

## NASJONALE OPPGAVER NOV 2023

Avbøtende tiltak for arkeologiske kulturlag i middelalderby

Halvorsen, Sunniva W., Cannell, Rebecca J. S., Dunlop, Rory A., Hovd, Line, Martens, Vibeke V.







Norsk institutt for kulturminneforskning (NIKU)

Storgata 2, Postboks 736 Sentrum, 0105 Oslo

Telefon: 23 35 50 00

[www.niku.no](http://www.niku.no)

<http://www.niku.no/>

<b>Tittel</b> Nasjonale oppgaver MOV 2023 Avbøtende tiltak for arkeologiske kulturlag i middelalderby	<b>Rapporttype/nummer</b> NIKU Rapport 274	<b>Publiseringsdato</b> 24.01.2024
	<b>Prosjektnummer</b> 1022553-05	<b>Sider</b> 56
	<b>Avdeling</b> Arkeologi	<b>Tilgjengelighet</b> Åpen
<b>Forfatter(e)</b> Halvorsen, Sunniva Wilberg, Cannell, Rebecca J. S., Dunlop, Rory A., Hovd, Line, Martens, Vibeke. V.	<b>ISSN 2703-7797</b> <b>ISBN 978-82-8101-420-6</b>	<b>Oppdragstidspunkt / periode utført</b> 01.01.23-20.12.23
	<b>Forsidebilde</b> Stavanger domkirke, utskifting av masser. L. Hovd.	

<b>Prosjektleder</b> Rebecca J. S. Cannell
<b>Prosjektmedarbeider(e)</b> Sunniva Wilberg Halvorsen, Line Hovd, Vibeke Vandrup Martens, Rory A. Dunlop
<b>Kvalitetssikrer</b> Lise-Marie Bye Johansen

<b>Oppdragsgiver / finansiert av</b> Klima og miljødepartementet. 2023 tilskudd over kap. 1410, post 70, Nasjonale oppgaver
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>Sammendrag</b> Bruk av avbøtende tiltak for å forbedre bevaringsforholdene for in situ kulturlag er et viktig tema, under stadig utvikling i kulturminneforvaltningen. Gjennomføringen av in situ bevaring er avhengig av at de best egnede metodene er i bruk til rett tid og sted. Denne rapporten diskuterer nåværende kunnskap om avbøtende tiltak i middelalderbyene i Norge, med utvalgte relevante internasjonale sammenligninger. Det gis praktisk informasjon for ulike avbøtende metoder, og hvordan disse passer inn i den overordnede prosessen med evaluering og overvåking av kulturlag. Viktige kunnskapshull identifiseres, og anbefalinger for fremtidig praksis diskuteres og presenteres, samt med virkningen av å implementere den nye standarden NS-EN 17652:2022.
<b>Abstract</b> The use of mitigating measures to improve the preservation conditions of in situ archaeological layers is a crucial, developing subject in heritage management. The feasibility of in situ preservation is dependent on the most appropriate methods being applied at the right time and place. This report details the current state of knowledge on mitigating measures in medieval towns in Norway, with selected relevant international comparisons. Practical information is provided for each mitigating method, and how these fit into the overall process of evaluation and monitoring of preserved layers. Key knowledge gaps are identified, and recommendations for future practice are discussed, as is the impact of the implementation of the new standard NS-EN 17652:2022.

<b>Emneord</b> Miljøovervåking, avbøtende tiltak, middelalderby, kulturlag, MOV, miljøforhold, bevaringstilstand, arkeologi, nasjonale oppgaver
<b>Keywords</b> Environmental monitoring; adaptive measures; medieval towns; archaeological deposits; environmental conditions; state of preservation; archaeology; national tasks

Avdelingsleder  
 Lise-Marie Bye Johansen

## Forord

Klima- og miljødepartementet ga i 2023 NIKU tilskudd over kap. 1410, post 70, til nasjonale oppgaver.

Formålet med tilskuddet til nasjonale oppgaver innen Miljødata og kunnskapsgrunnlag er å sørge for at instituttet har ressurser til faglig rådgivning og kompetanse for å sikre et helhetlig kunnskapsgrunnlag for kulturmiljøforvaltningen. NIKU skal kunne gi faglig støtte for kulturminneforvaltningen, gjennom å systematisere, kvalitetssikre og tilgjengeliggjøre data, samt drive metodeutvikling og sikre grunnlagsdata, der kulturminneforvaltningen har definerte behov. Denne rapporten omfatter deler av 2023-bevilgningen:

### **Post 2-5. Arkeologi. Avbøtende tiltak – MOV. 270 000 NOK**

Oppdraget i 2023 følger opp to år med nasjonale oppgaver der MOV-arbeidet (miljøovervåkning) har blitt oppsummert og evaluert. Årets oppgave tar sikte på operasjonaliserte råd, med konkrete eksempler, i form av avbøtende tiltak etter MOV-kartlegging.

Med avbøtende tiltak menes her tiltak som sikrer *in situ*-bevaring. Rapporten skal beskrive de aktuelle avbøtende tiltakene og hva man kan oppnå ved å bruke disse tiltakene i det aktuelle tilfellene/ situasjonene. Vi vil kommunisere tydelig hvorvidt de avbøtende tiltakene er standardløsninger som allerede er tilgjengelige i anleggsbransjen, eller om det er noe som må lages eller skaffes tilveie til hvert tilfelle. Rapporten vil vise hvilke verktøy kulturmiljøforvaltningen har i verktøykassa for å sikre automatisk fredete arkeologiske kulturminner. Rapporten skal kunne brukes av kulturminnemyndighetene i dialogen med tiltakshavere.

NIKU takker Klima- og miljødepartementet for oppdraget.

## Definisjoner

I rapporten blir det brukt en rekke uttrykk som behøver en forklaring fordi de brukes forskjellig i ulike fagområder, eller er lite kjent.

**Aerobe forhold:** Forhold der luft (oksygen) er til stede. Ved aerobe eller oksiderende forhold blir organisk materiale og reduserte uorganiske forbindelser oksidert av mikroorganismer som omsetter oksygen (sammenlignbar med menneskelig respirasjon). Ved aerobe forhold kan man forvente en høyere mikrobiell aktivitet enn ved anaerobe forhold.

**Anaerobe forhold:** Forhold der luft (oksygen) er fraværende. Ved anaerobe forhold blir organisk materiale oksidert av mikroorganismer som omsetter nitrat, oksidert jern og mangan, sulfat eller oksidert organisk materiale i stedet for oksygen. I naturlige miljøer er anaerobe forhold ensbetydende med reduserende (reduktive) forhold, men i hvilken grad forholdene er reduserende, varierer.

**Avsetningsmodeller** (Deposit modelling): En georeferert modell av naturlige og menneskeskapt lag i et gitt område. Modellen kan inneholde detaljer som sediment type, tykkelse, sammensetning, dateringer, grunnvannsnivåer, gjenstander, og bevaringstilstand osv. avhengig av hva den brukes til. Dataene som brukes kan komme fra borehulls informasjon, utgravninger eller en kombinasjon av disse.

**Bevaringstilstand:** Nåværende tilstand på de *arkeologiske kulturlagene*, og artefaktene og økofaktene de inneholder, som vil avhenge av både nåværende og historiske *nedbrytningshastigheter*.

**Ex situ bevaring:** Kulturminne/kulturlag bevart via dokumentasjon. Dette betyr at lokalitetene er arkeologisk undersøkt, og er bevart gjennom dokumentasjon, prøver, analysedata, og gjenstander, som må bevares fremover.

**In situ bevaring:** Kulturminner/kulturlag som er bevart på sin opprinnelige plassering med minst mulig endring av tilstanden. Det blir dermed bevart for fremtidige generasjoner.

**Mettet kulturlag:** Kulturlag der alle porerom er fylt med vann.

**Miljøforhold:** Fysiske, kjemiske og biologiske forhold i og rundt de arkeologiske kulturlagene, som bestemmer deres nåværende nedbrytningshastighet.

**Nedbrytningshastighet:** Hvor raskt en *arkeologisk lokalitet (eller elementer/materialtyper/kulturlag)* brytes ned. Endringer kan skje ujevnt, og med ulike hastigheter, avhengig av miljøkonteksten. Se også Figur 2 (kapittel 4.1), som viser forskjellige nedbrytningsprognoser.

**Redoksreaksjoner:** Redoksreaksjoner består av to delreaksjoner, oksidasjon og reduksjon. Disse reaksjoner foregår vanligvis relativt langsomt, men i naturlige systemer fungerer mikroorganismer som katalysatorer slik at reaksjonene foregår mye raskere. Oksiderende forhold indikerer at aktiv nedbrytning pågår.

**Reduserende (reduktive) forhold:** Avhengig av forbindelsen som blir redusert, snakker man om nitratreduserende, jern- og manganreduserende, sulfatreduserende og metanogene forhold. Jo mer redusert redoksforholdene er, jo lavere er den mikrobielle aktiviteten.

**Risikovurdering:** En vurdering av den nåværende bevaringstilstanden, miljøforhold og sårbarhet.

**Sårbarhet:** Egenskap som viser hvordan en arkeologisk lokalitet eller materiale tåler eksponering og dets følsomhet overfor miljøendringer.

**Umettet kulturlag:** Kulturlag der porene inneholder både vann og luft.



## Innholdsfortegnelse

1	Innledning og bakgrunn .....	9
2	Om avbøtende tiltak .....	10
2.1	Forutsetninger for avbøtende tiltak.....	10
3	Miljøovervåkning, prosess, og datainnhenting .....	12
3.1	Hva er et miljøovervåkningsprogram? .....	12
3.1.1	Forvaltningen og tiltakshavers rolle .....	13
3.1.2	Hvordan fungerer miljøovervåkningsprogrammet over tid? .....	13
3.1.3	MOV-prøver i forbindelse med arkeologiske undersøkelser .....	14
3.1.4	Avbøtende tiltak når negativ utvikling i kulturlagene?.....	14
4	Kunnskapsstatus .....	15
4.1	Grenseverdier og risikovurderinger .....	15
4.2	Erfaringer med avbøtende tiltak .....	19
4.3	Internasjonale erfaringer med avbøtende tiltak .....	21
4.4	Internasjonale eksempler .....	23
5	Avbøtende tiltak: Praksisbeskrivelser.....	27
5.1	Del A: Velprøvde avbøtende tiltak .....	28
5.1.1	Arkeologisk utgravning og dokumentasjon – ex situ-bevaring .....	28
5.1.2	Plombering av kulturlag og valg av fyllmasser .....	30
5.1.3	Masseutskifting og valg av fyllmasser .....	34
5.1.4	Bufferlag: Ivareta etterreformatoriske kulturlag .....	36
5.1.5	Vanninfiltrasjon .....	38
5.2	Del B: Relativt prøvde avbøtende tiltak .....	42
5.2.1	Kontroll med grunnvannsstand .....	42
5.2.2	Permeable overflater og utskifting av tette overflater .....	44
5.2.3	Isolasjon under bygg.....	46
5.3	Del C: Mindre prøvde avbøtende tiltak .....	47
5.3.1	Offersjikt.....	47
5.3.2	Marktrykk og vibrasjonsskader .....	49
5.4	Del D: Uprøvde med potensial .....	51
5.4.1	Isolerte peler .....	51
5.4.2	Frysing av grunnen .....	52
6	Fremtidens utfordringer .....	53
7	Konklusjon .....	53
8	Litteratur.....	54





## 1 Innledning og bakgrunn

NIKU fikk, i tilskuddsbrev fra Klima- og miljødepartementet datert 10.1.2023 (ref-22/3615-8), midler til å utføre nasjonale oppgaver. I dette arbeidet er det avsatt midler til videre arbeid med avbøtende tiltak innenfor arkeologisk miljøovervåking.

Arbeidet med arkeologisk miljøovervåking i middelalderbyene det siste tiåret har blitt gjennomgått, oppsummert og evaluert innenfor rammen av NIKUs nasjonale oppgaver i 2021 og 2022. Årets nasjonale oppgaver er en videreføring av dette arbeidet, med mål om å syntetisere og konkretisere avbøtende tiltak som kan benyttes innenfor MOV. Med avbøtende tiltak menes her tiltak som sikrer in situ bevaring av arkeologiske kontekster.

Oppgaven i 2023 består i å utarbeide veiledningsmateriell som kan inngå i kunnskapsgrunnet for kulturmiljøforvaltningen, og i rådgivning overfor kommuner, fylkeskommuner og private aktører. Prosjektet består i å sammenstille og formidle den tilgjengelige nasjonale og internasjonale kunnskap om avbøtende tiltak, og tilgjengeliggjøre dette for relevante aktører. Fokus i denne rapporten er på middelalderbyer, men eksempler fra andre steder enn middelalderbyene er tatt med, siden det er relevant å se på hvilke metoder som ble brukt og hvor effektive avbøtende tiltak var. Resultatene skal kunne brukes av kulturminnemyndighetene, og være et hjelpemiddel i dialogen med tiltakshavere.

Prosjektet skal resultere i operasjonaliserte råd om bruk av avbøtende tiltak etter MOV-kartlegging, med utgangspunkt i konkrete eksempler. Rapporten skal beskrive det aktuelle avbøtende tiltaket, og hva man kan oppnå ved å bruke dette tiltaket i det aktuelle tilfellet. Det skal tydeliggjøres hvorvidt de avbøtende tiltakene er standardløsninger, som allerede er tilgjengelige i anleggsbransjen, eller om det er noe som må lages eller skaffes til verktøykassa for å sikre automatisk fredede kulturminner.

Arbeidet er utført av NIKUs MOV-gruppe, bestående av medarbeidere på NIKU med erfaring og kompetanse gjeldende miljøovervåking (MOV) av kulturlag, geokjemi og geofysikk. NIKUs arbeidsgruppe for denne rapporten inkluderer Rebecca J. S. Cannell, Sunniva Wilberg Halvorsen, Line Hovd, Vibeke Vandrup Martens og A. Rory Dunlop.

Rapportens format avviker noe fra det som ble etterspurt. Som diskutert i denne rapporten, trenger vi mer kunnskap før vi kan si noe sikkert om bruken av spesifikke avbøtende tiltak i spesifikke sammenhenger. Dette gjelder både i de norske middelalderbyene og internasjonalt. I tillegg kommer hensynet til den nye standarden NS-EN 17652:2022, som vil påvirke hvordan in situ-bevaring og avbøtende tiltak iverksettes. Kapittel 2 i denne rapporten introduserer avbøtende tiltak for leseren, etterfulgt av kapittel 3, som beskriver prosessen med å samle inn de nødvendige dataene som trengs før avbøtende tiltak kan iverksettes. Kapittel 5 i denne rapporten inneholder en gjennomgang av avbøtende tiltak som brukes ved in situ-bevaring, og er skrevet i et format som er ment å være oversiktlig og lett å følge, som svar på forespørselen.

Kapittel 4 skiller seg noe ut. Her diskuterer vi dagens kunnskapsstatus, problemstillinger som må løses i forbindelse med in situ-bevaring, og hvorfor de må løses. Kapitlet tar også opp viktige spørsmål knyttet til implementeringen av avbøtende tiltak, nemlig bruken av grenseverdier og implementeringen av den nye standarden (NS-EN 17652:2022). Kapitlet viser hvor viktig det er med grundige evalueringer tidlig i planleggingsfasen, hvordan overvåking av in situ-arkeologi gir viktig informasjon, og hvordan det må arbeides videre med de langsiktige konsekvensene av avbøtende tiltak, inkludert hensynet til klimaendringer.

## 2 Om avbøtende tiltak

Avbøtende tiltak er et samlebegrep for alle typer tiltak som settes inn for å stabilisere eller bedre miljøforholdene for automatisk fredede kulturminner. Oftest dreier dette seg om tiltak som etableres i forbindelse med at det gjøres inngrep i kulturminnet. De avbøtende tiltakene er da ment å redusere påvirkningene av disse inngrepene. Avbøtende tiltak kan settes inn både før, under og etter et inngrep i kulturminnet. Noen tiltak er en del av standardiserte rutiner, andre tiltak er mer spesialiserte.

Bruk av avbøtende tiltak bør skreddersys til hver enkelt lokalitet, ettersom mange ulike faktorer kan påvirke miljøforholdene på stedet. For å best mulig kunne tilpasse tiltak til ulike typer prosjekt, er det viktig at behovet for eventuelle avbøtende tiltak vurderes så tidlig som mulig ved etablering av et tiltak. En slik behovsvurdering (risikoanalyse) tidlig i prosessen bør i mange tilfeller inngå som et vilkår for dispensasjon fra kulturminneloven for gjennomføring av tiltak i automatisk fredede områder.

Hvilke avbøtende tiltak det er behov for vil kunne bestemmes med utgangspunkt i resultater fra en slik risikovurdering, sammen med analyseresultater fra miljøovervåkningsprøver og miljøovervåkningsprogram (MOV), og med tidligere erfaringer fra sammenlignbare prosjekter. Etter hvert som det samlede erfaringsgrunnlaget fra bruk av avbøtende tiltak og miljøovervåkning av kulturminner øker, får vi et stadig bedre utgangspunkt for å velge de beste løsningene. Overvåkning og kontroll av utførte avbøtende tiltak har derfor stor betydning.

Stabile og gode miljøforhold for organiske kulturlag innebærer ofte å sikre tilstedeværelse av vann, ettersom vann hindrer tilgang på oksygen og holder temperaturene nede. Økte temperaturer og oksygentilgang vet vi kan akselerere nedbrytningsprosessene. I det som betegnes som umettet sone, der kulturlag ligger over grunnvannsnivå, er det ekstra utfordringer knyttet til bevaring av kulturminnene.

### 2.1 Forutsetninger for avbøtende tiltak

For at det skal være mulig å sette inn de riktige avbøtende tiltakene, altså tiltak som på best mulig vis bidrar til å stabilisere forholdene på et gitt sted, som er utsatt for en spesifikk type inngrep, er vi avhengig av en rekke faktorer. Kanskje viktigst er kjennskap og erfaringer med ulike typer avbøtende tiltak, og hvilke forutsetninger som ligger til grunn for at disse er effektive. Kunnskapsinnhenting og forskning på feltet er grunnleggende for at kunnskapsgrunnlaget skal øke.

For å på best mulig måte kunne forvalte fredede kulturlag inn i et bærekraftig samfunn der det både er rom for byutvikling og kulturminnevern, kreves det kunnskap om flest mulig av de faktorene som vil spille sammen og påvirke hvordan og hvorvidt kulturminnene vil kunne bevares in situ for framtiden.

Det kreves kunnskap og forståelse om hvordan ulike typer inngrep kan påvirke miljøfaktorene i omkringliggende kulturlag. For eksempel, dersom det skal oppføres et bygg over kulturlag, bør man vite mest mulig om byggets konstruksjon og fundamentering, graveomfang og materialbruk, for å etablere en forståelse for i hvilken grad bygget vil påvirke elementer som grunnvann, temperatur og oksygentilførsel i massene under og omkring bygget. Det er viktig for forvaltningen at man har en databank med innsamlet materiale fra tilsvarende inngrep, slik at man har best mulig forståelse for hvilke faktorer som kan komme i spill.

Lokale, stedsbetingede faktorer vil også spille inn på hvordan en type inngrep vil påvirke omkringliggende kulturlag, og må vurderes. Elementer som geologi, grunnvannsnivå, topografi, infrastruktur, ulike typer fyllmasser, kulturlagstyper, eldre grøfter og omkringliggende bebyggelsestyper og deres fundamenteringsmetoder kan spille inn på hvilke konsekvenser et inngrep kan gi for kulturlagene. For eksempel er det stor forskjell på hvor høy tåleevne kulturlag har, blant annet avhengig av om de står i grunnvann eller ikke. Grunnvannsnivå og grunnvannsstrømmer påvirkes av lokale bergarter og sedimenter, landskapets helling og tilstedeværelse av dype kjellere og dreneringsgrøfter i et område. Derfor er det slik at den samme type bygg vil kunne være forsvarlig i et område, men være svært ødeleggende for kulturlag i et annet område. Forvaltningen trenger å ha

mest mulig stedsbetinget kunnskap, og det er ønskelig med innsamling av data om hvordan ulike faktorer påvirker hverandre. På lang sikt bør det bygges modeller som viser grunnvann, geologi, sedimenter, og kulturlag for områder som middelalderbyene, basert på eksisterende og nye data etter hvert som de blir tilgjengelige.

Ulike typer kulturlag vil også ha svært ulik tålegrense. Dette avhenger blant annet av kulturlagenes sammensetning, porøsitet og vannmetning. Kulturlagenes omgivelser vil også spille inn på hvor sårbare de er, slik som om de ligger under tette eller porøse masser, og om det er tilsig av sjøvann eller overflatevann. Kunnskap om hvordan ulike kulturlagstyper påvirkes av inngrep og lokale faktorer er svært viktig for å vurdere kulturlagenes tåleevne i møte med endrede forutsetninger.

De fleste norske arkeologiske miljøovervåkningsprosjekter etter 2009 har vært fokusert på datainnsamling og overvåkning av bevaringsforhold (Halvorsen, Hovd & Martens 2022). Det eneste prosjektet som har hatt et direkte fokus på avbøtende tiltak for å forbedre kulturlagenes bevaringsforhold er Grunnvannsprosjektet på Bryggen (Rytter & Schonhowd 2015). Dette er derfor en svært viktig del av det norske kunnskapsgrunnlaget om avbøtende tiltak. Avbøtende tiltak har likevel inngått i en del av de gjennomførte MOV-prosjektene, selv om dette ikke har vært hovedfokus. Det gjenstår fortsatt mye på kunnskapsinnhenting fra gjennomførte avbøtende tiltak – og det må etableres en tydeligere instruks for når det må settes krav om avbøtende tiltak.

### 3 Miljøovervåking, prosess, og datainnhenting

#### 3.1 Hva er et miljøovervåkningsprogram?

Noen ganger krever det miljøovervåking for å fastslå kulturlagets tilstand, og hvilke miljøbelastninger det er utsatt for. Overvåking kan brukes til å vurdere hvilke avbøtende tiltak som er nødvendige og best egnet, eller overvåke langtidseffekten av avbøtende tiltak etter at de er på plass. Et miljøovervåkningsprogram innebærer at miljøforholdene i kulturlagene overvåkes over tid. For å kunne relatere overvåkingsdataene til et utgangspunkt, bør det gjøres en vurdering av hvordan bevaringstilstand er i kulturlagene ved starttidspunktet. Dette gjøres ved en kombinasjon av arkeologisk tilstandsvurdering av kulturlagene, og ved analyser av jordkjemiske og jordfysiske prøver, eventuelt også vannprøver. Tilstandsvurderingen, eller sårbarhetsvurdering som det også kan heter, samt prøvetaking og analyseresultater, utgjør behovsvurderingen. Nå ved bruk av NS-EN 17652:2022, må dette også inkludere en risikoanalyse (se delkapittel 4.1).

Prøveuttak og arkeologisk analyse foretas ved en innledende undersøkelse, enten i form av en boreundersøkelse hvor det tas opp borekjerner eller jordsøyler, eller ved en arkeologisk utgravning med dokumentasjon, undersøkelse og prøveuttak av kulturlag i et jordprofil. Neste trinn er å etablere kontinuerlig overvåking av kulturlagenes miljøforhold, enten ved logging fra sonder i jordprofil, eller ved multiparametersonde i grunnvannet i miljøbrønner. Slike overvåkingspunkter gir oversikt over utvikling i en rekke parametere som kan fortelle om hvorvidt det foregår aktive nedbrytningsprosesser i kulturlagene. Miljøovervåkningsprogrammer bør logge data over en lengre tidsperiode, for at det skal være mulig å få oversikt over langtidstendenser i utviklingen.

Den innledende undersøkelsen utføres ofte som enten en arkeologisk utgravning hvor en profil dokumenteres og beskrives arkeologisk, før det tas ut MOV-prøver som sendes til laboratoriet. Eller en arkeologisk boreundersøkelse hvor man bruker et kjernebor eller naverbor til å ta opp jord for arkeologisk dokumentasjon og analyse, samt MOV-prøvetaking. Ved en undersøkelse i profil settes sonder inn i jorda for å overvåke forholdene i umettet sone, altså over grunnvann. Dette kan være sonder for kartlegging av pH, oksygen, vannmetning, redoks og temperatur. I grunnvannsbrønner overvåker en multiparametersonde pH, temperatur, grunnvannsnivå, redoks og oksygen. Det kan også være aktuelt å supplere denne informasjonen med uttak av årlige grunnvannsprøver som analyseres for vannkjemiske parametere. Det er også mulig å etablere en multisonde (SoilVue) i kulturlag i umettet sone, boret ned for hånd som en smal miljøbrønn, men disse vil ha begrenset dybde (1 m). Disse vil fungere som grunne miljøbrønner der det ikke er grunnvann og kulturlag ligger relativt grunt (beskrevet i Martens & Krangnes 2022). Loggede data sendes kontinuerlig fra en datalogger til en nettside, hvor utviklingen i kulturlagene kan leses ut. Som regel innebærer et MOV-program at det lages årlige rapporter for resultatene fra miljøovervåkingen.

Når det etableres slike MOV-program i forbindelse med inngrep i kulturlagene, er det for å kartlegge hvordan kulturlagene påvirkes av de endrede forholdene. For å kunne kartlegge eventuelle endringer som følge av inngrep bør de innledende undersøkelsene gjøres i god tid før inngrepet utføres. Det bør også etableres logging av data i god tid, minst 6 måneder, før igangsetting av inngrep. For å kunne si noe om det oppstår endringer, må det etableres et tydelig utgangspunkt. Ved etablering av miljøbrønner og miljøprofiler vil det alltid være litt svingninger i innledende fase, før utstyret er stabilisert. Miljøovervåkningsprogrammer logger som regel data i 3 eller 5 år, men det er en stor fordel med lengre overvåkningsserier. Lengden på MOV-programmet fastsettes utfra prosjektets problemstillinger, og er ofte knyttet opp mot omfang, type og varighet på et inngrep. Eksempelvis bør det ved en byggeprosess hvor det bygges på kulturlag etableres MOV-overvåking minst 6 måneder før anleggsarbeider starter opp, og det bør logges gjennom hele byggeprosessen, og minimum et år etter at anleggsarbeid er avsluttet. Da vil det være mulig å fange opp både kortere svingninger som følge av pågående byggearbeider, og lengre utviklingstendenser som følge av endrede forutsetninger for kulturlagene. Et godt datagrunnlag vil kunne gi nødvendig informasjon om hvorvidt det bør igangsettes avbøtende tiltak for å bedre miljøforholdene.

### 3.1.1 Forvaltningen og tiltakshavers rolle

Dersom et MOV-program må igangsettes som følge av at det gis dispensasjon fra kulturminneloven for å gjøre inngrep i fredede kulturlag, er det tiltakshavers ansvar å finansiere tiltaket. Prinsippet er at den som er ansvarlig for inngrep som forstyrrer og skader kulturminner, må betale for det. En dispensasjon fra kulturminneloven innebærer at tiltakshaver har fått tillatelse til å gjøre inngrep. Kulturlag er å regne som begrensede, ufornybare resurser. MOV handler om å begrense skadeomfanget av inngrep, både ved å gjøre tiltak forskuddsvis, som kan omfatte utgraving, overvåking, eller andre avbøtende tiltak, og ved å overvåke langtidseffektene av påførte skader. Ansvar for kostnadsdelen ved implementering av MOV programmer, ligger derfor hos den som påfører skaden, som regel tiltakshaver.

Dersom det dispensjonerte tiltaket regnes som et mindre privat tiltak, vil utgifter dekkes av Riksantikvaren. Dersom det foreligger «særlige grunner» kan staten gå inn og dekke utgiftene, men det er strenge krav til i hvilke tilfeller dette kan gjelde. Tiltakshaver må i slike tilfeller søke Riksantikvaren spesielt om kostnadsdekning på grunn av særlige grunner. Lovfesting av kostnadsdekning ved arkeologisk undersøkelse finnes i kulturminneloven § 10, og mer informasjon ligger i Riksantikvarens veileder «Utgifter til arkeologiske arbeider»<sup>1</sup>.

I noen tilfeller igangsettes det miljøovervåkingsprogrammer for å overvåke kulturlagenes generelle miljøforhold over lang tid. Slike program initieres og betales som regel av forvaltningsmyndighetene; kommune, fylke, eller Riksantikvaren. Fra 2018-2023 har Riksantikvaren gjennomført MABYMOV, et overvåkingsprogram med overvåking av kulturlag i både Bergen (Vågsbunnen) og Tønsberg. I tillegg har Riksantikvaren finansiert Bryggen MOV i Bergen 2019-2023, som har fungert som oppfølging og vedlikehold av MOV utstyret på verdensarvstedet (beskrevet i Rytter & Schonhowd 2015).

Det er fylkeskommune og Riksantikvaren som har dispensasjonsmyndighet i middelalderbyene, når det er aktuelt med dispensasjon for inngrep i kulturlag. Krav om miljøovervåkingstiltak kan stilles som vilkår i dispensasjonsvedtak. Det er NIKU som utfører arkeologiske undersøkelser i middelalderbyene, og som vil ha utførende ansvar for de fleste MOV-program i middelalderbyene.

### 3.1.2 Hvordan fungerer miljøovervåkingsprogrammet over tid?

De innsamlede dataene gir en oversikt over miljøforhold i kulturlag over tid, og kan gjøre det mulig å oppdage eventuelle endringer. Når disse sees i sammenheng med hvilke belastninger kulturlagene har vært utsatt for innenfor overvåkingsperioden, kan det være mulig å kartlegge sammenheng mellom årsak og virkning. Dersom det for eksempel observeres økende temperaturer, lavere vannmetning og økt oksygentilgang, indikerer dette at nedbrytningsprosessene er akselererende. Dersom dette skjer etter at det er gjort et inngrep, som for eksempel at det er reist et stort bygg over kulturlagene, er det sannsynlig at dette er en årsak, så fremt andre faktorer er uendret. Når årsak og virkning er kjent, er det mulig å sette inn avbøtende tiltak for å bekjempe de negative virkningene. I dette tilfellet kan vanninfiltrasjon være et aktuelt virkemiddel.

Miljøovervåkingsprogrammer kan etableres i tilknytning til de fleste typer kulturlag, såfremt det er praktisk gjennomførbart. MOV-program bør vurderes i tilfeller hvor større inngrep kan påvirke miljøforholdene i kulturlagene negativt. Dette dreier seg ofte om ulike typer bygging på kulturlag, eller ved inngrep som kan endre forholdene i omkringliggende kulturlag, som graving av dype grøfter og kjellere, etablering av grunnvannspumper eller ved endring fra permeabelt til fast dekke over kulturlag.

Lange måleserier vil være nyttig for forvaltningens kunnskap om langsiktige svingninger, og vil også kunne brukes for å kartlegge påvirkning fra klimaendringer. Det kan være aktuelt å forlenge

<sup>1</sup> [Utgifter til arkeologiske arbeider. Kulturminneloven § 10. Saksbehandling i arkeologi - Riksantikvaren](#)

måleperioden utover den på forhånd vedtatte tidsperioden. Det er derfor viktig at måleutstyr holdes tilgjengelig også på sikt, slik at drift og vedlikehold er mulig i uoverskuelig framtid.

### 3.1.3 MOV-prøver i forbindelse med arkeologiske undersøkelser

Ved gjennomføring av et tiltak, og i den sammenheng en arkeologisk undersøkelse, tas det som nevnt MOV-prøver til jordkjemisk analyse. Dette kan blant annet gjøres i forkant av tiltaket ved en avklarende undersøkelse / forundersøkelse, ved etableringen av miljøovervåkingsprogram og installasjon av overvåkingsutstyr, eller ved en mindre arkeologisk undersøkelse hvor bevaringsforhold er en del av problemstillingen for den arkeologiske undersøkelsen. Prøver kan for eksempel tas dersom det er et mangelfullt kunnskapsgrunnlag for å vurdere hvordan det planlagte tiltaket vil virke inn på et kulturminne. Målet med prøvetaking er å framskaffe informasjon om f.eks. kulturlagenes karakter og tåleevne, samt å innhente referansedata for evt. miljøovervåkingsprogram i det berørte området.

Prøver som tas i forbindelse med arkeologiske undersøkelser og miljøovervåkingsprosjekter analyseres etter analyseparametere som beskrives i Norsk Standard NS9451:2009 (NS9451:2009: 12, 16, 21, 35.) Parametere er delt inne i grunnleggende parametere (S1) og miljøparametere (S2). Parametere i S1 og S2 beskrives i Tabell 1. Ettersom ny standard, NS-EN17652 fra 2022 ikke inneholder beskrivelser av analysemetoder eller hvilke prøver som bør tas, tenker vi at man også i fortsettelsen må referere til 2009-standarden for disse viktige informasjonen. Slik sikrer man at det faktisk blir sammenlignbare analyser og resultater og en åpenhet og standardisering i metodene.

**Tabell 1: Oversikt over analyseparametere i gruppene S1 og S2.**

S1	S2
Tørrstoffinnhold	Matrikspotensiale (pF)
Glødetap	Porøsitet
pH	Sulfat
Ledningsevne / klorid	Sulfid
	Jern (II)
	Jern (III)
	Ammonium (ekstraherbart)
	Nitrat

Innsamlede data fra prøver brukes til å vurdere miljøforhold for kulturlagene. Dette baseres hovedsakelig på inntrenging av oksygen som påvirker redoksforholdet i jorden (som % O<sub>2</sub> eller som redoks). I tillegg analyseres fuktighet og en del andre kjemiske parametere (pH og ledningsevne) for å se hvordan grunnvann kan påvirke kulturlaget. Eksempelvis inkluderer dette også temperatur (i felt), vanninnhold (i felt / i laboratorium), tørrstoff-mengde, glødetap (for å måle mengden organisk materiale), pH, elektrisk ledningsevne, samt relasjonene sulfat/sulfid, Fe<sup>2</sup>/Fe<sup>3</sup>, ammonium/nitrat (se Martens & Bergersen 2015: 70-72). Ved prøvetaking pakkes prøvene i doble poser, der den ytre inneholder en Anaerogen pose som sikrer at de fysiske-kjemiske egenskapene holdes mest mulig lik i felt frem til analyse.

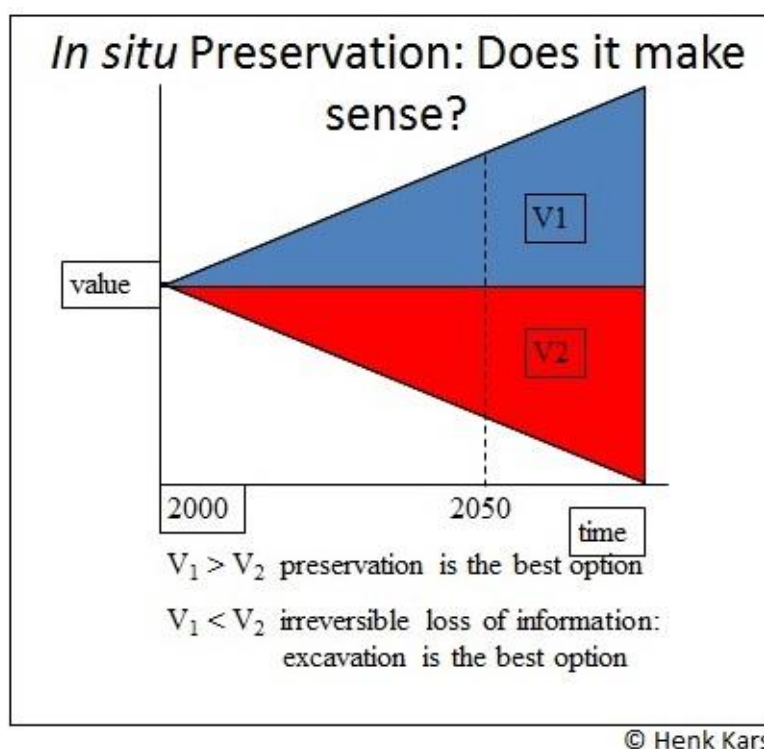
### 3.1.4 Avbøtende tiltak når negativ utvikling i kulturlagene?

Som følge av enten behovsvurdering eller etter overvåkingen kan det være aktuelt å iverksette avbøtende tiltak for å bedre bevaringsforholdene. Hvorvidt, når og hvordan eventuelle avbøtende tiltak må settes inn som følge av negative utviklingstendenser i måleverdiene vil være gjenstand for en faglig vurdering og tolkning. Dette bør knyttes opp mot grenseverdier som reflekterer kulturminnenes tåleevne, som er etablert gjennom behovsvurderingen og risikoanalyse, og overvåking dersom det anses nødvendig. Grenseverdier er spesielt relevante for middelalderbyene, men det er på det nåværende tidspunkt ikke vedtatt noen faste grenseverdier for når det må settes inn avbøtende tiltak.

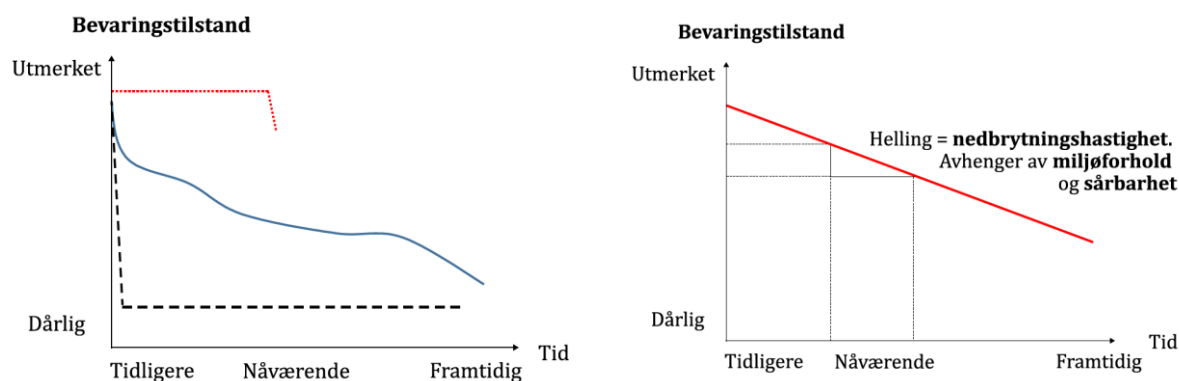
## 4 Kunnskapsstatus

### 4.1 Grenseverdier og risikovurderinger

Målet med miljøovervåking av kulturlag er å sikre at de kulturlag som vi antar ligger trygt *in situ*, også fortsatt gjør det under og etter større fysiske inngrep i deres nærhet. Tanken bak Malta-konvensjonen fra 1992 (<http://conventions.coe.int/Treaty/en/Treaties/Html/143.htm>) var at man skulle forsøke å bevare flest mulige arkeologiske lokaliteter uforstyrret, *in situ*, i håp om at arkeologisk praksis og metode ville fortsette med å utvikle seg så man kunne hente enda mer informasjon ut av materialet ved fremtidige undersøkelser, og for at det skulle være noe igjen for kommende generasjoner å undersøke. Man tenkte da dessverre ikke på effekten av klimaendringer. Uansett må man finne ut av når det er risiko for at en lokalitet mister sin kildeverdi som følge av at for mye av det arkeologiske materialet har forsvunnet (se Figur 1).



Figur 1: Miljøovervåking gir informasjon om hvorvidt det fortsatt gir mening å forsøke å bevare *in situ*, eller om man bør undersøke og dokumentere for å ivareta den kulturhistoriske informasjonen. Figur v/ Henk Kars, VU University, Amsterdam.



Figur 2: Ulike mulige prognoser i miljøforhold. Til høyre, jevn nedbrytning over tid, til venstre, andre mulig nedbrytning prognoser. Fra NS-EN17652:2022.

Bevaringstilstand, arkeologens subjektive vurdering av bevaring, og nedbrytningshastigheten er svært viktige parametere i den sammenhengen. Som regel skjer ikke nedbrytningen langsomt og gradvis (se Figur 2). Ofte har materialer blitt nedbrutt allerede da laget ble avsatt og har holdt seg stabilt siden. I andre tilfeller har de holdt seg veldig bra lenge, til det skjer en endring som plutselig og raskt setter i gang nedbrytningsprosesser. Dette kan for eksempel være fjerning av overliggende lag ved utbygging, eller ved en endring i de lokale grunnvannsforholdene. Disse vurderingene kobles sammen med en overordnet sårbarhetsvurdering og sammenstilles med bevaringsforhold (NS9451:2009) eller miljøforhold (NS-EN17652:2022), dvs. forutsetningene for videre *in situ* bevaring, som tatt i betraktning i behovsvurderingen. Sårbarhet og miljøforhold måles ved hjelp av objektive analyser av jordfysiske og jordkjemiske egenskaper sammen med langtidsmålinger, altså miljøovervåking som beskrevet over. Ved å sammenstille disse parameterne kan man nå frem til en **risikovurdering** for om det er risiko for tap av kulturminner, eller materialegrupper, på en lokalitet (se Tabell 2).

**Risikoklasser** er et nytt begrep i forhold til tidligere standard og krever spissing av bruk av grenseverdier og sårbarhetsanalyser, samtidig som det danner grunnlag for videre forvaltning av lokaliteten, utvikling og eventuell implementering av avbøtende tiltak (Tabell 2). Det kan også bety behov for å undersøke og dokumentere for *ex situ* bevaring (utgravning). Alternativt må man akseptere tap av lokaliteter, eller materialegrupper innenfor en lokalitet. Klimaforandringene som medfører både lengre tørkeperioder og økte og mer voldsomme nedbørshendelser forsterker behovet for miljøovervåking og lange måleserier.

En evaluering av miljøforhold ved en arkeologisk kontekst bør vurderes i sammenheng med bevaringstilstandens sammensetning på en konkret lokalitet og dens arkeologiske kildeverdi. NS-EN 17652:2022 gjør det klart at risikoklassifiseringen skal omfatte en vurdering av nedbrytningshastigheten, årsakene til de nåværende bevaringsforholdene, hva som kan øke en lokalitets sårbarhet, bevaringsprognoser for viktige gjenstander/materialtyper under de nåværende forholdene, konsekvensen av tap av disse og effekten dette har på lokalitets betydning/kildeverdi, samt andre faktorer som kan påvirke bevaringstilstanden som inkluderer fremtidige endringer som klimaforandring og sannsynligheten for disse, og hvor viktig det er å iverksette tiltak. Derfor er risikovurderingen en helhetlig evaluering som tar hensyn til mange variabler.

**Tabell 2: Risikoklasser med beskrivelser av risikotap. EC= environmental conditions (miljøforhold), SP= state of preservation (bevaringsgrad), RC= risk class (risikoklasse). Fra NS-EN17652:2022, tabell C3, side 32.**

	SP 4 Excellent	SP 3 Good	SP 2 Poor	SP 1 Very poor	Risk class (RC)	Description of risk
EC 4 Excellent					RC A	Low risk of loss of significant heritage material
EC 3 Good					RC B	Medium risk of loss of significant heritage material
EC 2 Poor					RC C	High risk of loss of significant heritage material
EC 1 Very poor					RC D	Immediate risk of loss of significant heritage material

Det kan virke kontraintuitivt at kombinasjonen EC1 og SP1 i Tabell 2 betyr at det er lav risiko for tap av vesentlig kildeverdi, men antakelsen er at forholdene er så dårlige at det ikke er noen arkeologi av betydning som er igjen å tape. Derfor vil denne kategorien trolig sjeldent bli brukt der det er *in situ* arkeologi. Den nye standarden (NS-EN 17652:2022) vektet altså den subjektive arkeologiske vurderingen (SP) like tungt som miljøforhold (EC), hvor sistnevnte vurderes og klassifiseres etter analyseresultater fra jordkjemiske prøver.



En eldre bevaringsgrad fra NS9451:2009 vil ikke være direkte overførbart til den nye standarden, da tabellene ikke er direkte sammenlignbare (Tabell 3). Med en endring fra fem til fire bevaringskategorier, må man gjøre nye vurderinger av hvilke verdier og jordkjemiske mål som kan tilknyttes de nye kategoriene. Det må også bemerkes at tabellen (Tabell 2) i den nye standarden er siste del av et vedlegg, og forutsetter at anbefalingene og prosessene i de foregående kapitlene er gjennomført. Dessuten knyttes de nye risikoklassene for bevaringsforhold til tid/hastighet på ulik måte ved å bruke "høy" og "umiddelbar"; høy representerer risiko generelt, uten noe forhold til tid, mens umiddelbar tyder på at tid er en avgjørende faktor. Slik sett er den nye standarden mindre tydelig enn NS9451, men den tar imidlertid hensyn til flere variabler. I Norsk Standard fra 2009 (NS9451) var det flere kategorier knyttet til bevaringsgraden, men det var ikke en kategori for risiko (se Tabell 3). Derfor er det viktig å merke seg at den nye standarden har mer komplekse krav knyttet til hvilke data som kreves for å fullføre en evaluering og risikovurderingen.

**Tabell 3: Bevaringsgrad tabell fra NS9451:2009, Norsk standard; Kulturminner; Krav til miljøovervåking og- undersøkelse av kulturlag.**

Posisjon i relasjon til grunnvann	Bevaringsgrad					
	0 (Ingen)	1 (Elendig)	2 (Dårlig)	3 (Middels)	4 (God)	5 (Utmerket)
Over grunnvann (umettet sone) = <b>A</b>	A0	A1	A2	A3	A4	A5
Overgangssone (fluktuerende vann) = <b>B</b>	B0	B1	B2	B3	B4	B5
I grunnvannet (mettet sone) = <b>C</b>	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Fyllmasser o.l. senere enn cirka år 1900 = <b>D</b>	D0	D1	D2	D3	D4	D5




Det er et lite «men» i denne sammenhengen – nemlig at muligheten for å vurdere både sårbarhet og risiko avhenger av at man fastsetter **grenseverdier**. Den nye standarden omtaler viktigheten av grenseverdier, men den inneholder ingen forslag til sådanne, eller henvisning til det hittil eneste publiserte forslaget for grenseverdier for endring (Martens 2016: 97). Her anser vi at det trengs videre arbeid for å teste validiteten av de foreslåtte tålegrenser, eller grenseverdier, før endring (se Tabell 4). Grenseverdiene i Tabell 4 er relative endringer, det vil si at de måler skiftende forhold sammenlignet med den første observerte og målte tilstanden av kulturlaget. Å ha relative grenser i stedet for absolutte, betyr at grenseverdier kan brukes under forskjellige forhold. Grenseverdiene i Tabell 4 er imidlertid et vesentlig bidrag, og basert på utvidende observasjon og måling. Ettersom grenseverdiene ble utviklet i forhold til bevaring av organiske, mettede eller delvis mettede lag, trengs det mer forskning på om disse grensene er universelt anvendelige i Norge innenfor og utenfor middelalderbyene.

Vi har *de facto* brukt ulike sett av grenseverdier for å kunne avgjøre kategoriene for bevaringsforhold/miljøforhold i forhold til de fem kategoriene i standarden fra 2009. Disse grenser må oppdateres i forhold til den nye standarden. NIKU samarbeider med COWI om dette, ettersom det er en forutsetning for å kunne rapportere korrekt i pågående miljøovervåkingssprosjekter. Det er et svært omfattende arbeid, som krever videre studier både lokalt i enkelte bydeler, i hver middelalderby, og etter hvert utenfor middelalderbyene. I tillegg er det helt nødvendig å se på andre lokaliteter, lokalitetstyper og kontekster for å kunne sette tålegrenser som er reelle og kan fungere som varsel for behov for å gjøre noe og bidra til definisjon av risikoklasser. Dette arbeidet går langt ut over det som er mulig innenfor inneværende prosjekt.

I arbeidet med risikovurdering benyttes en slags utvidet **trafikklys for fargekoding** – rødt, oransje, gult og grønt, der rødt angir umiddelbar fare for tap av verdier, mens grønt angir lav risiko. Det er samme prinsipp som er benyttet i Tabell 4.

For verdensarvsted Bryggen er det utarbeidet øvre, ønskede og nedre terskelverdier for grunnvannsnivå i de fleste av de eksisterende miljøbrønnene (Rytter & Schonhowd 2015). Verdiene tar hensyn til tømmerfundamentene til omkringliggende bygninger – grunnvannsnivået skal ikke medføre at fundamentene står i vann. Det er også et mål at setningshastigheten for fastpunkter på terreng og bygninger ikke skal overstige 1 millimeter årlig.

**Tabell 4: Forslag til grenseverdier for endring. Grenser for endring av vanninnhold ble foreslått av R. Hughes i en presentasjon på EAA 1999 og publisert første gang av Reed & Martens (2008). De øvrige grenseverdiene er foreslått av Martens (2016).**

	% endring av vanninnhold i jord (R. Hughes, EAA 1999)	% endring/skade på overflate	°C endring av jordtemperatur	% endring av nedbrytningshastighet	% tap/skade forårsaket av fortsatt bruk	% tap/skade forårsaket av endret bruk / utbygging
	11 -	11 -	2 -	21 -	21 -	11 -
	6 - 10	6 - 10	1 - 1.9	11 - 20	11 - 20	6 - 10
	0 - 5	0 - 5	0 - 0.9	0 - 10	0 - 10	0 - 5 ©VVM 2016

## 4.2 Erfaringer med avbøtende tiltak

Ved gjennomgangen av alle MOV-prosjekter i norske middelalderbyer de siste 10 år (Halvorsen, Hovd & Martens 2022; Hovd et. al. 2022, se Tabell 5 for oversikt) ble det tydelig at det er svært få MOV-prosjekter som har resultert i pålegg om etablering av avbøtende tiltak. Dette bør ikke tas til inntekt for at de aktuelle inngrepene ikke har vært til beskadigelse for kulturlagene. Årsaken er trolig heller å finne i det at det ikke foreligger tydelige grenseverdier for når det bør settes inn slike tiltak. Fagfeltet har vært i rask utvikling, både på utstysfronten og i mengde ervervet kunnskap. Flere datasett fra eldre undersøkelser var preget av utstys- og systemfeil. I tillegg ser vi at økt kunnskap på fagfeltet gjør det nødvendig å revurdere tolkningene av noen av resultatene fra eldre MOV-programmer. MOV-program har som oftest vært gjennomført med overvåking over 3 eller 5 år. Dette gir ikke nødvendigvis gode nok langtidsdata for miljøforholdene i kulturlagene. Kombinasjonen av uklare retningslinjer, stedvis svake datasett og et fagfelt i utvikling, og relativt korte overvåkingsserier, har trolig bidratt til at det ikke har blitt gitt flere pålegg om avbøtende tiltak. Det bør forventes en tettere oppfølging av behovet for avbøtende tiltak i alle ledd ved fremtidige inngrep.

I det norske datagrunnlaget står grunnvannsprosjektet på Bryggen i en særstilling, ettersom det ble etablert for å sette inn avbøtende tiltak rettet mot å heve grunnvannet under verdensarvstedet Bryggen (Rytter & Schonhowd 2015). Det har siden blitt vanligere å stille krav om at avbøtende tiltak settes inn som forebyggende tiltak ved inngrep. Ulike typer vanninfiltrasjonstiltak som etablering av regnbed, permeable dekker, og grøfter med perforerte rør ( gjerne kombinert med bentonittdemninger som danner såkalte «laksetrapp»-systemer hvor grunnvannsstanden tilpasses fall i terrenget) for å forsinke vanngjennomstrømningen er eksempler på slike tiltak. Bergen har vært en foregangsby her, med prosjekter bl.a. ved Øvregaten 19 og i Kong Oscars gate i Vågsbunnen (Dunlop 2015). Ved Øvregaten 19 ble det etablert et system for infiltrasjon av takvann under et nybygg med pelefundamenter; Bioforsk sin konklusjon etter miljøovervåking var «High precipitation frequency in the latter years, coupled with the infiltration of roof water, has decreased the redox potential to more stable, reducing, anoxic conditions in the upper part of the pit as well, which is a positive result for the continued preservation of the archaeological remains in the immediate area» (Bergersen et al. 2017). Tilsvarende tiltak er utført i Schultz gate i Trondheim, også her med bra resultat (Petersén & Bergersen 2016).

Videre har for eksempel bruken av offersjikt (Figur 21), eller å bevare etterreformatoriske lag for å holde eldre lag beskyttet, vært vellykket (også dette i Bergen) og bør vurderes andre steder i fremtiden. Bevaring av kulturlag in situ i umettet sone er en utfordring som krever mer overvåkingsdata, både fra før og etter at avbøtende tiltak er igangsatt, noe som er gjeldende praksis. Plombering av avdekkede strukturer og kulturlag inngår nå som en viktig del av alle arkeologiske undersøkelser der kulturlagene skal bevares in situ i umettet sone. Ved Follobaneprosjektet i Oslo ble det i overvåkingsdataene for eksempel observert en tydelig effekt av at profilene ble skjermet ved å pakke dem med et tjukt lag (fra 30 cm og økende til 90 cm nedover i profil) ikke-marin blåleire. Dette stabiliserte både temperatur og fuktinnhold i lagene veldig raskt etter tildekkingen (Halvorsen, Hovd & Martens 2022). I prosjekter hvor avbøtende tiltak er anvendt, har disse blitt regnet som å være vellykket, og med implementering av grenseverdier og mer rutinemessig bruk av langtids miljøovervåking, kan disse tiltakene iverksettes enda mer effektivt ved behov.

Vi ser en utvikling hvor forebyggende avbøtende tiltak løftes inn tidligere i byggeprosesser av kulturminneforvaltningen, noe som er svært positivt. Resultatene av dette er foreløpig ikke synliggjort i MOV-datasett, da de aktuelle prosjektene ikke er realisert, eller kun er i tidlig realiseringsfase. I flere tilfeller er tiltak også utført uten at det er implementert miljøovervåking. Det er avgjørende å kontinuerlig arbeide for å sikre at de anvendte avbøtende tiltak er tilpasset riktig til lokale forhold, og at vi fortsetter å tenke ut nye metoder for å sikre langsiktig vern og god forvaltning av kulturminner.

Det ovennevnte er en kortfattet oversikt over tilgjengelig kunnskap og erfaringer på fagfeltet. Dette har grunnlag i erfaringer som er samlet inn fra norske miljøovervåkingsprosjekter, og i en gjennomgang av

erfaringer med avbøtende tiltak frem til i dag. For en mer utfyllende beskrivelse av disse prosjektene viser vi til disse aktuelle rapportene (Halvorsen, Hovd & Martens 2022; Hovd et. al. 2022). I det påfølgende underkapittelet redegjøres det for relevante internasjonale erfaringer på samme fagfelt.

**Tabell 5: Oversikt over miljøovervåkingsprogrammer, både åpne og avsluttede, igangsatt i forbindelse med ulike tiltak de siste 10-15 årene i de fire store middelalderbyene i Norge.**

<b>Tønsberg</b>				
<b>NIKU projektnr.</b>	<b>Gateadresse/prosjektnavn</b>	<b>Metode</b>	<b>Status</b>	<b>MOV periode</b>
15620718	Anders Madsens gate MOV	Brønn	Avsluttet	2013–2014
1562900	Nedre Langgate 43	Brønn og profil	Avsluttet	2008–2012
15621146, 1562331	Storgaten 27	Profil	Avsluttet	2007 og 2013
1562846, 15620614, 1020161, 1020809	Storgaten 30–32 (Cityshopping/Foynsenteret/ Torvet bakgård)	Brønn	Åpent	2010, 2011, 2013–2017, 2016–2021
1021240	Foynkvartalet (N. Langgate / Tjømegaten / Prestegaten / Storgaten)	Brønn	Åpent	2018–2023
1563088, 1563359	Nedre Langgate 19 (Tønsberg fjernvarme 2009, båtfunn)	Brønn og profil	Avsluttet	2010–2012
15620354	Storgaten (Tønsberg fjernvarme MOV)	Profil	Avsluttet	2011–2014 (2015)
15620669, 1020262	MOV-program for Tønsberg (MABYMOV)	Brønn	Åpent	2020–
<b>Bergen</b>				
<b>NIKU projektnr.</b>	<b>Gateadresse/prosjektnavn</b>	<b>Metode</b>	<b>Status</b>	<b>MOV periode</b>
156351701 1020668	Nedre Korskirkeallmenningen & Torget	Brønn	Avsluttet	2011-2016
15621094, 15620916	Vågsbunnen MOV	Brønn	Avsluttet	2012-2017
1021141	MABYMOV Vågsbunnen	Brønn og profil	Åpent	2019-
15620749	Kong Oscars gate	Brønn	Avsluttet	2013-2018
1021555	Bryggen MOV	Brønn og profil	Åpent	2019-
15620162-1	Øvregaten 19 MOV	Profil	Avsluttet	2013-2017
15621249-2	Finnegården 1A MOV	Brønn	Avsluttet	2014-2019
1022358	BT5-DS1 Bybane MOV	Brønn	Åpent	2022-
1561329---	Miljøbrønner Bryggen	Brønn	Avsluttet	2002-2016
<b>Oslo</b>				
<b>NIKU projektnr.</b>	<b>Gateadresse/prosjektnavn</b>	<b>Metode</b>	<b>Status</b>	<b>MOV periode</b>
1563058	Peleprosjektet	Brønn	Avsluttet	2010–2012
1563110	Midgardsormen	Brønn	Avsluttet	2010–2013
20150/20106	DEG-prosjektet	Brønn	Avsluttet	2010–2018

1020061	Follobanen MOV	Profil	Åpent	2016–2023
1022112	Follobanen Middelalderparken	Profil	Åpent	2022–2026
<b>Trondheim</b>				
NIKU prosjektnr.	Gateadresse/prosjektnavn	Metode	Status	MOV periode
15620926	Schultz gate - Presidentveita	Profil	Avsluttet	2013–2017
1020178/ 1020544	Peter Egges plass/ Rådhusallmenningen (Søndre gate 7–11) grunnvannsundersøkelse	Brønn	Avsluttet	2015–2018
1020179	Søndre gate 7–11	Profil	Avsluttet	2015–2020
1020403	Erling Skakkes gate 3–5	Profil	Åpent	2019–2024
1020444	Munkhaugveita 5–7	Profil	Avsluttet	2015–2020

### 4.3 Internasjonale erfaringer med avbøtende tiltak

Det foreligger erfaringer med avbøtende tiltak fra relevante internasjonale publikasjoner. Aktuelle publiserte tema er praktiske problemstillinger ved metoder, og beste praksis i eksempler som kan være relevante for norske forhold. Det er også kunnskapshull internasjonalt og det arbeides med å finne løsninger og relevante avbøtende tiltak.

Avbøtende tiltak innen arkeologi er nødvendig for å muliggjøre in situ bevaring av kulturarv i ulike miljøer. Selv om kunnskap om avbøtende tiltak er en ung fagdisiplin, er det mange gode løsninger som har blitt utviklet de siste tiårene både i Norge og internasjonalt. Norge er godt posisjonert internasjonalt med hensyn til implementering og utforming av overvåkningsprogrammer, men det er fortsatt erfaringer å hente fra internasjonal forvaltning og forskning.

Implementeringen av NS-EN17652:2022 krever at norsk arkeologi generelt tar større hensyn til den bredere miljøpåvirkningen av utbygging, samler inn mer nyanserte data om bevaringsforhold før utbygging, og begynner å koble sammen informasjonen vi har i form av modeller som redegjør for ulike geologiske og hydrologiske forhold som direkte påvirker bevaringspotensialet, som omtalt i delkapitler 2.1 og 4.4 i denne rapporten. Implementeringen av NS-EN17652:2022 er foreløpig kun igangsatt i middelalderbyene, selv om det er obligatorisk for alle prosjekter som berører in situ kulturminner.

Nasjonalt og internasjonalt er det to problemstillinger med avbøtende tiltak som krever mer arbeide og forskning; vår forståelse av nedbrytningsprosesser og implementering av grenseverdier. For det første er målet med å bruke avbøtende tiltak å forhindre videre nedbrytning av kulturlaget.

Kunnskapsgrunnlaget vårt om bevaringsforhold og nedbrytningsprosesser i ulike miljømiljøer er svakt. De kjemiske, biologiske og fysiske nedbrytningsprosessene av forskjellige materialer i forskjellige miljøer er godt kartlagt, men generell kunnskap er ikke alltid tilstrekkelige for å sikre langsiktig bevaring ved spesifikke lokaliteter. Dette må det arbeides videre med. Det er også tilfellet internasjonalt. Klimaendringer må også hensyntas og dette kunnskapsområdet har fått økende nasjonal og internasjonal oppmerksomhet de siste årene (Granberg et al., 2022; Nicu & Fatoric, 2023).

Forskningsprosjekter som CULTCOAST har arbeidet med kunnskapsstatus og klimaendringenes innvirkning på langsiktig bevaring av kulturarv, behovet for avbøtende tiltak, og behovet for langsiktig overvåking (Martens & Krangnes, 2022). Det er også igangsatt flere forskningsprosjekter på tematikken i Skandinavia. Det at flere forskere arbeider med denne tematikken er nødvendig for å øke kunnskapen om hvordan vi kan ivareta in-situ kulturlag og kulturarv.

For å forbedre vår kunnskap om nedbrytningsprosesser kan laboratorieforsøk være informative, men disse har ofte korte tidsintervaller, og in situ eksperimenter med langvarige måleserier er få. Dette betyr at selv om en del eksperimentell arkeologi produserer essensiell ny kunnskap om nedbrytning, er forholdene de representerer ofte begrensede.

Forståelse av jord er avgjørende for å forstå in situ nedbrytning, men størstedelen av vår nåværende kunnskap om jord er rettet mot agronomi (Caple, 2016a). Arkeologisk interesse for jordsmonn går tilbake til de første årene med stratigrafisk observasjoner, og har utviklet seg siden den gang. I senere tid har jordvitenskapen om in situ bevaring blitt et felt i seg selv. En publikasjon av Caple (2016b) om in situ bevaring av kulturminner inneholder utdrag fra Charles Darwins studie fra 1881 av meitemark, Ian Cornwalls 1958 *Soils for the Archaeologist*, og L.G.M. Baas Becking et al fra 1960 tidsskriftartikkelen i *Limits of the natural environment* av pH og oksidasjons-reduksjonspotensialer, noe som antyder at disse publikasjonene ennå ikke har blitt erstattet av nyere erfaringer og ny grunnleggende kunnskap. Selv om det er legitimt å være uenig i Caples vurdering, illustrerer det at publikasjonen gjenbraker gamle tolkninger av nedbrytningsprosesser og peker den på en generell mangel på direkte relevante og tilgjengelige publiserte studier om in-situ bevaring.

Den andre problemstillingen knyttet til nasjonal og internasjonal kunnskap og praksis, er behovet for miljøspesifikke og generelle grenseverdier. Overvåking er avgjørende, men det må være en utarbeidet en strategi på forhånd, basert på realistiske og påviste grenseverdier. Dersom disse grenseverdiene brytes, må det iverksettes avbøtende tiltak.

Utfordringen med in situ bevaring er at enhver forstyrrelse av jordsmonn skader den skjøre balansen i kulturlagene. Dette kan også være tilfellet når jordsmonn i nærheten av kulturminnene er forstyrret, og forårsaker en negativ effekt over et større område som må tas i betraktning når man lager avbøtende tiltak (se 2.1 og 4.1), som case studier fra Nantwich illustrerer (delkapittel 4.4). Derfor må større områder være i fokus, og avgrensningen av kulturminner være mere fleksibel snarere enn kun avgrenset innenfor enkeltminner. For eksempel kan tiltak ved siden av kulturlagene være mer effektive hvis det gjøres endringer i et større område, spesielt i forhold til dreneringsmønster og grunnvannshåndtering. Effekten av å endre balansen kan være positiv eller negativ, og avbøtende tiltak krever ofte en periode med intens overvåking før og etter at tiltakene er satt i verk for å forstå om bevaringsforhold reagerer som forutsagt. Internasjonalt er dette sakte i ferd med å bli standard praksis, med noen land, som Nederland og Storbritannia, som generelt ligger lenger fremme enn andre land.

Overvåking er den mest effektive måten å forstå hvordan menneskelig aktivitet påvirker bevaring av kulturminner, enten det er ved utbygging eller langsiktige konsekvenser av klimaendringer. Problemene med dette er todelt: For det første må overvåking være langsiktig og kontinuerlig (over tiår) for å vise både naturlig variasjon og menneskeskapt variasjoner, noe som ligger utenfor rammen av de fleste forvaltnings- og forskningsprosjekter, og at overvåkingen må arbeide sammen med prediktiv modellering, handlingsplaner og etablerte grenseverdier (Bertolin, 2019). Som i Norge, er alle disse metodene ennå ikke brukt rutinemessige i alle EU-land, men de brukes for eksempel i Storbritannia. Siden overvåking av høy kvalitet er en relativt ny metode, har de fleste langvarige prosjekter ennå ikke produsert lange serier med data, slik som Bryggen og Rose Theatre (Storbritannia). Som en konsekvens av dette, er disse prosjektene en referanse for mange og svært varierte lokaliteter.

Vellykkede avbøtende tiltak må være basert på nøyaktig kunnskap, både ved å lære fra norske og internasjonale studier, og ved å samle data fra kulturmiljøene som skal bevares. Det er viktig å adressere kunnskapshull og å ta i bruk nye metoder i denne prosessen. Selv om det finnes mange eksempler på tverrfaglig samarbeid i internasjonal forskning, er tettere samarbeid mellom jordvitenskap, meteorologi og klimavitenskap, arkeologi og arkeologisk naturvitenskap, konservering og miljøhumaniora nødvendig for å øke vår beredskap for klimaendringer i fortsettelsen.

Det blir stadig tydeligere både gjennom prosjekterresultater og i utformingen av de nye NS-EN17652:2022 retningslinjene, at forståelse av de geologiske og hydrologiske forholdene til en lokalitet er en grunnleggende forutsetning for å skape tiltak for langsiktig in situ bevaring. Videre bør fjernmålingsteknikker og modellering brukes mer utbredt som et overvåkingsverktøy for å undersøke bevaringstilstanden tidlig i planprosessen.

Geofysiske metoder fungerer godt sammen med borehulls undersøkelser, da de geofysiske dataene kan fremheve arkeologiske strukturer som bør unngås, eller hvordan bevaringsforholdene varierer, noe som fører til en mer målrettet tilnærming for overvåking og avbøtende tiltak. Geofysiske metoder, som georadar (GPR) og elektrisk motstandstomografi (ERT) er metoder som kan gi dybdeinformasjon og relativ fuktighet i forskjellige lag, uten forstyrrelser. Ikke-urbane miljøer er mer gunstige for geofysikk, men deres potensial i middelalderbyene arbeides med fortløpende. GPR og ERT ble nylig brukt i en italiensk middelalderby, med mål om å oppdage og kartlegge vannmettede soner under overflaten (Bellanova et al., 2020). En ytterligere studie i sentrum av Beograd viste at GPR kunne oppnå verdifulle resultater på komplekse byområder (Ristic et al., 2020). NIKU foretok nylig georadarundersøkelser ved Middelalderparken (Figur 3), Oslo, som identifiserte lag og strukturer før utgraving, og koblet dem til strukturer utenfor utgravningsområdet (Causevic, i press).



Figur 3: Georadarundersøkelse i Middelalderparken, Oslo. Foto: NIKU/Jani Causevic.

#### 4.4 Internasjonale eksempler

##### Avbøtende tiltak, skipsvrak og kulturlag i vannmettede områder

Case studiene som nå vil presenteres inkluderer både studier innenfor og utenfor middelalderbyene. Ulike kontekster kan bidra til å utforme nye avbøtende tiltak. Å redusere oksygeninnholdet i fuktige miljøer blir generelt sett på som et positivt skritt mot bevaring, men det må understrekes at denne strategien kun bremser nedbrytningen, den stopper den ikke. Tildekking, for å redusere mekanisk forvitring og fremme et miljø med lavt oksygen ble brukt over *Stora Sofia*, et båtvrak utenfor Gøteborgskysten fra 1645. Tildekning ble designet spesielt av lagdelte materialer (fin grus over vraket, deretter gummimatter, deretter grus), og vraket ble deretter overvåket i fem år ved bruk av en installert datalogger og offerprøver i moderne tre. Offerprøver er moderne tre prøver som plasseres ved eller inne det overvåkte miljø. Disse blir deretter fjernet og analysert for å sjekke endringer i bevaringsforholdene. Ettersom prøvene ikke er fredet kulturminne, men er plassert i samme miljø, kan de bli brukt for destruktive analysemetoder som ikke kan brukes på fredet kulturarv. Dataloggeren overvåket temperatur, vanndybde, pH, redokspotensial og oppløst oksygen, som ble målt ved hjelp av brønner senket gjennom dekket. I tillegg ble de offer prøvene plassert på innsiden og utsiden av

tildekningen for å overvåke nedbrytningsprosesser. Resultatene ble deretter sammenlignet med data fra sediment-, vann- og arkeologiske tre prøver tatt før dekslet ble plassert over vraket. Den langsiktige, mindre intensive overvåkingen etter denne perioden, som fortsatt pågår, inkluderte begrenset prøvetaking av arkeologiske og moderne prøver, og inspeksjon hvert 2.-3. år (Bergstrand, 2010). Det var flere tekniske problemer underveis i overvåkingen, men samlet sett ble det vist at tildekning bremset nedbrytningsprosessen. Det er viktig å merke seg at de avbøtende tiltakene som er iverksatt til slutt, i noen tilfeller må erstattes, og langsiktig overvåking er avgjørende for å sikre effektiviteten. Selv om metodene og målene i våtmarks- og sjølokaliteter er like, må metodene tilpasses konteksten ved å redusere bakteriell nedbrytning ved å senke oksygeninnholdet, enten det er under vann eller på land.

Bruken av moderne offerprøver for å evaluere hva som forårsaker nedbrytning og har blitt brukt ved Nydam i Danmark, og på et annet vrak fra 1200-tallet funnet på land, på en golfbane i Sverige. Det svenske vraket, kjent som Krongholmen, ble oppdaget i 1995. Etter undersøkelse ble det begravet på nytt, med moderne offerprøver og arkeologiske prøver som ble brukt til å overvåke vrakets tilstand i de påfølgende årene. Overvåkingen konkluderte med at miljøforholdene ikke var egnet for langtidsbevaring, med oksiderte forhold som muliggjorde raskt nedbrytning og bakterieangrep (Björdal og Rönnby, 2023).

Undervannsarkeologi har gjort store fremskritt de siste årene, både når det gjelder in situ bevaring og overvåking av skipsvrak spesielt. Manders (2008) nevner i sin gjennomgang av problemstillingene vedrørende in situ bevaring kostnaden som en vesentlig faktor; det er rimeligere å bevare skipsvrak under vann da dykking og utgraving er teknisk vanskelig og kostbart, mens en utgraving på land ofte er rimeligere og har et større utvalg av profesjonelle arkeologer tilgjengelig. Videre betyr juridisk beskyttelse av vrak at bevaringstiltak er nødvendig, og in situ bevaring er en hensiktsmessig måte for å beskytte våre felles skipsarv. Vår økende evne til å finne kulturminner, både under vann og på land, via forvaltningsundersøkelser, fjernmåling, og økningen i arkeologisk forskning, betyr at flere kulturminner blir oppdaget enn det som både kan og bør graves ut. Dessuten er det obligatorisk å vurdere in situ bevaring fremfor utgraving. En siste årsak Manders (2008) viser til, som gjelder både på land og under vann, er vår mangel på kunnskap og ressurser i langsiktige konserveringsmetoder hvis gjenstander graves ut og settes i museumssammenheng. Den andre siden av dette er at plassering av gjenstander i museer gir tilgang til materialet til formidling og forskning, og dette øker igjen bevissthet, interesse og livsviktig støtte til gjeldene kulturarvbevaringspraksis.

### **Avbøtende tiltak – valg av materialer til tildekking**

Bevaring in situ betyr ofte å dekke kulturlag, enten på land eller under vann, og Historic England anbefaler å bruke inerte materialer som fremmer stabilitet. Materialene som velges skal ikke frigjøre materiale som forurenser den eksisterende stratigrafi eller vann, ikke forårsake mekanisk skade, være stabile, og være synlige slik at fremtidige arkeologer tydelig kan se hva som er gjort hvor (Canti og Williams, 2016). I teorien er de beste materialene for tildekking av kulturlag, igjenfylling med massene som ble fjernet fra stedet. Å bruke lokale masser, som er kjemisk like, er alltid en foretrukket. Lokalt kritt ble brukt til å fylle ut tunneler fra 1700-tallet i Silbury Hill etter kollapsen i 2001, for å stabilisere monumentet (Canti og Williams, 2016). Det er imidlertid ikke alltid mulig å bruke lokale masser eller oppgravde masser, som Canti og Williams (2016) observerer. Massene kan være for blandet etter utgraving, forurenset, eller ha uegnet tekstur. Historiske Englands retningslinjer anbefaler høyt silikon, lite jernholdig, ikke-kalkholdig sand som har kjent og målt kjemisk sammensetning (Canti og Williams, 2016). Leire kan trenge inn i eksisterende stratigrafi og vann, og derfor anbefaler de det ikke. Finsilikon grus (som flint) kan også brukes i noen sammenhenger, og er lettere å få tak i Storbritannia enn i Norge. Geomembraner eller geonett, hvor sistnevnte er stive for å gi beskyttelse mot trafikk, kan for eksempel brukes som permeable lag for å tillate vannstrøm, og som et tiltak som reduserer risikoen for bioturbasjon fra planter og dyr. Disse materialene (silikonrik sand, geomembraner) ble brukt på Rose Theatre-området, og stedet ble holdt vannmettet av infiltrasjonssystemer i det øvre sandlaget. Over dette ble en ugjennomtrengelig polyetylenplate plassert før en lett betongblanding



dekket lokalitet. Syv overvåkingspunkter er også på plass (Corfield, 2012, Canti og Williams, 2016). Ved Hampton Court, Storbritannia, ble silikon-rik, ovnstørket sand brukt til å dekke arkeologiske strukturer på gårdsplassen før ny overflate ble lagt over området. I tillegg ble vekten på maskinene som ble brukt på byggeplassen begrenset under anleggsarbeidet for å minimere risikoen for komprimerings- og vibrasjonsskader. Kontroll av hvilke typer kjøretøy som brukes, og bruk av nøye utvalgte masse til igjennfylling av området, er relativt enkle, men effektive metoder som også brukes i Norge.

### **Vanninfiltrasjon og heving av grunnvannstand**

I de ovenfornevnte eksemplene fra Storbritannia ble de samme materialene brukt på tørre og vannmettede lokaliteter. Forskjellen er at ved Rose Theatre ble det brukt et vanninfiltrasjonssystem, tilsvarende det på Bryggen. Andre vannmettede områder kan kreve en annen tilnærming, eller spesialtilpassas inn i en gjennomtenkt utbyggings prosess. Det romerske båtvraket på land, i Southwark, London, skapte utfordringer for in situ bevaring, men ved nøye planlegging og spesialtilpasninger ble in situ bevaring mulig. Vraket ble først funnet i 1958, og etterlatt under den moderne veien. Etersom vraket lå begravd 4 meter under dagens bakkenivå, var in situ bevaring under det foreslåtte sykehuset teknisk mulig. Ved å gjøre endringer i bygningsdesignet for å fjerne all vekt fra området, lot det seg gjøre å la vraket ligge. Overvåking for å måle pH, redoks, temperatur og vannstand ble satt i gang, og for å opprettholde det vannmettede miljøet, ble regnvann fra bygningens tak filtrert til et permeabelt lag over båten. Det ble også satt opp en kran for å fylle opp vannstanden ved behov. Til tross for at disse avbøtende tiltakene kom på plass, er det fortsatt en risiko for at overvåkingsdata på lang sikt tyder på at bevaringsforholdene blir dårlige, og at arkeologien risikerer dårligere bevaringsforhold og fare for nedbrytning. For å imøtekomme et slikt mulig scenario, ble bygningsdesignet endret til å inkludere en passasje som, om nødvendig, kunne brukes til å grave ut vraket (Williams et al., 2016). Kombinasjonen av avbøtende tiltak (design, vannfiltrering) og overvåking, sammen med langsiktig planlegging, sørget for at utbyggingen kunne fortsette uten behov for utgraving, og at arkeologiens langsiktige fokus på bevaring av vraket in situ var mulig. Løsningen kom på plass, grunnet tett samarbeid og dialog mellom tiltakshavere og Historic England.

Williams et al. (2016), demonstrerer med casestudien til Fiskerton, Storbritannia, at overvåkings- og bevaringstiltak bare bør settes i verk etter at en grundig bevaringsvurdering og risikoanalyser er fullført. Ved Fiskerton ble det i 1981 gravd ut en kavlevei, og i 2001 ble ytterligere en kavlevei og tømmerbåt gravd ut i nærheten av denne. Området rundt er underlagt moderne drenering, derfor ble det iverksatt tiltak for å blokkere dreneringskanaler for å heve grunnvannsnivå for å bevare arkeologien. Det ble etablert overvåkingspunkter for å overvåke i ett år før vannstanden ble hevet, og to år etter. Etter overvåking ble imidlertid grunnvannsnivået ansett for å vare for lavt til å bevare arkeologien, og utgraving i 2007 avslørte at mye av arkeologien var i ferd med å gå tapt. Dersom en grundig bevaringsvurdering hadde blitt utført før overvåking ble igangsatt, ville den ha avdekket virkningen av ulik arealbruk mellom de to lokalitetene og kunne ha kartlagt at bevaring in situ ikke var et realistisk alternativ for enkelte deler av området, og at forholdene i 1981 var ikke en pålitelig kilde til dagens forhold og at tiltakene dermed ikke burde anbefales.

### **Avsetningsmodeller**

Vannmettede områder i by-kontekster er like avhengige av grundige bevaringsvurderinger, inkludert tidligere og nåværende hydrologi, geologi, og arealbruk. En slik vurdering for Nantwich, Storbritannia, viste at kulturminner fra romertiden og middelalderen kunne forventes i områder der drenering og underliggende sedimenter var gunstige. Ved å kjenne til disse områdene i forkant av enhver utbygging, eller arkeologisk grøfting eller boring, og hvordan grunnvannstanden i disse områdene ble matet av overvann og grunnvann, kan virkningen av tiltak vurderes mer nøyaktig og avbøtende tiltak planlegges. Vurderingen og den påfølgende modellen antydte at trenden i byutviklingen i Nantwich risikerte å endre hydrologien og dermed bevaringsforholdene til de underliggende kulturminner og kulturlag. Modellen brukes til å informere nye forvaltnings prosjekter, og sikre at fremtidige bygg også

oprettholder bevaringsmiljøet (Williams et al., 2016). York, Storbritannia, er kjent for sin rike kulturarv, inkludert vannmettet kulturlag fra romersk jernalder, Anglo-Saksisk periode, vikingtid og middelalder. York-modellen for vurdering av miljøforhold inkluderer bruk av en *deposit model* (avsetningsmodeller). Den ble utviklet i 2017 basert på eldre utgravningsrapporter (fra 1990-tallet) og nyere utgravninger. Den registrerer egenskaper som arkeologisk periode/ datering, beskrivelse, høyde, tykkelse, fuktighet, forstyrrelser, anaerobe forhold, og plassering. Modellen kan visualisere omfanget av in situ arkeologiske og naturlige lag, deres forhold til andre stratigrafiske lag, og modellen kan også brukes med enkle regneark, noe som betyr at den har verdi for de som ikke har tilgang til visualiseringsprogramvare.

Museum of London Archaeology (MOLA) har lenge brukt deposit models (avsetningsmodeller) for å forutsi hvor kulturlag sannsynligvis vil bli funnet, deres miljøkontekst, og derfor hvilke avbøtende tiltak som er gjennomførbare, tidlig i prosjektfasen. For vannmettede kulturlag i York, Storbritannia er miljøovervåking obligatorisk, og prosessen er lik den i Norge. Etter en felt-basert evaluering, igangsettes en hydrologisk studie som kartlegger de vannmettede kulturlagene ved å bruke eksisterende registreringer, slik som tidligere utgravningsrapporter eller nye borehulls undersøkelser. Evalueringene inkluderer en beskrivelse av de kulturlagene, en spesialistvurdering for deres miljøpotensial og tilstand, og overvåking av vannstanden i området i minst seks måneder før bygningssøknaden kan sendes inn. De proaktive avbøtende tiltakene skal sikre at det er et tilstrekkelig kunnskapsgrunnlag før beslutningen om bygnings tillatelse vedtas, inkludert anbefalinger for å hindre konflikt og forstyrrelser for arkeologien. Borehulls undersøkelser samler inn prøver og følger spesifikke retningslinjer for å sikre datakvaliteten, inkludert bruk av søyler (kjernebor), ikke naverbor, for å ta opp intakte, uforstyrrede prøver med en lengde på minst 30 cm for biologisk analyse. Dette gir mulighet for en vurdering av dagens biologiske og kjemiske prosesser som forårsaker nedbrytning. I tillegg må det gjennomføres permeabilitetstester, porøsitet/bulkdensitet/fuktighetstester, partikkelstørrelsesfordeling, pH-analyse og kjemisk redokstesting for å vurdere de hydrologiske og fysiske forholdene på stedet. Disse testene blir sett på som et minimumskrav, tiltakene er en del av Storbritannias National Planning Policy Framework.

### **Jordfrysing**

Jordfrysing er ansett som et mulig kortsiktig tiltak (Jones & Clogg, 1999) for løfting av skjøre gjenstander, eller sikring av ustabil stratigrafi. En rapport fra Museum of London (Davis med fl., 2004) anbefaler kun jordfrysing som en barriereteknikk for å beskytte arkeologiske lag mot forurensning, spesielt ved å drive ut grunnvann. Selv om det kan være nyttig, er det derfor å betrakte som et midlertidig tiltak i vanskelige situasjoner.

### **Oppsummering**

Gjennomgangen av internasjonale sammenlignbare avbøtende tiltak, viser at det er mulig å kompetanseoverføre erfaringer fra vellykkede eksempler brukt andre steder. Bruk av mer omfattende prøvetaking og analyser før igangsetting av utbygging har overføringsverdi. Erfaringer med borehulls undersøkelser kan øke forståelsen av nedbrytningsprosesser, og gjøre det mulig å utforme bedre avbøtende tiltak. Dessuten kan bruk av fjernmåling, for eksempel geofysikk, forbedre vår forståelse av områder med minimale forstyrrelser. Avsetningsmodellering (deposit modelling), som beskrevet for York og London, er utbredt i britisk arkeologi, som et verktøy for å forutsi hvor kulturminner finnes, og deres sannsynlige tilstand, og for å skreddersy avbøtende tiltak og overvåking. Dette bør vurderes for norske middelalderbyer. Selv om bruk av inert sand anbefales i disse casestudiene, har Norge positive erfaringer med bruk av ikke-marin leire, som begge bør betraktes som gode materialer for avbøtende tiltak. Ved bruk av disse materialene må vi også forske på nye alternativer, og overvåke deres langsiktige fysiske, biologiske og kjemiske innvirkning på in situ kulturlag.

## 5 Avbøtende tiltak: Praksisbeskrivelser

I dette kapittelet gjennomgås det hvilke avbøtende tiltak som kan settes inn for å sikre fordelaktige miljøforhold for ulike typer kulturlag. Flere av disse avbøtende tiltakene fungerer best i kombinasjon. For eksempel, kontroll av grunnvannsnivået kan også trenge tiltak for infiltrasjon av vann, som bruk av permeable overflater eller bygging av regnbed. På samme måte kan bruk av offerlag kombineres med utvalgte fyllmasse for tetting eller igjennfylling.

En vurdering av miljøtilstand i kulturlag, både før inngrep, og over tid, henger tett sammen med valg av avbøtende tiltak. Målet er derfor å tydeliggjøre hvilke verktøy som finnes i MOV-verktøykassa, hvilke konkrete tiltak vi har, og hvordan de kan brukes i forhold til ulike typer inngrep. Et viktig moment er at det er enklere og kostnadsreduserende å forebygge enn å reparere. Forebyggende avbøtende tiltak for å sikre miljøforholdene i kulturlagene kan ofte sammenfalle med andre typer nødvendige klimatiltak. Ved å inkludere avbøtende tiltak tidlig i en prosess kan man dermed oppnå positive flerdriftsfordeler, både økonomisk og for klima- og kulturmiljøforhold.

For å gjøre beskrivelsene av de ulike avbøtende tiltakene mest mulig oversiktlige og tilgjengelige er de presentert utfra følgende kulepunkt:

- Hva innebærer tiltaket; beskrivelse av hva det avbøtende tiltaket innebærer
- Hvordan utføres tiltaket; beskrivelse av hvordan det avbøtende tiltaket utføres
- Hvem har ansvar for å utføre tiltaket; ansvarsfordeling
- Når; Forklaring på når i prosessen det avbøtende tiltaket skal settes inn
- Hvorfor; Hvilken effekt er det forventet at tiltaket har
- Hvilke typer kulturlag vil dette virke avbøtende på?
- Ved hvilke typer inngrep kan dette tiltaket være nødvendig?
- Videre prosess; hvordan følges tiltaket opp over tid
- Eventuelle utfordringer; dersom tiltaket kan kreve spesielle praktiske utfordringer skal disse adresseres under dette punktet.

I de følgende praktiske beskrivelsene av avbøtende tiltak må man være oppmerksom på at noen metoder er mer utprøvde enn andre; noen er fortsatt teoretiske eller eksperimentelle og ikke tilstrekkelig utprøvd, andre igjen her visst resultater flere steder. De elleve avbøtende tiltakene nedenfor er derfor delt inn i fire grupper (A til D):

**A. Velprøvde avbøtende tiltak:** Metoder som har vært brukt i Norge mer enn én gang, med tilgjengelige data som viser at tiltakene var effektive for å stabilisere eller forbedre miljøforholdene.

**B. Relativt prøvde avbøtende tiltak:** Metoder som har vært brukt en eller to ganger i Norge, der internasjonal forskning eller studier støtter at de er effektive for å stabilisere eller forbedre miljøforholdene.

**C. Mindre prøvde avbøtende tiltak:** Metoder som viser potensial, men som krever mer forskning eller erfaring for å forstå i hvilke situasjoner de er best egnet.

**D. Uprøvde med potensial:** Metoder som har potensial i visse situasjoner, men som krever ytterligere forskning eller erfaring.

## 5.1 Del A: Velprøvde avbøtende tiltak

### 5.1.1 Arkeologisk utgravning og dokumentasjon – ex situ-bevaring

- Hva innebærer tiltaket: Arkeologiske utgravninger igangsettes av flere årsaker; tiltakshaver planlegger utbyggingstiltak, eller at ikke er mulig å bevare kulturlagene for fremtiden in situ. Det er Riksantikvaren/fylkeskomme som gir dispensasjon i slike saker. Arkeologisk utgravning (ex situ-bevaring) kan være de beste avbøtende tiltaket i visse situasjoner, fordi det planlagte inngrepet er så omfattende at det ikke er mulig å sikre stabile, gode miljøforhold, eller det kan være fordi arkeologiske undersøkelser og miljøovervåkning har vist at kulturlagene er for tynne eller er i så dårlig forfatning at de ikke vil tåle belastningen av det planlagte inngrepet.
- Hvordan utføres tiltaket: Kulturlagenes tåleevne vurderes opp mot tiltakets omfang. Dersom kulturlagenes tåleevne ikke er kjent kan det være aktuelt å gjøre en mindre arkeologisk undersøkelse for å kartlegge forholdene, eller å overvåke bevaringsforholdene over tid i et miljøovervåkningsprogram. Eksempler på forhold som kan gjøre det vanskelig å bevare kulturlag in situ, er hvis kulturlagene er tynne, dårlig bevart, er tørre og ligger i umettet sone (Figur 4).
- Hvem har ansvar for å utføre tiltaket: Det er NIKU som utfører arkeologiske undersøkelser i middelalderbyene og på kirkegårder, og som vurderer på faglig grunnlag hvorvidt kulturlagene vil berøres av planlagte inngrep. Dersom videre in situ bevaring av automatisk fredede kulturlag ikke er forenlig med inngrepene, kan arkeologisk utgravning settes som vilkår i dispensasjonsvedtak. Tiltakshaver har ansvar for å tilrettelegge for en arkeologisk utgravning.
- Hvorfor kan tiltaket ha en effekt: En arkeologisk utgravning innebærer at kulturlag fjernes, noe som ikke er forenlig med videre in situ bevaring. Informasjonen fra kulturlagene bevares ex situ, og det er derfor svært viktig at mest mulig av kulturlagenes kunnskapspotensiale hentes ut, dokumenteres og ivaretas for ettertiden, etter best faglige praksis.
- Hvilke typer kulturlag vil dette virke avbøtende på? Arkeologisk utgravning kan være aktuelt for alle typer kulturlag. Kulturlag i umettet sone, særlig der hvor kulturlagene er relativt tynne og har lavt vanninnhold, vil ofte ha lavere tåleevne enn tykke, fuktige kulturlag. Det er kulturlagenes sammensetning og bevaringstilstand som utgjør kulturlagenes tåleevne og dermed hvorvidt arkeologisk utgravning bør utføres som avbøtende tiltak.
- Ved hvilke typer inngrep kan dette tiltaket være nødvendig? Type inngrep må vurderes opp mot kulturlagenes tåleevne. Eksempelvis vil det være lite hensiktsmessig å la det stå igjen tynne kulturlag i bunn av en grøft, da det er lite sannsynlig at disse vil kunne bevares for ettertiden. Dersom det er mindre enn 0,5 m kulturlag i bunn av en grøft bør det vurderes om arkeologisk utgravning bør utføres som avbøtende tiltak. Likeledes vil kulturlag med dårlig til elendig bevaringstilstand ha lav sannsynlighet for å kunne bevares in situ. Ved inngrep hvor det planlegges for å la tynne og/eller dårlig bevarte kulturlag stå igjen i tynne lag eller i mindre bolker, bør arkeologisk utgravning vurderes.
- Videre prosess: Etter at kulturlagene er dokumentert og fjernet utarbeides det en arkeologisk rapport, og innsamlet gjenstandsmaterialet bevares for ettertiden ved det ansvarlige universitetsmuseet.
- Eventuelle variasjoner og utfordringer:
  - I tilfeller hvor det gis dispensasjon med vilkår om arkeologisk utgravning bare ned til den omsøkte gravedybden, og det gjenstående kulturlagene er relativt tynne, bør det vurderes å grave ut kulturlagene i full dybde. Erfaringsmessig vil kulturlag som har vært avdekket utsettes for økt nedbrytning, og dersom lagene er tynne kan dette bety at det resterende kunnskapspotensialet i kulturlagene går tapt.
  - Der hvor kulturlag har dårlig bevaring alt i forkant av et inngrep, er det sannsynlig at nedbrytningen i gjenværende kulturlag akselererer.
  - Arkeologisk utgravning bør også vurderes i tilfeller hvor kulturlagene anses å være sjeldne eller å ha svært høy kildeverdi.

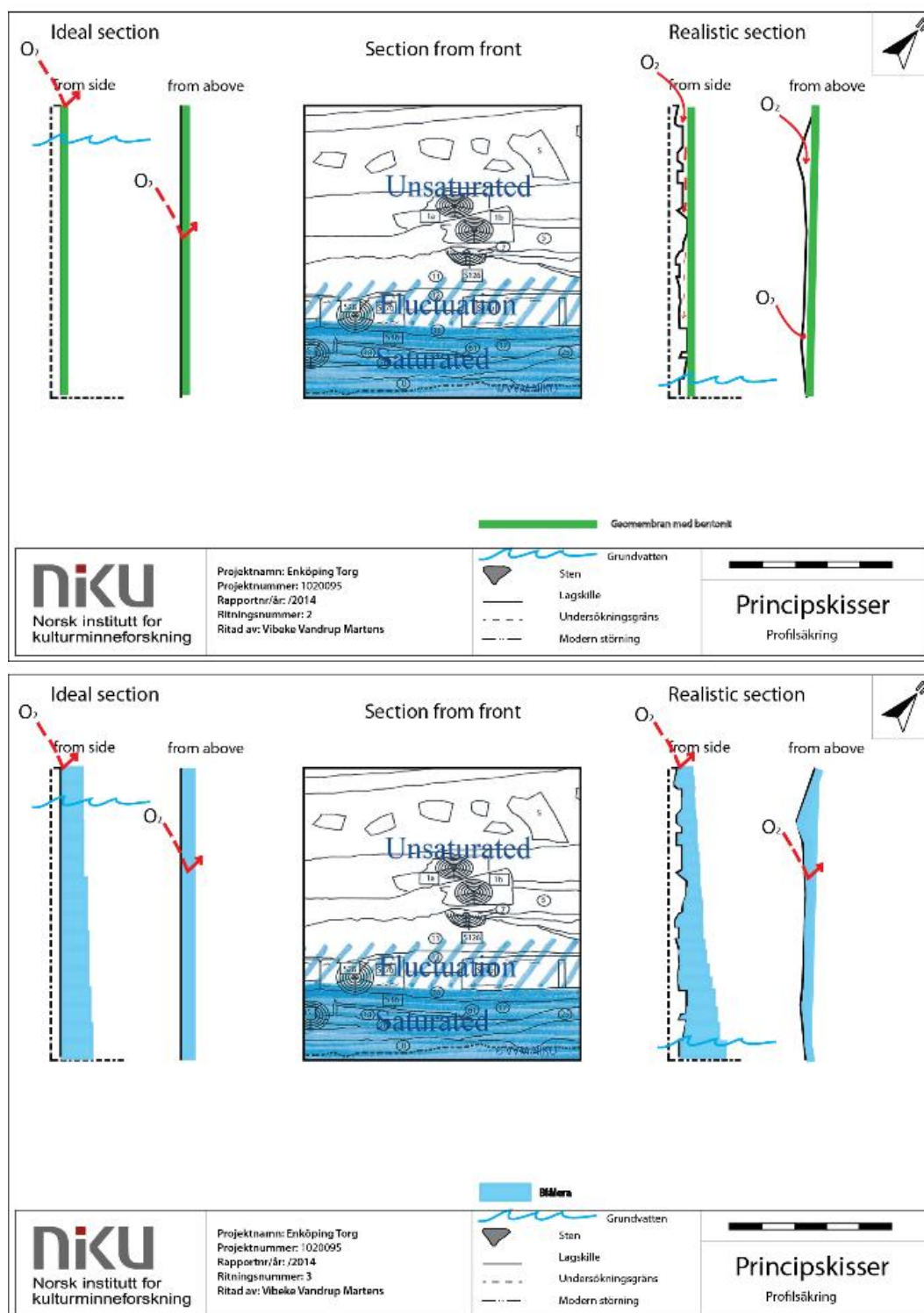


**Figur 4: Seksjon med dårlig bevart kulturlag med treverk (flettverksgjerde) rett over gammel strandsone og naturbakke. Denne seksjonen ble utgravd i full dybde, selv om tiltakets dispensasjon opprinnelig var gitt ned til en annen kote. Foto: NIKU prosjekt 1022112, Middelalderparken.**

### 5.1.2 Plombering av kulturlag og valg av fyllmasser

- Hva innebærer tiltaket: Avdekkede kulturlag tildekkes raskest mulig med veiduk og ikke-marin leire eller geomembraner som bentonittduk (Figur 5; Figur 6; Figur 7; Figur 8; Figur 9). Plombering av kulturlag tar sikte på å holde kulturlagene mest mulig stabile selv om de avdekkes.
- Hvordan utføres tiltaket: Ved oppgraving av grøfter og profiler hvor kulturlag avdekkes, både ved arkeologiske undersøkelser og ved graving hvor kulturlag frilegges, anbefales det så kort eksponering for luft og lys som mulig.
  - Dersom tiltak foregår over en lengre periode, skal kulturlag holdes tildekket med veiduk. For eksempel skal det legges veiduk så fort man har avdekket og dokumentert kulturlag i en grøft, slik at kulturlagene holdes tildekket mens resten av grøften graves.
  - Etter at kulturlagene er undersøkt og dokumentert, og før grøfta legges igjen, skal kulturlagene plomberes med ikke-marin leire, eventuelt med geomembran som bentonittduk.
  - Tykkelse på plomberingslag må vurderes utfra type kulturlag og tilgjengelig plass. Dersom kulturlagene er svært skjøre, eksempelvis om det dreier seg om skjelettmateriale, kan leire påføres forsiktig i 5–15 cm tykkelse og håndkomprimeres skånsomt. Profiler tildekkes gjerne med 30–90 cm tykk leire. Leiren bør være minst 10–20 cm tykk, gjerne mer, når den legges i bunnen av grøften. I grøfter pakkes leire som regel med maskin (Figur 6 og 6). Ved beregning av grøftedybde må det tas høyde for plombering av kulturlag.
  - Bentonittduk må fuktet og det må være nok vann i massene til at duken fortsetter å være fuktig. Dersom geomembraner tørker inn gjør den ingen nytte.
  - Plomberingslag legges rett på kulturlagene, veiduk kan legges over leiren for å markere overgang mellom oppgravd masse og *in situ* kulturlag.
  - Ved borehull skal disse i best mulig grad gjenfylles med stedlig masse og tettes med leirpropp i topp.
- Hvem har ansvar for å utføre tiltaket: Tiltaket utføres av tiltakshaver/entreprenør i henhold til vilkår i dispensasjonsvedtaket, og tiltakshaver er ansvarlig for å framskaffe veiduk, ikke-marin leire eller geomembran/bentonittduk. Feltarbeider vil kunne bistå med arbeidet og/eller instruksjoner om hvordan plomberingen skal foregå, og dokumenterer prosessen.
- Når i prosessen skal tiltaket settes inn: Dette avbøtende tiltaket utføres parallelt med inngrepet. Kulturlagene skal tildekkes raskest mulig med veiduk etter at de er avdekket, og holdes tildekket med veiduk underveis i undersøkelsen. Ved avslutning av feltarbeid, før grøftene gjenfylles, skal kulturlagene plomberes med leire eller geomembran.
- Hvorfor kan tiltaket ha en effekt: Dersom kulturlag skal kunne bevares *in situ* over tid, må miljøforholdene i og rundt kulturlagene holdes stabile. Stabilitet sikres ved at miljøforholdene bevares uendret. Ofte handler dette om å hindre at luft siger ned i lagene. For å hindre dette må kulturlagene i minst mulig grad eksponeres for luft, og heller ikke tørke ut. Plombering av kulturlagene sikrer at lagene holder på sin naturlige fuktighet, at det ikke tilføres oksygenrikt og saltholdig overflatevann, og at kulturlagene generelt eksponeres minst mulig for luft.
- Hvilke typer kulturlag vil dette virke avbøtende på? Valg av fyllmasse og tildekking av *in situ* lagene må evalueres for alle typer lag.
- Ved hvilke typer inngrep kan dette tiltaket være nødvendig? Ved alle inngrep hvor det avdekkes kulturlag, må disse plomberes før igjennfylling.
- Videre prosess: Plombering av kulturlag er et **forebyggende** avbøtende tiltak som kan stabilisere og forbedre temperatur og fuktinnhold i kulturlag. Overvåking gjennomføres ikke alltid etter plomberingen, men det kan være nødvendig i visse situasjoner.
- Eventuelle variasjoner og utfordringer:
  - Det er viktig at det er ikke-marin leire som benyttes, da salter i marin leire vil bidra til å akselerere nedbrytning i de arkeologiske kulturlagene.

- Dersom det er vanskelig å finne sikre forekomster av ikke-marin leire er dette noe hver enkelt kommune som regel vil ha oversikt over. Eventuelt kan det være en idé å kontakte lokale keramikere for å høre hvor de får sin ikke-marine leire fra. Dersom det kun trengs små kvanta for å for eksempel dekke en liten profil eller forsegle et borehull, er det mulig å kjøpe leire i hobbybutikker.
- Det er flere leverandører av geomembraner på markedet, som regel kan entreprenør skaffe dette via deres underleverandør.



Figur 5: Eksempler på bruk av geomembran (øvre) og ikke-marin leire (nedre) til profilsikring. VVM/NIKU 2014



**Figur 6: Maskinell tildekking av profil med leire. V: Profil tildekkes med leire. M: Leire pakkes med maskin. H: Leire dekkes med duk og grøften gjenfylles med ønsket masse.**



**Figur 7: Foto av profil som sikres dels for hånd (til venstre) for å sikre installert MOV utstyr, dels med gravemaskin (til høyre). Saurbekken, Harstad. Foto: Michel Vorenhout, 2014.**





Figur 8: Tildekking med leire i plan og profil. Foto: NIKU prosjekt 1021779, Stavanger domkirke.



Figur 9: Eksempel på profil som holder på å bli dekket med ikke-marin leire for hånd. Stavanger domkirke, FuturePast. Foto: VVM/NIKU 2023.

### 5.1.3 Masseutskifting og valg av fyllmasser

- Hva innebærer tiltaket: Der hvor kulturlag har vært avdekket, settes det ofte krav om hvilke masser som skal benyttes for å gjenfylle grøften eller hullet. Som regel vil dette være tette, ikke drenerende masser. Ofte er ordlyden i vedtaket at det skal gjenfylles med stedlige masser.
- Hvordan utføres tiltaket:
  - Igjenfylling med stedlige masser innebærer som regel at oppgravde kulturlagsmasser tilbakefylles i grøften (Figur 10), etter at avdekkede kulturlagsprofiler er behørig sikret og plombert. Hvis oppgravde stedlig masser er tilstrekkelig fuktige og kompakte, kan de eventuelt benyttes til å sikre de inntil liggende kulturlag.
  - Dersom stedlige masser ikke er egnet, for eksempel dersom de er for porøse eller forurenset, kan det være aktuelt å gjenfylle med tette masser, som 0,1 mm silisium (ikke-kalkholdig) sand / steinmel. Dette er masser som bør være vannmettet, og pakker seg tett, og over tid vil være nesten like tette som leire.
  - Massens egenvekt kan være et problem dersom kulturlagene er spesielt skjøre, for eksempel om det ligger skjøre strukturer eller gravmateriale under tykke masser. Vernemyndighet kan pålegge tiltakshaver å gjenfylle med lettere masse, og bruk av stive geomembraner kan også vurderes for å redusere trykket på laget.
- Hvem har ansvar for å utføre tiltaket: Tiltaket utføres av tiltakshaver/entreprenør i henhold til vilkår i dispensasjonsvedtaket, og tiltakshaver har ansvar for å framskaffe egnet masse til igjenfylling. Det er gjerne NIKU som anbefaler hvilken type masse som skal anbefales for igjenfylling. Vurdering av hvorvidt stedlige masser er egnet for tilbakeføring gjøres av arkeolog i felt, og arkeologen gir beskjed om når og hvordan en grøft eller et hull kan gjenfylles.
- Når i prosessen skal tiltaket settes inn: Igjenfylling gjøres ved avslutning av et tiltak i felt.
- Hvorfor kan tiltaket ha en effekt: Utskifting av masser som avbøtende tiltak kan være et eget tiltak, og det kan inngå som del av mer komplekse tiltak. Tiltaket kan bidra til å bedre miljøforholdene i kulturlagene ved at drenerende masser graves vekk og det gjenfylles med tette masser, eller at svært tunge masser byttes ut med lettere masser for å avlette marktrykket over spesielt skjøre kulturminner.
- Hvilke typer kulturlag vil dette virke avbøtende på? Dette er relevant for alle typer kulturlag.
- Ved hvilke typer inngrep kan dette tiltaket være nødvendig? Ved alle typer inngrep hvor det avdekkes kulturlag må det gjøres en vurdering av hvilke fyllmasser som passer for igjenfylling.
- Videre prosess: Gjenlegging av grøft er ofte avslutning på et prosjekt. Dersom masseutskifting inngår som forebyggende avbøtende tiltak i mer komplekse situasjoner kan videre oppfølging eller overvåkning være aktuelt.
- Eventuelle variasjoner og utfordringer:
  - Dersom kulturlagsoverflater plomberes tilstrekkelig (i plan og profil), har det lite betydning hvilke masser som benyttes til å gjenfylle oppgravde grøfter. Ofte har igjenfylling med stedlig masse / tett masse vært en forenklet løsning ved mindre tiltak. Korrekt plombering bør prioriteres også ved mindre tiltak, da det gir mer sikker stabilisering av kulturlagene.
  - Det har vært gjort eksperimentelle forsøk med å bytte ut tung stedlig masse med moderne lette masser. Resultatene av disse tiltakene foreligger ikke enda, og det er foreløpig lite forskning på feltet. Vektbærende geomembraner ble brukt på Rose Theatre (Storbritannia) med suksess, men det finnes få andre langtidstudier (se kapittel 4.4). Bruk av gjenbruksmaterialer med lav egenvekt kan potensielt ha fordeler, både for kulturminnene og fra et bærekraftsperspektiv. Eksempelvis har det ved Stavanger domkirke vært benyttet Glasopor som fyllmasse under kirkegulvet (Figur 11).



Figur 10: Eksempel på utskifting av masser i Stavanger domkirke, hvor stedlige, tyngre masser ble anvendt til igjenfylling av deler av kirkens krypkjeller. Foto: NIKU prosjekt 1021779, Stavanger domkirke.



Figur 11: Eksempel på utskifting av masser i Stavanger domkirke, hvor lettere masser (glasopor) ble anvendt til igjenfylling av deler av kirkens krypkjeller. Foto: NIKU prosjekt 1021779, Stavanger domkirke.

#### 5.1.4 Bufferlag: Ivareta etterreformatoriske kulturlag

- Hva innebærer tiltaket: Å ivareta yngre kulturlag som ligger som en buffer over de automatisk fredede kulturlagene kan bidra til å sikre best mulig bevaring av middelalderske kulturlag.
- Hvordan utføres tiltaket: Bufferlagene sikres gjennom en aktiv og helhetlig forvaltning, hvor også kulturlag uten automatisk vern inkluderes. Kartlegging av utbredelse og tykkelse også på etterreformatoriske kulturlag vil kunne bidra til en slik helhetlig forvaltningsstrategi.
- Hvem har ansvar for å utføre tiltaket: Dersom det settes vilkår i dispensasjonsvedtaket om sikring av etterreformatoriske og yngre kulturlag som et avbøtende tiltak for best mulig in situ-bevaring av underliggende automatisk fredede kulturlag, er tiltakshaver ansvarlig for å overholde gravedybder, og feltarkeolog påser at dette blir gjort.
- Når i prosessen utføres tiltaket: Tiltaket må settes inn tidlig i forvaltningsprosessen, ettersom dette er en type tiltak som har preventiv virkning. Etterreformatoriske kulturlags funksjon som bufferlag bør vurderes inn når der gis dispensasjon for gravedybder i middelalderbyen.
- Hvorfor kan tiltaket ha en effekt: Der det er yngre kulturlag over de middelalderske kulturlagene bidrar disse til å beskytte de automatisk fredede lagene, blant annet ved at luft og salter filtreres ut før overflatevannet siver ned i de middelalderske kulturlagene. De høyere liggende kulturlagene, fra nyere tid og etterreformatorisk periode, er som regel mest utsatt for nedbrytning. Disse ligger ofte rett under porøse og drenerende masser, og opptrer som en buffer (Figur 12; Figur 13). Dersom de yngre kulturlagene fjernes blir middelalderske kulturlag sterkere truet av nedbrytning.
- Hvilke typer kulturlag vil dette virke avbøtende på? I tillegg til å bevare de yngre kulturlagene, vil dette tiltaket kunne gi stabile miljøforhold i de underliggende kulturlagene. Det er de øverste kulturlagene som vil dra mest nytte av bevaring av bufferlag. Dette er ofte kulturlag i umettet sone. Erfaring tilsier at det er de øverste kulturlagene som er mest utsatt for nedbrytning, både fordi de utsettes mest for påvirkning fra moderne inngrep, og fordi de ofte ligger over grunnvannsnivå og dermed er mer utsatt for luftinntrenging. Jo tørrere og mer porøse lagene er, jo mer utsatt er de for nedbrytning.
- Ved hvilke typer inngrep kan dette tiltaket være nødvendig? Bevaring av bufferlag bør vurderes som en nødvendig del av forvaltningen av automatisk fredede kulturlag. Det er i utgangspunktet et billig og enkelt tiltak, av forebyggende art. Dette er noe som bør vurderes ved disposisjonsbehandling av alle gravetiltak i områder med kjente middelalderske kulturlag. Ved å begrense gravedybder der det er mulig, og plombere eventuelle avdekkede etterreformatoriske kulturlag, kan underliggende kulturlag beskyttes. Eksempler på inngrep kan dreie seg om ulike typer grøftegravinger og andre mindre tiltak i middelalderbyene.
- Videre prosess: Ivaretagelse av bufferlag i felt kan innebære å plombere lagene, slik vi plomberer automatisk fredede kulturlag. Tykkelse, sammensetning og bevaringstilstand bør dokumenteres også ved bortgraving av etterreformatoriske kulturlag.
- Eventuelle variasjoner og utfordringer: Det er behov for kartlegging av utbredelse, tykkelse og kvaliteter i de yngre kulturlagene. I tillegg er det behov for en bevisstgjøring om hvordan miljøforholdene i middelalderlagene kan påvirkes av forholdene i høyere liggende lag.
  - Det er behov for en mer bevisst feltpraksis i når etterreformatoriske kulturlag avdekkes; blant annet bør plombering av avdekkede etterreformatoriske kulturlag innføres som feltstandard, slik det er når fredede kulturlag avdekkes.



Figur 12: Tykke etterreformatoriske kulturlag med i form av stein og sand som konstruksjonselementene i gateløpet til Strandgaden (Bispegata), liggende over Bispeallmenningen konstruert i tre. Foto: NIKU prosjekt 1020900, Follobanen Bispegata.



Figur 13: Den etterreformatoriske Strandgaden (Bispegata) dekker et stort område, og ligger over det nivået av gateløpet som kan dateres til middelalder, Bispeallmenningen. Foto: NIKU prosjekt 1020900, Follobanen Bispegata.

### 5.1.5 Vanninfiltrasjon

- Hva innebærer tiltaket: Det etableres infrastruktur som skal infiltrere vann ned i kulturlagene og transportere vann bort til områder hvor det trengs, eller bort fra området dersom det er overskudd av vann; slik infrastruktur kalles for Infiltrasjons-/Transport-systemer (heretter betegnet I/T-systemer).
- Hvordan utføres tiltaket: Det etableres infrastruktur som magasinerer, transporterer og infiltrerer vann i passe tempo ned i kulturlagene. Dersom mulig sikres det en permanent vanntilførsel til denne infrastrukturen.
- Hvem har ansvar for å utføre tiltaket: Tiltaket utføres av tiltakshaver/entreprenør i henhold til vilkår i dispensasjonsvedtaket. Feltarkeolog overvåker for å påse at gravearbeidet ikke medfører konflikt med automatisk fredede kulturlag, og dokumenterer fortløpende.
- Når i prosessen utføres tiltaket: Etablering av vanninfiltrasjonssystemer bør settes som dispensasjonskrav, slik at det legges til rette for dette tidlig i planleggingsprosessen. Infiltrasjonssystemer etableres som et ledd i forbindelse med ferdigstillelse av tiltak. Som regel vil dette etableres tidlig i en byggeprosess, slik at infiltrasjonsrør legges sammen med annen infrastruktur i grunnen og under nybygg. Riksantikvaren/fylkeskommunen kan komme med krav om etterskuddsvis etablering av infiltrasjonssystemer som avbøtende tiltak.
- Hvorfor kan tiltaket ha en effekt: Vann kan infiltreres ned i kulturlagene og dermed øke metningsgraden i lagene, noe som medfører at det blir mindre tilgjengelig oksygen, og hindrer temperaturstigninger. Dette fører til lavere nedbrytningstempo. Infiltrasjonsvann kan komme fra overvann, takvann eller ved at det er tilkoblet vannoppsamlingstanker som kan aktiveres i tørre perioder.
- Hvilke typer kulturlag vil dette virke avbøtende på? Vanninfiltrasjon vil kunne virke stabiliserende, og i noen tilfeller forbedrende, på miljøforholdene i de fleste typer kulturlag. Særlig viktig er det for kulturlag i umettet sone, og kulturlag med høyt organisk innhold. Porøse kulturlag vil ha særlig nytte av økt vanntilførsel, da disse lagene er mer utsatt for luftinntrenging enn tettere kulturlag.
- Ved hvilke typer inngrep kan dette tiltaket være nødvendig? Mange urbane områder har svært få permeable overflater, noe som øker risikoen for lavere grunnvannsnivåer, som igjen har konsekvenser for in situ-bevaringen. Vanninfiltrasjonstiltak er særlig viktig i tilfeller hvor det etableres tiltak som begrenser det naturlige vanntilsiget. Eksempelvis der hvor det skal oppføres bygg oppå kulturlag, hvor det skal legges tett dekke over kulturlag, eller hvor det er drenerende tiltak i grunnen som fører vannet vekk fra kulturlagene, som dreneringsgrøfter, grunnvannspumper og dype kjellere på nærliggende tomter. Spunting som endrer vanngjennomstrømningen i jordlagene kan også være en type tiltak som gjør vanninfiltrasjon ønskelig.
- Videre prosess: Det kan være aktuelt å etablere miljøovervåkningsprogrammer for å følge hvordan vanninfiltrasjon påvirker miljøforholdene i kulturlagene. Slike programmer vil vanligvis baseres på miljøbrønner hvor det installeres sensorer for å måle grunnvannsstanden og grunnvannets kjemiske sammensetning.
- Eventuelle variasjoner og utfordringer: Vanninfiltrasjon har vært brukt som et aktivt virkemiddel ved flere prosjekter i Bergen. Erfaringene viser at det må jobbes helhetlig med vannhåndtering. I/T-systemer må skreddersys til hvert prosjekt. Det må kartlegges hvilke faktorer som påvirker grunnvannstanden negativt, som peling, kjellere i nærliggende tomter, langsgående dreneringsgrøfter og grunnvannspumper i nærområdet.
  - Det kan være utfordrende å sørge for at det alltid er nok tilgjengelig vann, og at vannet filtreres ned i grunnen i et passe tempo. Vannmagasinerer i nedgravde tanker som mates av vann fra f.eks. taknedløp kan være en løsning (Figur 16).
  - Overflatevann er oksygenrikt og ofte saltholdig, noe som kan aktivisere nedbrytningsprosesser i kulturlagene. Forskning har vist at oksygen fra regnvann ofte filtreres bort, men at saltholdig sjøvann kan være mer problematisk. Hvor dypt

kulturlagene ligger, hvor kompakte de er og hvor porøse overforliggende masser er, vil påvirke hvordan vannet filtreres før det når kulturlagene.

- Det kan også være aktuelt å bygge vegger av bentonittleire eller betong for å holde vannet på plass i et område, for eksempel under et bygg (et eksempel er Finnegården 1A, Det Hanseatiske Museum, Bergen).
- Det finnes flere typer I/T-system som har som formål å samle opp regn-/overflatevann og fordrøye infiltrasjon; eksempler fra Bergen er infiltrasjons-/transportgrøfter, «swales» og regnbed.

infiltrasjons-/transportgrøfter er vanligvis grunne grøfter hvor bunnen ligger like over kulturlag; i grøftene anlegges perforerte rør som slipper ut vannet, og grøftene fylles igjen med lette, porøse materialer som leca-kuler (Figur 14); i noen tilfeller blir et offersjikt lagt ned på grøftebunnen (jf. 5.3.1); slike grøfter kombineres gjerne med bentonittdemninger som danner terskler i et «laksetrapp»-system for å tilpasse grunnvannsstanden til fall i terrenget og eventuelt også til fundamentene til nabobygg (Figur 15); grøftene er ofte matet med vann fra takene til omkringliggende bygninger, og for I/T-systemet for verdensarvsted Bryggen er det anlagt to grunnvannspumper som forsyner systemet med vann fra hotelltomten, samt anlagt to nedgravde tanker (Figur 16) som kan lagre en viss mengde vann som en reservekilde;

«swales» er betegnelsen på grunne forsenkninger i terrengoverflaten (Figur 17), som oftest gresskledde, men andre typer overflate forekommer; noen mates bare av regnvann, mens andre blir også forsynt av vann ledet fra andre områder;

regnbed er åpne områder med permeable masser, gjerne med beplantning (Figur 17); noen mates bare av regnvann, mens andre blir også forsynt av vann ledet fra andre områder; størrelsen kan variere fra 1 kvadratmeter til flere hundre kvadratmeter; regnbed finnes som oftest på bakkenivå, men kan også etableres på bl.a. tak til bygninger.



Figur 14: Etablering av I/T-system, Bryggen i Bergen. Foto: NIKU prosjekt 156132936, Arkeologisk overvåking, infiltrasjonstiltak, Bryggen.



**Figur 15: Bygging av bentonittdemning, Bryggen i Bergen. Foto: NIKU prosjekt 156132936, Arkeologisk overvåking, infiltrasjonstiltak, Bryggen.**



**Figur 16: Nedgravde vannmagasineringsstanker ved Schøtstuene, Bryggen i Bergen. Foto: NIKU prosjekt 156132936, Arkeologisk overvåking, infiltrasjonstiltak, Bryggen.**



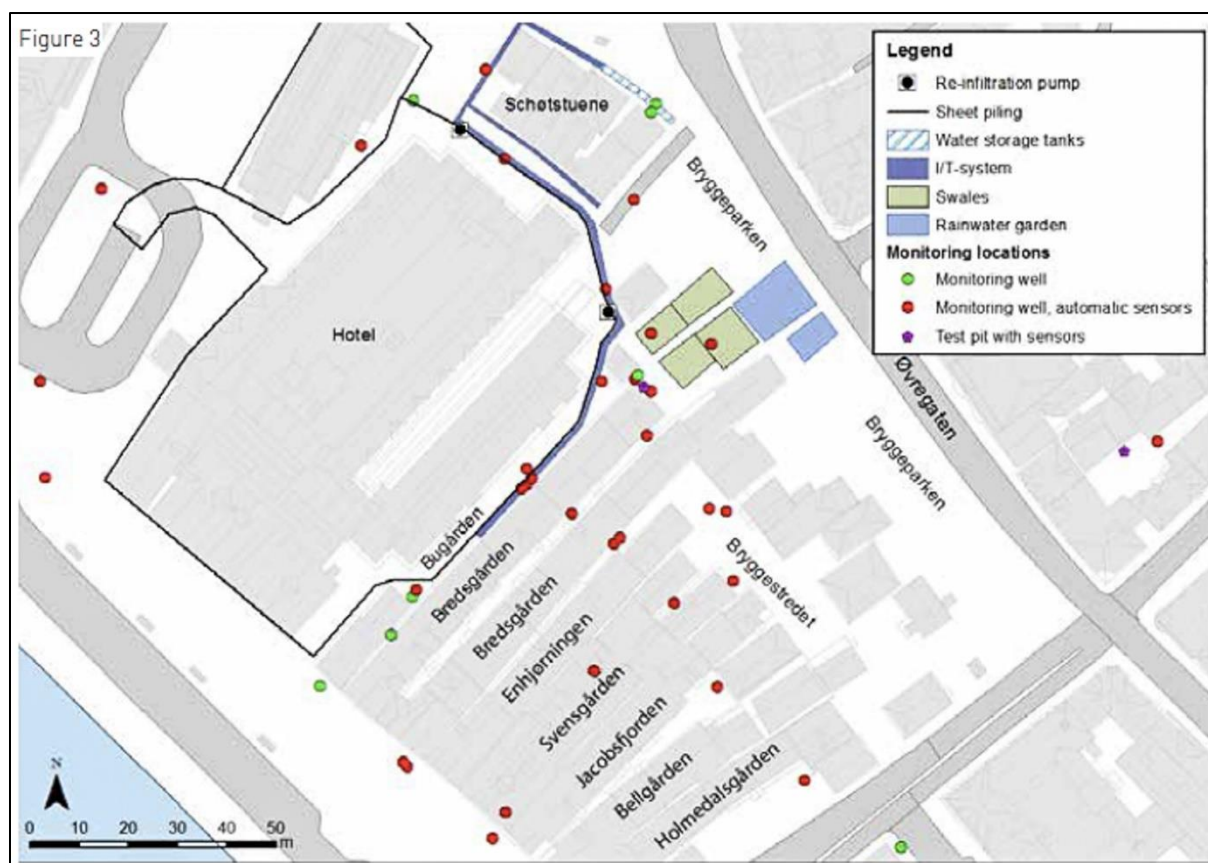


**Figur 17: Installasjoner for vannoppsamling og infiltrasjon. Swales i forgrunnen, regnbed i bakgrunnen, Bryggen i Bergen. Foto: NIKU prosjekt 156132936, Arkeologisk overvåking, infiltrasjonstiltak, Bryggen.**

## 5.2 Del B: Relativt prøvde avbøtende tiltak

### 5.2.1 Kontroll med grunnvannsstand

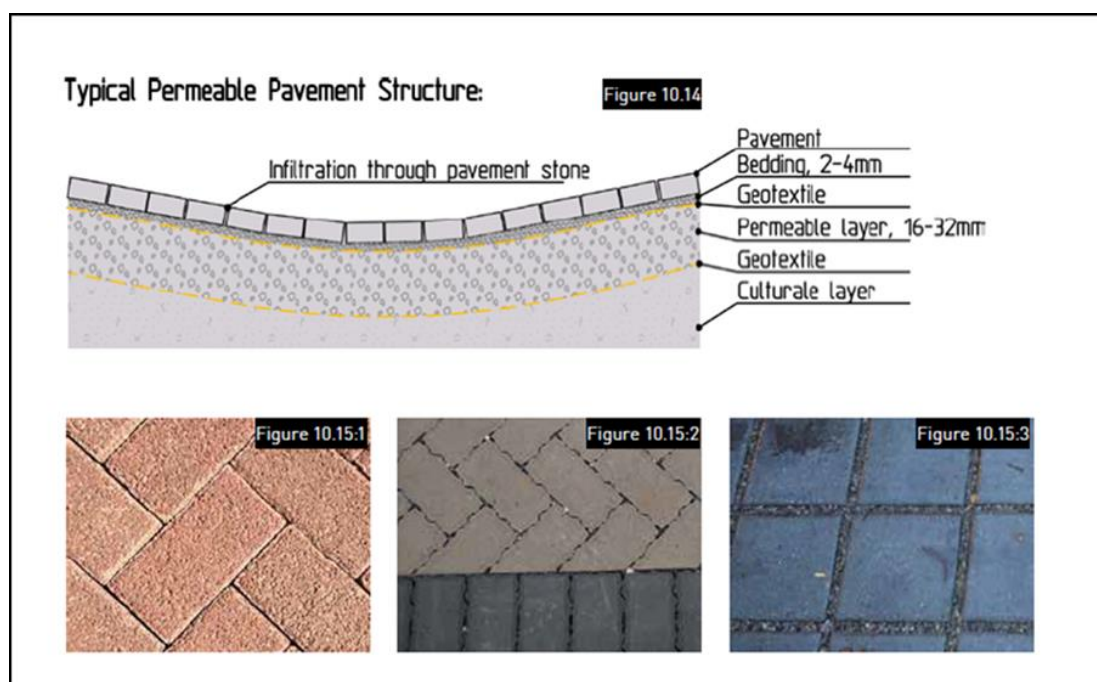
- Hva innebærer tiltaket: Å bevare og kontrollere grunnvannsstanden er grunnleggende for å kunne bevare kulturlag *in situ*. Kontroll med grunnvannsstand kan inkludere flere ulike avbøtende tiltak som virker sammen, noe som er blitt brukt på Bryggen og i Vågsbunnen, Bergen (Figur 18).
- Hvordan utføres tiltaket: Det legges opp til helhetlig forvaltning og oppfølging av alle tiltak som kan påvirke grunnvannsnivå. Det bør velges enkle, bærekraftige løsninger som krever lite vedlikehold og som kan fungere over lang tid.
- Når i prosessen utføres tiltaket: Det bør legges til rette for grunnvannskontroll tidlig i planleggingsprosessen. Som regel vil tiltak igangsettes tidlig i en byggeprosess. Kulturminnemyndighetene kan komme med krav om etterskuddsvis etablering av tiltak for å forbedre grunnvannstanden.
- Hvem har ansvar for å utføre tiltaket: Tiltaket utføres av tiltakshaver/entreprenør i henhold til vilkår i dispensasjonsvedtaket. Feltarkeolog overvåker for å påse at gravearbeid ikke medfører konflikt med automatisk fredede kulturlevninger, og foretar eventuell dokumentasjon.
- Hvorfor kan tiltaket ha en effekt: Ved å etablere et høyt grunnvannsnivå, helst med stillestående, oksygenfritt vann, hindres nedbrytning i kulturlagene. Reduserte grunnvannstemperaturer senker nedbrytningstempoet. Stabilt poretrykk / grunnvannstrykk bidrar til å hindre setninger i kulturlagene. Ved å senke tempoet i vanngjennomstrømningen får vannet bedre tid til at oksygen og salter filtreres bort før de når kulturlagene.
- Hvilke typer kulturlag vil dette virke avbøtende på? Tiltaket vil være særlig viktig for å sikre stabile miljøforhold for kulturlag som ligger i mettet sone. Kulturlag som ligger i fluktuasjonszone vil kunne bli stående tørre dersom grunnvannet synker, så det er særlig viktig for disse. Kulturlag med organisk innhold bevares best hvis vannmetningsgraden er høy. Stabilt høyt grunnvann og jevnt poretrykk er viktig for å sikre best mulig miljøforhold. Særlig vil porøse lag være sårbare for endrede grunnvannsnivåer.
- Ved hvilke typer inngrep kan dette tiltaket være nødvendig? Grunnvannskontroll er særlig viktig i tilfeller hvor det etableres tiltak som begrenser eller endrer grunnvannsstrømmene. Eksempelvis der hvor det skal oppføres bygg oppå kulturlag, hvor det skal legges tett dekke over kulturlag, eller hvor det er drenerende tiltak i grunnen som fører vannet vekk fra kulturlagene, som boring i grunnfjell, dreneringsgrøfter, grunnvannspumper og dype kjellere på nærliggende tomter. Spunting som endrer vanngjennomstrømningen i jordlagene kan også være en type tiltak som påvirker grunnvannsforholdene.
- Videre prosess: Det vil kunne være aktuelt å overvåke grunnvannet i et miljøovervåkningsprogram.
- Eventuelle variasjoner og utfordringer:
  - Kontroll med grunnvannsstand krever komplekse, sammensatte løsninger. Etablering av infiltrasjons- og transportsystemer for vann inngår ofte i dette, ettersom det må sikres permanent vanntilførsel til kulturlagene.
  - Å hindre at grunnvannet forsvinner vekk er også svært grunnleggende. Da må det kartlegges hva som kan bidra til å senke grunnvannet, som lokale dreneringsgrøfter, overvannshåndtering, spunt og kjellere i nærområdet, og grunnvannspumper.
  - Kontroll med grunnvannet krever ofte en måte å overvåke grunnvannet. Dette gjøres oftest i forbindelse med arkeologiske miljøovervåkningsprosjekter, hvor det samles inn data om grunnvannsnivå, temperatur og kjemi over tid.



Figur 18: Oversiktskart fra Bryggen i Bergen, med bl.a. miljøbrønner, infiltrasjons-/transportgrøfter, grunnvannspumper, swales og regnbed som er en del av miljøovervåkings- og vannhåndteringssystemet for verdensarvstedet. Kart: Rytter & Schonhowd 2015:80.

### 5.2.2 Permeable overflater og utskifting av tette overflater

- Hva innebærer tiltaket: Tiltaket innebærer å etablere gjennomtrengbare overflater – permeable overflater – slik at vann kan filtreres ned i grunnen og ned til kulturlagene (Figur 19). Dette kan også inkludere å skifte ut underliggende tette masser til mer filtrerende masser. Dette er særlig aktuelt ved etablering av store flater, som veier, torv og bakgårdsområder.
- Hvordan utføres tiltaket: Toppdekket og bæredekket skiftes ut med mer permeable masser. Fokuset er på å sikre at overflatevann filtreres ned i grunnen i et passe tempo. Eksempelvis kan det være å skifte asfalt med brostein, og legge brostein med et visst mellomrom mellom hver stein. Finkornet grusmasse kan byttes med grovere grusmasse. Det kan være aktuelt å legge ned perforerte rør forbundet med f.eks. taknedløp for å øke mengden vann til infiltrasjon, noe som er blitt brukt bak Bryggen (Figur 20).
- Når i prosessen utføres tiltaket: Det kan settes krav om permeabelt dekke i kulturminnemyndighetenes behandling av dispensasjonsvedtak. Tiltaket kan være fungere som et forebyggende avbøtende tiltak. Ofte er dette benyttet i kombinasjon med andre tiltak. Myndighetene kan komme med krav om etterskuddsvis etablering av tiltak for å forbedre vanntilførsel til kulturlagene. Bærelag og overflatedekke etableres som regel som siste ledd i et tiltak, etter at kulturlag og moderne infrastruktur er tildekket.
- Hvem har ansvar for å utføre tiltaket: Tiltaket utføres av tiltakshaver/entreprenør i henhold til vilkår i dispensasjonsvedtaket. Feltarkeolog foretar eventuell dokumentasjon.
- Hvorfor kan tiltaket ha en effekt: Ved å sørge for at overflatevann renner ned igjennom et permeabelt dekke og gjennom filtrerende masser, kan kulturlagene holdes fuktige og mest mulig stabile.
- Hvilke typer kulturlag vil dette virke avbøtende på? Vanninfiltrasjon vil kunne virke stabiliserende, og i noen tilfeller forbedrende, på miljøforholdene i de fleste typer kulturlag. Særlig viktig er det for kulturlag i umettet sone, og kulturlag med høyt organisk innhold. Porøse kulturlag vil ha særlig nytte av økt vanntilførsel, da disse lagene er mer utsatt for luftinntrenging enn tettere kulturlag. Det er de øverste kulturlagene som vil dra mest nytte av bevaring av vanninnslag fra permeable overflater. Dette er ofte kulturlag i umettet sone. Erfaring tilsier at det er de øverste kulturlagene som er mest utsatt for nedbryting, fordi de ofte ligger over grunnvannsnivå og dermed er mer utsatt for luftinntrenging.
- Ved hvilke typer inngrep kan dette tiltaket være nødvendig? Eksempelvis der hvor det skal legges tett dekke over kulturlag. Tiltaket kan inngå i en større pakke av tiltak for å sikre vanninfiltrasjon der hvor tiltak som bygging på kulturlag kan bidra til å tørke ut kulturlagene.
- Videre prosess: Det vil kunne være aktuelt å overvåke effekten av tiltaket i et miljøovervåkningsprogram.
- Eventuelle variasjoner og utfordringer:
  - Infiltrasjon av overflatevann er ekstra viktig der hvor kulturlagene ligger i umettet sone. Disse kulturlagene er mer sårbare for inngrep, da de tørker lettere ut og er mer utsatt for økte temperaturer og tilsig av oksygen.
  - Tiltaket henger tett sammen med andre avbøtende tiltak som kan igangsettes for å sikre vanninfiltrasjon.



Figur 19: Eksempler av permeabelt dekke egnet for vanninfiltrasjon. Illustrasjon: Rytter & Schonhowd 2015:80.



Figur 20: Etablering av permeabel overflate med perforerte rør under brostein.  
 Foto: NIKU prosjekt 156132936, Arkeologisk overvåking, infiltrasjonstiltak, Bryggen.

### 5.2.3 Isolasjon under bygg

- Hva innebærer tiltaket: Det etableres ekstra isolasjonslag mellom nybygg og grunnen over kulturlagene.
- Hvordan utføres tiltaket: Det legges isolasjon mellom bygg og grunn for å hindre varmetransport mellom bygning og jordlag. For å beskytte kulturlag kan det være aktuelt å legge dobbel tykkelse isolasjon, i forhold til hva som er byggefaglig standard bygningsisolasjon. Også i grøfter med varmførende rør, som fjernvarme, kan det være aktuelt å isolere grunnen mot varmetap fra rørsystemet. Det bør velges mest mulig miljøvennlig isolasjonsmateriale.
- Når i prosessen utføres tiltaket: Isolasjonslag legges under annen fundamentering av nybygg.
- Hvem har ansvar for å utføre tiltaket: Riksantikvaren eller fylkeskommunen kan stille vilkår om ekstra isolasjon som avbøtende tiltak i dispensasjonsvedtaket. Tiltaket utføres av tiltakshaver/entreprenør i henhold til dette.
- Hvorfor kan tiltaket ha en effekt: Varmetransport fra nybygg har vist seg å kunne bidra til økte temperaturer i kulturlag og grunnvann. Ved å holde temperaturene stabilt lave holdes også nedbrytningstempoet nede. Økte temperaturer akselererer nedbrytningsprosessene.
- Hvilke typer kulturlag vil dette virke avbøtende på? Alle kulturlag under tiltaket vil ha nytte av dette, da økte temperaturer i kulturlagene akselererer nedbrytningstempoet. Kulturlag som ikke er i kontakt med grunnvann er særlig utsatt for temperaturøkninger og akselererende nedbrytningsprosesser.
- Ved hvilke typer inngrep kan dette tiltaket være nødvendig? Tiltaket settes særlig inn ved bygging av oppvarmede bygg på kulturlag, og ved etablering av varmførende rør, som fjernvarme.
- Videre prosess: Ved bygging på kulturlag kan det være aktuelt å etablere miljøovervåkningsprogram for å overvåke miljøforholdene under nybygg.
- Eventuelle variasjoner og utfordringer: Tiltaket kan med fordel inngå i en større tiltakspakke for å sikre stabile miljøforhold. Ved valg av materiale bør den mest bærekraftige og klimavennlige varianten velges dersom kandidatene ellers er like.

## 5.3 Del C: Mindre prøvde avbøtende tiltak

### 5.3.1 Offersjikt

- Hva innebærer tiltaket: Bruk av offersjikt innebærer at et moderne organisk lag legges over et avdekket kulturlag, eller i bunnen av en infiltrasjonsgrøft, for at det moderne materialet skal nedbrytes før kulturlaget (Figur 21).
- Hvordan utføres tiltaket: Et offerlag bør bestå av lett nedbrytelig organisk materiale, som treflis. Dette legges rett over kulturlaget, før plombering av kulturlag. Det kan også legges over duk, for å fange opp oksygen som filtreres ned gjennom overliggende masser. Det er viktig at det pakkes godt til rundt offersjiktet, slik at det ikke blir ekstra luftlommer på grunn av f.eks. treflis i laget.
- Hvem har ansvar for å utføre tiltaket: Tiltaket utføres av tiltakshaver/entreprenør i henhold til vilkår i dispensasjonsvedtaket. Feltarkeolog foretar eventuell dokumentasjon.
- Når i prosessen utføres tiltaket: Offersjikt legges ut rett over kulturlag, før plombering og igjenfylling av grøft eller område.
- Hvorfor kan tiltaket ha en effekt: Dersom det er tilgjengelig oksygen kan dette bli brukt opp til å bryte ned den moderne organiske massen, i stedet for å bryte ned kulturlagene. Kulturlaget under blir beskyttet fordi nedbrytningsprosessen foregår i offerlaget i stedet for i kulturlaget.
- Hvilke typer kulturlag vil dette virke avbøtende på? Dette vil påvirke alle kulturlag under offersjiktet. Det vil være viktigst for lagene som ligger nærmest overflaten og som har vært eksponert for oksygen ved avdekking. Dersom de øvre lagene også ligger i umettet sone, har lav vannmetning eller en porøs struktur, slik at de er ekstra utsatt for tilførsel av oksygen. Offersjiktet vil da kunne bruke opp oksygen som ellers ville akselerert nedbrytning i disse sårbare lagene.
- Ved hvilke typer inngrep kan dette tiltaket være nødvendig? Dette kan være aktuelt som et forebyggende avbøtende tiltak i alle tilfeller hvor kulturlag har blitt avdekket og eksponert for oksygen. Særlig bør det vurderes der hvor kulturlagene er tynne, allerede har dårlig bevaring, er porøse, og har lav vannmetning.
- Videre prosess: Det kan være aktuelt å følge opp tiltaket, enten ved å gjenåpne grøften etter en viss tid, eller ved å overvåke hvordan miljøforholdene i kulturlaget utvikler seg.
- Eventuelle variasjoner og utfordringer: Bruk av offersjikt har i liten grad vært benyttet i særlig utstrekning, foreløpig har det bare vært lagt ut offersjikt i forbindelse med grunnvannsprosjektet på Bryggen i Bergen. Dette er en type avbøtende tiltak som kan ha stort potensiale; det er relativt billig og enkelt å utføre, og kan være virkningsfullt. Det er beste egnet til situasjoner hvor andre avbøtende tiltak er brukt for å stabilisere miljøforhold. Det foreligger foreløpig lite forskning på hvor effektivt offersjikt fungerer.
  - Valg av materialet i offersjiktet vil være svært viktig; det må ikke tilføres materiale som ved nedbrytning avgir stoffer som akselererer nedbrytningsprosessen.



**Figur 21: Utlekking av offersjikt av spon i infiltrasjons-/transportgrøft, Bryggen i Bergen.  
Foto: NIKU prosjekt 156132936, Arkeologisk overvåking, infiltrasjonstiltak, Bryggen.**

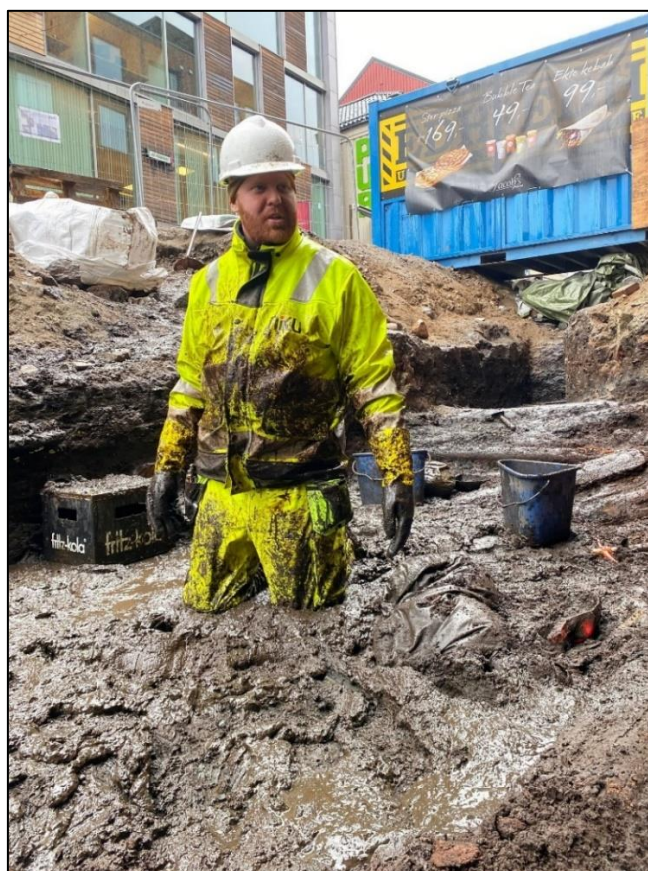


### 5.3.2 Marktrykk og vibrasjonsskader

- Hva innebærer tiltaket: Det omfatter tiltak for å hindre at høyt marktrykk gir komprimeringsskader i kulturlagene. Dette innebærer å sette krav til typer kjøretøy som brukes i anleggsarbeid, og fortløpende vurdere lagenes bæreevne utfra skiftende forhold.
- Hvordan utføres tiltaket: Dette kan være et viktig tiltak i flere situasjoner. Ved å sørge for mest mulig skånsom bruk av anleggsmaskiner (Figur 22). Trykk bør fordeles ut over størst mulig flate, særlig i tilfeller hvor det er jorddekke eller harde markdekker som asfalt og steinlegging er fjernet. Marktrykk handler både om vekt og kontaktflate, derfor kan maskiner med larveføtter, eller med doble dekk, iblant være bedre egnet enn maskiner med enkle hjul. Det er også viktig å ikke benytte en større maskin enn hva som er nødvendig for tiltaket. Det bør vurderes bruk av lastfordelende lag, og settes krav til type anleggsmaskiner. Skiftende værforhold, for eksempel mye nedbør, kan øke faren for komprimeringsskader. Tunge kjøretøy på mykt underlag innebærer en risiko, som må vurderes i hvert tilfelle.
- Når i prosessen utføres tiltaket: Tiltaket er aktuelt i hele anleggsperioden. Kjøretøy og forhold må vurderes fortløpende.
- Hvem har ansvar for å utføre tiltaket: Tiltaket utføres av tiltakshaver/entreprenør i henhold til vilkår i dispensasjonsvedtaket. Feltarkeolog kontrollerer at vilkår blir overholdt og foretar eventuell dokumentasjon.
- Hvorfor kan tiltaket ha en effekt: Høyt marktrykk kan medføre økt komprimering av underliggende lag. Hvor mye trykk et kulturlag tåler, varierer i forhold til lagenes sammensetning og bevaringstilstand. Dersom kulturlag utsettes for komprimeringsskader, medfører dette permanent sammentrykking og knusing av både gjenstander og kulturlag. Noen typer kulturlag tåler mindre trykk, dette gjelder særlig organiske lag og finkornede, siltholdige lag.
- Hvilke typer kulturlag vil dette virke avbøtende på? Komprimeringsskader kan være en trussel mot alle typer kulturlag. Særlig utsatt er porøse lag, finkornede lag, og strukturer i organisk materiale (f.eks. graver), som trebygninger. Fuktig, ubeskyttet overflate gjør at lagene har dårligere bæreegenskaper, og det kan oppstå kjøre- og tråkkeskader.
- Ved hvilke typer inngrep kan dette tiltaket være nødvendig? Tiltak hvor fast dekke og bærelag over kulturlagene fjernes, og det kjøres maskiner over følsomme kulturlag. Alle tiltak hvor tungt maskineri skal benyttes, bør vurderes opp mot hvordan kjøre- og rystelsesskader kan unngås. Værforhold lokalt underveis i anleggsarbeidet kan påvirke kulturlagenes bæreevne, og tiltak må vurderes løpende.
- Videre prosess: Dette er et tiltak som gjennomføres og avsluttes i felt.
- Eventuelle variasjoner og utfordringer:
  - Komprimeringsskader avhenger av type sediment og type trykk eller vibrasjon, fuktighetsinnhold, og tilstedeværelse av bufferlag over kulturlagene.
  - Vibrasjonsskader kan ha større påvirkning enn direkte trykk. Det bør vurderes bruk av lastfordelende lag, og settes krav til hvilken type anleggsmaskiner som tillates i bruk.
  - Ved fuktige forhold på en arkeologisk utgravning, kan også tråkkeskader utgjøre stor skade. Dette kan avhjelpes med tiltak som å legge ut klopper/gangbroer og begrense hvor mye arkeologene går på kulturlagene i vått vær.
  - Eventuelle miljøovervåkingsprogram igangsettes i god tid i forkant av anleggsarbeid, slik at det er mulig å kartlegge hvordan miljøforholdene eventuelt påvirkes av anleggsarbeidet.



Figur 22: Ved avdekking av kulturlag står gravemaskin på kanten av feltet, og arkeolog følger arbeidet.  
Foto: NIKU prosjekt 1020900, Follobanen Bispegata.



Figur 23: Rådhusgaten, Tønsberg. Arkeolog sitter på kne i kulturlag etter regnvær, som visse ustabilit forhold.

## 5.4 Del D: Uprøvde med potensial

### 5.4.1 Isolerte peler

- Hva innebærer tiltaket; Ved pelefundamentering benyttes det peler med pelehatt i et materiale som ikke leder varme fra bygget ned i grunnen.
- Hvordan utføres tiltaket; Over hver pel skal det settes en pelehatt, som fordeler vekten fra bygget. Pelehatten bør være i et materiale som i minst mulig grad leder varme fra bygget og videre ned i pelen, og undergrunnen. Dersom det ikke er mulig å finne pelehatt med tilstrekkelig isolasjonsevne bør det settes høyere krav til isolering under selve bygget.
- Når i prosessen utføres tiltaket; Riksantikvaren/fylkeskommune setter krav til fundamenteringsmetode i vedtak. Peling inngår i anleggsarbeidet tidlig i en byggeprosess.
- Hvem har ansvar for å utføre tiltaket; Tiltaket utføres av tiltakshaver/entreprenør i henhold til vilkår i dispensasjonsvedtaket. Feltarkeolog foretar eventuell dokumentasjon.
- Hvorfor kan tiltaket ha en effekt; Varmetransport fra nybygg har vist seg å kunne bidra til økte temperaturer i kulturlag og grunnvann. Slik varmetransport fra bygg kan gå via peler ned i grunnvann og kulturlag. Isolerte peler vil kunne hindre denne varmetransporten langs pelene og temperatur i grunnen holdes stabil, noe som holder nedbrytningstempoet nede.
- Hvilke typer kulturlag vil dette virke avbøtende på? Alle kulturlag som blir utsatt for peling vil være utsatt for økt risiko for tilføring av luft og varmetransport fra overflaten.
- Ved hvilke typer inngrep kan dette tiltaket være nødvendig? Dette tiltaket er særlig aktuelt når det skal fundamenteres på peler på kulturlag.
- Videre prosess; Ved peling gjennom kulturlag kan det være aktuelt å etablere miljøovervåkningsprogram for å overvåke miljøforholdene under nybygg.
- Eventuelle variasjoner og utfordringer; Tiltaket kan med fordel inngå i en større tiltakspakke for å sikre stabile miljøforhold. Det kan være praktiske utfordringer med å framskaffe pelehatter i dokumentert isolerende materialer.

#### 5.4.2 Frysing av grunnen

- Hva innebærer tiltaket: Frysing av grunnen kan være et midlertidig avbøtende tiltak som kan benyttes i kritiske situasjoner. Dette vil være et ekstremtiltak, og inngår ikke som en del av den vanlige pakken med avbøtende tiltak. Det er flere tilgjengelige metoder, da det regelmessig brukes i konstruksjon, spesielt tunnelbygging. Metodene er avhengige av kjemiske kjølevæsker med eller uten rør, derfor er graden av forstyrrelser og lengden på oppnådd stabilitet avhengig av metoden som brukes.
- Hvordan utføres tiltaket: I kritiske situasjoner hvor kulturlag kollapse kan frysing bidra til å holde forholdene stabile til andre tiltak kan settes inn for å sikre grunnen. Man kan også se for seg at man kan etablere en grunnvannsdemning ved å fryse grunnen, slik at grunnvannet holdes stabilt og beskytter organiske kulturlag inntil langsiktige tiltak kan etableres. Den vanligste metoden er ved å plassere fryserør i tett avstand i grunnen og sirkulere et kaldt medium.
- Når i prosessen utføres tiltaket: Dette er kunne akuttiltak, og gjennomføres i feltsituasjon i forkant av eventuelle inngrep.
- Hvem har ansvar for å utføre tiltaket: Tiltaket utføres av tiltakshaver/entreprenør i henhold til vilkår i dispensasjonsvedtaket. Dersom det må bores gjennom kulturlag for etablering av fryserør, vil det medføre at arkeologiske undersøkelser foretas.
- Hvorfor kan tiltaket ha en effekt? På sikt vil ikke dette være et bæredyktig tiltak, da det medfører slitasje og gjerne krever mye strøm, og ikke vil kunne vedlikeholdes over tid.
- Hvilke typer kulturlag vil dette virke avbøtende på? Fuktige, ustabile kulturlag kan vurderes for frysing.
- Ved hvilke typer inngrep kan dette tiltaket være nødvendig? I nødssituasjoner hvor kulturlag raskt må hindres fra å rase ut eller på annen måte ødelegges.
- Videre prosess: Langsiktige tiltak må etableres og grunnen må stabiliseres og avfryses.
- Eventuelle variasjoner og utfordringer:
  - Dersom tiltaket benyttes, bør det settes inn tiltak for å isolere kulturminnene mot frostskafer hvis mulig.

## 6 Fremtidens utfordringer

Den beste bevaringsstrategien for in situ kulturarv er å holde miljøet så stabilt som mulig. Avbøtende tiltak i denne rapporten viser at en rekke tilnærminger er tilgjengelige for å bidra til å sikre et stabilt miljø, og at vi får verdifull erfaring og kunnskap fra overvåking og anvendelse av disse avbøtende tiltak. Når det er sagt, er imidlertid hvert sted og kontekst unik, og kan bli påvirket av menneskelig aktivitet (og klimaendringer) i området rundt, samt endringer på selve stedet. Slik det er fastsatt i den nye standarden NS-EN17652:2022, er evalueringen før de planlagte endringene det viktigste trinnet, for å samle inn detaljert dokumentasjon av bevaringsforholdene og deres fysiske, biologiske og kjemiske kontekst, ved å bruke geologiske og hydrologiske data, borehull-/testgrøftprøver samlet inn og analysert og data fra tidligere utgravninger. Nye tekniske løsninger og metoder som viser lovende resultater i nasjonale og internasjonale prosjekter, bør tas i bruk når det er mulig. Klimaendringene, økningen i byer med ugjennomtrengelige overflater og økende byggeaktivitet skaper lappetepper av arkeologi med ulike bevarings- og miljøforhold.

Denne rapporten fokuserer på middelalderbyer, men flere av de avbøtende tiltakene som er omtalt her er også relevante for in situ bevaring utenfor middelalderbyene. Det må arbeides for å undersøke hvordan avbøtende tiltak kan brukes i forskjellig kontekster for å evaluere hvordan in situ bevaring kan anvendes bredere i Norge, i tråd med gjeldende forskrifter og retningslinjer. Klimaendringer i og utenfor middelalderbyer er en reell og ikke-kvantifisert trussel mot in situ bevaring av automatiske fredet kulturarv. Eksperimentelle prosjekter og forskning er nødvendig for å forstå hvordan avbøtende tiltak beskytter kulturminne på lang sikt (tiår og mer). Etter hvert som kunnskapen og dataene våre vokser, kan mer nøyaktige modeller og estimater lages, noe som bidrar til å sikre at riktig avbøtende tiltak blir brukt til rett tid.

## 7 Konklusjon

Opgaven i 2023 har bestått i å utarbeide veiledningsmaterieell som kan inngå i kunnskapsgrunnlaget for kulturmiljøforvaltningen, for å rådgi kommuner, fylkeskommuner og private aktører. Prosjektet har bestått i å sammenstille og formidle den tilgjengelige nasjonale og internasjonale kunnskapen om avbøtende tiltak, og tilgjengeliggjøre dette for relevante aktører i denne rapporten.

Årets oppgave har utformet operasjonaliserte råd (praksisbeskrivelser), med konkrete eksempler, i form av ulike avbøtende tiltak etter MOV-kartlegging. Resultatene skal kunne brukes av kulturminnemyndighetene, og være et hjelpemiddel i dialogen med tiltakshavere.

Avbøtende tiltak er et relativt nytt tema innen arkeologi, men vi har mange erfaringer og anbefalinger som gjelder for ulike situasjoner. Dette gjelder både nasjonalt og internasjonalt, for byarkeologi og for mer landlige områder. Samtidig, denne rapporten identifiserer viktige kunnskapshull og gjennomgår casestudier for å vise hvilke fremskritt som er gjort, og hvor det er behov for fremtidig fokus.

NIKU anbefaler at arbeidet med å etablere grenseverdier må fortsette, slik at det finnes klare grenser for når tiltak må iverksettes for å sikre bevaring av in situ kulturlag. Avbøtende tiltak er avgjørende for fremtidig bevaring, og det bør forskes på og utprøves nye metoder for å møte denne fremtidige etterspørselen. For å sikre at avbøtende tiltak er effektive, må nåværende og fremtidige prosjekter overvåkes in situ, og dataene som produseres brukes som grunnlag for fremtidige avbøtende tiltak. På denne måten kan kumulativ kunnskap brukes til å forbedre praksis og skape varige resultater.

## 8 Litteratur

- Bellanova, J., Calamita, G., Catapano, I., Ciucci, A., Cornacchia, C., Gennarelli, G., Giocoli, A., Fisangher, F., Ludeno, G., Morelli, G., Perrone, A., Piscitelli, S., Soldovieri, F. & Lapenna, V. 2020. GPR and ERT Investigations in Urban Areas: the Case-Study of Matera (Southern Italy). *Remote sensing (Basel, Switzerland)*, 12, 1879.
- Bergersen, O., Nytrøen, T.E. & Johansen, Ø. 2017. Environmental monitoring of the archaeological deposits at Øvregaten 19, Bergen Concluding report 2013-2017
- Bergstrand, T. 2010. The Danish 17th-Century Man-of-War Stora Sofia: Documentation and in situ Preservation. *The International journal of nautical archaeology*, 39, 56-65.
- Bertolin, C. 2019. Preservation of Cultural Heritage and Resources Threatened by Climate Change. *Geosciences (Basel)*, 9, 250.
- Björdal, C. G. & Rönnby, J. 2023. Evaluation of in situ preservation method applied at a terrestrial archaeological shipwreck site by use of sacrificial wood samples installed for 25 years. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 176.
- Byggforskserien 721.305, 2010. *Bygging på kulturlag i middelalderbyene*. SINTEF Byggforsk i samarbeid med Riksantikvaren, Oslo.
- Canti, M. & Williams, J. 2016. Preserving Archaeological Remains: Appendix 5- Materials for Use in the Reburial of Sites. In: ENGLAND, H. (ed.). Swindon: Historic England
- Caple, C. 2016a. Knowledge of the Burial Environment. In: CAPLE, C. (ed.) *Preservation of Archaeological Remains In Situ: A Reader*. Oxon, UK: Routledge.
- Caple, C. 2016b. *Preservation of Archaeological Remains In Situ: A Reader*, Oxon, UK, Routledge.
- Causevic, J. in press. Georadarundersøkelse i Middelalderparken. *NIKU rapport*. Oslo: Norsk Institutt for Kulturminneforskning.
- Corfield, M. 2012. The Rose Theatre: Twenty Years of Continuous Monitoring, Lessons, and Legacy. Conservation and Mgmt of Arch. Sites, Vol. 14 Nos 1-4, 2012, 384-396
- Davis, M. J., K. L. A. Gdaniec, M. Brice, L. White, C. A. I. French and R. Thorne. 2004. Mitigation of Construction Impact on Archaeological Remains. Museum of London Archaeology Service for English Heritage 2004 London.
- Dunlop, A. R. 2015. Sammenstilling av arkeologiske data om bevaringstilstand m.m. i bydelen Vågsbunnen, Bergen. NIKU Oppdragsrapport 99/2012.
- Granberg, M., Jernæs, N. K., Martens, V. V., Simon Nielsen, V. K. & Haugen, A. 2022. Effects of Climate-Related Adaptation and Mitigation Measures on Nordic Cultural Heritage. *Heritage*, 5, 2210-2240.
- Groenendijk, M. 2021. Piles in the picture: A study of the physical disturbance and archaeological information loss caused by piling through archaeological sites and features, based on photographs. PhD thesis, Vrije Universiteit Amsterdam, The Netherlands. <https://www.persistent-identifier.nl/urn:nbn:nl:ui:31-f753f7ef-1e08-4454-b57e-91c549500535>.
- Halvorsen, S. W., L. Hovd, V. V. Martens 2022. Kartlegging og analyse av miljøovervåkingsprosjekter i Tønsberg, Bergen, Oslo og Trondheim. In situ-bevaring og bygging på kulturlag i middelalderbyene. Nasjonale oppgaver post 5 2021. *NIKU Rapport* 114. ISBN 978-82-8101-259-2
- Historic England* (<http://historicengland.org.uk/>) Piling and Archaeology (2007, updated 2015 and 2019, <https://www.historicengland.org.uk/images-books/publications/piling-and-archaeology/>)

- Hollesen, J. & Matthiesen, H. 2012. Effects of infiltrating water into organic cultural layers. Report no 11031268. Conservation and Natural Science, National Museum of Denmark.
- Hovd, L., S. W. Halvorsen, R. Dunlop, R. J. S. Cannell & V. V. Martens. 2022. In-situ bevaring og bygging på kulturlag i middelalderbyene. Prøvetakingsstrategi, erfaringer med avbøtende tiltak, lokale variasjoner i bevaringstilstand og peling på kulturlag. *NIKU rapport 165*. ISBN
- Jones, J. & Clogg, P. 1999. Ground-Freezing on archaeological excavations: Lifting a Medieval Chalice from St Giles Hospital, Brough. *Ancient Monuments Laboratory Report 99/93*. Swindon/Durham: University of Durham/English Heritage
- Manders, M. 2008. In Situ Preservation: 'the preferred option'. *Museum International*, 60, 31-41.
- Martens, V. V. 2016. Preserving Rural Settlement Sites in Norway? Investigations of Archaeological Deposits in a Changing Climate. *Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies* 16. VU University, Amsterdam
- Martens, V. V. 2017. Mitigating Climate Change Effects on Cultural Heritage Sites? *Archaeological Review from Cambridge* Volume 32.2., November 2017, 123-140
- Martens, V. V. & Bergersen, O 2015. In situ site preservation in the unsaturated zone: Avaldsnes. *Quaternary International* 2015; Vol 368: 68-79.
- Martens, V. V. & Krangnes, L. 2022. Monitoring as a tool to evaluate preservation possibilities. Results from the CULTCOAST project. *Frontiers in Earth Science*, 10.
- Nicu, C. & Fatoric, S. 2023. Climate change impacts on immovable cultural heritage in polar regions: A systematic bibliometric review. *WIREs Climate Change*, 14.
- Petersén, A. H., Martens, V. V. 2011. Sammenstilling av miljøovervåkingsundersøkelser frem til 2010 i middelalderbyene Tønsberg, Trondheim og Oslo. *NIKU Oppdragsrapport 55/2011*.
- Petersén, A. H., & Bergersen, O. 2016. The In Situ Preservation in the Unsaturated zone: Results from Environmental Investigations at the Schultz Gate Case study area in the Medieval Town of Trondheim, Norway. *Conservation and Management of Archaeological Sites*, 18, 181-204.
- Ristic, A., Govedarica, M., Pajewski, L., Vrtunski, M. & Bugarinovic, Z. 2020. Using Ground Penetrating Radar to Reveal Hidden Archaeology: The Case Study of the Wurtemberg-Stambol Gate in Belgrade (Serbia). *Sensors (Basel)*, 20, 607.
- Rytter, J. & Schonhowd, I. 2015 (eds.). Monitoring, Mitigation, Management. The Groundwater Project - Safeguarding the World Heritage Site of Bryggen in Bergen. Norwegian Direktorat for Cultural Heritage, Oslo.
- Riksantikvaren, 2023. Utgifter til arkeologiske arbeider. Kulturminneloven § 10. Saksbehandling i arkeologi. Utgifter til arkeologiske arbeider. Kulturminneloven § 10. Saksbehandling i arkeologi - Riksantikvaren
- Standard Norge 2009. Kulturminner. Krav til miljøovervåking og -undersøkelse av kulturlag. Norsk Standard NS9451:2009. ICS 13.020.99: 91.010.99.
- Standard Norge 2022. Kulturminner — Undersøkelse og overvåking av arkeologiske kulturlag for bevaring på stedet. NS-EN 17652:2022
- Williams, J., Sidell, J. & Howarth, C. 2016. Preserving Archaeological Remains: Appendix 1- Case studies. *In: ENGLAND, H. (ed.)*. Swindon: Historic England.

Norsk institutt for kulturminneforskning er et uavhengig forsknings- og kompetansemiljø med kunnskap om norske og internasjonale kulturminner.

Instituttet driver forskning og oppdragsvirksomhet for offentlig forvaltning og private aktører på felter som by- og landskapsplanlegging, arkeologi, konservering og bygningsvern.

Våre ansatte er konservatorer, arkeologer, arkitekter, ingeniører, geografer, etnologer, samfunnsvitere, kunsthistorikere, forskere og rådgivere med spesiell kompetanse på kulturarv og kulturminner.

[www.niku.no](http://www.niku.no)

## NIKU Rapport 274

**NIKU hovedkontor**  
Storgata 2  
Postboks 736, Sentrum  
0105 OSLO  
Telefon: 23 35 50 00

**NIKU Tønsberg**  
Farmannsveien 30  
3111 TØNSBERG  
Telefon: 23 35 50 00

**NIKU Bergen**  
Dreggsallmenningen 3  
Postboks 4112, Sandviken  
5835 BERGEN  
Telefon: 23 35 50 00

**NIKU Trondheim**  
Kjøpmannsgata 1b  
7013 TRONDHEIM  
Telefon: 23 35 50 00

**NIKU Tromsø**  
Framsenteret  
Hjalmar Johansens gt. 14  
9296 TROMSØ  
Telefon: 77 75 04 00



