsmæssige tiltag er umiddelbart vurderet til at kunne holde minimum 50 år uden væsentligt vedligehold.

## 6 Økonomiske overslag

### 6.1 Økonomisk overslag for renovering

Nedenfor er angivet økonomisk overslag for forslag til renoveringstiltag, forudsat at bygningen er rømmet for inventar og aptering. Indvendige arbejder og installationer, som hensigtsmæssigt kunne udføres samtidigt er ikke indeholdt i budgettet. Alene de beskrevne renoveringstiltag beskrevet i nærværende rapport, samt direkte følgearbejder, der er nødvendige for færdiggørelse af en renovering er prissat.

Overlaget er opdelt i underposter som nedenfor og angivet som forventet interval for de samlede udgifter inklusive rådgivningshonorar samt uforudsete udgifter. Alle beløb er ekskl. moms.

Renoveringspost	Overslagsinterval for delposter	
	Min.	Max.
5.2 Konstruktionsændringer	20.000.000 kr.	28.000.000 kr.
5.3 Sikring af gulvkonstruktion mod opdrift	2.000.000 kr.	4.000.000 kr.
5.4.1 Betonrenovering	16.500.000 kr.	22.000.000 kr.
5.4.2 Tagrenovering	12.000.000 kr.	16.000.000 kr.

Den samlede renovering forventes, at kunne udføres for 55-65 millioner kr. idet usikkerhederne på delposterne i nogen grad forventes at modvirke hinanden.

### 6.2 Økonomisk overslag for løbende vedligeholdsgif- ter

De nye konstruktionsmæssige forstærkninger bygges med en levetid på 50 år.

Det forventes at overfladebehandlingen på betonen skal genbehandles fuldstændigt ca. tre gange for denne periode, mens at de mest udsatte konstruktionsdele som nordfacaden forventes at skulle genbehandles hvert 10. år afhængigt af belastningen fra fjorden. Betonreparationer må dog forventes at være af mindre omfang så længe overfladebehandlingen vedligeholdes og efter der er foretaget konstruktive forstærkninger.

Samlet set over en 50 årig periode må det forventes at der skal vedligeholdes for et beløb på ca. 30 millioner kr. Det vil sige jævnt fordelt en årlig vedligeholdsgift på ca. 600.000 kr.

## Appendix 1: Fotos fra besigtigelse 20. april 2018



Figur 6.1 Indgangsparti til museet



Figur 6.2 Dæklagsafskalninger på underside af platform til indgangsparti





*Figur 6.3 Platform ved indgangsparti*



*Figur 6.4 Vestfacade*



*Figur 6.5 Omfattende revnedannelser og tidligere betonreparationer på vestfacade*



*Figur 6.6 Hvidmalet murværk på vestfacade*





Figur 6.7 Tagudhæng fra undersiden på sydfacade



Figur 6.8 Østfacade





*Figur 6.9 Revnedannelse på østfacade øverst på søjle*



Figur 6.10 Revnedannelse på søjle på østfacade



Figur 6.11 Nordfacade set fra øst. Der er påført malebehandling på nederste del af facaden.





Figur 6.12 Betonreparation på søjle på østfacade



*Figur 6.13 Taghuse*



*Figur 6.14 Ødelagt isolering på taghuse*





*Figur 6.15 Afløb fra tagudhæng på sydfacade*



*Figur 6.16 Tagudhæng på nordfacade*



*Figur 6.17 Taghusfacade mod nord*



*Figur 6.18 Taghusfacade, vest*





Figur 6.19 Afløb fra taghus på vestfacade. Der ses vandskade ned langs taghusfacade.



*Figur 6.20 Tagudhæng på nordfacade set fra vest*





Figur 6.21 Indvendig betonkonstruktion



Figur 6.22 Indvendig betonkonstruktion



Figur 6.23 Revner i flisebelægning





Figur 6.24 Revner i flisebelægning ved nordfacade



Figur 6.25 Fugtskader og udfældninger på murværk indvendigt på nordvestfacade



Figur 6.26 Nordvestfacade indvendigt





*Figur 6.27 Revner i fliser ved søjle ved museumsbutik.*



Figur 6.28 Vinduesparti på nordfacade





Figur 6.29 Nordfacadens vinduesparti indvendigt



Figur 6.30 Krybekælder under udstillingshal



Figur 6.31 Pumpe i krybekælder under udstillingshal.





*Figur 6.32 Delaminering i dæk ved nedgang til krybekælder ved vestfacade*



*Figur 6.33 Rustudfældninger på dæk udvendigt på vestfacade*



Figur 6.34 Søjle på nordfacade





Figur 6.35 Rustudfældninger i dæk på nordfacade



Figur 6.36 Rustudfældninger i dæk på nordfacade



*Figur 6.37 Udfældninger grundet fugtindtrængen på indvendige betonkonstruktioner*



Figur 6.38 Fugtskade indvendigt



Figur 6.39 Udfældninger på indvendige betonkonstruktioner





*Figur 6.40 Ophugning til membran i kælder*





*Figur 6.41 Tegn på fugtskader i kælder*



*Figur 6.42 Rustudfældninger og tegn på fugtskade indvendigt i kælder på nordfacaden*



*Figur 6.43 Rustudfældninger og tegn på fugtskade indvendigt i kælder på nordfacaden*