

IN-SITU BEVARING OG BYGGING PÅ KULTURLAG I MIDDELALDERBYENE

Prøvetakingsstrategi, erfaringer med avbøtende tiltak,
lokale variasjoner i bevaringstilstand og peling på kulturlag

Line Hovd, Sunniva Wilberg Halvorsen, Rory Dunlop, Rebecca J S Cannell, Vibeke Vandrup Martens,





Tittel In-situ bevaring og bygging på kulturlag i middelalderbyene Prøvetakingsstrategi, erfaringer med avbøtende tiltak, lokale variasjoner i bevaringstilstand og peling på kulturlag	Rapporttype/nummer NIKU Rapport 165	Publiseringsdato 30.12.2022
	Prosjektnummer 1022281	Sider 68
	Avdeling Arkeologi	Tilgjengelighet Åpen
Forfatter(e) Line Hovd, Sunniva Wilberg Halvorsen, Rory Dunlop, Rebecca J S Cannell, Vibeke Vandrup Martens	ISSN 2703-7797 ISBN 978-82-8101-312-4	Periode gjennomført Mai-desember 2022
	Forsidebilde Regnvannshage og swales, Bergen, 2014. Foto: Dunlop, NIKU.	

Prosjektleder Vibeke Vandrup Martens
Prosjektmedarbeider(e) Rebecca J S Cannell, Rory Dunlop, Sunniva Wilberg Halvorsen, Line Hovd
Kvalitetssikrer Annika Haugen

Finansiert av Klima og miljødepartementet. 2022 tilskudd over kap. 1410, post 70, Nasjonale oppgaver

Sammendrag For å kunne videreutvikle bruken av miljøovervåking av kulturlag (MOV) som verktøy i forvaltningen av middelalderbyene og som vilkår i dispensasjonsvedtak for utgravninger eller utbyggingssaker, har NIKU kartlagt erfaringer med avbøtende tiltak i perioden 2010–2022, redegjort for mulige årsaker til lokale forskjeller i bevaringstilstand, samt diskutert prøvestrategi, forslag til nye avbøtende tiltak, grenseverdier, peleproblematikk og behov for endringer i forvaltningspraksis.

Abstract This report aims to continue the development of the environmental monitoring and preservation of Norway's archaeological heritage in the medieval towns, and as a condition in planning applications and evaluations, by reviewing NIKU's experiences with environmental monitoring and mitigation strategies between 2010-2022. This includes an evaluation of implemented mitigation strategies, consideration of local variation in the archaeological deposits' state of preservation, their preservation conditions and sampling strategies. This report discusses possible new mitigation strategies, recommendations for threshold values in preservation conditions, the use of piling in archaeological contexts, and suggests some changes to certain aspects of cultural heritage administration.
--

Emneord Miljøovervåking; MOV; kulturlag; middelalderby; Tønsberg; Bergen; Oslo; Trondheim; peling, arkeologi
Keywords Environmental Monitoring MOV; In situ Heritage; Medieval towns; Tønsberg; Bergen; Oslo; Trondheim; Piling; Archaeology

Avdelingsleder
Lise-Marie Bye Johansen

Forord

Klima- og miljødepartementet ga i 2022 NIKU tilskudd over kap. 1410, post 70, til nasjonale oppgaver. Formålet med tilskuddet til nasjonale oppgaver er å sørge for at instituttet har ressurser til faglig rådgivning til miljøforvaltningen, til deltakelse og faglig støtte for kulturminneforvaltningen i internasjonale organer ved behov, informasjons- og opplysningsarbeid overfor forvaltning, kvalitetssikring av data og andre oppgaver der kulturminneforvaltningen har konkrete behov. Denne rapporten omfatter den delen av 2022-bevilgningen som omhandler *“In situ-bevaring av og bygging på kulturlag i middelalderbyene”*.

Arbeidet er en videreføring av rapportarbeidet fra 2021, da NIKU gjennomgikk miljøovervåkning av kulturlag i norske middelalderbyer i perioden 2010-2021. Hensikten med prosjektet er å *videreutvikle bruken av miljøovervåkning (MOV) som virkemiddel i forvaltningen av middelalderbyene og som vilkår i dispensasjonsvedtak*. Årets rapport, sett sammen med fjorårets rapport, er ment å gi et grunnlag for å vurdere nåværende og fremtidige undersøkelser og tiltak, samt være del av et større, oppdatert kunnskapsgrunnlag for kulturmiljøforvaltningen. Dette kunnskapsgrunnlaget skal eksempelvis kunne brukes inn i revisjonen av eksisterende veiledningsmateriell. Resultatene i rapporten inkluderer NIKUs *innspill til prøvetakingspraksis, bruk av avklarende undersøkelser og forslag til mulige avbøtende tiltak*.

NIKU takker Klima- og miljødepartementet for oppdraget.

Figurer

Figur 1: Figuren illustrerer ulike porøsiteter fra umettet til mettet sone. (Matthiesen, Nationalmuseet, Danmark, 2016).....	11
Figur 2: Figuren illustrerer hvordan tilstedeværelsen av vann i kulturlag er avgjørende for bevaring av organisk materiale. (Matthiesen, Nationalmuseet, Danmark, 2017).....	12
Figur 3: Stokker dekket av et leire- og steinlag (Dunlop, NIKU).....	18
Figur 4: Planke under/i porøst lag av sand, grus og småsteiner (Dunlop, NIKU).	18
Figur 5: Offersjikt av treflis/-spon på bunnen av I/T-system-grøft, Bryggen (Dunlop, NIKU).	22
Figur 6: Infiltrasjonssystem for deler av Kong Oscars gate (Multiconsult).	24
Figur 7: Infiltrasjonsgrøfter og bentonittdemninger på Nedre Korskirkeallmenningen (Multiconsult). ..	25
Figur 8: Infiltrasjonssystem for Øvregaten 19 (Rørleggeriet).	26
Figur 9: Infiltrasjonssystem for Finnegården 1A, Det Hanseatiske Museum (Sweco).	27
Figur 10: I/T-systemet, Bryggen (Multiconsult AS).....	28
Figur 11: Tetting av staghull (Dunlop, NIKU).....	30
Figur 12: Oppbygging av I/T-grøft, Bryggen (Dunlop, NIKU).	31
Figur 13: Bentonittdemning, Bryggen (Dunlop, NIKU).	31
Figur 14: Regnvannshager og swales, Bryggen (Dunlop, NIKU).	32
Figur 15: Nedgravde vanntanker, Schøtstuene (Dunlop, NIKU).	32
Figur 16: Mellomlagringsrør, Schøtstuene (Dunlop, NIKU).....	33
Figur 17: Etablering av permeabel overflate (Dunlop, NIKU).....	34
Figur 18: Finnegården 3A, 1982, nedrammet betongpel (Riksantikvaren).	43
Figur: Oppsummering av redoksforhold for mikrobiologiske prosesser. Stabile negative redoksforhold (anaerobe forhold) gir de beste bevaringsforhold for kulturlag (Madigan & Martinko 2006).....	64

Tabeller

Tabell 1: Oversikt over prosjekt i MA-byer der avbøtende tiltak har vært del av vedtaket.....	20
Tabell 2: Vurdering av bevaringsforhold, delt i fire kategorier, som definert i ny EU standard. Tabell: NS-EN 717652:2022.	45
Tabell 3: Forslag til grenseverdier fremsatt i 2016, med referanser.....	46
Tabell 4: Forslag til grenseverdier oversatt til norsk.....	47
Tabell 5: Oversikt over analyseparametere i gruppene S1 og S2.....	63
Tabell 6: Skala som angir bevaringstilstanden i kulturlag, i henhold til Norsk Standard NS 9451:2009.	63
Tabell 7: Relative konsentrasjoner av dominerende næringsstoffer i jord under forskjellige redoksforhold og bevaringsforhold i kulturlag.....	65

Innholdsfortegnelse

1	Innledning og bakgrunn.....	9
1.1	Rapportens struktur og innhold.....	10
2	Avbøtende tiltak.....	11
2.1	Prøvetakingsstrategier.....	12
2.1.1	Anbefalte endringer i prøvetakingsstrategier.....	13
2.1.2	Lite inngripende miljøovervåkingsmetode – SoilVUE10:.....	14
2.2	Lokale variasjoner i bevaringstilstand.....	15
2.2.1	Ved avleiringstidspunktet.....	15
2.2.2	Etter avleiringstidspunktet.....	16
2.3	Erfaringer med avbøtende tiltak.....	19
2.3.1	Utgravning som avbøtende tiltak – <i>ex situ</i> -bevaring.....	20
2.3.2	Masseutskifting som avbøtende tiltak.....	21
2.3.3	Offersjikt som avbøtende tiltak.....	21
2.3.4	Plombering av kulturlag i profil som avbøtende tiltak.....	23
2.3.5	Infiltrasjon av over-/takvann som avbøtende tiltak.....	24
2.3.6	Beskytte etterreformatoriske kulturlag som avbøtende tiltak.....	27
2.3.7	Grunnvannsprosjektet på Bryggen i Bergen: Eksempel på avbøtende tiltak.....	27
2.3.8	Erfaringer med avbøtende tiltak – oppsummering og konklusjon.....	34
2.4	Forslag til nye avbøtende tiltak.....	35
2.4.1	Marktrykk.....	35
2.4.2	Fyllmasser ved igjenfylling.....	36
2.4.3	Frysing av grunnen.....	36
2.5	Oppsummering: Avbøtende tiltak.....	36
3	Peling og bygging på kulturlag.....	37
3.1	Umettet sone.....	37
3.2	Mettet sone.....	39
3.3	Oppsummering av erfaringer fra peling på kulturlag.....	40
3.4	Forskning og erfaring med peling utenfor Norge.....	41
3.5	Oppsummering: Peling og bygging på kulturlag.....	43
4	Behov for endring i forvaltningspraksis.....	45
4.1	Internasjonal forskning og veiledningsdokumenter.....	45
4.2	Grenseverdier og klassifisering av bevaringstilstand.....	46
4.2.1	Bra eller dårlig bevaring?.....	46
4.3	Konklusjon: Bør dagens forvaltningspraksis endres?.....	47
4.3.1	Prøvetaking og variasjoner i bevaringstilstand.....	47
4.3.2	Lagsammensetning og tafonomiske prosesser.....	47
4.3.3	Kart over bevaringstilstand i middelalderbyene.....	48
4.3.4	Avbøtende tiltak.....	48
4.3.5	Peling.....	48
4.3.6	Grenseverdier.....	49
4.4	49
5	Litteratur.....	50
6	Vedlegg.....	56
6.1	Kart over Bergen, Oslo, Trondheim og Tønsberg,.....	57
6.1.1	Bergen - Bryggen.....	57
6.1.2	Bergen - Vågsbunnen.....	58
6.1.3	Oslo.....	59
6.1.4	Oslo – Follobanen.....	60
6.1.5	Trondheim.....	61
6.1.6	Tønsberg.....	62
6.2	Analyseparametere kulturlag.....	63
6.3	Beskrivelse av bevaringsforhold.....	63
6.4	Profilsikring.....	66

1 Innledning og bakgrunn

Målet for en kunnskapsbasert forvaltning av kulturlagene i en middelalderby er å legge til rette for livskraftige bysentra, samtidig som ikke-fornybare kulturminneverdier kan tas vare på i et langtidsperspektiv.

Arkeologisk miljøovervåking er viktig både som arkeologisk metode og som forvaltningsverktøy for kulturmiljøforvaltningen. Miljøovervåking gir kunnskap og oversikt over miljøtilstanden. Dette frembringer faktagrunnlag for bærekraftig politikkutforming, forvaltning og næringsutvikling, og bidrar til bevissthet om miljøet. Miljøovervåking gir datagrunnlag for miljøforskning og mulighet for å oppdage og forebygge miljøproblemer. Et slikt kunnskapsgrunnlag er helt nødvendig for å kunne utvikle, evaluere og følge opp mål, tiltak og virkemidler i miljøvernpolitikken. Lokalt er miljøovervåking nødvendig for å vurdere om arkeologiske lokaliteter kan bevares *in situ*.

NIKU har blitt bedt om å løse tre hovedoppgaver:

1. Analysere mulige forklaringer og vurdere eventuelle løsninger samt bidra til utvikling av mulige avbøtende tiltak. Kartlegge, sammenstille og analysere lokale variasjoner i bevaringstilstand som observeres innenfor et område der bevaringsforholdene ellers er like (i NIKUs prosjektbeskrivelse – godkjent av Riksantikvaren 19.8.2022 – ble det spesifisert som «*forklaringer på forskjeller i bevaring innen relativt små områder*»). Her ser vi i arbeidet gjort i 2021 at endringer i prøvetakningsstrategi og utvidede jordkjemiske og jordfysiske analyser vil kunne bidra i besvringen av spørsmålene. I innværende rapport er det i tillegg gått i dybden på mulige forklaringer og løsninger, og spørsmål omkring utvikling av mulige avbøtende tiltak i disse kontekster.
2. Analysere eldre datasett (eldre enn 10 år). Ved oppstartsmøtet 11. mai 2022 ble man enige om at ettersom MOV prosjekter som var påbegynt før, men løp inn i perioden 2010-2021, var rapportert i forrige rapport (Halvorsen et al. 2022), og eldre prosjekter var rapportert i tidligere samlerapporter og publikasjoner (eksempelvis Petersén & Martens 2011; Dunlop 2015; Dunlop i Rytter & Schonhowd 2015) var det tilstrekkelig informasjon om prosjekter eldre enn 10 år. Det er uansett vanskelig å sammenligne eldre datasett fra prosjektarbeid utført før Norsk Standard (NS9451:2009) med de som er gjennomført etter. Dette underpunktet fra opprinnelig bestilling bortfaller, med mindre det er noe helt spesielt fra eldre undersøkelser som prosjektdeltakerne mener kan bidra vesentlig til å besvare de øvrige spørsmålene.
3. Utarbeide et grunnlag for vurdering av eventuell endring i forvaltningspraksis. Når det gjelder innspill til veileder for bygging på kulturlag (Byggforskserien 2010), ser vi at det vil være nødvendig og relevant å forholde seg dels til seneste tilsvarende veileder fra Historic England (Piling and Archaeology, 2019), dels en fersk Ph.d. avhandling fra Nederland (Groenendijk 2021). Vi mener det vil være relevant for forvaltningen å få vurdert disse opp mot norske forhold og norsk praksis og dermed bidra til oppdatering av den 12 år gamle Byggforskveilederen.

1.1 Rapportens struktur og innhold

Rapporten tar først opp spørsmål tilknyttet endrede bevaringsforhold og avbøtende tiltak.

I **kapittel 2** gjennomgås de avbøtende tiltakene som til nå er benyttet i arkeologisk miljøovervåkning i norske middelalderbyer. Kapittelets overordnede problemstilling er analyse av mulige forklaringer på utviklingstendenser for bevaringsforhold i kulturlag, og eventuelle løsninger for å forbedre kulturlagsforhold, mulige avbøtende tiltak. Kapitelet bygger på resultater og erfaringer samlet i rapporten fra fjorårets nasjonale oppgave post 5. I underkapitlene diskuteres erfaringer og observasjoner fra mange års feltarbeid i middelalderbyene for å vurdere prøvetakingsstrategier (kapittel 2.1), forklaringer på forskjeller i bevaring innen relativt små områder (kapittel 2.2), erfaringer med avbøtende tiltak (kapittel 2.3) og forslag til eventuelle nye sådanne (kapittel 2.4).

Kapittel 3 tar opp behovet for å utarbeide et nytt grunnlag for vurdering av peling i middelalderbyene. Det er gjort mange erfaringer med peling i kulturlag siden veilederen kom på trykk i 2010. Vi anser at det er vesentlig å sette seg inn i resultatene av disse og vurdere opp mot norsk praksis og erfaringer, og internasjonale forskning.

Kapittel 4 oppsummerer kapittel 2 og 3, og vurderer dagens kunnskapsstatus, inkludert vurdering av grenseverdier og hva som skal til for å klassifisere bevaring av kulturlag for dårlig frem for bra. Internasjonal forskning og veiledning er sammensatt med norsk erfaring med *in situ*-bevaring av kulturlag. Til slutt i rapporten diskuteres hvordan nåværende kunnskapsgrunnlag kan forbedres, samt anbefalinger om eventuelle praksisendringer basert på kunnskapsgrunnlag presentert i kapittel 2 og 3.

Kapittel 5 er litteraturliste.

I **Kapittel 6** er det vedlegg, med en oversikt over fagterminologiske definisjoner og forklaringer kart over de ulike middelalderbyene med relevante prosjekter kartfestet, samt faktaark om profilsikring.

2 Avbøtende tiltak

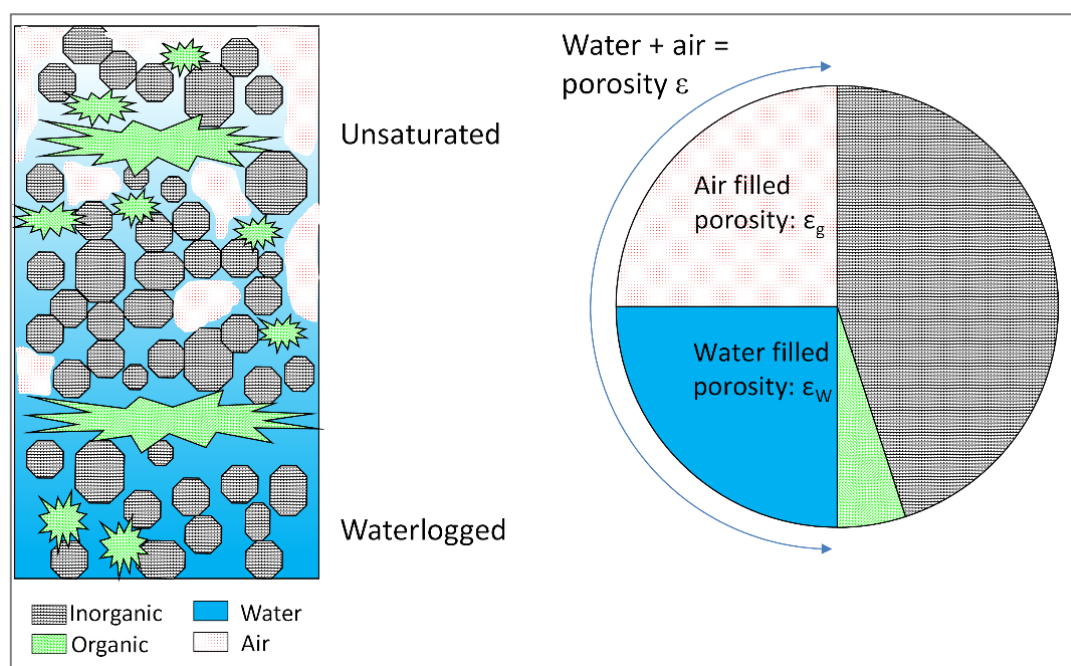
I dette kapitlet skal ulike typer avbøtende tiltak som er benyttet i den arkeologiske miljøovervåkingen i Norge gjennomgå, analyseres og vurderes. Det er tatt utgangspunkt i rapporten etter Nasjonale oppgaver MOV (Halvorsen, Hovd & Martens 2022) i 2021. Avslutningsvis vil vi vurdere hvilke andre typer avbøtende tiltak som bør implementeres innen norsk miljøovervåkningspraksis.

Avbøtende tiltak omfatter ulike tiltak rettet mot å redusere påvirkningene av inngrep i automatisk fredede kulturminner. Inngrep kan variere fra de største utbyggingsprosjektene til enkle grøfter og hull. Hver sak må vurderes for seg, basert på en rekke forhold.

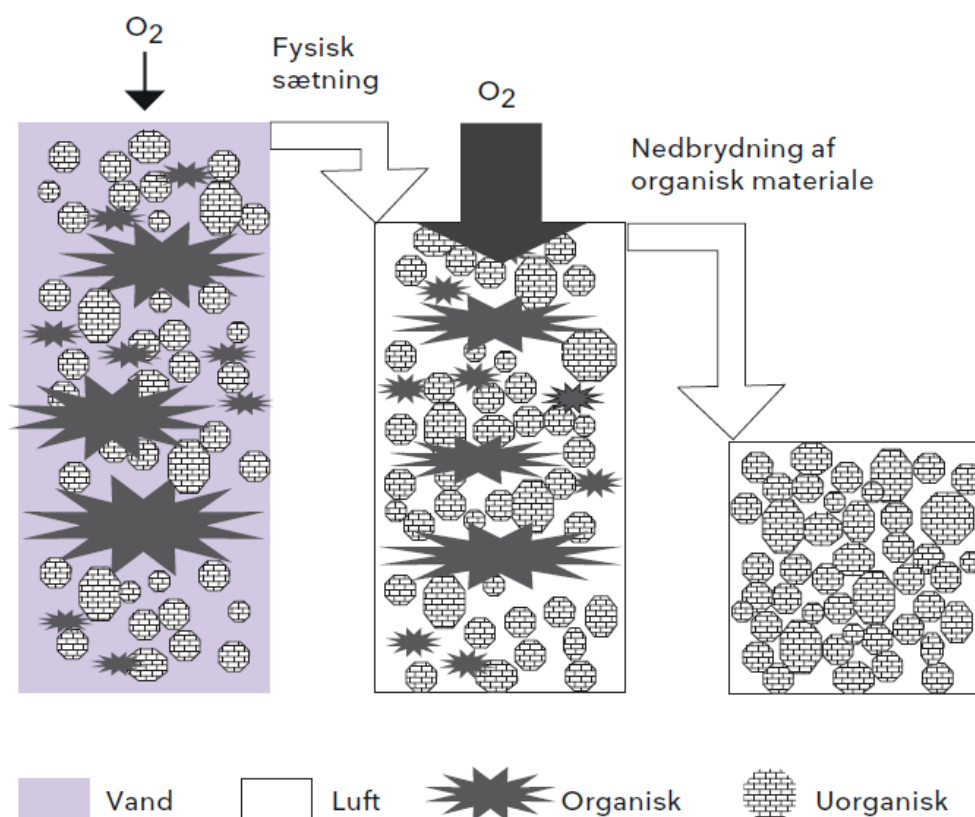
Behovet for avbøtende tiltak kan identifiseres ut fra resultatene fra et miljøovervåkningsprogram, eller fra en vurdering av type og omfang av et inngrep. For organiske levninger, vil avbøtende tiltak i stor grad dreie seg om håndtering av vann. Vi vet at tilstedeværelse av vann er det fremste middelet for å beskytte organiske levninger mot nedbrytning (Figur 1 og 2).

Grøftesikring/profilsikring er et vesentlig avbøtende tiltak. En arkeologisk undersøkelse er på linje med andre tiltak et potensielt destruktivt inngrep i de omkringliggende lagene. For å sikre fortsatt *in situ*-bevaring og ikke eskalere nedbrytningsprosesser bør profilvegger og grøftebunn sikres med leire eller geomembraner, og det må ikke benyttes porøse fyllmasser (Martens 2017:133).

Ettersom miljøovervåking og aktiv bruk av avbøtende tiltak er et relativt ungt fokusområde i Norge, vil vi også trekke kunnskap fra noen relevante prosjekter utenfor Norges grenser.



Figur 1: Figuren illustrerer ulike porøsiteter fra umettet til mettet sone. (Matthiesen, Nationalmuseet, Danmark, 2016).



Figur 2: Figuren illustrerer hvordan tilstedeværelsen av vann i kulturlag er avgjørende for bevaring av organisk materiale. (Matthiesen, Nationalmuseet, Danmark, 2017).

2.1 Prøvetakingsstrategier

Ved undersøkelsene i forbindelse med reguleringsplanen for Søndre gate 7–11 i Trondheim (Brink & Petersén 2018, Sæhle et al. 2021), ble det i 2015 installert overvåkingsutstyr i to profiler i eksisterende VA-grøfter, som var åpnet i forbindelse med en forundersøkelse samme år. Det ble tatt ut jordprøver fra de områdene hvor sensorene ble plassert. Hovedutgravningen av tomten i 2016-2017 inkluderte et kirkested med kirkegård over profan bebyggelse, og det kunne observeres store lokale forskjeller i bevaringstilstand i kulturlagene, både i plan og i dybde, og særlig for gravmaterialet. Tre fra kister som lå i kirkegårdsjord var helt nedbrutt, men skjelettet materialet fra samme nivåer hadde varierende tilstandsgrad. Nordre del var generelt dårligere bevart enn søndre del, mens østre del var bedre enn søndre del. I østre del var for eksempel bein fra spebarn og meget unge individer så godt bevart at bein kunne tas opp hele. Graver som tilhørte den eldste kirkegårdsfasen var gravd ned i kulturlag som tilhørte den profane aktiviteten på stedet. Tilstanden til de gravene som befant seg på sør- og sørvestsiden var meget god, både for bein og for tre i kistene.

Utgravingsprosjektet hadde ikke MOV som egen del, og prøvestrategien inkluderte ikke prøver for jordkjemisk og jordfysisk analyse fra kirkegård eller graver. Det er derfor ikke mulig å få noen avklaring på årsakene til disse forskjellene.

Et annet eksempel på systematisk prøvetaking fra graver og kirkegårdsjord (S1/S2) for å kunne trekke konklusjoner om bevaringsforhold som påvirker gravmateriale er Kjøpmannsgata 36-38 i Trondheim (Petersén & Halvorsen 2020). I dette prosjekt ble prøvetaking tatt fra faste punkter innenfor kirkegårdsområdet og fra kirkegården tilhørende beingroper i nivåer fra toppmassen og ned til naturlig undergrunn.

Som et resultat av erfaringer fra blant annet undersøkelsen nevnt over, Søndre gate 7–11, ble det i påfølgende egnede prosjekter budsjettert med mulighetene for nettopp en slik bredere prøvestrategi. Et mål var å ta prøver til jordkjemisk analyse (S1/S2) i plan over store flater for å kunne påvise både

synlige og usynlige forskjeller i bevaringstilstanden, og gi en forklaring på dette. En slik prøvestrategi ble iverksatt i et prosjekt påbegynt i 2021, «Middelalderparken» i Oslo. Ved dette prosjektet ble kulturlag direkte under toppdekket vurdert som dårlig, eller svært dårlig bevart, i varierende grad utover et stort område som ble avdekket ved gjennomføring av tiltakene mellom «vannspeilet» og den nye kulverten til Follobanen.

Prøvetaking ble gjort over store avdekte kulturlagsflater med satte intervaller og i flere nivåer, altså horisontalt på kulturlagsflater, samt vertikalt i kulturlagsprofiler. Det ble prioritert å ta prøver like under moderne masser der det var aktiv nedbryting, i nærheten av moderne forstyrrelser som for eksempel betongfundamenter og eldre rørgrøfter. Deretter ble det tatt prøver på samme sted lengre ned i kulturlagsmassene, og i områder hvor kulturlagene har ligget *in situ*, uforstyrret av moderne aktivitet. Prøver ble også tatt sammen med prøveserier vertikalt i to utvalgte kulturlagsprofiler. Formålet var å kunne kartlegge nettopp forskjeller i bevaringsforhold og -tilstand, og årsaker til dette, eller lokale variasjoner innfor mindre områder.

2.1.1 Anbefalte endringer i prøvetakingsstrategier

Målet med miljøovervåking i norske middelalderbyer er både å dokumentere nåværende bevaringstilstand og å bevare uerstattelig kulturarv for fremtiden på en bærekraftig måte. Prosjektbasert *in situ*-overvåking er ofte tidsbegrenset, med vanlig overvåkingsperioder av f.eks. 2 til 10 år (unntatt enkeltprosjekter f.eks. Bryggen). Innenfor disse tidsrammene belyses stabiliteten og dermed bevaringstilstanden av lagene via måling av fysiske og kjemiske egenskaper i kulturlag og grunnvann. Dette er viktig for å vurdere stabiliteten av kulturlagene, men det er alltid begrensninger med det vi kan kalle «punkt»-data, dvs. data fra et enkelt sted eller punkt. Punktdata brukes ofte i arkeologi, da vi ikke kan ta prøver eller måle alt, men det har begrensninger i forhold til hva det representerer.

Et stort kunnskapshull er hvordan man kan beskytte og bevare objekter og arkeologisk lag *in situ* når vi er klar over at endringer i nærheten kan påvirke bevaringsforholdene over et større område (Kars 2017). For å løse dette, trenger vi data som kan karakterisere og kontekstualisere stedet. Dessuten må data kontekstualiseres i den fysiske settingen for å øke relevansen utover det enkelte punktet. Overvåkingsdata er kontekstualisert via prøvedata. Prøvedataene vi samler inn har potensial til å karakterisere det bredere bevaringsmiljøet ved å måle fysiske og kjemiske egenskaper til materialene som hjelper eller hindrer bevaring av *in situ* kulturlevninger. Konteksten er jordsmonnet og sedimentene, kulturlagene og de menneskeskapte materialene i miljøet. Ved å kontekstualisere *in situ* overvåkingsdata, kan vi bygge en bedre forståelse av sammenhengen mellom nåværende bevaringstilstand, verdier målt under overvåking, og miljøvariasjoner. Disse dataene kan fungere som en referanse for *tolknings*-modeller, og for å bedre forutsi bevaring utover overvåkingsperioden, inkludert fremtidig risiko via miljøendringer (f.eks. endringer i arealbruk, forhold mellom overvåkede områder og bevaring av kulturminner i større sammenheng, klimaendringer).

Faktorene som påvirker bevaringstilstand er knyttet til sammensetningen av kulturlagene og hva slags nærmiljø de befinner seg i. De arkeologiske kontekstene er svært varierende på grunn av at jordsmonnet i seg selv er svært variert, dannet som resultatet av en kombinasjon av klima, organisk materiale, topografi, opphavsmateriale, tid, og menneskelig aktivitet. Det er viktig at disse variasjonene fanges opp som sammenlignbare data fra prøveanalyser. Prøvetakingsstrategien i Middelalderparken i Oslo (NIKU prosjekt 1022112) bør ses på som et rammeverk for fremtidig arbeid, hvor prøver tas fra kulturlag med ulike bevaringstilstander og ulike arkeologiske/miljømessige kontekster. Det er vanlig praksis å dokumentere alle lag knyttet til de overvåkede kulturlagene, og i mange tilfeller blir også undergrunnen prøvetatt. Det er viktig at dette fortsetter, da prøveanalyser fra undergrunnskontekster vil bidra til at vi bedre forstår hvordan ulike menneskeskapte og naturlige forhold påvirker bevaringen av kulturlagene. Middelalderbyene i Norge ligger over varierte geologiske kontekster; for eksempel ligger Hamar primært på morenesedimenter, Bergen på en blanding av forvitret berggrunn, morene og marineavsetninger, Tønsberg ligger på marineavsetninger, mens Skien, Oslo og Trondheim har en blanding av marine, strand og elveavsetninger. Bedre dokumentasjon og prøvetaking av ulike

arkeologiske og naturlige kontekster er i samsvar med gjeldende overvåkingsretningslinjer, (NS-EN 17652:2022), og vil potensielt styrke vår evne til å skreddersy bærekraftige løsninger for *in situ*-bevaring til relevante miljøforhold.

Som det ble konkludert i Halvorsen, Hovd & Martens (2022), ideelt sett bør prøvetakingsstrategier være fleksible nok til å reagere på observerte forhold under utgraving/undersøkelse. Det å ta prøver fra individuelle, arkeologisk definerte lag, innebærer at det ikke alltid fanges opp variasjon innenfor enkelte lag. Det tas heller ikke hensyn til at jordprosesser kan påvirke flere lag på lignende måte. Prøvetaking med fastsatte intervaller i plan eller profil kan føre til at det tas flere prøver enn det som er nødvendig, eller at enkelte lag ikke blir fanget opp, da det ikke tas hensyn til lagenes utstrekning. Ettersom den romlige korrelasjonen mellom prøvene er avgjørende for tolkningen, må prøvene være representative for det aktuelle området, både for de arkeologiske og ikke-arkeologiske lagene som finnes. Disse lagene bør også kartlegges digitalt i plan og profil, der det er mulig, for å hjelpe til med tolkningen av prøvedataene og modellering av stratigrafiske lag. Videre er det optimalt å ta prøver samtidig, og med samme metoder/utstyr, for å sikre sammenlignbarhet.

Informasjon fra jordkjemisk analyse av jordprøver fra borepunkter kan også brukes til å oppdage lokale forskjeller i bevaringstilstand. Prøveresultatene kan knyttes til sjikt/lag-data, og danne et grunnlag for lagmodellering. Disse enkle modeller kan brukes til å bedre forstå bl.a. dreneringsmønster og opphavet til materialet, samt romlige forskjeller i bevaringstilstanden.

I tilfeller der bevaringsforholdene er markant forskjellige fra et område til et annet, f.eks. som observert ved Søndre gate 7-11, vil prøvedata gi vesentlig informasjon som kan bidra til å vurdere hvilke forhold som forårsaket observasjonene. Et mål bør være å bygge opp en referanse av jorddata fra overvåkingssteder, som er koblet til jordmonnsdata og opphavsmateriale. Dette krever at kornfordeling også er målt i tillegg til mengde tørrstoff i hver prøve. Denne innsamlingen av data vil være verdifull i planleggingsstadier, for bedre å forutsi bevaringsforhold og respons på endringer i arkeologiske forekomster. Dette vil på ingen måte erstatte behovet for miljøovervåking. Overvåking av grunnvann og lagsammensetning over tid vil fortsatt være det beste middelet for å vurdere bevaringsforhold av *in situ*-kulturminner. Prøvedataene kan brukes til å bedre plassere overvåkingsutstyr og forutsi effekten av endring på arkeologiske lag utenfor overvåkingspunktet, og i betydelig grad forbedre vår forståelse av sammenhengen mellom bevaringen av kulturminner, klima og menneskelig påvirkning, og lokale miljøforhold.

2.1.2 Lite inngripende miljøovervåkingsmetode – SoilVUE10:

En ny metode for overvåking av kulturlag ble lansert i 2019, sondetypen Campbell SoilVUE10, [SoilVUE10: TDR Soil Moisture Profile Sensor \(campbellsci.eu\)](https://www.campbellsci.eu). Sonden er 5 cm i diameter og 1 m lang/dyp (alternativt 0,5 m). Installasjon gjøres i et håndboret prøvehull av samme størrelse (håndbor diameter 4 cm), noe som gjør dette til et svært lite inngripende tiltak i *in situ*-bevarte kulturlag hvor det ønskes overvåking, og vil være spesielt godt egnet der hvor kulturlag er svært sårbare og utsatte for ytre påvirkning. Sonden måler jordfukt, temperatur, permittivitet og ledningsevne, med intervaller på 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 75 og 100 cm, altså ved ni punkter/nivåer langs sondens 1 m lengde. Sonden er kompatibel med samme type dataloggere som anvendes ved installasjon av sensorer i en kulturlagsprofil.

Sonden er anvendt i forskningsprosjektet CULTCOAST (NFR Miljøforsk # 294314, <https://www.niku.no/prosjekter/cultcoast/>) ledet av Vibeke Vandrup Martens ved NIKU, hvor det er installert på to lokaliteter, en sonde på Hiorthamn på Svalbard (permafrost/erosjon i strandsonen) og en på Sjøberget på Andøya i Norland (bosettingshaug/gårdshaug). Foreløpige resultater, dog etter en relativt kort måleperiode, indikerer at lokaliteten på Svalbard i hovedsak påvirkes av tilføring av vann ved snøsmelting i det aktive laget over permafrosten, mens sonden installert i gårdshaugen på Andøya så langt har målt stabile forhold (Martens & Krangnes 2022).

Bruken av denne typen sonde kan være et alternativ i de tilfeller hvor det ikke er ønskelig eller mulig å åpne en sjakt i *in situ* kulturlag for å installere sensorer i profil, men hvor det likevel er relevant og viktig å innhente informasjon om bevaringsforhold for forvaltningsmyndighetene. Dette gjelder i de tilfeller hvor det behov for et kunnskapsbasert grunnlag for å gjøre vurderinger for om fortsatt *in situ*-bevaring er mulig, eller om det bør igangsettes avbøtende tiltak. Det kan også være en ekstra mulighet i tilfeller der det ikke blir noen profil til utstyrsinstallering i forbindelse med et tiltak, men der man vet at det er bevarte kulturlag i områder inntil.

2.2 Lokale variasjoner i bevaringstilstand

Lokale variasjoner i bevaringstilstanden til organiske kulturlag blir rutinemessig observert innenfor relativt små områder i forbindelse med arkeologiske undersøkelser. Årsakene til slike forskjeller kan være mange og sammensatte.

Den nåtidige bevaringstilstanden til et kulturlag vil være avhengig av forhold knyttet til to tidspunkter/perioder:

- ved avleiringstidspunktet
- etter avleiringstidspunktet (tafonomiske prosesser)

Det presiseres at det handler om kulturlag med vesentlig innhold av organisk materiale.

2.2.1 Ved avleiringstidspunktet

Et kulturlags opprinnelige bevaringstilstand – det vil si, ved selve avleiringstidspunktet – vil være avhengig av følgende hovedfaktorer:

- lagets innhold og sammensetning (fysiske egenskaper som porøsitet, altså hvor kompakte lagene er)
- avleiringssituasjon (tørt land eller vann)
- avleiringsprosessen/-hastigheten (sakte eller rask avleiring)

Innhold/sammensetning

Innholdet og sammensetningen til et kulturlag henger i høy grad sammen med hvilken type aktivitet som har gitt opphav til laget, og hva laget består av.

Dersom et lag består av materiale som er blitt redeponert – det vil si, flyttet fra sin opprinnelige kontekst – vil det være en større sannsynlighet for at materialet er blitt utsatt for nedbrytningsprosesser mens det var i den opprinnelige konteksten. Laget vil være i noe som kan betegnes som en sekundær kontekst.

Hvis derimot et lag består av materiale som er et resultat av aktiviteter foretatt på avleiringsstedet, vil det være en mindre sannsynlighet for at materialet er blitt utsatt for nedbrytningsprosesser. Laget vil da være i noe som betegnes som en primær kontekst.

Imidlertid vil lagets sammensetning/struktur spille en viss rolle. Lag med en forholdsvis porøs struktur vil være mer utsatt for nedbrytningsprosesser grunnet lettere tilgang på luft. Lag med en høy andel av f.eks. humus, ekskrement og møkk vil derimot være mindre porøse og tilgang på luft vil være lavere.

Kornstørrelsen til ikke-organiske komponenter i et kulturlag har likeledes betydning for lagets struktur. Dess grovere kornstørrelse, dess åpnere vil strukturen være og jo større tilgang på luft – og større sannsynlighet for at det organiske materialet i laget blir utsatt for nedbrytningsprosesser. Finere kornstørrelse vil tilsvarende gi en tettere struktur, og følgelig vil det organiske materialet være mindre utsatt for nedbrytning.

Den relative surheten i jord påvirker i stor grad typen og nivået av mikrobiell aktivitet i jorden, og typen av de uorganiske kjemiske prosessene som skjer. Endringer i pH, for eksempel ved grunnvannsendringer, kan ha betydelig effekt på pH, og dermed hvilke materialer som er mest utsatt

for mikrobiell eller kjemisk nedbrytning. Kulturlag er sammensatt av forskjellige materialer og, som miljøovervåking har påvist, er det sjelden ideelle bevaringsforhold for alle typer materialer (f.eks. bein, tre, metaller, andre organiske materialer); de ideelle bevaringsforholdene for tre kan være for sure for beinkonservering osv. Stabilitet i pH er derfor det ideelle for å sikre forholdene som har bevart kulturlagene fram til i dag, da svingninger i pH (og tilhørende endringer i oksidasjon eller vannstand) kan resultere i akselerert nedbrytning av alle typer bevart materiale. Jordens pH kontrolleres best via grunnvannsovervåking og oksidasjonstilstanden til lagene (Kars 2017).

Avleiringssituasjonen

Situasjonen hvor et kulturlag er avleiret kan ha stor betydning for den opprinnelige bevaringstilstanden. Kulturlag avleiret i vann vil være mye mindre utsatt for nedbrytningsprosesser grunnet beskyttelsen som vann gir, mens for kulturlag som er avleiret på tørt land vil det være større sannsynlighet for nedbrytning under avleiring. Dette vil gjelde særlig for åpne områder som gater og gårdsplasser, mens arealer i bygninger og eksempelvis latriner utsettes for lite forstyrrelser under – og etter – avleiring.

Avleiringshastigheten

Hvor raskt eller sakte et kulturlag er avleiret er ytterligere en mekanisme som vil avgjøre et kulturlags opprinnelige bevaringstilstand. Avleiring som foregår over lengre tid vil utsette det organiske materialet for en høyere grad av nedbrytning – akkurat som i en komposthaug. Tilsvarende vil avleiring over kortere tid redusere graden av nedbrytning.

2.2.2 Etter avleiringstidspunktet

Endringer i bevaringstilstanden til et kulturlag vil være avhengig av bevaringsforholdene, og her er hovedfaktorene som følger:

- tildekkingshastigheten (sakte eller rask tildekking)
- avleiringssituasjonen (tørt land eller vann, åpent eller lukket område)
- graden av vannmetning
- ekstern påvirkning (ulike fysiske prosesser)

Tildekkingshastigheten

Et kulturlag som blir liggende utildekket over lengre tid vil være mer utsatt for nedbrytningsprosesser samt for fysiske prosesser i form av forstyrrelser av den eksponerte overflaten som vil resultere i en større grad av nedbrytning. Rask tildekking – særlig kombinert med rask avleiring og en tett struktur – vil gi et kulturlag gode forutsetninger for å bevare dets opprinnelige bevaringstilstand.

Avleiringssituasjonen

Kulturlag avleiret i vann – særlig stillestående, oksygenfattig vann – vil generelt være mye mindre utsatt for nedbrytningsprosesser grunnet beskyttelsen som vann gir. Det finnes, så vidt man vet, ingen prosesser som opphever denne beskyttelsen, og dermed vil bevaringsforholdene ha forblitt mer eller mindre uendrede. Kulturlag avleiret i havneområder kan ha blitt utsatt for forstyrrelser som følge av f.eks. bruken av mudderhake. Dette vil da ha resultert i kulturlag med en åpnere struktur, som er blitt mer utsatt for angrep fra marine organismer, men trolig er det ikke av stor betydning.

For kulturlag avleiret på tørt land vil det derimot være en større sannsynlighet for nedbrytning i tiden like etter avleiring. Dette vil gjelde særlig for åpne områder som gater og gårdsplasser. Ulike fysiske prosesser som menneskelige aktiviteter – fra tråkking av mennesker og dyr, til forskjellige byggeaktiviteter, til fjerning av overliggende kulturlag – vil åpne opp for et større potensial for nedbrytning.

Graden av vannmetning

For kulturlag avleiret på tørt land vil graden av vannmetning være av avgjørende betydning for bevaringsforholdene over tid. At et kulturlag har hatt en tilstrekkelig grad av vannmetning vil komme av to forskjellige årsaker:

- enten at kulturlaget har ligget permanent i grunnvann, eller tett nok til grunnvannsspeilet til å oppnå vannmetning via kapillært sug;
- eller at det har vært nok gjennomstrømning av overflatevann.

Graden av vannmetning vil naturligvis kunne variere opp gjennom tiden som følge av enten fysiske prosesser, f.eks. inngrep som fører til senking av grunnvannsspeilet, eller klimatiske forhold, f.eks. perioder med tørrere klima. Gjennomstrømning av overflatevann vil henge sammen med karakteren til overflaten og hvor permeabel det er, noe som vil regulere tilførselen av overflatevann.

Ekstern påvirkning

Med ekstern påvirkning i denne sammenhengen menes fysiske prosesser hovedsakelig forbundet med menneskelige aktiviteter som har potensial for å endre bevaringsforholdene. Det omfatter ulike typer inngrep:

- grøfting – både gammel og moderne;
- spuntvegger;
- anleggelse av bygg, kjellere og andre typer underjordiske anlegg;
- fjerning av overliggende masser – i både eldre og moderne tider;
- effekten av grunnvannspumper;
- effekten av oppvarming fra bygg og kjellere.

Graden av ekstern påvirkning på et kulturlag vil bestemmes av følgende faktorer:

- hvor nært kulturlaget ligger – både vertikalt og horisontalt – til inngrep som kan ha medført drenering av grunnvannet og/eller større tilgang av luft/oksygen; omfanget av inngrep vil naturligvis være av betydning;
- Tykkelsen på, samt innholdet i, og sammensetningen av, overliggende masser; jo tykkere og jo mer organiske de overliggende massene er, jo bedre beskyttelse vil de stort sett gi.

Det er klart at graden av ekstern påvirkning vil variere fra område til område, og ikke alle faktorer/prosesser vil gjelde for ethvert område. Noen av faktorene/prosessene vil kunne ha veldig lokale effekter – i visse tilfeller innenfor mindre enn én meter (Figur 3 og 4).

De to bildene er fra rett ved utsiden av spuntveggen på Bryggen, og situasjonene er fra bare 1,3-1,5 meter under overflaten – hvilket her vil si fluktusjonssonen. Det øvre bildet (se Figur 3) viser flere stokker som lå under et leire- og steinlag. Stokkene hadde for det meste god bevaringstilstand, noe som skyldes det tette leirelaget. Derimot hadde endene som vendte inn mot spuntveggen (mot kameraet) – som hadde blitt kuttet under anleggelsen av spuntveggen på slutten av 1970-tallet – dårlig bevaringstilstand, siden de har manglet leirelagets beskyttelse og følgelig blitt eksponert for økt nedbrytning som følge av større tilgang av luft. Planken i det nedre bildet (se Figur 4) lå i et porøst lag av sand, grus og småsteiner, og dens bevaringstilstand er karakterisert som veldig dårlig. Årsaken til den store graden av nedbrytning kan knyttes opp mot større tilgang av luft.

Det er identifisering av hvilke faktorer/prosesser som råder i et bestemt område som gir en del av grunnlaget for valg av avbøtende tiltak i forbindelse med nye inngrep. Valget vil også baseres på resultatene fra et eventuelt miljøovervåkingsprogram samt fra en vurdering av type og omfang av inngrepet.



Figur 3: Stokker dekket av et leire- og steinlag (Dunlop, NIKU).



Figur 4: Planke under/i porøst lag av sand, grus og småsteiner (Dunlop, NIKU).

2.3 Erfaringer med avbøtende tiltak

Hvilke erfaringer har vi fra bruk av avbøtende tiltak? Nedenfor følger en gjennomgang av avbøtende tiltak benyttet innenfor middelalderbyene Oslo, Tønsberg, Bergen og Trondheim etter 2009 (se vedlegg 6 for kart).

Fjorårets gjennomgang av norske arkeologiske miljøovervåkningsprosjekter etter 2009 (Halvorsen, Hovd & Martens 2022) har vist at de fleste aktive MOV-prosjektene i de fire store middelalderbyene har vært fokusert på datainnsamling og overvåkning av bevaringsforhold. Det store overvannsprosjektet på Bryggen er det eneste prosjektet som har hatt som hovedmålsetning å forbedre kulturlagenes bevaringsforhold. Heller ikke i de prosjektene hvor det er observert ustabile forhold og aktive nedbrytningsprosesser er det i særlig grad vært igangsatt organiserte avbøtende tiltak. Resultatene fra Grunnvannsprosjektet på Bryggen i Bergen har vist at det er mulig å iverksette avbøtende tiltak for å snu en negativ utvikling. Etter hvert som det nå foreligger større datasett fra flere byer, bør det iverksettes flere aktive handlingsplaner for å bedre bevaringsforhold der vi ser at de er dårlige.

Nedenfor følger en gjennomgang av de prosjektene hvor det har vært satt inn avbøtende tiltak (se Tabell 1). Prosjektene er organisert utfra type avbøtende tiltak, heller enn geografisk tilhørighet. Til sist gjennomgår vi Grunnvannsprosjektet på Bryggen, som er et monumentalt prosjekt hvor det er gjort svært viktige erfaringer.

Lokalitet	Undersøkelse	Bevaring	Avbøtende tiltak	Resultat
Anders Madsens gate 1, Tønsberg	1 årig MOV-program + forundersøkelse med sjakter	Elendig til dårlig, tynne, tørre lag	<i>Ex situ</i> -bevaring / utgravning	Kulturlag dokumentert og fjernet
Storgaten 27, Tønsberg	Dokumentasjon av profiler, MOV-prøver, boring	Negativ utvikling fra 2007 til 2013	Masseutskifting	Ikke undersøkt
Nedre Korskirke-allmenningen, Bergen	Vannprøveserier i miljøbrønner	Negativ utvikling (bl.a. grunnvannspumper)	Infiltrasjon av overvann, «laksetrapp»	Stabilisering
MABYMOV Vågsbunnen, Bergen	Overvåkning i profil (+ 2 MOV-brønner)	Ustabile forhold	Plombering av profil med leire	Stabilisering
Kong Oscars gate, Bergen	Vannprøveserier i miljøbrønner	Negativ utvikling (bl.a. grunnvannspumper)	Infiltrasjon av overvann, «laksetrapp»	Stabilisering
Finnegården 1A, Bergen	Vannprøveserier i miljøbrønner	Negativ utvikling (bl.a. grunnvannspumper)	Infiltrasjon av overvann, «laksetrapp» og basseng	Stabilisering

Lokalitet	Undersøkelse	Bevaring	Avbøtende tiltak	Resultat
Bryggen MOV, Bergen	MOV-program i brønner og profil + +	Negativ utvikling: Uttørring / tap av kulturlag, og utvikling av store setninger	Tetting, senke tempo i vanngjennomstrømming. - offersjikt - regnbed og «swales» - permeable overflater - infiltrasjon av overvann, «laksetrapp»	Stabilisering / forbedring
Øvregaten 19, Bergen	Overvåkning i profil	Negativ utvikling: økt temperatur	Infiltrasjon av takvann under nybygget	Stabilisering / forbedring
Schultzgate Presidentveita, Trondheim	Overvåkning i profil	Ustabile forhold	Infiltrasjon av takvann	Stabilisering
Middelalderparken, Oslo	Utgravning	Dårlig bevaring	Utgravning av lag med dårlig bevaring / <i>ex situ</i>	Kulturlag dokumentert og fjernet
Stavanger domkirke, Stavanger	Utgraving	Dårlig bevaring	Plombering av profil og flater med leire	Pågående

Tabell 1: Oversikt over prosjekt i MA-byer der avbøtende tiltak har vært del av vedtaket.

2.3.1 Utgravning som avbøtende tiltak – *ex situ*-bevaring

Ved Anders Madsens gate 1 i Tønsberg (Bergersen 2014a, Ekstrøm & Bergersen 2009, Halvorsen & Haugesten 2016, Jordahl & Håkonsen 2013) ble det, på bakgrunn av en arkeologisk forundersøkelse og et ettårig miljøovervåkningsprogram, vurdert at kulturlagene hadde for dårlige bevaringsforhold til at de kunne bevares *in situ* under nybygg. Det ble derfor gjennomført en arkeologisk utgravning i forkant av nybygg. Arkeologisk utgravning av kulturlag kan være en type avbøtende tiltak, da det er en løsning for å sikre kunnskapspotensialet i kulturlag som ellers ikke vil kunne tåle *in situ*-bevaring over tid. I dette tilfellet dreide det seg om tynne, tørre kulturlag, hvor det ble vurdert at peling og bygging på kulturlag ikke var en forsvarlig løsning.

I Middelalderparken i Oslo ble det i forbindelse med utgravningen i 2021 søkt om å få totalgrave områder hvor kulturlagene var bevart i en tykkelse på mindre enn 50 cm over naturlig undergrunn. Det ble vurdert at det var lite hensiktsmessig å bevare det som ble værende igjen *in situ* etter graving ned til omsøkt dybde og tillegg for tilføring av leire.

I saker hvor forvaltningsmyndigheten gir dispensasjon med vilkår om arkeologisk utgravning bare ned til den omsøkte gravedybden og ikke hele veien til bunns, vil det kunne resultere i situasjoner hvor mindre partier med kulturlag av begrenset tykkelse blir liggende igjen. Det vil ofte være stor sannsynlighet for at de gjenværende kulturlagene blir utsatt for akselerert nedbrytning – med tap av deres kildeverdi. I slike tilfeller bør det vurderes nøye hvorvidt utgravning – *ex situ*-bevaring – er den beste løsningen.

2.3.2 Masseutskifting som avbøtende tiltak

Tildekking med veiduk og igjenfylling med tette masser er en type avbøtende tiltak som gjøres løpende ved arkeologiske undersøkelser i middelalderby og til en viss grad på kirkegårder. Dette er nå inkludert som rutine ved alle arkeologiske inngrep i middelalderbyene.

Et av prosjektene med et tydelig fokus på avbøtende tiltak, er MOV-prosjektet ved Storgaten 27 i Tønsberg (Petersén & Martens 2011, Halvorsen 2013, Bergersen 2013a). I 2007 ble det gravd opp to grøfter i forbindelse med riving av bygg. Det ble tatt ut 8 jordprøver og dokumentert to profiler. I 2013 ble de samme grøftene gjenåpnet. Det ble tatt ut nye prøver, og profilene ble dokumentert og vurdert på nytt. I tillegg ble det boret et punkt hvor lagene ble beskrevet og dokumentert av arkeolog. Det arkeologiske arbeidets formål var å undersøke og dokumentere automatisk fredede kulturlag, samt grunnvannsnivå, og hvordan disse var blitt påvirket av inngrepene som ble gjort i 2007. Det var også et mål å utføre avbøtende tiltak for å sikre kulturlagene.

Alle kulturlag lå i umettet sone. Tilstanden i kulturlagene i 2013 var vurdert som dårlig til elendig. Undersøkelsene i 2013, sett i sammenheng med forundersøkelsen i 2007, viste tydelig en forringing av bevaringsforholdene i de automatisk fredede kulturlagene. Det later til at nedbrytningsprosessen har akselerert etter inngrepet i 2007. Grøftene ble i 2007 gjenfylt med drenerende masser, som hadde sluppet luft inn i lagene. Disse lagene ble byttet ut med tette masser i 2013. Undersøkelsene i 2007 og 2013 viste en klar negativ utvikling i bevaringsforholdene, noe som viser hvor viktig det er å benytte riktig type fyllmasse, som kan plombere kulturlagene tilstrekkelig.

2.3.3 Offersjikt som avbøtende tiltak

Bruk av offersjikt innebærer at det legges ut et moderne organisk lag over avdekkede kulturlag. Kulturlag som har vært avdekket har blitt tilført noe oksygen, slik at nedbrytningsprosessen akselererer. Ved å legge ut et lag med organisk masse, som treflis, bruker bakteriene det lett tilgjengelige oksygenet opp ved nedbrytning av offerlaget. Kulturlaget under blir beskyttet fordi nedbrytningsprosessen foregår i offerlaget i stedet for i kulturlaget.

Ved lokaliteter på Bryggen ble det i 2002 lagt ut testmateriale av furuflis og jern, for å se på hvor raskt nedbrytningsprosessen foregår i disse lagene. Testmateriale ble hentet ut i 2004 og 2010, sammen med referansemateriale fra kulturlagene. Det moderne testmaterialet viste soppangrep og lavere materialtetthet i treverket både i de øvre jordsjiktene og i lag lenger ned, hvor det er fluktuerende grunnvannsnivå (Gregory & Matthiesen 2006, Matthiesen & Hollesen 2011, 2012, 2013, 2018, Dunlop 2008a, 2008b, 2011, 2012, Rytter & Schonhowd 2015). I forbindelse med etablering av Infiltrasjons- og Transportsystemet for vann på Bryggen (I/T-systemet) ble det etablert trinnvise infiltrasjonsgrøfter, med bentonittdemninger som «laksetrapp». I bunnen av disse grøftene ble det lagt ut et offersjikt av treflis/-spon nede mot overgangen til kulturlag (Figur 5).



Figur 5: Oversikt av treflis/-spon på bunnen av I/T-system-grøft, Bryggen (Dunlop, NIKU).

2.3.4 Plombering av kulturlag i profil som avbøtende tiltak

Grøftesikring og profilsikring er generelt svært viktige avbøtende tiltak (Martens 2017:133). Plombering av avdekkede strukturer og kulturlag inngår nå som en viktig del av alle arkeologiske undersøkelser der kulturlagene skal bevares *in situ*.

Det var per rapportering i 2020 ingen MOV-prosjekter i Oslo hvor avbøtende tiltak har vært en spesifisert målsetning ved prosjektet. I Follobaneprosjektet er det observert at tildekking av kulturlag med leire kan stabilisere kulturlag i overvåket profil. I Arkeologigropa ble observert en tydelig effekt av at profilene ble skjermet ved å pakke dem med et tjukt lag (30–90 cm nedover i profil) ikke-marin blåleire. Dette stabiliserte både temperatur og fuktinnhold i lagene veldig raskt etter tildekkingen (Halvorsen, Hovd & Martens 2022). Tilsvarende tildekking ble gjennomført av profiler med bevarte kulturlag støtende opp mot de utgravde arealene ved Follobanen, samt i forbindelse med utgravninger ved realisering av reguleringsplan for Bispegata (Derrick 2015, Hovd 2019, Derrick et al. *in prep*).

Allerede ved VAV-prosjektet i Arupsgate i Oslo i 2007 ble det benyttet leire til å sikre profilene i hovedsjakten lengst ned mot Oslogate, mens det ble benyttet leire som forsinkende element i vanngjennomstrømming i de mindre sjaktene opp igjennom gateløpet (Martens 2010). Det ble ikke installert overvåkingsutstyr i dette prosjektet, men det ser ut til at profilsikring og leirplomber har hatt effekt, for det er ikke oppstått større setnings-skader rundt inngrepene.

Ved prosjektet «Middelalderparken» ifm. Follobanen i 2021 ble gjenværende kulturlag etter utgraving til spesifikke omsøkte dybder plombert med leire. Store områder ble ved denne utgravningen undersøkt ned til en fastsatt kote, og det ble avdekket kulturlag som ble vurdert som dårlig til svært dårlig bevart. De øvre liggende kulturlagene ble vurdert som å allerede være i ferd med å gå tapt. I deler av området ville den fastsatte dybden for utgraving etterlate et tynt lag med moderne masser over kulturlagene, og andre steder uten tilstrekkelig rom til å fylle på ikke-marin leire. Det ble søkt tillatelse fra Riksantikvaren om å grave dypere enn det tiltakshaver hadde behov for og prosjektert for. Dette ble innvilget, og en utgraving av kulturlag som viste tegn på aktiv nedbrytning og som var dårlig bevart ble gjennomført. Dette ga dermed mer plass til å legge på et tykkere lag med ikke-marin leire, 25–30 cm. Dette ble gjort som et avbøtende tiltak mot videre forringelser av *in situ*-bevarte kulturlag, og for å utbedre de dårlige bevaringsforholdene som truer kulturlagene. Forholdene i de gjenværende plomberte kulturlagene vil måles ved to målepunkter hvor det er installert sensorer i kulturlagsprofiler i en femårs periode.

I Vågsbunnen i Bergen (MABYMOV) er det observert god effekt av å tildekke en profil med leire. Miljøprofil B2 ligger i krysset mellom Kong Oscars gate 18 og Øvre Korskirkeallmenningen 1. Profilen ble avdekket ved de arkeologiske undersøkelsene knyttet til bosnett-prosjektet. Profilen er tilstandsvurdert av arkeolog og det er tatt ut jordkjemiske prøver. Sensorer ble installert i juli 2018. I profil B2 er bevaringstilstanden svært varierende. De øvre lagene ligger i umettet sone, mens de nederste ligger i fluktusjonssonen. Begge miljøbrønnene i nærheten viser ustabile bevaringsforhold, mens profilmålingene viser at tildekkingen med leire etter installasjon av sonder har bidratt til forbedring av forholdene sammenlignet med jordprøvene tatt i forkant av installasjonen. Ettersom kulturlagene her ligger dels i umettet sone, dels i fluktuerende sonen og periodevis er dekket av grunnvann, vil man normalt anse dem som mere sårbare enn kulturlagene i tilknytning til brønnene, som er i mettete sone. Likevel viser målingene at det er størst stabilitet i B2 (Halvorsen, Hovd & Martens 2022; Martens et al. 2019, 2020, 2021).

Ved utgravningene Stavanger domkirke (NIKU prosjekt 1021779) var det også prosjektert for avbøtende tiltak i form av tildekking med ikke-marin leire for alle eksponerte kulturlagsflater og -profiler i kirkens krypkjeller. En slik plombering av kulturlag med ikke-marin leire ble gjennomført etter hvert som undersøkelsene i de ulike kamrene i krypkjelleren ble ferdigstilt. Leiren ble lagt på i 5 cm sjikt inntil 15 cm tykkelse var oppnådd. Dette ble vurdert som nødvendig metode for dette prosjektet, da det var skjelettmaterialer/graver som skulle tildekkes. Utlegging av leire i tynne sjikt som så ble komprimert

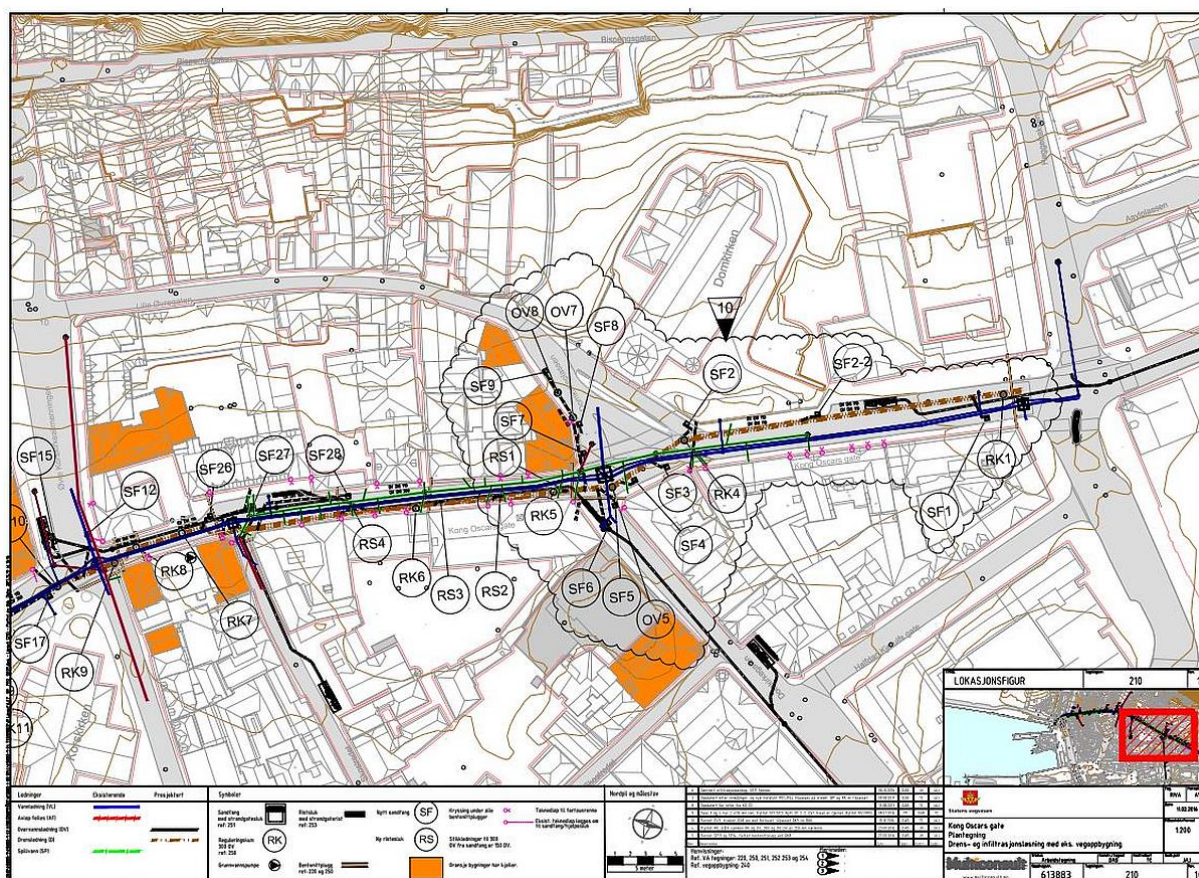
manuelt, skulle redusere belastningen på kulturlag og skjeletter. Etter endt tildekking overvåkes tilstanden til kulturlag i fire miljøprofiler i fem år (Ødeby et al. 2022, Hovd in prep).

2.3.5 Infiltrasjon av over-/takvann som avbøtende tiltak

Infiltrering av overvann ned i kulturlagene kan øke metningsgraden i kulturlagene og dermed senke oksygentilgangen og hemme nedbrytningsprosessene. Det er likevel flere potensielle problemer knyttet til det tilførte vannets sammensetning, slik som saltinnhold og oksygeninnhold (Dunlop 2011, Haarstad 2013, Hollesen & Matthiesen 2012, 2015, Matthiesen 2007, 2008a, 2008b, 2010, 2016).

I gjennomgangen av bevaringstilstand for kulturlagene i Vågsbunnen understrekes det at kontroll med grunnvannstanden er nøkkelen til fortsatt bevaring av kulturlagene fremover (Dunlop 2015b). Grunnvannsprosjektet på Bryggen har vist dette (Rytter & Schonhowd 2015), og Bergen har vært en foregangsby når det gjelder å implementere denne kunnskapen i forvaltningen av kulturlagene. I Norge er det ellers ikke etablert så mange prosjekter hvor bevisst vannhåndtering inngår som avbøtende tiltak.

I Bergen har man gode erfaringer med etablering av infiltrasjons- og transportsystem for vann (I/T systemet). Dette er systemer som med hell har vært etablert som del av Grunnvannsprosjektet på Bryggen og i Kong Oscars gate, Vågsbunnen. Dette er en helhetlig måte å jobbe med vannhåndtering, slik at overvannet ledes ned i grunnen og ned i kulturlagene i et passe raskt tempo.



Figur 6: Infiltrasjonssystem for deler av Kong Oscars gate (Multiconsult).

Kong Oscars gate, Bergen

I forbindelse med graving av grøfter og diverse hull langs hele Kong Oscars gate fra krysset med Vetrilidsallmenningen til krysset med Nygaten og Heggebakken 2016-2018 (Jensen 2012, Haarstad 2013, Bergersen & Nytrø 2014, Bergersen 2013b, 2015, 2018), ble det anlagt et omfattende system for infiltrasjon av overvann kombinert med en rekke tverrgående bentonittdemninger og korte miljøbrønner for å måle vannstanden (se Figur 6).

Bruken av disse avbøtende tiltakene var basert på følgende:

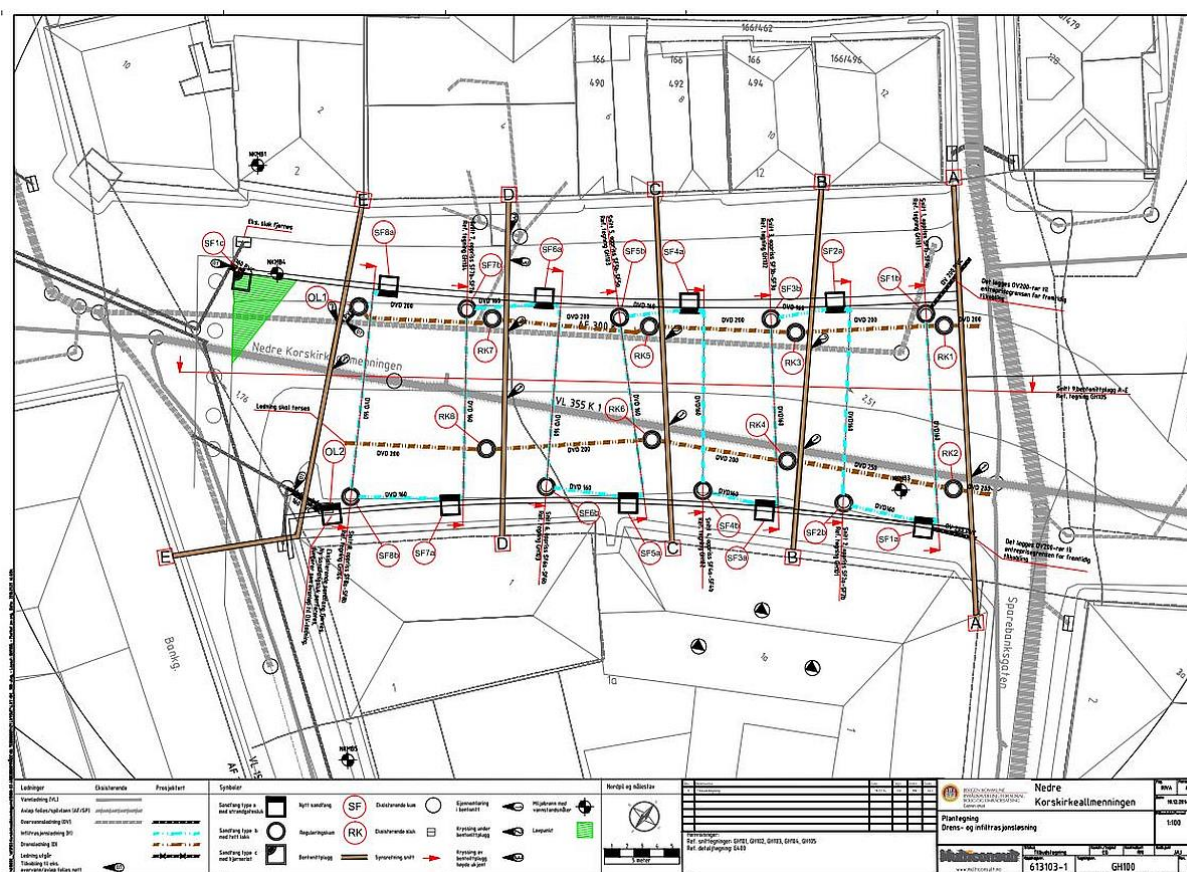
- data fra forutgående miljøovervåking (jf. Bergersen & Lorvik 2013);
- at grøftene vil være langsgående gjennom hele Kong Oscars gate, og dermed ha potensial for å drenere kulturlagene;
- at langs strekningen finnes det bygninger med grunnvannspumper som bidrar til å senke grunnvannsstanden.

Nedre Korskirkeallmenningen, Bergen

I 2016 ble det etablert anlegg for infiltrasjon av overvann kombinert med «grunnvannssprang» ved hjelp av bentonittdemninger som krysser allmenningen for ca. hver 0,25 meter endring i terrengoverflaten – etter «laksetrapp»-systemet (se Figur 7). Infiltrasjon av overvann fungerer her som en type avbøtende tiltak, og formålet er for det ene å sikre mot at jordmassene mister volum, og for det andre å bidra til bedre bevaring av de etterreformatoriske kulturlagene – som i sin tur skal bidra til å beskytte de middelalderske kulturlagene og konstruksjonene (Dunlop 2017a). Det er etablert en rekke miljøbrønner i forbindelse med overvåking av influensområdet (Bergersen & Dunlop 2011, Dunlop 2016b, Haarstad 2013, Jensen 2016, Dunlop, Hobæk & Lorvik 2016).

Bruken av avbøtende tiltak var basert på to faktorer:

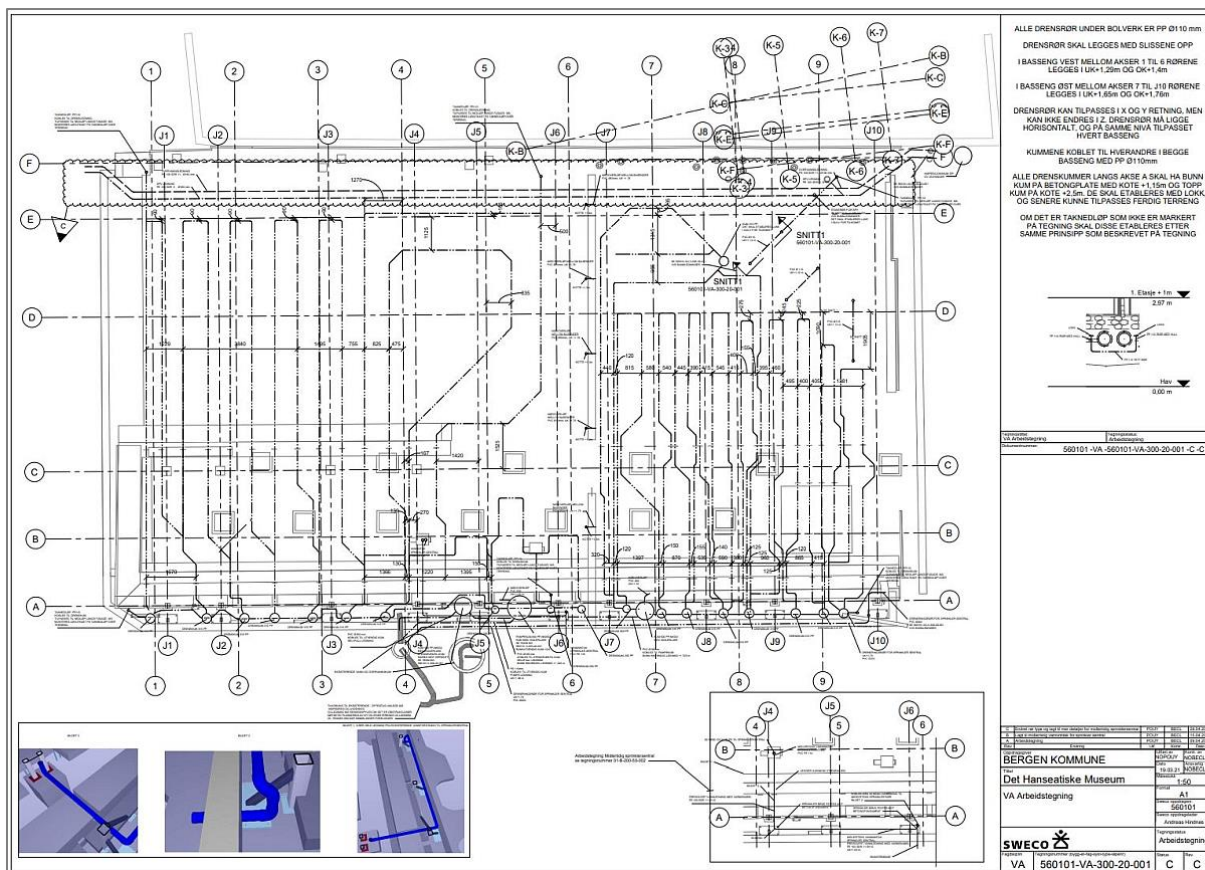
- tilstedeværelse av eksisterende langsgående grøfter som medfører risiko for drenering av grunnvann nedover mot Vågen;
- og tilstedeværelse av grunnvannspumper i noen tilgrensende bygninger.



Figur 7: Infiltrasjonsgrøfter og bentonittdemninger på Nedre Korskirkeallmenningen (Multiconsult).

Øvregaten 19, Bergen

Under et nybygg fundamentert på peler bak Øvregaten 19 – som ligger ovenfor Bryggen – er det satt i gang vanninfiltrasjonstiltak, slik at takvannet ledes ned i grunnen (se Figur 8). I dette prosjektet er det gjennomført miljøovervåking i profil. Målinger her viser viktigheten av infiltrasjon av regnvann for å stabilisere eller til og med bedre bevaringsforholdene (Halvorsen, Hovd & Martens 2022, Dunlop 2017b, Bergersen 2013b).



Figur 9: Infiltrasjonssystem for Finnegården 1A, Det Hanseatiske Museum (Sweco).

Schultzgate – Presidentveita, Trondheim

Også i Trondheim har MOV-prosjektet i Schultzgate – Presidentveita vist at økt vanninnhold i kulturlagene kan ha en positiv effekt på bevaringsforholdene. Det ble overvåket kulturlag i to profiler. Profil Nord ga måledata fra utsiden av nytt bygg, mens det fra Profil Sør ble logget fra under nybygg. Jordfuktigheten i kulturlagene i Profil Nord og Profil Sør var stabile, men det ble påvist generelt høyere jordfuktighet i Profil Nord utenfor nybygg (omkring 48–50 %) over alle år, sammenlignet med Profil Sør (omkring 36–40 %). Økningen er trolig som følge av store nedbørsperioder i 2017, og at infiltrasjon av takvann ned i kulturlagene har virket positivt. På grunn av utstyrssvikt kan ikke NIBIO si med sikkerhet om ekstra infiltrasjon av regnvann fra tak har fordelt seg i hele profilen (Petersén & Bergersen 2016, Bergersen 2020, Halvorsen, Hovd & Martens 2022).

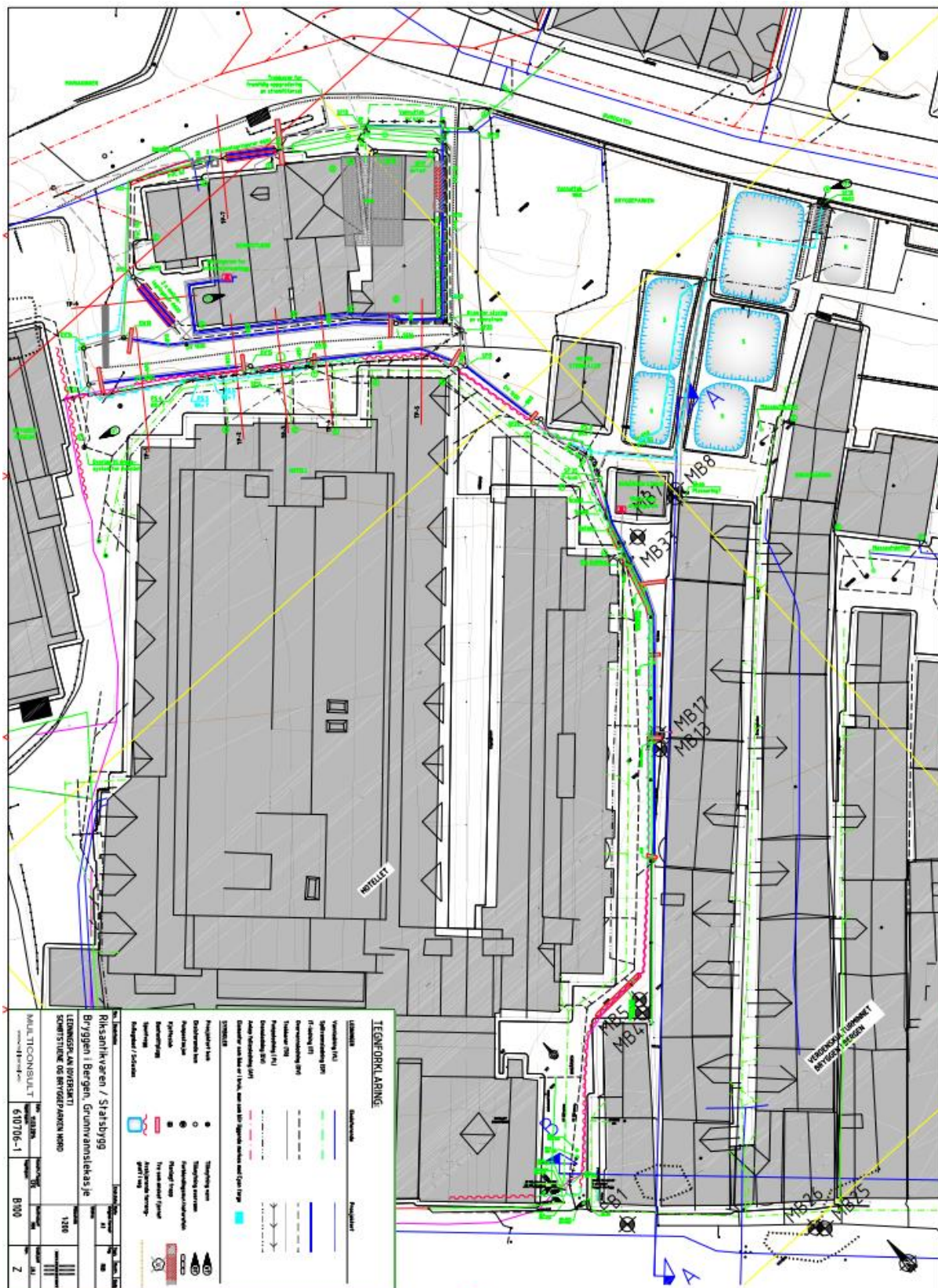
2.3.6 Beskytte etterreformatoriske kulturlag som avbøtende tiltak

I en sammenstilling av resultater om bevaringstilstanden til kulturlag i Vågsbunnen-området per 2012 (Dunlop 2015) ble den generelle bevaringstilstanden til henholdsvis etterreformatoriske og middelalderiske kulturlag sammenlignet. Det viste seg at de høyereliggende nyere tids og etterreformatoriske kulturlagene er mest utsatt for nedbrytning. De optrer som en buffer og bidrar til å beskytte de middelalderiske kulturlagene. Om man mister kulturlag fra renessanse og nyere tid, mister middelalderlagene sin beskyttelse og er umiddelbart sterkere truet av nedbrytning. Å beskytte og sørge for stabile forhold også for etterreformatoriske kulturlag er en type avbøtende tiltak som bør brukes mer aktivt.

Nedre Korskirkeallmenningen, Vågsbunnen i Bergen – omtalt tidligere – er et eksempel hvor dette ble gjort (Bergersen & Dunlop 2011, Dunlop 2017a).

2.3.7 Grunnvannsprosjektet på Bryggen i Bergen: Eksempel på avbøtende tiltak

Det største systemet med avbøtende tiltak som er blitt gjennomført i Norge er i og omkring Verdensarvstedet Bryggen (se Figur 10).



Figur 10: I/T-systemet, Bryggen (Multiconsult AS).

På Bryggen i Bergen ble det i 2011 igangsatt en storstilt redningsaksjon for å sikre både de arkeologiske kulturlagene og den gamle bebyggelsen (Rytter & Schonhowd 2015). Miljøovervåkningsprosjektene på Bryggen har pågått i perioden 2001–2022. Mellom 2001 og 2021 har det blitt installert 49 miljøbrønner, én multinivåbrønn, tre dype fjellbrønner, samt noen andre observasjonspunkter, for overvåkning i mettet sone. I tillegg har det vært etablert miljøprofil for overvåking i både mettet sone og i fluktusjonssone. Grunnvannsprosjektet på Bryggen i Bergen er det største samlede miljøovervåkningsprosjektet innen norsk arkeologi. Prosjektet innebar både innsamling og analyse av en enorm datamengde gjennom mer enn 20 år, og gjennomføring av en serie avbøtende tiltak og dokumentasjon av virkningen av disse (Rytter & Schonhowd 2015, Matthiesen 2016).

I 2011 ble det lagt fram en ny overvåkingsplan for kulturlagene på Bryggen, i samarbeid med NGU, Multiconsult og Nationalmuseet (de Beer & Matthiesen 2011, de Beer et al. 2012). Problemer med økt nedbrytning som følge av senket grunnvannsstand og økt oksygeninnhold i grunnen førte over tid til økende setninger i grunnen og i den fredete trehusbebyggelsen. Ved å etablere et overvåkingssystem i kulturlagene under Bryggen ønsket man å få oversikt både over nåværende situasjon og en mulighet for å dokumentere effekten av framtidige tiltak. Det overgripende målet var å hindre nedbrytning av organiske kulturlag ved å etablere et høyt grunnvannsnivå, med mest mulig stillestående, oksygenfritt vann. I tillegg var det ønskelig å redusere grunnvannstemperaturen til cirka 9°C (Hollesen & Matthiesen 2011). For å bedre bevaringsforholdene ble det igangsatt tiltak for å senke tempo på vanngjennomstrømning og reetablere et høyere grunnvannsnivå i kulturlagene. De avbøtende tiltakene inkluderte tetting av spuntveggen rundt hotellet og økt lokal overvannshåndtering med infiltrasjon av regnvann fra overflater og tak (Hollesen & Matthiesen 2012).

Resultatene fra Grunnvannsprosjektet på Bryggen bekreftet at økt vanninnhold i jordlagene bedrer bevaringsforholdene. Observasjoner fra Bryggen har vist at oksygen oppløst i regnvann i stor grad blir redusert før den når ned til kulturlagene. Det har også vært vurdert hvordan sulfatrikt sjøvann påvirker nedbrytningsprosessen (Hollesen og Matthiesen 2012). Endrede vannstrømningsmønstre og drenering av områder tilgrensende spuntveggen var en stor utfordring i Grunnvannsprosjektet på Bryggen (Matthiesen 2005). Selve spuntveggen viste seg ikke å ha en stor effekt på omkringliggende lag, problemene var knyttet til at spunten var utett, slik at vanngjennomstrømningen var stor.

I 2015 ble det klarlagt at infiltrasjonsprosjektet har forbedret forholdene i mettet sone i de mest kritiske områdene, og grunnvannskomposisjonen har blitt mer homogen over hele Bryggen (Matthiesen 2012, 2014, 2016, Rytter & Schonhowd 2015). Generelt har bevaringsforholdene blitt forbedret. Kun området ved kaifronten har sterkt avvikende grunnvannsforhold, på grunn av høyt sjøvannsinhold. Før heving av grunnvannsnivå ble det målt oksygen i den øverste 1 m i fluktusjonssone i overvåket profil, og tidvis også lenger ned. Etter grunnvannshevingen var det ikke sporbart oksygen under 1 m. Også de øvre lagene har hatt god nytte av hevingen av grunnvannsstanden, selv om forholdene der har vært mer varierende.

Utgangspunktet for løsningene som ble valgt var at det skulle være bærekraftig og enkelt, med lite vedlikehold i fremtiden. Følgende avbøtende tiltak ble gjennomført for å heve grunnvannsnivået på Bryggen:

- Kontroll og reparasjon av rør og kummer tilknyttet overvannshåndtering, vann- og avløp.
- Kontroll og reparasjon av sprekker og hull i spuntveggen (se Figur 11).



Figur 11: Tetting av staghull (Dunlop, NIKU).

- Heving av grunnvannsnivå innenfor spuntet område, ved hjelp av heving av nivå for utløp av dreneringssystemet fra garasjen under hotellbygget. Grunnvannspumper anlagt to steder innenfor spuntet område benyttes også til å tilføre vann til I/T-systemet på utsiden av spuntveggen ved behov.
- Etablering av et I/T-system (Infiltrasjon og Transport) utenfor spuntveggen rundt hotellbygget samt på Schøtstuene-området. Infiltrasjonsgrøfter med perforerte rør og fylt med lecakuler (se Figur 12), og med et lag treflis/spon langs grøftebunnen som et «offerlag» (se Figur 5). Grøftene er koblet til taknedløp fra omkringliggende bygg – til og med Mariakirken – og med trinnvise bentonittdemninger (se Figur 13), med drikkevann som backup vannkilde. Dette er kjernen i systemet. Den opprinnelige planen var at deler av funksjonen til I/T-systemet skulle styres fra et styringsrom i kjelleren til én av Schøtstuene-bygningene, men rommet er ikke blitt operativt ennå, og det arbeides med en revidering av funksjonen til rommet.



Figur 12: Oppbygging av I/T-grøft, Bryggen (Dunlop, NIKU).



Figur 13: Bentonittdemning, Bryggen (Dunlop, NIKU).

- Anleggelse av to regnbed og to «swales» (grunne forsenkninger i de to grønne områdene bak Bredsgården) som fanger opp regnvann som infiltreres sakte ned i grunnen, eller videreføres til I/T-systemet dersom det er mye nedbør (se Figur 14).



Figur 14: Regnvannshager og swales, Bryggen (Dunlop, NIKU).

- Anleggelse av to nedgravde vanntanker (se Figur 15) samt flere større mellomlagringsrør (se Figur 16) på Schøtstuene-området for lagring av vann for å sikre jevn infiltrasjon i høyereliggende områder bak Radisson Blu hotellet.



Figur 15: Nedgravde vanntanker, Schøtstuene (Dunlop, NIKU).



Figur 16: Mellomlagringsrør, Schøtstuene (Dunlop, NIKU).

- Utskifting av tette overflater (for det meste brosteinsdekke) med permeabelt brosteinsdekke for å muliggjøre infiltrasjon av vann ned i grunnen (se Figur 17).



Figur 17: Etablering av permeabel overflate (Dunlop, NIKU).

Etter et opphold i rapportering og aktiv drift av Bryggen MOV, har prosjektet blitt reetablert og det rapporteres årlig fra de aktive miljøbrønnene samt fra prøvehullet bak Nordre Bredsgården. Det foretas årlig analyse av vannprøver samt kontrollmåling av en rekke fastpunkter på terreng og bygg for å følge med i utviklingen av setninger. Siste statusrapport er fra 2022 (Dunlop et al. 2022).

Grunnvannsmålinger og setningsmålinger indikerer at de avbøtende tiltakene har hatt positive effekter, men i lengre perioder uten nedbør faller grunnvannsstanden og luft kan trenge ned i kulturlagene. For å oppnå optimal effekt må det derfor etableres en mer permanent tilførsel av vann, og for tiden arbeides det med forskjellige mulige løsninger.

2.3.8 Erfaringer med avbøtende tiltak – oppsummering og konklusjon

Plombering av kulturlag, med bentonitt og/eller leire, og gjenfylling med tette masser, utføres rutinemessig ved gjenlegging etter arkeologiske undersøkelser der kulturlag blir stående igjen i grøfter og utgravningsfelt. Dette er tiltak som har umiddelbar effekt, og som utføres med relativt enkle midler. Etablering av offersjikt er også en type enkle, umiddelbare tiltak som kan innføres som en rutine ved gjenfylling av grøfter. Foreløpig har dette kun vært benyttet i forbindelse med I/T-systemet for Verdensarvstedet Bryggen, som en del av metodeutprøving. Vanninfiltrasjon kan gjennomføres på flere måter og inngå i mer omfattende, langsiktige virkemidler, og har vist seg å ha god effekt.

Langsiktige avbøtende tiltak bør planlegges god tid i forkant av prosjektene, slik at de kan innarbeides og tilpasses hver enkelt lokalitet. Resultatene fra Bryggen i Bergen har vist hvor viktig det er å skreddersy virkemidlene i forhold til behovene, og at man bør ha en god forståelse av hvilke negative

prosesser som virker på kulturlagene, for å kunne avbøte disse. På Bryggen har en stor tiltakspakke av flere enkelttiltak vist seg å ha svært god effekt sammen.

Bevaring av etterreformatoriske kulturlag *in situ* (f.eks. i Nedre Korskirkeallmenningen, Vågsbunnen) er en alternativ måte å sikre bevarings forhold i middelalderske kulturlag som bør vurderes når det er aktuelt. *Ex situ*-bevaring, bevaring gjennom undersøkelse og dokumentasjon, må inkluderes som en type tiltak der bevaringsforholdene er for dårlige til at kulturlagene kan tåle belastningen som følger utbygging og lignende.

Arkeologisk miljøovervåkning er fortsatt et relativt ungt fagfelt i Norge. Det er foreløpig svært få saker, utenom Bryggen i Bergen, der man har satt inn større avbøtende tiltak som et resultat av at målinger og observasjoner viser dårlige og/eller forverrede bevaringsforhold. Vi opplever at tiltakshavere etterspør hvilke konsekvenser miljøovervåkning kan ha, både praktisk og økonomisk. Både kulturminnemyndigheter og tiltakshavere vil ha nytte av at det er forutsigbart hva miljøovervåkning kan innebære. Det bør derfor være et økt fokus på å forbedre ustabile og dårlige bevaringsforhold.

Ettersom det har vært utført et begrenset antall prosjekter med avbøtende tiltak i Norge, vil det være nyttig å inkludere andre lands erfaringer. Rose-teatret, oppdaget i 1989, er en struktur av treverk som sitter på alluvial London-leire med begravd torvbed. Begge lagtyper er eksepsjonelt utsatt for å sprekke og setningsskader når vanninnholdet faller. Det er nå bevart *in situ* og overvåket for å sikre at stedet forblir vannmettet, noe som betyr at det har blitt overvåket i over 20 år. Det har oppstått spørsmål om behovet for en langsiktig plan for bevaring, og ønsket om å gi publikum tilgang til det viktige førreformatoriske teateret. Membraner, sand og ugjennomtrengelige lag brukes for å bevare stedet. Tjue år med overvåking har vist at den beste bevaringsstrategien er å gjeninnføre forholdene som opprinnelig bevarte stedet, i dette tilfellet gjennom vannmetning, og ugjennomtrengelig materialer som begrenser eksponeringen for lys (Corfield, 2012). Som på Bryggen er opprettholdelse av vannmetningen som muliggjorde bevaring av lagene den viktigste enkeltmetoden for å bevare arkeologiske organiske rester.

Som Roseteateret og Bryggen-sakene viser, krever *in situ*-bevaring langsiktig planlegging og samarbeid. Langsiktige planer trenger overvåkingsdata for å sikre at beslutninger er kunnskapsbaserte, og må være i stand til å svare på langsiktige faktorer, som klimaendringer og lokale endringer i arealbruk.

2.4 Forslag til nye avbøtende tiltak

I tillegg til eksisterende avbøtende tiltak foreslår vi at følgende nye avbøtende tiltak kan vurderes.

2.4.1 Marktrykk

Det er generelt tilrådelig å sikre at trykk fordeles ut over størst mulig flate for å minske risiko for komprimering av underliggende lag. Hvor mye trykk et kulturlag tåler, varierer i forhold til lagenes sammensetning og bevaringstilstand.

Komprimeringsskader er permanente, og noen typer lag er mer utsatt enn andre, f.eks. organiske lag, siltholdig lag, og marktrykk bør derfor vurderes. De fleste komprimeringsskader skjer når tungt kjøretøy kjører på bløtt underlag, og vil minske lesbarheten av lagene. Dette reduserer muligheten til å tolke arkeologiske kontekster, og dermed reduseres deres kulturhistoriske verdi (Fritz et al 2020).

Leskovar og Bosiljkov (2016) har utført kontrollerte eksperimenter for trykk- og vibrasjonskomprimering på et eksperimentelt laboratoriebaseret arkeologisk felt, og de fant at komprimeringsskader varierte avhengig av sedimenttype og type trykk/vibrasjon, fuktighetsinnhold, og om et beskyttende lag ble plassert over de arkeologiske lagene. Alle eksperimenter resulterte i skade og/eller bevegelse av gjenstander og lag, selv med et beskyttende lag på plass. Det må tas hensyn til å avbøte skadene anleggsarbeid kan ha på *in situ*-bevaring av kulturlag. Det er behov for forskning på

hvordan ulike lagsammensetninger reagerer på kompresjonsskader, og hvordan man kan redusere denne skaden. Bruk av lastfordelende lag er essensielt, og det må tas hensyn til vibrasjonsskader (f.eks. ved peling og annet anleggsarbeid), som ifølge Leskovar og Bosiljkov (2016), kan ha større påvirkning enn direkte trykk.

2.4.2 Fyllmasser ved igjenfylling

Som egnet masse til igjenfylling etter gjennomførte tiltak, enten det dreier seg om bygningsmasser eller infrastrukturprosjekter, velges av tiltakshaver ofte grov pukk. Vi har anbefalt bruk av ikke-marin blåleire som profilsikring, og om slike tiltak gjennomføres, kan man fylle igjen med nesten hva som helst. Erfaring viser tydelig hvilken stabiliserende effekt ikke-marin blåleire har på *in situ*-bevaring. Et annet alternativ er igjenfylling med oppgravd stedelig masse, om disse lag er tilstrekkelig fuktige og kompakte til å sikre de inntil liggende kulturlag.

I Stavanger Domkirke er det nylig benyttet glasopor som fyllmasse under kirkegulvet, etter at alle profiler var sikret med leire. Dette prosjektet overvåkes, og det er ennå for tidlig å uttale seg om materialets egnethet, men det vil antakelig komme flere forslag om å benytte den typen gjenbruksmaterialer med lav egenvekt også i fremtidige prosjekter.

Om det ikke er praktisk mulig å benytte leire, bentonitt eller geotekstil med bentonittmembran, må man tenke annerledes. Eksempelvis kan helt fin og kompakt sand som vannmettes utgjøre en mye bedre fyll (og sikring av tilstøtende lag) enn løs pukk.

2.4.3 Frysing av grunnen

Frysing av grunnen kan være en ekstrem – og ikke særlig bæredyktig – variant av avbøtende tiltak. Metoden brukes vanligvis for å stabilisere grunn som kan svikte eller for å hindre spredning av forurensning. Imidlertid kan det tenkes at det kunne være aktuelt å anvende metoden under visse omstendigheter i områder med organiske kulturlag – f.eks. som demning for å opprettholde grunnvannsstanden. Ulempen kan være at dannelsen av iskrystaller vil skade artefakter og økofakter. Uansett vil det kun kunne være et midlertidig avbøtende tiltak.

2.5 Oppsummering: Avbøtende tiltak

Det er etter hvert blitt høstet gode erfaringer med bruken av og effektiviteten til ulike avbøtende tiltak, og overføringsverdi mellom middelalderbyene og innenfor hver by er stor. Det finnes allerede en rekke utprøvde metoder, og disse kan brukes enten enkeltvis eller i forskjellige kombinasjoner for å få til noe som er optimalt skreddersydd for den aktuelle situasjonen. Med tiden, og mer kunnskap, kan nye metoder utvikles.

Organiske kulturlag er sårbare. Årlig er det av ulike årsaker tap av verdifulle kulturlag. Avbøtende tiltak kan bidra til å sikre bevaringen av disse uerstattelige kulturhistoriske ressursene. Vurdering av behov for avbøtende tiltak bør gjøres så tidlig som mulig i saksbehandlingen. Når forvaltningsmyndigheten sender anmodning om tilrådning for saker hvor inngrep kan påvirke organiske kulturlag, må institusjonen som skal utarbeide tilrådingen vurdere behovet for riktig type avbøtende tiltak. Det vil da danne ett av vilkårene for en eventuell dispensasjon.

3 Peling og bygging på kulturlag

I dette kapitlet skal vi ta for oss erfaringer med peling på kulturlag, og i forlengelsen av dette bygging på kulturlag generelt. Peling på kulturlag er et svært viktig tema i kulturminneforvaltningen av middelalderbyene. Til tross for dette, er det lite data som har blitt akkumulert om emnet i Norge etter 2010 (se kart vedlegg 6.1). Gjennomgangen av norske miljøovervåkningsprosjekter etter 2010 i de fire store middelalderbyene (Halvorsen, Hovd & Martens 2022) har vist at det kun er en håndfull prosjekter hvor det er innhentet data fra tiltak hvor det har vært pelet gjennom kulturlag. I disse prosjektene har effektene av peling vært underkommunisert i forhold til andre faktorer som også påvirker bevaringsforholdene i kulturlagene, slik som tildekking av kulturlag, varmetransport fra bygg og dype kjellere og grunnvannspumper i omkringliggende arealer. I tillegg har nesten alle de aktuelle prosjektene vært påvirket av tekniske problemer, utstyrsvikt og utstyr ødelagt av anleggsarbeider. Det må derfor tas forbehold om enkelte feilkilder i datasett og at en del måleserier er sterkt avkortet.

Ettersom miljøovervåkning som virkemiddel ofte iverksettes i forbindelse med dispensasjonssaker for utbygging, preges måledataene av for korte måleperioder. Problemstillingene i denne type prosjekter har i stor grad vært rettet mot direkte observasjon av konsekvenser av oppføring av nybygg og anleggsarbeid, gjerne med målinger under og utenfor bygg. Dette påvirker hvordan dataene tolkes, og konklusjonene i MOV-prosjektene har i stor grad fokusert på effekten av selve bygget. Langtidseffekten av gjennomhulling av kulturlagene blir ikke nødvendigvis synliggjort i disse prosjektene.

Innhenting av erfaringer omkring peleproblematikk burde ideelt sett både inkludere lange overvåkingsserier hvor bevaringsforhold i kulturlag påvirket av peling kan vurderes over lang tid, og kontrollgraving av kulturlag som har vært utsatt for peling. Ingen av MOV-prosjektene i perioden 2010-2022 har inkludert kontrollgraving av kulturlag i etterkant. Dette er en type problematikk som det i liten grad har vært vurdert i forbindelse med forvaltningsarbeidet. Problemstillingen bør løftes i fortsettelsen.

MOV-prosjektene som direkte kan knyttes til peling på kulturlag etter innføringen av Norsk standard i 2009 er; Nedre Langgate 43 og Storgaten 30–32 i Tønsberg, Øvregaten 19 i Bergen, Dronning Eufemias gate (DEG) i Oslo, og Schultz gate og Søndregate 7–11 i Trondheim.

Erfaring fra undersøkelser siden 2010 hvor peling er anvendt har vist at det er forskjell i hvordan pelingen påvirker bevaringsforholdene i kulturlagene avhengig av om kulturlagene ligger i mettet, umettet eller fluktuerende sone. Vi ser en tendens til at kulturlag i mettet sone har bedre tåleevne ved bygging på kulturlag enn det kulturlag i umettet sone har. I umettet sone kan det se ut til at kulturlagenes sammensetting er enda viktigere for hvor sårbare kulturlagene er, jvf. resultatene fra Søndre gate i Trondheim (kap. 2.1).

3.1 Umettet sone

De ovenfor nevnte prosjektene fra Trondheim og Bergen inkluderer profiler i umettet sone. Ved Nedre Langgate 43 i Tønsberg ble det både etablert en profil i umettet sone og miljøbrønner i mettet sone.

I prosjektet **Schultz gate** ble det etablert et MOV-prosjekt i forbindelse med realisering av en reguleringsplan for kvartalet Schultz gate, Munkhaugveita, Presidentveita og Munkegata. Det ble etablert to MOV-profiler i Schultzgate; Profil Nord (utenfor bygg) og Profil Sør (under nybygg), med femårig overvåkningsprogram (2012-2017). Miljøovervåkingen av kulturlagene skulle sammenligne miljøforhold i kulturlag under og utenfor nybygg over tid som grunnlag for å vurdere bevaringsforholdene etter utbygging. Effekten av peling på kulturlag ble ikke direkte adressert i vurderingen av MOV-dataene. De undersøkte kulturlagene viste for Profil Nord stabile og gode bevaringsforhold i alle lag, mens det for Profil Sør var dårlige til elendige bevaringsforhold. Det må tas høyde for at det var noen problemer med utstyr som ga upålitelige data i løpet av prosjektet. I

utgangspunktet var det lite forskjell i målte temperaturer i de to profilene, men i løpet av overvåkingsperioden steg temperaturen mer i Profil Nord enn i Profil Sør. Gjennomsnittstemperatur i kulturlagene under bygningen ble stabilisert under 10°C, mens temperaturen i lagene utenfor bygningen økte. Jordfuktigheten i kulturlagene i begge profiler var stabile, men det ble påvist generelt høyere jordfuktighet i Profil Nord utenfor nybygg. Stabil høy fuktighet henger ofte sammen med hvor gode bevaringsforhold man har og hvilket redokspotensiale som oppstår i kulturlagene. Redoksforholdene i Profil Nord var stabile gjennom det meste av overvåkingsperioden. I Profil Sør, hvor jordfuktigheten var lavere, viste redoksforholdene lavt oksygeninnhold. Redokstallene var stigende fram til sensorene sluttet å virke i 2015. Jordfuktigheten var også noe stigende, noe som kan ha senket oksygentilgangen mot slutten av måleperioden, men på grunn av utstyrssvikt kunne ikke dette avklares (Bergersen 2020, Halvorsen, Hovd & Martens 2022).

Ved **Søndre gate 7–11** ble det etablert et miljøovervåkingsprosjekt i forbindelse med reguleringsplan for Søndre gate 7–11, Krabugata 4, Peter Egges plass m. fl. Det ble etablert tre MOV-profiler (Profil 3, 4 og 6) med femårig måleserie (2015–2020). Målet var å få data til å vurdere stabilitet i bevaringsforhold over tid og spesielt som følge av utbygging av deler av tomte i den aktuelle måleperioden. Effekten av peling på kulturlag ble ikke direkte adressert i vurderingen av MOV-dataene. Utstyrssvikt og skader fra anleggsarbeid gjør at det må tas høyde for mulige upålitelige data i deler av måleperioden. Profil 6 lå utenfor bygg, mens Profil 4 lå under nybygg. Målingene har påvist aktive pågående nedbrytningsprosesser (positive redoksverdier over +200mV). I Profil 6 viste beregnet redokspotensiale positive verdier, med en svak øking i redokspotensialet i slutten av overvåkingsperioden. Profil 6 inneholdt organiske kulturlag, omgitt av stein og en del grus. I profil 3 og 4, hvor kulturlagene var mer tørre og kompakte, viste redokssensorene svakt oksiderende forhold, men at redoksforholdene sank noe i overvåkingsperioden. Temperaturmålingene indikerer en stabilisering av jordtemperatur under ny bygning. Miljøovervåkingen ble avsluttet kort tid etter etableringen av bygningen, så her kjenner vi ikke til langtidseffekt av oppført bygning. Utenfor nybygg, i Profil 6, ble det observert større sesongmessige svingninger, og også generelt noe økende temperaturer, men også mer jordfuktighet enn i profiler under bygg (Bergersen 2021, Halvorsen, Hovd & Martens 2022).

Bak **Øvregaten 19**, ovenfor Bryggen i Bergen, er det oppført nybygg fundamentert på peler. På tomte er det etablert en MOV-profil, med femårig overvåking (2013–2017). Hovedmålsetningen med miljøovervåkingsprogrammet var å vurdere effekten av infiltrasjon av overflatevann ned i kulturlagene under nybygg. Effekten av peling på kulturlag ble ikke direkte adressert i vurderingen av MOV-dataene. Utstyrssvikt gjør at dataene fra dette prosjektet er noe usikre. Jordkjemiprøvene viste gjennomgående dårlige bevaringsforhold for kulturlagene i umettet sone. Overvåkingen avslørte økte temperaturer, særlig i de øverste lagene. Dette tilskrives nybygg med oppvarmet kjeller og varmekabler under brosteinslegging. Byggeprosjektet inkluderte infiltrasjon av regnvann ned i grunnen, noe som her viste seg å ha positiv effekt på bevaringsforholdene. Lagene hadde høy vannmetning, som fluktuerte med nedbørmengden. Høy vannmetning, med tilsig fra nedbør og infiltrasjon av takvann, bidro til å senke redokspotensialet til mer anoksiske forhold, noe som er positivt for de arkeologiske kulturlagene. Men selv om det var høy vannmetning og anoksiske forhold i lagene, kan den sterke økningen i jordtemperatur gi en signifikant økning i nedbrytningshastigheten for organisk materiale, uavhengig av hvorvidt oksygen er tilgjengelig (Bergersen, Nytrø & Johansen 2017, Halvorsen, Hovd & Martens 2022).

Nedre Langgate 43 i Tønsberg var et pionerprosjekt innen miljøovervåking og peleproblematikk. MOV-prosjektet på tomte inkluderte femårig overvåking i tre brønner og en profil. Målsetningen med miljøovervåkingen var å følge kulturlagenes sårbarhet og tåleevne under og etter bygging. Effekten av peling på kulturlag ble ikke direkte adressert i vurderingen av MOV-dataene. Dataene fra MOV-profilen viste ustabile og klart forringede bevaringsforhold. Data fra profil i umettet sone viste en negativ utvikling for bevaringsforholdene ved nybyggets trappeoppgang, men det er ikke kjent hvor langt inn i kulturlagene endringene forekommer. Temperaturen i kulturlagene i profilen var 7–8 grader

høyere enn i miljøbrønnene. Målingene viste svingninger i fuktighet og oksygen, men dataene er dessverre upålitelige. Det er mye data fra dette prosjektet, men kvaliteten på dataene er dessverre ujevne på grunn av utfordringer knyttet til særlig overvåkning i umettet sone (Bergersen, Hartnik & Bloem 2008, Petersén 2013, Petersén & Martens 2011, Halvorsen, Hovd & Martens 2023).

3.2 Mettet sone

Etter 2010 har NIKU hatt tre miljøovervåkningsprosjekter med brønner i mettet sone, i prosjekter som inkluderer peling på kulturlag. Dette gjelder Nedre Langgate 43 og Storgaten 30-32 i Tønsberg, og Dronning Eufemias gate (DEG) i Oslo.

Ved **Nedre Langgate 43** var det kulturlag både over og under grunnvann, og det ble hentet data fra en MOV-profil og tre miljøbrønner. Målinger i brønnene inne i bygningen viste forringede bevaringsforhold. Miljøovervåkningsprogrammet ble igangsatt i 2008, og skulle løpe i fem år for å vurdere kulturlagenes sårbarhet og tåleevne før, under og etter bygging. Effekten av peling på kulturlag ble ikke direkte adressert. Undersøkelsene av bevaringstilstand i forkant av inngrep viste at tilstanden var god til meget god i de fleste områdene. Miljøbrønnene var plassert nær pelene og under kjelleren, og målingene skulle sammenlignes med grunnvann på nordsiden av tomten, i et område som ikke var påvirket av byggearbeidene. Miljøbrønnene gav stabile data fra hele overvåkingsperioden 2008–2012. MB1 ligger på utsiden av bygget, mens MB2 og MB3 ligger under bygget. Temperatur målt i grunnvann var jevnt stigende i alle miljøbrønner fra og med midtre del av 2009, men temperaturen i MB2 og MB3 som ligger under bygget var høyere enn temperaturen i MB1 som ligger utenfor. For MB2 og MB3 økte temperaturen med ca. 5 grader i overvåkingsperioden. Grunnvannet hadde stabilt lave redoksforhold og stabilt saltinnhold / ledningsevne. pH var nøytral og relativt stabil, men viste en svak økning igjennom overvåkingsperioden.

I sluttrapport ble det konkludert med at varmetransport fra bygningen og ut til omkringliggende jordlag hadde skapt unaturlige svingninger i grunnvannsstand, og at miljøforholdene for kulturlag ved profilen var endret etter at bygget stod ferdig. Det ble likevel konkludert med at nybygget ikke hadde påvirket bevaringsforholdene i nærheten av og under bygget, en konklusjon vi er uenige i (Halvorsen, Hovd & Martens 2023, Petersén 2013). Vi mener at målingene viste at nybygget har forverret miljøforholdene i kulturlagene på tomta. De forringede miljøforholdene tilskrives i sluttrapporten byggets kvaliteter, ikke selve pelingen. Etersom vi kun har data som reflekterer summen av hvordan alle inngrepene påvirker bevaringsforholdene er det vanskelig å si sikkert hvordan de ulike inngrepene hver for seg påvirker miljøforholdene (Bergersen, Hartnik & Bloem 2008, Petersén 2013, Petersén & Martens 2011, Halvorsen, Hovd & Martens 2023).

Det har vært flere miljøovervåkningsprosjekter i forbindelse med rehabilitering og utvidelse av stående bygg på **Storgaten 30–32** i Tønsberg (2010–2021). Det har vært observert økte grunnvannstemperaturer under bygget, noe som indikerer destabilisering av kulturlagene. Det er også observert synkende grunnvann, trolig som følge av grunnvannspumper i nærområdet. Målsetningen med miljøovervåkning på tomta har vært å undersøke effekten av fundamentering med peler på kulturlagene, samt å kartlegge utbredelse av kulturlag og moderne inngrep. MOV-prosjektene på tomta er ikke ferdig rapportert per 2022. Kulturlagene lå over, i og under grunnvann. Bevaringstilstanden var middels god eller bedre i de nedre lagene, og middels eller dårligere i de øvre lagene. Det er installert til sammen fire miljøbrønner med femårig (BP3, BP6) og treårig (MB5, MB10) overvåkningsprogram (Petersén & Martens 2011).

Resultatene viste at grunnvannsnivået på tomta fluktuerer en del. Fra å ha stabilt reduserende forhold har det blitt tilført mer regnvann med oksygen, men tilsynelatende i kortere perioder. Grunnvannet på tomten fremstår som ustabil, noe som kan gi uttørring av lagene. Det er også viktig å ta med seg at det ble observert negativ påvirkning fra anleggsperioden, med økt tilsig av oksygenrikt regnvann. Temperaturen i kulturlagene var økende, særlig i MB5. Det understrekes i rapporteringen at brønnene

påvirkes av varme fra kjeller og hus. Temperaturen ligger 4–5 grader høyere sammenliknet med miljøbrønner som ikke er direkte påvirket av bygg, likevel ble det i siste rapport konkludert med at nybygg ikke har virket destabiliserende på de underliggende kulturlagene, en konklusjon vi stiller oss skeptiske til (Bergersen 2015b, Bergersen 2016, Halvorsen, Hovd & Martens 2023).

De arkeologiske undersøkelsene i forbindelse med etablering av **Dronning Eufemias gate** (DEG) i Middelalderbyen Oslo, inkluderte instrumentering av fem miljøbrønner (MB3, MB4, MB5, MB7 og MB8) ved veikrysset Dronning Eufemias gate og Haakon 5 gate (2010), med flerårig måleserie (2010–2018). Prosjektet var knyttet til peling gjennom kulturlag, da en betongplate som skulle utgjøre fundamentet for veibanen, måtte fundamenteres på 70–80 stålkjernepeler. Etableringen av betongplaten innebar en forsegling av grunnen i tiltaksområdet. Det ville ikke slippe til regnvann og oksygen fra overflaten. Kulturlagene i Dronning Eufemias gate ligger som et kulturlagsbelte mellom spuntede og utsjaktede tomter nord for veien, og det nye vann- og avløpssystem (Midgardsormen) på sydsiden av veien (ca. 15 m under markoverflaten). Miljøovervåkingen hadde som mål å kartlegge kulturlagenes bevaringstilstand under betongplaten forut for anleggsperioden, underveis i denne, samt i etterkant for å se på hvilke konsekvenser utbyggingen har for lagene over tid. Effekten av peling på kulturlag ble ikke direkte adressert i vurderingen av MOV-dataene.

Pågående anleggsarbeid i området har gjort at MOV-utstyr og -brønner ikke har gitt kontinuerlige måleserier av resultater. De lengste dataseriene er fra DEG MB4 og DEG MB8, og disse har gitt dataserier som kan benyttes til å tolke bevaringsforholdene til kulturlagene i området på hver side av Nordengen bru før og etter etablering av høyhus og ny bru og nye veitraseer. De undersøkte kulturlagene i borepunktene til miljøbrønnene viste stabile og gode bevaringsforhold i alle kulturlag i mettet sone. Etter endt måleperiode kunne det konkluderes med at kulturlagene i mettet sone ser ut til å ligge stabilt og uten pågående aktiv nedbrytning. Det ble konkludert med at tiltakene, nytt høyhus vest for Nordenga bru og ferdigstilling av veiforbindelsen på østsiden av Nordengen bru, ikke har forandret bevaringsforholdene (Bergersen 2020b, Bye Johansen 2012, Halvorsen, Hovd & Martens 2022).

3.3 Oppsummering av erfaringer fra peling på kulturlag

Prosjektene som er etablert i tilknytning til tiltak hvor det har blitt pelet på kulturlag, som redegjort for over, har i liten grad direkte adressert effekten av selve pelingen som problemstilling. I de fleste saker har eventuell negativ utvikling vært tilskrevet byggets kvaliteter, varmetransport og tildekking av kulturlagene. Det er ikke avklart hvordan selve pelingen påvirker kulturlagene, når dataene også reflekterer påvirkning fra anleggsarbeider og tildekking av kulturlag med nybygg. Det har vist seg vanskelig å skille ut effekten av selve pelingen, ettersom dataene reflekterer bygging på kulturlag som et større hele. Et moment som vanskelig lar seg utlede fra den type måledata som innhentes i disse prosjektene er de fysiske skader som peling på kulturlag medfører. Det er også et behov for å kartlegge langtidseffekten for kulturlagene og grunnvannsforholdene. Det utpeker seg et behov for mer skreddersydde problemstillinger og bedre, og mer langsiktige data på emnet peling på kulturlag. Det bør også kartlegges hvordan det eventuelt er mulig å skille ut effekten av peling fra andre typer inngrep ved bygging på kulturlag. Her er videre arbeid og oppfølging nødvendig for å kunne konkludere.

Kulturlagene i umettet sone later til å være mer utsatt for endring i bevaringsforhold ved bygging på kulturlag. Vannmettede lag ser ut til å ha høyere tåleevne, og later til å ligge mer stabilt, så lenge grunnvannsstanden også er stabil. Massetype og kornstørrelse vil trolig også ha innvirkning på lagenes sårbarhet, men det foreligger ikke nok data til at vi kan konkludere om hvordan ulike typer masser og grunnforhold påvirkes av bygging på kulturlag generelt og peling spesielt.

Eksemplene med bygging på kulturlag fra 2010-2022, viser en tendens til at dette kan medføre temperaturøkning i kulturlagene. Økte temperaturer medfører med høy sannsynlighet akselererende

nedbrytning av kulturlag. Bygging på kulturlag kan også innebære mindre sesongvariasjoner, noe som i prinsippet regnes som positivt, men som i praksis også kan innebære at det tilføres mindre vann til kulturlagene. Lavere vannmetning i kombinasjon med økte temperaturer er en ekstra uheldig kombinasjon for kulturlagenes bevaring. Prosjektet fra Øvregaten 19 har vært med på å vise hvordan infiltrasjon av overflatevann kan være et positivt avbøtende tiltak ved bygging på kulturlag. Dette er trolig særlig viktig i umettet sone, men generelt er kontroll med grunnvannsstand, og tiltak for å heve grunnvannsnivået positivt for utsatte kulturlag.

I et par av sakene, som i Nedre Langgate 43 og Storgaten 30-32, ble det originalt konkludert med at bevaringsforholdene ikke har blitt negativt påvirket av nybygg, men ved gjennomgangen i 2021 konkluderte vi med at utviklingen var mer negativ enn først antatt. Det foreligger i dag mer kunnskap om hvordan nedbrytningsprosessene i kulturlagene påvirkes av endrede miljøforhold, for eksempel hvordan temperaturøkning øker tempoet i mikrobiell aktivitet. Dette gir oss mulighet til å møte de gamle datasettene med nye spørsmål.

3.4 Forskning og erfaring med peling utenfor Norge

Vi anser at det er vesentlig å sette seg inn i internasjonal forskning, og undersøkelser, resultater, og erfaringer med peling gjennom kulturlag fra områder utenfor Norge. Fra engelske og nederlandske erfaringer kan vi utlede at det kan være behov for praksisendringer i de norske anbefalingene omkring peling gjennom kulturlag. Vi opplever at det norske datagrunnlaget foreløpig ikke er omfattende nok til at vi kan trekke endelige konklusjoner ut av dette. Engelske og nederlandske erfaringer er tuftet på data innhentet fra andre forhold enn de norske. Andre typer grunnforhold, arkeologi, kulturlag og peletyper gjør at dataene ikke nødvendigvis er direkte sammenlignbare, men vi mener likevel at disse erfaringene er viktige indikasjoner på at vi bør forholde oss forsiktige med utstrakt bruk av peling inntil vi eventuelt har mer forskning relatert til våre egne forhold.

Historic England gav ut veilederen *Piling and Archaeology* i 2019. Denne veilederen anbefaler at peling i arkeologi må evalueres ut fra forholdene på hvert område. Type peling som benyttes og bygningens påvirkning bør veies opp mot naturforholdene og typen arkeologi som finnes for å ha et realistisk kunnskapsgrunnlag for å vurdere risiko og påvirkning. Den sier tydelig at i områder med høy arkeologisk verdi eller sårbare forhold, bør peling minimeres eller ikke brukes. Det gjøres en vurdering av hvilke peler som gjør minst skade, som er sterkt avhengig av lokale forhold. Nedrammede peler har generelt den største umiddelbare innvirkningen på arkeologiske levninger, mens nedborede peler på kort sikt medfører mindre sannsynlighet for å forstyrre og skade dem, spesielt hvis foringsrør brukes under anleggelse. For nedborede peler kan den berørte arkeologien først bevares *ex situ* via utgraving. Dette er i samsvar med Byggforskveilederen (2010), men Historic Englands veiledninger peker på at det må også tas hensyn til langsiktige effekter på bevaringsforhold ved peling på kulturlag. Historic England anbefaler også klart at peling ikke brukes i noen situasjoner hvor det forventes menneskelige levninger, spesielt i kirke/kirkegårdssammenheng. Potensielt tap av informasjon i skjelettmateriale, og de etiske problemstillingene knyttet til menneskelige levninger, gjør at peling resulterer i uakseptabelt tap av arkeologisk informasjon.

Retningslinjene fra Historic England (2019) for peling på arkeologiske områder, fremhever flere nøkkelspørsmål som må vurderes i evalueringsfasen. Konsekvensene av peling er avhengig av typen arkeologi, de hydrologiske forholdene, jord-/grunnforholdene og tettheten og typen peler som skal brukes. Peling resulterer alltid i tap av arkeologi, og derfor handler det om å vurdere akseptable nivåer av risiko og tap. Modeller av kulturlag, sedimenttyper og hydrologiske modeller, samt arkeologisk evaluering er nødvendig for å vurdere påvirkning og risiko. Ulike typer peler har ulik effekt; som hovedregel er forstyrrelsesarealet mellom 1,5 til 4 ganger pelens grunnareal. Påvirkningen av peler og bygninger på grunnvann er bekymringsverdig, ettersom peler kan fungere som ledningsveier for oksygen eller endre vandndynamikken på stedet. Betong er alkalisk, noe som kan forårsake kjemiske reaksjoner med arkeologiske lag, som ofte er mildt sure. Dessuten kan betongblandinger infiltrere

porer i arkeologiske lag, noe som øker skadeomfanget, selv om vår kunnskap om disse effektene er begrenset. Hvis peler (nedrammede og nedborede) møter større arkeologiske gjenstander, som store stein eller tømmer, kan disse trekkes ned eller presses ut, noe som øker skadene. Vibrasjonsmetoder for peling og grunnbehandling anses å ha større potensielle negative effekter på *in situ* arkeologi. Effektene av vibrasjoner og bruk av store pelerigger kan ha en alvorlig innvirkning på organiske kulturlag især, og bør minimaliseres der det er mulig.

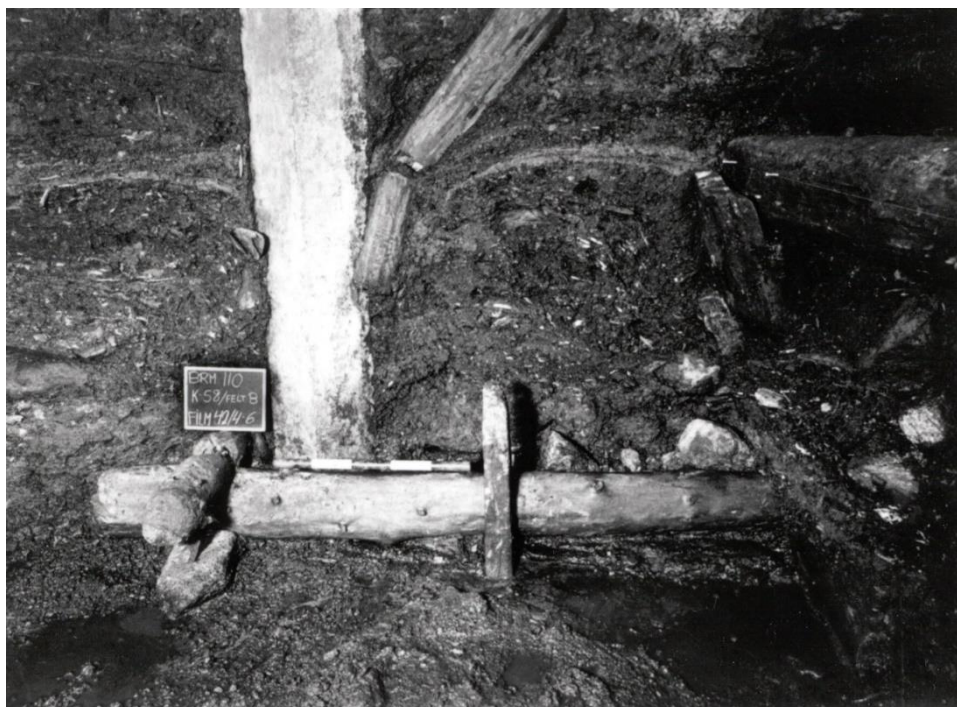
Byggforskveilederen (2010) for bygging på kulturlag møter allerede en del av disse engelske erfaringene, særlig ved det at den legger føringer om at støp av peler kun skal skje i eller ved hjelp av foringsrør, og at peler som inkluderer injeksjon av masse i grunnen skal unngås. Vi har dermed stort sett unngått problemene som for eksempel jetpeler, hvor det anvendes en roterende høytrykks betongstråle som eroderer ned den opprinnelige jordstrukturen, vil kunne medføre. Slike peler medfører etter alt å dømme både stor mekanisk og kjemisk slitasje på kulturlagene, og bør også i det videre unngås. En oppdatert utgave av Byggforskveilederen bør med fordel være enda klarere og strengere i forhold til valg av peletype.

Maarten Groenendijks PhD-avhandling fra Nederland, *Piles in the Picture* (Groenendijk 2021), tar opp ulike peletypers påvirkning på nederlandske kulturlag, og ser på muligheter for å endre praksis til mer arkeologisk bæredyktige byggemetoder. Han har gjennomgått et materiale bestående av mer enn 10 000 foto fra arkeologiske undersøkelser av lokaliteter der peling har vært benyttet. Datasettet inkluderer 149 undersøkelser i 46 ulike kommuner, og har dokumentert 1499 ulike skader eller forstyrrelser. Herav ble 1259 benyttet i videre studier og analyser. Han påviser at peling i torv medfører minimale skader ut over selve pelens omfang, mens peling i sand og leire medfører mer omfattende ekstra skader. Han kan også påvise at «replacement piles» (peler som settes ned i forboret hull) faktisk gjør større skader enn «displacement piles» (peler som bankes ned uten forboring). Dette er i direkte motsetning til anbefalinger i Byggforskveilederen fra 2010. Ettersom nedrammede peler er mer sannsynlig å forvrenge i stedet for å skjære gjennom stratifisering, er det mer sannsynlig at de vil bevare miljøforholdene som har bevart arkeologien frem til i dag. Koblet til dette er at nedrammede peler ofte er mindre i areal sammenlignet med «replacement» peler, noe som kan redusere den totale påvirkningen av peler. Vi må her ta høyde for at norske og nederlandske grunnforhold og kulturlag ikke nødvendigvis er direkte sammenlignbare. Vi mener at denne forskningen understreker viktigheten av mer kunnskap om hvordan ulike steds spesifikke grunnforhold påvirkes av peling over tid.

I tilfeller der det må peles gjennom kulturlag bør vi se til Groenendijks (2021) observasjoner av hvordan ulike typer peler skader kulturlagene. Byggforskveilederen (2010) holder frem boring av peler som et bedre alternativ enn nedramming av peler, og utelukker forgraving som installasjonsprinsipp. De nederlandske erfaringene peker mot at nedramming er å foretrekke framfor forboring. Vi mener at det bør revurderes hvilke typer peler som er minst inngripende for norske forhold, og om det eventuelt er mulig å etablere ytterligere avbøtende tiltak ved peling. Byggforskveilederen (2010) krever allerede tetting med bentonitt i overgangen mot kulturlag rundt toppen av pelene. Det kan være aktuelt å utlede ytterligere måter å tette rundt nedborede peler. Tetting rundt peler er også et spørsmål relatert til type masser det peles i; vi trenger mer kunnskap om hvordan ulike typer kulturlag, med mye eller lite organisk innhold, i eller over grunnvann, og ulike grunnforhold, slik som leire, grus, eller sand, påvirkes av peling. For å konkludere trenger vi å vite mer om hvordan transport langs peler foregår, og hvordan slik transport kan avbøtes.

Det er interessant å se at nedramming av peler kan ha fordeler framfor forboring av peler. Nedbanking av peler direkte ned til ønsket nivå vil kunne påføre kulturlagene mekanisk skade. Slike skader ble dokumentert i forbindelse med utgravningen i Finnegården 3A i 1982 (Gołembnik 1993). Finnegården 3A brant ned i 1981, og nybygget ble fundamentert på store betongpeler som ble rammet ned i grunnen. Utgravningen ble foretatt etter at nybygget var oppført, og under gravearbeidet ble én av pelene frilagt og dokumentert (Figur 18). Det fremgår tydelig av bildet at anleggelsen av pelen har

forårsaket til dels store deformasjoner av kulturlag og treverk. Skadene finnes dog fortsatt innenfor et ganske begrenset område, mens Groenendijk har dokumentert langt mer omfattende skader ved forboring, særlig av store pelers. Størrelsen på pelene er trolig av stor betydning. Det er positivt at Byggforskveilederen (2010) setter krav til at pelers skal ha minst mulig tverrsnitt og størst mulig bæreevne. Vi mener at dette prinsippet bør videreføres og styrkes ytterligere ved revisjon av veilederen.



Figur 18: Finnegården 3A, 1982, nedrammet betongpel (Riksantikvaren).

I Byggforskveilederen (2010) understrekes det også hvor problematisk bygging av spuntvegger og andre støttevegger er i middelalderby. Dette er et moment som bør videreføres, og sees sammen med både peleproblematikk og andre utfordringer ved bygging på kulturlag. Det norske datasettet har så langt vist at bygging på kulturlag innebærer et kompleks av inngrep, og at det er vanskelig å skille effekten av de ulike inngrepene fra hverandre. Utfordringer og løsninger for bygging på kulturlag må vurderes ut fra norske forhold, selv om utenlandske erfaringer kan bidra med viktig informasjon.

3.5 Oppsummering: Peling og bygging på kulturlag

Uavhengig av om det i framtiden velges nedrammede eller borede pelers er det viktig at innledende undersøkelser med arkeologisk vurdering av kulturlag og prøveinnsamling videreføres. Dersom det viser seg at nedramming er best også ved norske forhold, bør det likevel gjennomføres arkeologisk boreundersøkelse ved tiltak hvor det bygges på kulturlag. Det er viktig å kartlegge grunnforhold og kulturlagenes sammensetning, og innhente utgangsdata der det skal etableres langsiktige miljøovervåkningsprosjekter. Man bør foreta en helhetsvurdering av en lokalitets sårbarhet før man beslutter om peling kan tillates, eller om lokaliteten bør totalutgraves i forkant av utbygging.

En slik vurdering av om et automatisk fredet kulturminne kan bevares *in situ* som en del av «bygging på kulturlag»-strategien, bør gjøres på bakgrunn av flere momenter. En lokalitets sårbarhet, eller bevaringstilstand, bør vurderes opp mot kunnskapsverdien til det aktuelle kulturminnet og potensialet for kunnskapstap ved en eventuell peling og bygging på kulturlag. Man bør også se på hvordan sannsynlige ytre påvirkninger vil endre bevaringsforholdene på lokaliteten, og hvordan dette kan ytterligere forringe kulturlags beskaffenhet. Når bevaringstilstanden for kulturlag er dårlig, og

utbygging/nye tiltak vil forringe bevaringsforholdene til kulturlagene ytterligere, kan utgravning og dokumentasjon for å bevare kunnskapspotensialet være beste strategi.

Når peling ikke kan unngås, og når bevaringstilstanden til *in situ*-bevarte kulturlag vurderes som gode, samt at utbygging ikke vil føre til endringer i bevaringsforholdene, kan tap av kunnskapspotensialet vurderes som begrenset. Under slike forhold vil *in situ*-bevaring av kulturlag være mulig, men det bør iverksettes overvåkingstiltak. I tilfeller hvor det er potensial for forringing av godt bevarte kulturlag ved ytre påvirkninger som utbygging, bør disse kulturlagene overvåkes og det bør vurderes om det er mulig å gjennomføre avbøtende tiltak, eller å gjennomføre utgravning, dersom forholdene forverres. Formålet med avbøtende tiltak og overvåking av kulturlag er å forsikre at riktige forhold for bevaring *in situ* opprettholdes før, under og etter utbygging (Historic England 2019).

Til tross for at det har vært observert forverrede miljøforhold for kulturlagene i flere av prosjektene, har dette ikke ført til at det har vært igangsatt avbøtende tiltak. Eventuelle avbøtende tiltak bør være tydelige premisser ved hvert prosjekt hvor det bygges på kulturlag. Ved planlegging av nybygg bør det også planlegges for hvordan det ved behov kan igangsettes avbøtende tiltak, for eksempel med tanke på å bevare en stabil grunnvannstand. Tiltak for å avbøte på kjente utfordringer ved bygging på kulturlag bør også planlegges som del av byggeprosjekter, for eksempel infiltrasjon av overvann ned i grunnen.

For at det skal være mulig å planlegge og initiere avbøtende tiltak tidlig i et prosjekt, må hvert prosjekt skreddersys med tanke både på hvorvidt bygging på kulturlag skal tillates, massetype, grunnvannsforhold, og plan for avbøtende tiltak. Det må være tydelig kommunikasjon fra forvaltningen til tiltakshaver om hva det innebærer å bygge på kulturlag, og hvordan eventuelle avbøtende tiltak kan gjennomføres. I møte med tiltakshavere opplever vi at det råder usikkerhet, særlig knyttet til økonomiske og praktiske konsekvenser rundt miljøovervåking.

Det er et gjennomgående behov for lengre måleserier ved bygging på kulturlag. Miljøovervåking bør initieres i god tid i forkant av alle inngrep, og forlenges slik at eventuelle langsiktige virkninger av inngrep fanges bedre opp. Det er også behov for mer spissede data og problemstillinger for å fange opp hvordan de ulike inngrepene hver for seg påvirker miljøforholdene i kulturlagene. Vi trenger også mer kunnskap om hvordan ulike peletyper påvirker ulike typer kulturlag, i ulike typer grunnforhold. Internasjonale erfaringer må vurderes opp mot norske forhold før det kan trekkes endelige konklusjoner om endring i anbefalingene omkring valg av peletyper.

Vi understreker at det for hvert tiltak må gjøres lokale vurderinger før det kan konkluderes om hvilke inngrep som kan anbefales og hvordan eventuelle inngrep kan avbøtes slik at kulturminneforvaltningen er forenlig med både prinsippet om *in-situ* bevaring og tilrettelegging for livskraftige bysentre. Vi vil også påpeke at konseptet «livskraftige bysentre» ikke nødvendigvis innebærer nybygg og fortetting. Livskraftige bysentre og bærekraftig byutvikling inkluderer også gjenbruk av eldre bebyggelse, åpne byrom og gode møteplasser.

4 Behov for endring i forvaltningspraksis

I dette kapitlet skal vi syntetisere våre erfaringer med miljøovervåking i Norge, med fokus på hvilke endringer i forvaltningspraksis som bør følge av økt kunnskap på fagfeltet. For å kunne gi et godt nok faglig utgangspunkt for å foreslå endringer i forvaltningspraksis, som eksempelvis innspill til revidert veileder for bygging på kulturlag (Byggforsk-serien 2010), mener vi at vi også må inkludere kunnskap og resultater fra relevante prosjekter utenfor Norge. Nyere internasjonal forskning og sammenlignbare styringsdokumenter fra andre land må være med i en samlet vurdering.

Kulturminneforvaltningen bør være tydelig, konsekvent, forutsigbar og lett forståelig. Samtidig bør det tilrettelegges for en forvaltning på kulturlagenes premisser, i balanse med kulturlagenes tåleevne. Det er derfor nødvendig å bygge på erfaringer, og utfra disse etablere tydelige premisser for hva det medfører å bygge på kulturlag. Særlig med tanke på hvilke konsekvenser som skal følge av miljøovervåking, og eventuelle utbedringsbehov som kan melde seg. Det bør etableres tydelige retningslinjer, inkludert grenseverdier, for igangsetting av avbøtende tiltak.

Nåværende forvaltningspraksis forholder seg ikke til de endringer i bevaringsmiljø som forårsakes av klimaendringer. Kulturminneforvaltningen bør være tidlig ute med å igangsette langsiktige tiltak for å fange opp og svare på hvordan endrede klimatiske forhold påvirker kulturminnenes bevaringsforhold. For å kunne møte framtidens klimautfordringer er det nødvendig med et skifte i forvaltningen, med et klarere fokus på langsiktige problemstillinger, lange overvåkingsserier og grundige miljøvurderinger.

4.1 Internasjonal forskning og veiledningsdokumenter

Ny EU standard (NS-EN 717652:2022) ble godkjent september 2022. Inntil videre foreligger den kun på engelsk, men det er meningen at den snarest skal oversettes til norsk og dermed erstatte NS9451:2009. Den vesentligste forskjellen mellom ny og gammel standard er reduksjonen i verdier for bevaring fra fem til fire kategorier. De nye verdiene er 1) veldig dårlig; 2) dårlig; 3) bra, 4) veldig bra (tabell C.1, se tabell 2). Hermed tvinges man til å ta stilling til om laget eller konteksten er bra eller dårlig bevart og i hvilken grad. Det er tilsvarende system for vurdering av videre bevaringsforhold (heretter kalt miljøforhold, tabell C.2), og det er satt opp en matrise (tabell C3) for risikovurdering fra A til D. A er lav risiko for tap av materialer, B er medium risiko, C er høy risiko og D er umiddelbar risiko for vesentlige tap. Selv om bevaringstilstanden er meget dårlig, kan det tenkes at miljøforholdene er bra; og selv om både bevaringstilstand og miljøforhold klassifiseres som dårlige, er det ikke sikkert at det medfører risiko for videre tap av materialer og kunnskapspotensiale.

Table C.3 — Risk class (RC) with description of risk of loss

	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




Tabell 2: Vurdering av bevaringsforhold, delt i fire kategorier, som definert i ny EU standard. Tabell: NS-EN 717652:2022.

Forhåpentlig kan forenklingene og de medfølgende forklaringene føre til at standarden benyttes i mye større grad fremover. Her er det også viktig å notere seg at den ikke er avgrenset til middelalderbylag; den omfatter alle typer kulturlag og kulturminner, både på land og under vann.

4.2 Grenseverdier og klassifisering av bevaringstilstand

I det følgende vil vi se på vurdering av grenseverdier og hva som skal til for å klassifisere bevaring av kulturlag for dårlig frem for bra.

Det er i liten grad i forvaltningen av middelalderse kulturlag i by tatt noen hensyn til hva de lag som ønskes bevart vil kunne tåle. Det ble i 2016 fremsatt forslag på grenseverdier (Martens 2016 tabell 16, Martens 2017, se tabell 3). Allerede i 2005 foreslo Richard Hughes i et foredrag på EAA at endring i vanninnhold burde grensesettes. Mindre enn 5% endring betraktes som uskadelig for kulturlag. Reduksjon i vanninnhold på 6-10% bør medføre økt kontroll og observasjon, eventuelt implementering av avbøtende tiltak i form av tilførsel av overvann, mens endringer over 11% defineres som noe som direkte truer fortsatt bevaring på stedet. Tilsvarende endringer i form av overflateskader eller tap og skade ved endret bruk betraktes på samme måte. Andre endringstyper starter varsellampene tidligere, eksempelvis endring av temperatur i jordlagene. Her viser laboratorieanalyser (Hollesen & Matthiesen 2015a) hvilke temperaturøkninger som må oppfattes som direkte trusler mot fortsatt bevaring på stedet. Det gjelder særlig om økningen medfører at jordtemperaturen i hovedsak er over 10 grader Celsius, ettersom det gir svært gode levevilkår for all mikrobiell nedbrytning.

	% change of soil moisture (R. Hughes, EAA 2005)	% change of surface damage (Martens 2016)	°C change of temperature (Martens 2016)	% change of decay rate (Martens 2016)	% loss/ damage to site caused by continued use (Martens 2016)	% loss/ damage to site caused by new use/ development (Martens 2016)
	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

Tabell 3: Forslag til grenseverdier fremsatt i 2016, med referanser.




Den nye EU standard for arkeologisk overvåkning (NS-EN 717652:2022) omtaler viktigheten av grenseverdier, men den angir ingen og henviser heller ikke til disse publiserte forslagene. De er derfor fortsatt det eneste vi har å forholde oss til, og man bør vurdere om de i 2016 foreslåtte verdier er anvendelige eller må justeres. Uansett trenger man grenseverdier for å kunne vurdere om og når eventuelle avbøtende tiltak må gjennomføres.

4.2.1 Bra eller dårlig bevaring?

Den nye EU standarden (NS-EN 717652:2022) har redusert kategoriene for bevaring fra fem til fire. Middels bevaring er fjernet som alternativ, da det i alt for stor grad oppleves at arkeologer med lite erfaring i vurdering av bevaringstilstand velger denne 'trygge' middeelveien, i stedet for å foreta en reell vurdering av om laget er bra eller dårlig bevart – og i hvilken grad. Alternativene i den nye standarden er dermed 1) meget dårlig; 2) dårlig; 3) bra; 4) meget bra (tabell C1).

For å vurdere at noe har bra bevaring, forutsetter vi at det er flere ulike gjenstandskategorier til stede. Det kan dog fortsatt anbefales å skille mellom organiske og inorganiske gjenstandskategorier, ettersom eksempelvis jern og lær kun bevares godt i samme lag om hele laget er veldig godt bevart.

Uansett trenger man grenseverdier for å kunne vurdere om og når eventuelle avbøtende tiltak skal implementeres, på samme måte som man setter grenser for setningsskader på bygninger. Vi foreslår derfor at man starter med de i 2016 foreslåtte grenseverdiene som utgangspunkt og implementerer et varselsystem i miljøovervåkingsprosjekter, som forteller om målte endringer er i grønn, gul eller rød sone. Nivået på endringene vil gi forvaltningen nødvendig og vesentlig informasjon om miljøforholdene og gi mulighet for å implementere eventuelle avbøtende tiltak ved målte endringer på gult eller rødt farenivå.

	% endring i vanninnhold i jord	% endring skader på overflate	°C økning av jordtemperatur	% økning i nedbrytningshastighet	% tap/ skade på lokalitet forårsaket av fortsatt bruk	% tap/ skade på lokalitet forårsaket av ny/ annen bruk/ tiltak
	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

Tabell 4: Forslag til grenseverdier oversatt til norsk.

4.3 Konklusjon: Bør dagens forvaltningspraksis endres?

Denne rapporten belyser flere områder innen forvaltningsarkeologien hvor det er et behov for videre kunnskapsinnhenting, og at endringer i nåværende praksis kan være nødvendig for å forvalte den arkeologiske kulturarven på en bærekraftig måte.

4.3.1 Prøvetaking og variasjoner i bevaringstilstand

Miljøovervåking av grunnvannstand/vanninnhold, temperatur, ledningsevne/saltinnhold, pH, redokspotensiale og oksygeninnhold gir de nødvendige data for å evaluere bevaringstilstanden til kulturlag. Prøvetakings- og analysepakken S1 (tørrestoffinnhold, glødetap, pH, ledningsevne) og S2 (Matrikspotensiale, Porøsitet, Sulfat, Sulfid, Jern II, Jern III, Ammonium (ekstraherbar), Nitrat) gir data om dagens bevaringstilstand for kulturlag og deres kjemiske sammensetning. Prosjektet Søndre gate 7–11, og visuelle observasjoner som ble gjort i forbindelse med prosjektet, kan trekkes frem som et eksempel der det hadde vært fordelaktig med større budsjettmessig fleksibilitet, eller mulighet til å planlegge med en bredere prøvestrategi i forkant av vedtak, slik at det hadde vært mulig å følge opp denne typen observasjoner med prøvetaking og analyse.

Et virkemiddel for å bedre forstå den lokale miljøkonteksten og sammensetningen av kulturlagene, er å utvide prøvetakingsstrategier og bruke en fleksibel tilnærming til prøvetaking slik at den kan svare på de observerte forholdene: NIKUs Middelalderparken-prosjektet kan være veiledende for dette. Vurderingen av miljøforhold må også inkludere flere detaljer om undergrunnen for å forbedre vår evne til å modellere og forutsi hvordan lokal geologi og hydrologi påvirker bevaringstilstanden. Det anbefales at kornstørrelse/partikkelanalyse legges til S1-analypakken for å hjelpe til med dette. Dette vil være i samsvar med de nye NS-EN 17652:2022 retningslinjene, som tilsier at det i den foreløpige vurderingen skal undersøkes grunnforhold. Tredimensjonal lagmodellering (*deposit modelling*) bør være et langsiktig mål, og innholde data om grunnforhold og kulturlag innhentet fra prøvedata, miljøovervåking, og arkeologiske utgravningsdata.

4.3.2 Lagsammensetning og tafonomiske prosesser

For bedre å forstå virkningen av moderne aktivitet i middelalderkontekster, trenger vi kunnskap om hvilke typer aktivitet som har gitt opphav til et spesifikt kulturlag, og lagets innhold, samt andre forhold som kan påvirke avsetningsprosessen. Hvordan kulturlag dannes kan påvirke hvor sårbare de er for lokale miljøendringer, og denne kunnskapen oppnås best via observasjoner i felt for å komplimentere

analytiske resultater. Vi trenger mer data for å forstå hvordan de tafonomiske prosessene varierer avhengig av lagsammensetning og lokale miljøforhold, inkludert mikrobiell aktivitet.

4.3.3 Kart over bevaringstilstand i middelalderbyene

Målet med en slik strategi (4.3.1 og 4.3.2) vil være å bygge opp referansedata som vil gjøre det mulig å lage kart over middelalderbyene, med fokus på hvor kulturlagene peker seg ut som truet og hvor utgravning vil være aktuelt som avbøtende tiltak. I et slikt arbeid vil det være relevant å bruke innsamlede data fra tidligere MOV-prosjekter og arkeologiske utgravninger.

4.3.4 Avbøtende tiltak

Vi har mange avbøtende tiltak til rådighet, og mange tilfeller hvor disse har vært anvendt på en vellykket måte for å stabilisere bevaringsforholdene i kulturlagene. Metodene spenner fra utgravning, hvor bevaring av kulturlag *in situ* ikke har vært ansett som mulig, til sikring av kulturlag med ikke-marin leire og vannmetning ved bruk av ulike strategier. Vi må 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. For eksempel har bruken av offersjikt, eller å bevare etterreformatoriske lag for å holde eldre lag beskyttet, vært vellykket 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.

Vi har sett i en del tilfeller i de senere årene at dispensasjon fra kulturminneloven er blitt gitt på vilkår om utgravning bare ned til den omsøkte gravedybden for det aktuelle tiltaket, uavhengig av omfanget, tykkelsen eller karakteren til de gjenværende kulturlagene. Dette mener vi er en praksis som potensielt kan være til stor skade for kulturlagene. Da kan små, avgrensede arealer med kulturlag, ofte av liten dybde, bli liggende igjen som «øyer» under et nybygg hvor forutsetningene for fortsatt bevaring er dårlige eller ukjente. Selv i de tilfeller der det er tykke kulturlag bevart under nybygg, må man anse i alle fall de øverste av disse som tilnærmet tapt, da nybygget vil medføre endringer i den lokale hydrologien og dermed forringe bevaringsforholdene. Vi vil derfor anbefale at den typen tillatelser kun gis i svært begrenset omfang, der miljøforhold er godt kjent og forutsettes minimalt påvirket av tiltaket. Ved tiltak der kun tynne og svært avgrensede kulturlag vil bli liggende igjen under omsøkt gravedybde, anbefaler vi at disse graves ut fullstendig. Et eksempel som kan trekkes frem er Middelalderparken i Oslo.

4.3.5 Peling

På samme måte trenger påvirkningen av peling på *in situ* kulturlag et mer omfattende og målrettet datasett for å vurdere den langsiktige effekten i norske forhold. Aktuelle data fra Norge er usikre og lite konkrete og derfor dårlig egnet til å kunne belyse denne problematikken. Videre har mange overvåkingsprosjekter indirekte relatert til peling hatt problemer med sensorfeil osv. Det er behov for en revurdering av gjeldende retningslinjer. Dette bør ta hensyn til ny internasjonal forskning og retningslinjer for peling i arkeologi, og etablering av nye overvåkingsprosjekter som kan sette sammen data fra norske eksempler på peling i kulturlag som case-studier.

En gjennomgang av Historic Englands retningslinjer viser at peletyper og påvirkning krever grundig vurdering for å minimere den potensielle kort- og langsiktige skaden på *in situ* kulturlag. Der de brukes bør det legges planer for å unngå de mest arkeologisk sårbare og verdifulle områdene. Maarten Groenendijks PhD-avhandling fra Nederland, *Piles in the Picture* (Groenendijk 2021), ansees som en grundig gjennomgang av pelingsproblematikken, og gir grunn til å revurdere boring av peler som den foretrukne metoden i byarkeologiske kontekster. Peling ved hjelp av nedramming kan, under de riktige forholdene, gi færre negative påvirkninger på bevaringsforholdene. Siden nedrammete peler kan være mindre i størrelse, kan de resultere i mindre totalskade. Vi må imidlertid vurdere om det bør være målet å anbefale én bestemt type peling. De lokale arkeologiske og naturgitte forholdene bør ha forrang når man skal vurdere om peling er ansvarlig, og derfra hvilken type som vil minimere skadene på *in situ* arkeologi. Målet bør være å vurdere om for eksempel én peletype er mer egnet til den

mettede sonen eller visse undergrunnsforhold, og en annen mer egnet andre forhold. Jetpeler og vibrasjonsmetoder bør uansett unngås i arkeologiske sammenhenger.

4.3.6 Grenseverdier

Det er et klart behov for tydelige etablerte grenseverdier, og forutsigbarhet i hvilke konsekvenser som endrede miljøforhold vil medføre. Dette er en forutsetning for en forståelig og tydelig forvaltning av de arkeologiske kulturminnene. Det må etableres grenseverdier for igangsetting av avbøtende tiltak. Vi opplever at tiltakshavere etterspør hvilke konsekvenser miljøovervåking kan ha, både praktisk og økonomisk. Både kulturminnemyndigheter og tiltakshavere vil ha nytte av at det er forutsigbarhet i hva miljøovervåking kan innebære. Det bør derfor være et økt fokus på å forbedre, eller aktivt motvirke ustabile og dårlige bevaringsforhold.

4.3.7 4.4. Oppsummering

Miljøovervåking av lokaliteter, samt prøvedata, bidrar til bedre bevissthet og bevaring av *in situ* arkeologi, og kan forbedres direkte ved å bruke oppdaterte teknologi og metoder, og utvide bruken av miljøovervåking i forvaltningsarkeologien. En klargjøring og gjennomgang av retningslinjer for peling, utvidelse av prøvetaking for miljøovervåking, og implementering av grenseverdier vil være fordelaktig for å forbedre lang- og kortsiktig bevaring av in-situ kulturminner.

Anvendelsen av avbøtende tiltak har generelt vist seg å være vellykket, og med implementering av grenseverdier og mer rutinemessig bruk av langtids miljøovervåking kan disse tiltakene iverksettes enda mer effektivt ved behov. Forebyggende avbøtende tiltak bør også vurderes i planleggingsfasen av alle prosjekter, best illustrert ved den nåværende praksis av bruk av ikke-marin leire for å tette in-situ kulturlag.

Som denne rapporten og rapporten til Halvorsen, Hovd & Martens (2022) poengterer er det imidlertid flere kunnskapshull som bør forskes videre på. En bedre forståelse av tafonomiske prosesser i norske forhold, knyttet til lagsammensetning og -dannelse, inkludert laboratoriestudier av mikrobiell aktivitet i prøver fra kulturlag, vil forbedre vår evne til å forutsi langtidsstabiliteten til intakte kulturlag. Bedre dokumentasjon av grunnforhold, med et langsiktig mål om å oppnå tredimensjonal lagmodellering (*deposit modelling*), og utarbeidelse av kart over sårbare arkeologiske områder i middelalderbyene, bør betraktes som et prioritert og fremtidig satsningsområde.

Tilsvarende har vi en inndeling i internasjonal litteratur om virkningen av peler i arkeologi, mellom Groenendijks (2021) nederlandsk studie som anbefaler nedrammete peler, og norske og Historic England's retningslinjer som anbefaler erstatningspeler, dersom peler i det hele tatt skal brukes. Forskning, og en vurdering av tidligere og nye casestudier innen forvaltningsarkeologi, er nødvendige for å bygge opp vår kunnskapsbase på en todelt måte. For det første, den direkte påvirkningen av ulike pelemetoder, og for det andre, de langsiktige påvirkningene pelene kan ha på bevaring i forhold til grunnforhold og type arkeologi. Miljøovervåking i arkeologi er et ungt og relativt lite virkeområde, som i økende grad blir viktig for våre forpliktelser til å bevare den arkeologiske kulturarven for fremtidige generasjoner. Forskning er nødvendig for å utvide feltet og vår kunnskap, som, med tanke på de langsiktige målene, også bør vurdere klimaendringer som en faktor i bevaringsstrategier.

5 Litteratur

- Bergersen, O. 2013a. Geokjemisk kartlegging av kulturlag fra Storgaten 27, Tønsberg, Vestfold. Forundersøkelse med kartlegging av bevaringsforhold i kulturlag i forbindelse med utbygging av eiendom. Resultater fra jordkjemiske analyser Bioforsk Vol 8 Nr. 141 2013.
- Bergersen, O. 2013b. Status rapport på etablerte miljøbrønner i Kong Oscar gt. og befaring av gamle brønner i Vågsbunnen, oktober Bergen. 8.okt 2013.
- Bergersen, O. 2013c. Geochemical analysis of samples after drilling to explain the preservation condition in archaeological deposits at Øvregate 19, Bergen. Bioforsk rapport vol 8 nr 53 2013.
- Bergersen, O. 2014a. Ett års miljøovervåking av grunnvann omkring kulturminner i området Anders Madsens gate i Tønsberg. Statusrapport for perioden 2013 – 2014. Bioforsk Rapport Vol. 9 Nr. 104.
- Bergersen, O. 2014b. Environmental monitoring of the archeological deposit at Øvregate 19, Bergen. Status report 2014. Bioforsk vol 9 no. 42 2014.
- Bergersen, O. 2015. Overvåking av grunnvann i miljøbrønner med arkeologiske kulturlag fra Kong Oscars gate i Bergen. Statusrapport II. Bioforsk rapport Vol 10. nr.83. 2015.
- Bergersen, O. 2015b. Miljø overvåking av miljøbrønn MB5 & MB10, «Foyn eiendom», Tønsberg kommune, Vestfold Fylke. Bioforsk rapport Vol.10 (56) 2014
- Bergersen, O. 2016. Overvåking av bevaringsforhold for kulturlag under «Foyn kjøpesenter» i Storgata 30–32 i Tønsberg Statusrapport II for miljøbrønn MB5 & MB10 i perioden 2013-15. NIBIO rapport vol 2 nr. 65.
- Bergersen, O. 2017. Miljøovervåking fra miljøbrønn i Kong Oscars gate, Bergen. - Status rapport III. NIBIO rapport vol 3 2017.
- Bergersen, O. 2018. Miljøovervåking fra miljøbrønner i Kong Oscars gate, Bergen. Sluttrapport 2013-2017. NIBIO rapport Vol 4, 2018.
- Bergersen, O. 2020. Miljøovervåking av kulturminner i Kvartalet Schultz gate, Munkhaugveita og Presidentveita i Trondheim - Sluttrapport 2013 - 2017. NIBIO rapport 6/98/2020.
- Bergersen, O. 2020b. Miljøovervåking av kulturminner i grunnvannsbrønner i Dronning Eufemias gt. (DEG), Oslo. Sluttrapport 2010 til 2018. NIBIO rapport Vol. 6 Nr. 96, 2020.
- Bergersen, O. 2021. Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra Søndre gate 7-11 i Middelalderbyen Trondheim. Sluttrapport 2015 til 2020 NIBIO Rapport Vol. 7 Nr. 19, 2021
- Bergersen, O. & Dunlop, A. R. 2011. Arkeologiske og geokjemiske undersøkelser av kultursjikt fra Nedre Korskirkeallmenning, Vågsbunnen, Bergen kommune, Hordaland fylke. Forundersøkelse med kartlegging av bevaringsforhold og bevaringstilstand fra grunnboring. – Bioforsk Vol 6 Nr. 46, 2011, NIKU Oppdragsrapport 74/2011.
- Bergersen, O., Hartnik, T. & Bloem, E. 2008. Vurdering av bevaringstilstand og forhold i kulturlag i mettet/umettet sone ved Nedre Langgate 43, Tønsberg. Arkeologisk, jordfaglig og geofysisk analyse. -NIKU oppdragsrapport 67/2008. Bioforsk Vol 3 Nr. 175 –2008.
- Bergersen, O. & Lorvik, K. 2013. Grunnboringer i Kong Oscars gate og sidegater, Bergen kommune, Hordaland Fylke. Arkeologiske og jordkjemiske undersøkelser samt miljøovervåking ved kartlegging av kulturlag, bevaringstilstand og -forhold. – Bioforsk Rapport Vol 8 Nr. 48 2013, NIKU Oppdragsrapport 44/2013.
- Bergersen, O., & Nytrø, T. E. 2014. Overvåking av miljøbrønner i arkeologiske kulturlag fra Kong Oscars gate i Bergen. Statusrapport 1, 2012 til 2013. Statusrapport 1 Bioforsk Rapport Vol. 9 Nr. 57, 2014.

- Bergersen, O., Nytrøen, T. E. & Johansen, Ø. 2017. Environmental monitoring of the archaeological deposits at Øvregaten 19, Bergen. Concluding report 2013-2017. – NIBIO Report, Vol 3, No. 101, 2017. ISBN 978-82-17-01915-2.
- Brink, K. & Petersén, A. 2018. TA 2017/09 Arkeologiske overvåkning i forbindelse med etablering av ny teknisk infrastruktur, Søndre gate 7-11, Trondheim, Trøndelag. NIKU Oppdragsrapport 92/2018.
- Bye Johansen, L.-M. 2012. Miljøovervåking i Gamlebyen i Oslo. Statusrapport for overvåkning av kulturlag 2012. NIKU Oppdragsrapport 201/2012.
- Byggforskserien 721.305, 2010. Bygging på kulturlag i middelalderbyene. SINTEF Byggforsk i samarbeid med Riksantikvaren, Oslo.
- 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.
- De Beer, H. & Matthiesen, H. 2011. Overvåkingsplan for undergrunnen ved Bryggen i Bergen. NGU. NGU report 2010.040. NIKU Rapport 114 156.
- De Beer, H., Matthiesen, H. & Christensson, A. 2012. Quantification and visualisation of in situ degradation at the world heritage site Bryggen in Bergen, Norway. Conservation and Management of Archaeological sites, 10:204-222.
- Derrick, M. 2015. Follobaneprosjektet F04 Klypen Øst og Saxegaardsgata 15. Arkeologisk utgravning mellom Bispegata og Loenga. Middelalderparken og Saxegaardsgata 15 & 17, Oslo. NIKU Oppdragsrapport 40/2015.
- Derrick, M., M. Oldham, T. Engen, T. Bergland & J. Causevic *in prep.* Arkeologiske undersøkelser i forbindelse med realiseringsplan for Bispegata med Oslo torg. Funn av graver, steinbygninger, Bispeallmenningen og bryggefundamenter. NIKU Oppdragsrapport xx/2023.
- Dunlop, A. R., 2008a. The Bryggen Monitoring Project, Part 2: Archaeological investigations in connection with monitoring project, Bredsgården tenement, Bryggen, Bergen, 2002-3. NIKU Arkeologi avdeling, arkivrapport 66/2008. Bergen.
- Dunlop, R. 2008b. The Bryggen Monitoring Project, Part 5: Report on the investigations at the rear of Nordre Bredsgården, 2006. NIKU Rapport Arkeologi avdeling, Bergen. NIKU Oppdragsrapport 22/2008.
- Dunlop, A. R. 2011. The Bryggen Monitoring Project, Part 13: report on the archaeological investigations in connection with re-infiltration measures, Bryggen, 2011. NIKU Oppdragsrapport 297/2011.
- Dunlop, A. R. 2012. The Bryggen Monitoring Project, Part 17: Report on the archaeological investigation of two test-pits, Schøtstuene, Bryggen, 2012. NIKU Oppdragsrapport 92/2012.
- Dunlop, A. R. 2014. Finnegården 1a, Bryggen: Archaeological investigation of drillings for two monitoring wells. NIKU Oppdragsrapport 91/2014.
- Dunlop, A. R. 2015a. Sammenstilling av arkeologiske data om bevaringstilstand m.m. i bydelen Vågsbunnen, Bergen. NIKU Oppdragsrapport 99/2012.
- Dunlop, A. R. 2016b. Nedre Korskirkeallmenningen & Torget, Bergen: Arkeologisk registrering ved fem naverboringer. NIKU Oppdragsrapport 38/2016.
- Dunlop, A. R. 2017a. Nedre Korskirkeallmenningen, Bergen: Arkeologiske registreringer. NIKU Oppdragsrapport 10/2017.

- Dunlop, A. R. 2017b. Øvregaten 19, Bergen: report on the archaeological investigation of five auger drillings in 2012, and precis of monitoring work 2013-2017. NIKU Oppdragsrapport 198/2012.
- Dunlop, R., Henninge, L. B., Soldal, J., Hind, & Krangnes, L. 2022. Miljøovervåkning Bryggen i Bergen. Statusrapport Bryggen MOV pr 31. mars 2022. NIKU rapport 116.
- Dunlop, A. R., Hobæk, H. & Lorvik, K. 2016. Korskirken, Bergen; Arkeologisk registrering ved fire naverboringer og fire prøvehull. NIKU Oppdragsrapport 37/2016.
- Ekstrøm, H. & Bergersen, O. 2009. Vurdering av bevaringstilstand og forhold i kulturlag i Anders Madsens gate, Tønsberg. Arkeologisk og jordfaglig vurdering. NIKU oppdragsrapport 218 /2009. Bioforsk Vol. 4. Nr. 122 2009.
- Fritz, B. G., McFarland, D. P. & Phillips, N. R. J. 2020. Evaluation of a geotechnical compaction model to estimate sediment deformation. *Archaeological Prospection*, 27 (1), 55-62.
- Gotembnik, A. 1993. Report on the excavations in Finnegården 3A, 1982. Riksantikvarens Utgravningskontor for Bergen.
- 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>.
- Gregory, D. & Matthiesen, H. 2006. On the use of modern samples to study preservation conditions in the cultural layers below Bryggen in Bergen. Case: 12027-0005 Report no 1 Report from the Department of Conservation National Museum of Denmark.
- Haarstad, K. 2013. Vurdering av kjemisk kvalitet av grunnvannet i tilknytning til kulturminner i jord – Kong Oscars gate og Nedre Korskirkeallmenningen, Bergen. Bioforsk rapport nr 8 (165) 2013.
- Halvorsen, S. W., Hovd, L. & Martens, V. V. 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.
- Halvorsen, S. W. 2013. Storgaten 27, Tønsberg. Arkeologisk overvåking av oppgraving og igjenfylling, dokumentasjon av profil og jordsøyle fra grunnboring. Arkeologisk undersøkelse NIKU oppdragsrapport 119/2013.
- Halvorsen, S. & Haugesten, L. 2016. Arkeologisk utgravning i Anders Madsens gate 1, Tønsberg. NIKU oppdragsrapport 1/2016.
- Historic England (<http://historicengland.org.uk/>) Preserving Archaeological Remains (2016, [Preserving Archaeological Remains | Historic England](#))
- 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. 2011. The effect of temperature on the decomposition of urban layers at Bryggen in Bergen. National Museum of Denmark, Department of Conservation, Copenhagen. Report no 11031048.
- Hollesen, J. & Matthiesen, H. 2012. Effects of infiltrating water into organic cultural layers. Report no 11031268. Conservation and Natural Science, National Museum of Denmark.
- Hollesen, J. & Matthiesen, H. 2015a. The influence of soil moisture, temperature, and oxygen on the decay of organic archaeological deposits. *Archaeometry*, 57, 362-377.

- Hollesen, J. & Matthiesen, H. 2015b. Preservation conditions at dipwells MB48 and MB49 under the Hanseatic Museum, Bryggen, Bergen. Report 11031128 from Conservation and Natural Science, National Museum of Denmark, Copenhagen.
- Hovd, L. 2019. Gjenfylling langs kulvert i Klypen Øst. Sørenga, Oslo. NIKU Oppdragsrapport 121/2019.
- Hovd, L. & Henninge, L. B. *In prep.* Stavanger domkirke - Miljøovervåking. Analyse av bevaringsforhold og -tilstand, og etablering av 5-årig miljøovervåkingsprogram. NIKU Rapport.
- Hughes, R. 1999/2005. The development of capping technologies for the in situ preservation of archaeological sites. Oral presentation at the European Association of Archaeologists (EAA) 5th Annual Meeting, Bournemouth, UK, September 1999.
- Jensen, J. A. 2012. Kong Oscars gate og Vågsbunnen Opprusting av gater og byrom. Grunnundersøkelser og fundamentering Setninger, kulturlag og grunnvann. 31. oktober 2012. Multiconsult rapport 613883.
- Jensen, J. A. 2016. Korskirken i Bergen, Vågsbunnen, grunnundersøkelser. Multiconsult 616196-RIG-NOT-001.
- Jordahl, H. & Håkonsen, I. 2013. Anders Madsens gate, Tønsberg. Arkeologisk forundersøkelse i forbindelse med utbygging av eiendommen. NIKU Oppdragsrapport 96/2013.
- Kars, H. 2017. Site Preservation. *In: Encyclopedia of Geoarchaeology*, edited by A. S. Gilbert and P. Goldberg. Dordrecht, Springer, 817-821.
- Leskovar, T. & Bosiljkov, V. 2016. Laboratory Research on the Effects of Heavy Equipment Compaction on the in situ Preserved Archaeological Remains. *Conservation and Management of Archaeological Sites*, 18, 40-58.
- Martens, V. V. 2010. Arupsgate, Gamlebyen, Oslo. Arkeologisk undersøkelse og overvåking i forbindelse med utskifting av vannledning. NIKU Oppdragsrapport nr 111/2010.
- 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., Dunlop, A. R., Dinning, A. J., Henninge, L. B. & Voellmecke, M. 2019. Oppstartsrapport MABYMOV miljøprofil B2 og miljøbrønn B3. Kong Oscars Gate og Nedre Hamburgersmauet, Vågsbunnen, Bergen. NIKU RAPPORT 96.
- Martens, V. V., Dunlop, A. R., Olsen, S. B., Henninge, L. B., Voellmecke, M. & Engebretsen, J. 2021. Statusrapport MABYMOV pr. 31. mars 2021, miljøprofil B2 og miljøbrønn B1, B3 og TO1. Middelalderbyene Bergen og Tønsberg. NIKU Rapport 106.
- Martens, V. V., Hovd, L., Dunlop, A. R., Olsen, S. B., Henninge, L. B. & Voellmecke, M. 2020. NIKU rapport 99 statusrapport MABYMOV miljøprofil B2 og miljøbrønn B1, B3 og TO1 pr. 31. mars 2020 Middelalderbyene Bergen og Tønsberg. NIKU RAPPORT 99.
- Martens, V.V. & Krangnes, L. 2022. Monitoring as a tool to evaluate preservation possibilities. Results from the CULTCOAST project. *Front. Earth Sci.* 10:960420.
- Matthiesen, H., 2005. Influence of piling on cultural deposits at Bryggen, Bergen. – Copenhagen: National Museum of Denmark, Department of Conservation. Report no. 10832-0007-1.

-
- Matthiesen, H. 2007. Detailed chemical analysis of groundwater as a tool for monitoring urban archaeological deposits - results from Bryggen in Bergen. *Journal of Archaeological Science*.
- Matthiesen, H., 2008a. Composition of soil and groundwater in dipwells MB24, 25, 26, 27 and FB1 at the quay front of Bryggen, Bergen. Copenhagen: National Museum of Denmark, Department of Conservation. Report no. 10832-0014-1.
- Matthiesen, H. 2008b. Groundwater composition at Bryggen in Bergen: temporal and spatial variation, May 2008. Department of Conservation National Museum of Denmark 10832-001.
- Matthiesen, H. 2010b. Seawater intrusion beneath the quayfront buildings of Bryggen, Bergen: Results from new dipwells MB28 and MB29, and from repeated measurements of chloride and sulphate in quayfront dipwells during 2009. Report no. 1829-17. Copenhagen, National Museum of Denmark, Department of Conservation.
- Matthiesen, H. 2011. Preservation conditions at dipwells MB34 and MB35 at Finnegården, Bryggen, Bergen. Report no. 11031261. National Museum of Denmark, Department of Conservation, Copenhagen.
- Matthiesen, H. 2012. Ground water composition at Bryggen in Bergen: Temporal and spatial variation, autumn 2011. Report no. 11031267. Copenhagen, National Museum of Denmark, Department of Conservation.
- Matthiesen, H. 2014. Groundwater composition around the sheet piling at Bryggen in Bergen: Effects of mitigation work 2012-14. Report no 11031562. Copenhagen, National Museum of Denmark, Conservation and Natural Sciences.
- Matthiesen, H. 2016. Groundwater composition at Bryggen in Bergen, November 2015: Spatial variation and effects of mitigation. Report no. 53149. Copenhagen, National Museum of Denmark, Department of Conservation.
- Matthiesen, H. & Hollesen, J. 2011. Preservation conditions in unsaturated urban deposits: Reopening of testpit from 2006 and installation of monitoring equipment at the rear of Nordre Bredsgården, Bryggen in Bergen. REPORT no 11031047 from the Department of Conservation National Museum of Denmark.
- Matthiesen, H. & Hollesen, J. 2012. Preservation conditions in unsaturated urban deposits: Results from continuous logging of oxygen, water content and temperature at the rear of Nordre Bredsgården, Bergen in the period October 2010 to November 2011. REPORT no 11031263 from the Department of Conservation National Museum of Denmark.
- Matthiesen, H. & Hollesen, J. 2013. Preservation conditions in unsaturated urban deposits: Results from continuous logging of oxygen, water content and temperature at the rear of Nordre Bredsgården, Bergen in the period October 2010 to August 2013. Report no 111031561. Copenhagen, National Museum of Denmark, Department of Conservation.
- Matthiesen, H. & Hollesen, J. 2015. Analysis of soil samples from archaeological deposits at Finnegårdsgate6, Bergen Report no. 11031961. Copenhagen, National Museum of Denmark, Department of Conservation.
- Matthiesen, H. & Hollesen, J. 2018. Preservation conditions and effects of mitigation in unsaturated urban deposits: Results from environmental monitoring at the rear of Nordre Bredsgården,

-
- Bergen, from October 2010 to December 2017. Rapport Nationalmuseet DK. Rapport no. 53192.
- Matthiesen, H., Boogard, F., de Beer, J., Dunlop, A. R., Hollesen, J., Jensen, J. A. & Rytter, J. 2017. Klimatilpasning og bevaring af kulturlag i byerne – erfaringer fra Bryggen i Bergen. Nationalmuseets Arbejdsmark 2017, 74-85.
- Matthiesen, H., Hollesen, J., Dunlop, R., Seither, A. & de Beer, J. 2016. Monitoring and Mitigation Works in Unsaturated Archaeological Deposits. Conservation and Management of Archaeological Sites, 18:1-3, 86-98, DOI: [10.1080/13505033.2016.1182777](https://doi.org/10.1080/13505033.2016.1182777)
- Petersén, A. 2013. Nedre Langgate 43, Tønsberg. Rapportering etter avsluttet miljøovervåkingsprosjekt 2008-2012. NIKU Oppdragsrapport 188/2013.
- Petersén, A. & Halvorsen, I. 2020. TA 2017/ 03, Rådhusallmenningen / Nedre Kjøpmannsgata – MOV, nedsetting av miljøbrønn med kartlegging av kulturlagstilstand og vannforhold Trondheim. NIKU Oppdragsrapport 38/2017.
- Petersén, A. H. & Bergersen, O. 2016. The In Situ Preservation in the Unsaturated Zone: Results from Environmental Investigations at the 'Schultz Gate' Case Study in the Medieval Town of Trondheim, Norway. Conservation and Mgmt of Arch. Sites, Vol. 18 Nos. 1-3, 181-204. DOI 10.1080/13505033.2016.1182755.
- Petersén, A. H. & Martens, V. V. 2011. Sammenstilling av miljøovervåkingsundersøkelser frem til 2010 i middelalderbyene Tønsberg, Trondheim og Oslo. NIKU Oppdragsrapport 55/2011.
- Rytter, J. & Schonhowd, I. 2015 (eds.). Monitoring, Mitigation, Management. The Groundwater Project - Safeguarding the World Heritage Site of Bryggen in Bergen. Norwegian Directorate for Cultural Heritage, Oslo.
- 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](https://www.standard.no/standards/NS-EN-17652-2022)
- Sæhle, I., Petersén, A., Wood, P., Valstrand, N. E., Brink, K. & Lorvik, K. 2021. Arkeologiske undersøkelser i Søndre gate 7-11, Peter Egges Plass, Krabugata 2-4 m.fl., Trondheim, Trøndelag (TA 2016/21, TA 2017/03). Landskapsutvikling, tidlig urban aktivitet og middelaldersk kirkested. NIKU Rapport 97.
- Ødeby, K., Denham, S., Hauglid, K. & Hobæk, H. 2022. Arkeologiske undersøkelser i krypkjelleren, Stavanger domkirke. NIKU Rapport 118/2022.

6 Vedlegg

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.

Fluktueringszone: Lag som tidvis ligger over grunnvannsstand, tidvis dekket av grunnvann.

Mettet sone: Lag som permanent ligger dekket av grunnvann.

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.

Umettet sone: Lag som permanent ligger over grunnvannsstand.

6.1 Kart over Bergen, Oslo, Trondheim og Tønsberg,

6.1.1 Bergen - Bryggen

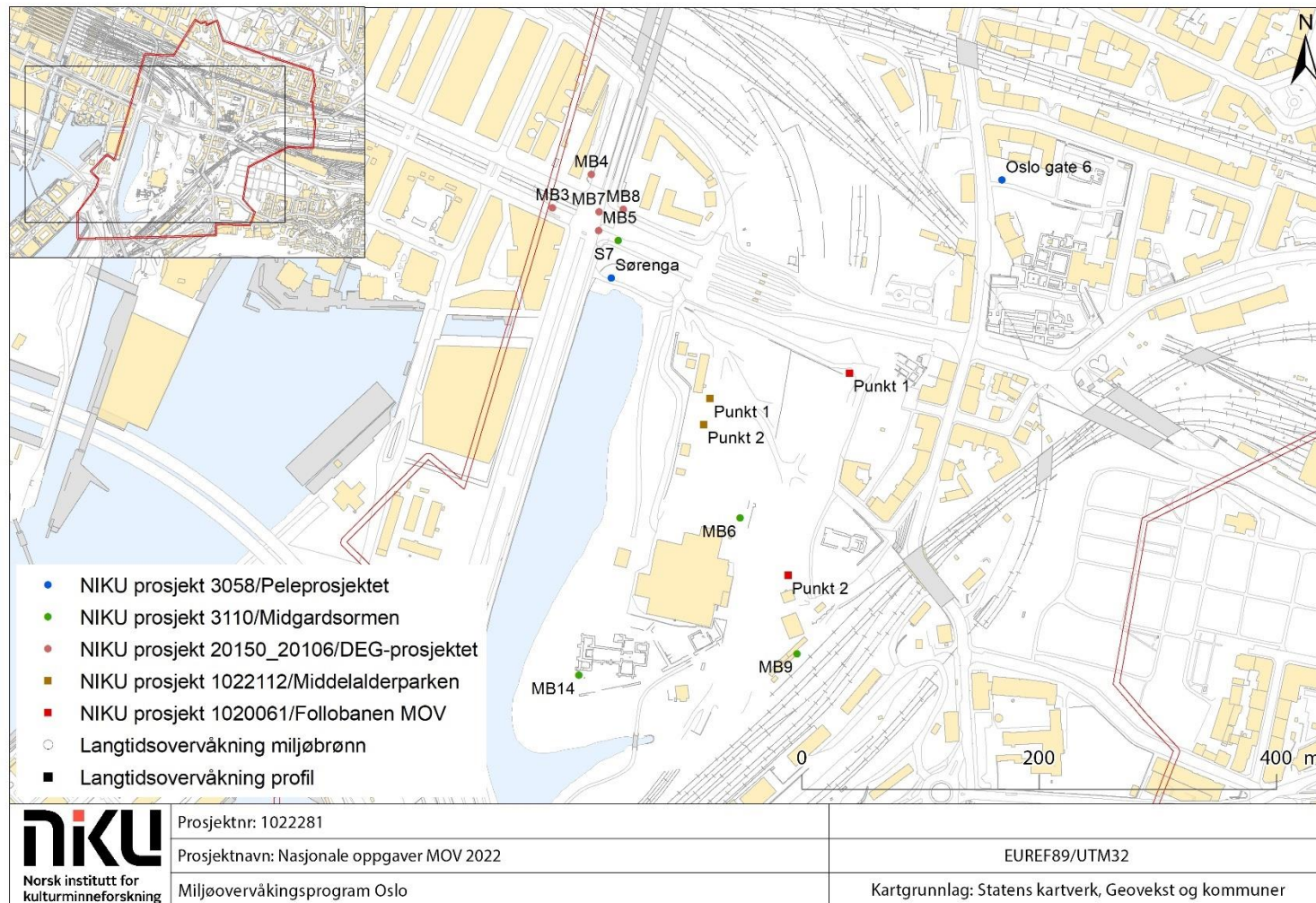


6.1.2 Bergen - Vågsbunnen

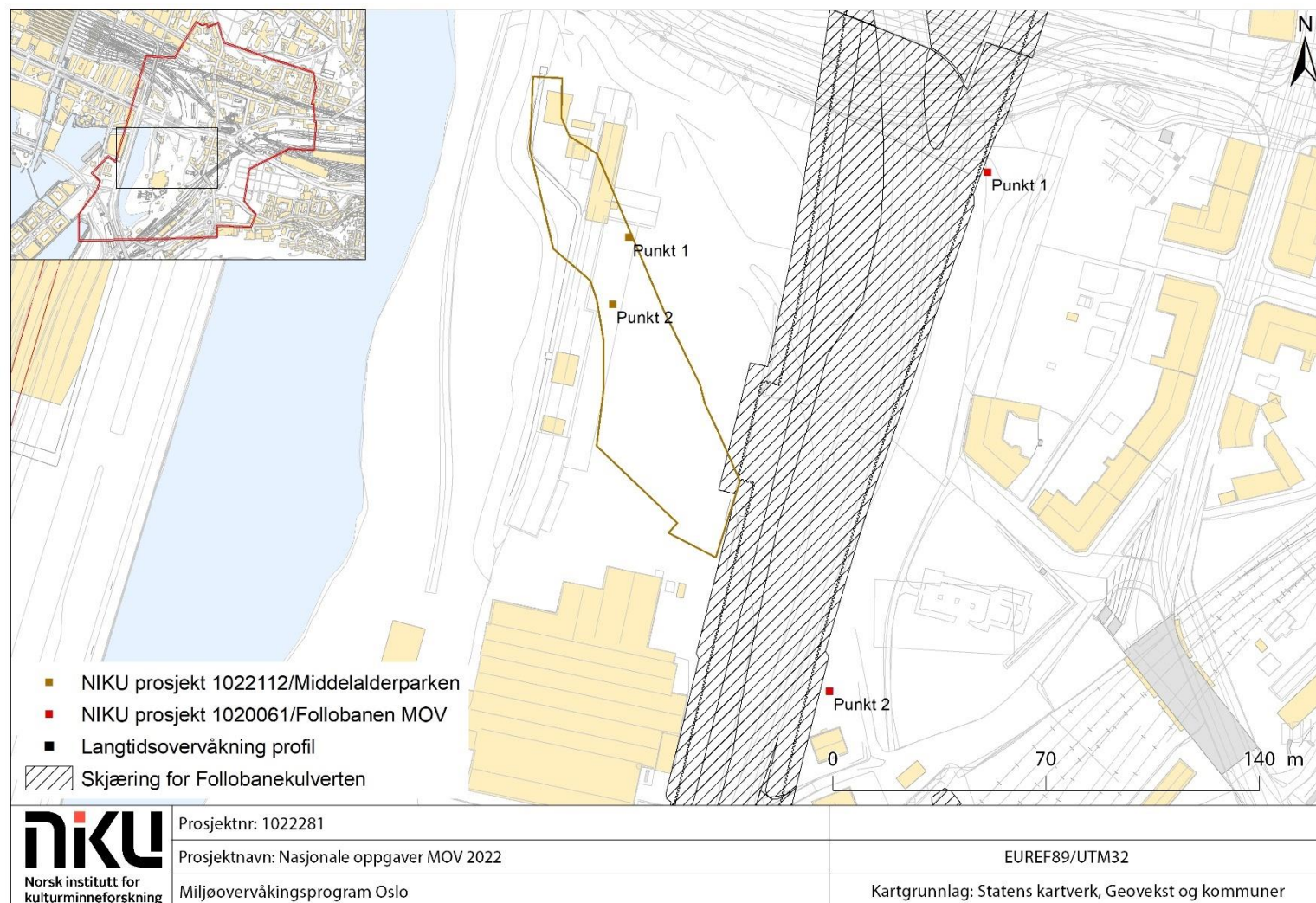


	Prosjektnr: 1022281	EUREF89/UTM32
	Prosjektnavn: Nasjonale oppgaver MOV 2022	Kartgrunnlag: Statens kartverk, Geovekst og kommuner
	Miljøovervåkingsprogram Bergen	

6.1.3 Oslo



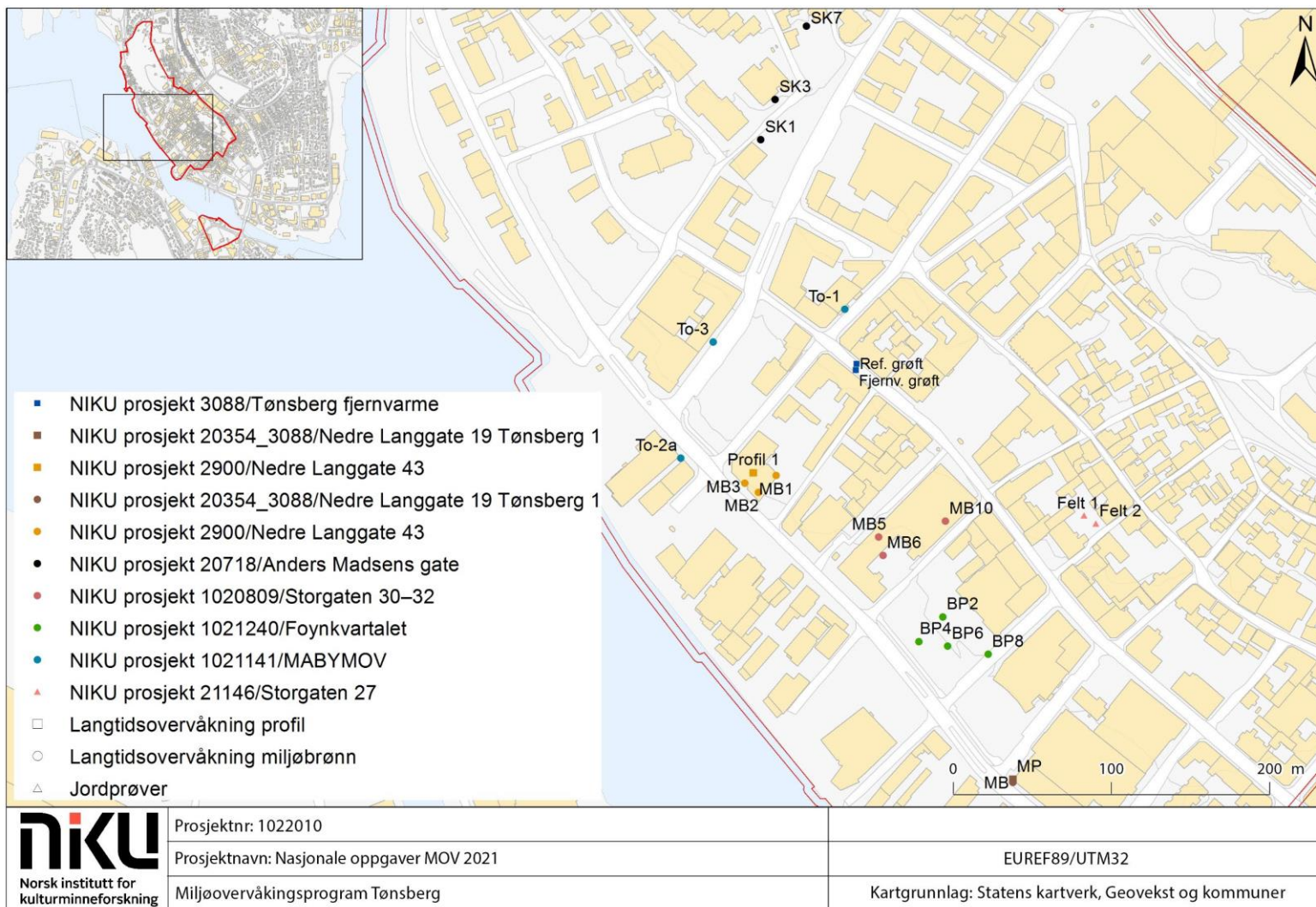
6.1.4 Oslo – Follobanen



6.1.5 Trondheim



6.1.6 Tønsberg



6.2 Analyseparametere kulturlag

Parametere for analyse av jordprøver fra kulturlag beskrives i NS9451:2009 (Standard Norge 2009). Parametere er delt inn i grunnleggende parametere (S1) og miljøparametere (S2). Parametere i S1 og S2 beskrives i Error! Reference source not found.

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

Tabell 5: Oversikt over analyseparametere i gruppene S1 og S2.

Innsamlet data brukes til å vurdere bevaringsforhold av kulturlagene. Dette baseres hovedsakelig på inntrenging av oksygen som påvirker redoksforholdet i jorden (som % O₂ eller som redokspotensiale). I tillegg overvåkes / analyseres fuktighet og en del andre kjemiske parametere (pH og ledningsevne) for å se hvordan grunnvann kan påvirke kulturlagenes bevaringsforhold (Martens et al. 2021).

Når det gjelder bedømmelsen av bevaringstilstanden til arkeologiske levninger – noe som vanligvis foretas av arkeologer i felt – finnes det en rekke parametere, beskrevet i NS9451:2009.

Tilstandsgraden angis i henhold til en skala, som vises av Error! Reference source not found..

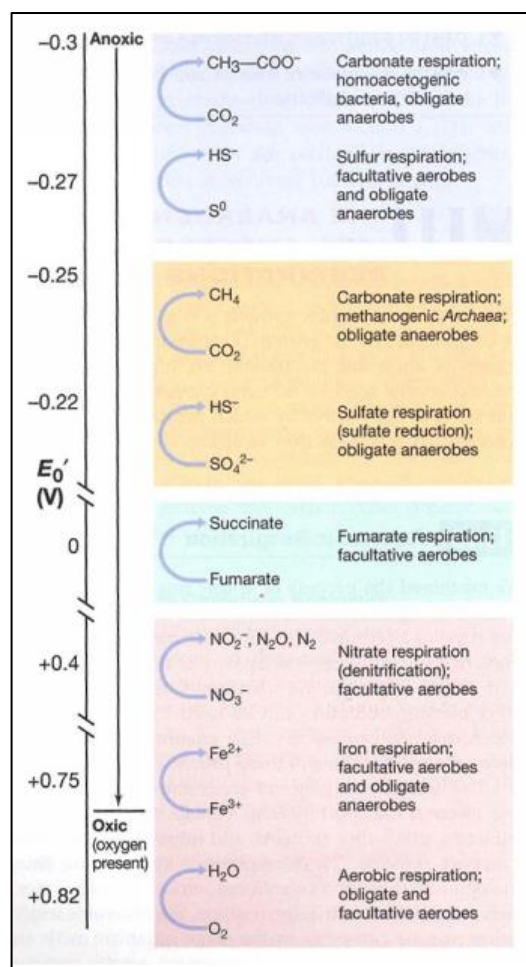
Posisjon i relasjon til grunnvann	Bevaringsgrad					
	0 (Ingen)	1 (Elendig)	2 (Dårlig)	3 (Middels)	4 (God)	5 (Utmerket)
Over grunnvann (umettet sone) = A	A0	A1	A2	A3	A4	A5
Overgangssone (fluktuierende vann) = B	B0	B1	B2	B3	B4	B5
I grunnvannet (mettet sone) = C	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Fyllmasser o.l. senere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

Tabell 6: Skala som angir bevaringstilstanden i kulturlag, i henhold til Norsk Standard NS 9451:2009.

6.3 Beskrivelse av bevaringsforhold

Bevaringsforhold er beskrevet etter de nevnte to sett grunnleggende miljøparametere (S1 og S2, Norsk Standard 9451:2009). Gode bevaringsforhold for kulturlag karakteriseres av stabile kjemiske og fysiske forhold. Dette fører til at naturlige gradienter (f.eks. hydrologiske gradienter eller konsentrasjonsgradienter), som ofte holder naturlige kjemiske prosesser i gang, avtar. Dette medfører langsommere nedbrytning av kulturlag og mindre mikrobiell aktivitet (Martens et al. 2021).

I naturen foregår nedbrytning av organisk materiale og korrosjon av metaller parallelt med andre prosesser. Mikroorganismer får energi fra slike reaksjoner. Avhengig av redoksforhold i jordlagene vil forskjellige typer mikrobielle reaksjoner dominere. Dette vises i **Error! Reference source not found.**



Figur19: Oppsummering av redoksforhold for mikrobiologiske prosesser. Stabile negative redoksforhold (anaerobe forhold) gir de beste bevaringsforhold for kulturlag (Madigan & Martinko 2006).

Selv om redoks i jordlaget kan indikere at jernreduksjon dominerer, vil også andre prosesser som f.eks. sulfatreduksjon og dannelse av metallsulfider forekomme. Ved lavere redoksforhold vil karbonnedbrytning foregå langsommere. Så lenge det ikke er inntrenging av fritt oksygen vil også korrosjon av metallgjenstander foregå langsommere.

En typisk teskje jord kan inneholde omkring 10^9 bakterietyper. Bakterietypene varierer voldsomt mellom hvor jorden kommer fra, dybden av prøven osv. Aktivitet og kjemisk/fysisk fingeravtrykk av jordlaget vil bestemme hvilke typer bakterier som blir dominerende i jorden og dermed hvilke prosesser som dominerer. Noen bakterier kan redusere både nitrat og sulfat, og prosessen som dominerer bestemmes av hvor mye av disse som er til stede. Grunnvannskilden og grunnvannskjemi er derfor meget viktig i påvirkning av prosessene som foregår i kulturlagene.

I naturen kan vi derfor observere at aerobe forhold der oksygen altså er til stede, går over til nitratreduserende forhold når alt oksygen er brukt opp dersom det er nitrat tilgjengelig. Deretter følger mangan-, jern- og sulfatreduserende forhold, før metanogene/metanproduserende forhold – så lenge de nødvendige næringsstoffene er til stede.

Under metanogene forhold observeres langsom nedbrytning av organisk materiale, og mindre korrosjon av metallgjenstander. Korrosjon under slike forhold forårsakes av sulfid-dannelse og reduksjon av jern og mangan til de respektive metallsulfider.

Nedbrytning av organiske gjenstander blir lavere dersom redokspotensialet blir mer negativt. Hastigheten av den organiske nedbrytningen vil som oftest avta i rekkefølge nitrat-, mangan-, jern-, sulfatreduserende til metanogene forhold.

Oksiderende og nitratreduserende forhold kan som regel karakteriseres som dårlige bevaringsforhold, mens sulfatreduserende og metanogene forhold kjennetegner bra til utmerkede bevaringsforhold. Imidlertid må stedsspesifikke forhold tas i betraktning. Redoksforskjelligheter mellom de forskjellige mikrobielle prosessene vises i **Error! Reference source not found.** (Madigan & Martinko, 2006).

Error! Reference source not found. og 3 viser en enkel oversikt over hvordan kulturlagenes bevaringsforhold vurderes. Dette er gjort som en vurdering av parametere beskrevet i NS 9451:2009. I flere tilfeller vil man få grenseoverganger. I det røde markerte området vises nivåer av målte kjemiske parametere for typisk oksiderende forhold, mens reduserende forhold er vist med grønt.

Redoksforskjelligheter i grunnen kan karakteriseres ved å måle redokssensitive komponenter i jord og porevann (vann fra miljøbrønner i samme høyde som kulturlag observert ved boring av brønnen). Man måler oksygen, nitrat, ammonium, mangan (II), mangan (IV), jern (III), jern (II), sulfat, sulfid og metan. Høye oksygenkonsentrasjoner indikerer for eksempel at forholdene er oksiderende og at mikroorganismene bruker oksygen til å bryte ned organisk materiale. Tabellen illustrerer også omtrentlige redoksverdier benyttet i overvåking av grunnvannet som beveger seg igjennom kulturlagene.

Relativ konsentrasjon					Dominerende prosess	Redoks (mv)	Bevaringsforhold
NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	S ²⁻	Fe (II)	Fe (III)			
Lav	Lav	Lav	Lav	Høy	Oksiderende	200	Elendig
Høy	Lav	Lav	Lav	Høy	Nitratreduksjon / Oksiderende	100	Dårlig
Høy	Lav	Lav	Høy	Lav	Nitratreduksjon / Jernreduksjon	0	Middels
Lav	Lav	Lav	Høy	Lav	Jernreduksjon	-100	Middels
Høy	Høy	Høy	Middels	Lav	Nitratreduksjon / Sulfatreduksjon	-200	Bra
Lav	Høy	Høy	Middels	Lav	Sulfatreduksjon	-370	Bra
Lav	Høy	Høy	Høy	Lav	Sulfatreduksjon / Metanogenese	-400	Utmerket

Tabell 7: Relative konsentrasjoner av dominerende næringsstoffer i jord under forskjellige redoksforskjelligheter og bevaringsforhold i kulturlag.

Som avslutningsprosesser for miljøprofiler, dekkes det utgravde området med ikke-marin blåleire. Ved å begrense tilgang til næringsstoffer som kan være til stede i marin blåleire (sulfat, fosfat og bundet karbon), gjør denne prosessen kulturlaget tettere mot inntrengende oksygen. Samtidig reduseres muligheten for drenering av vann og utlekking av salter (f.eks. sulfat) som ville kunne øke nedbrytning av jernstrukturer ved økt dannelse av jernsulfid (Martens et al. 2021).

6.4 Profilsikring

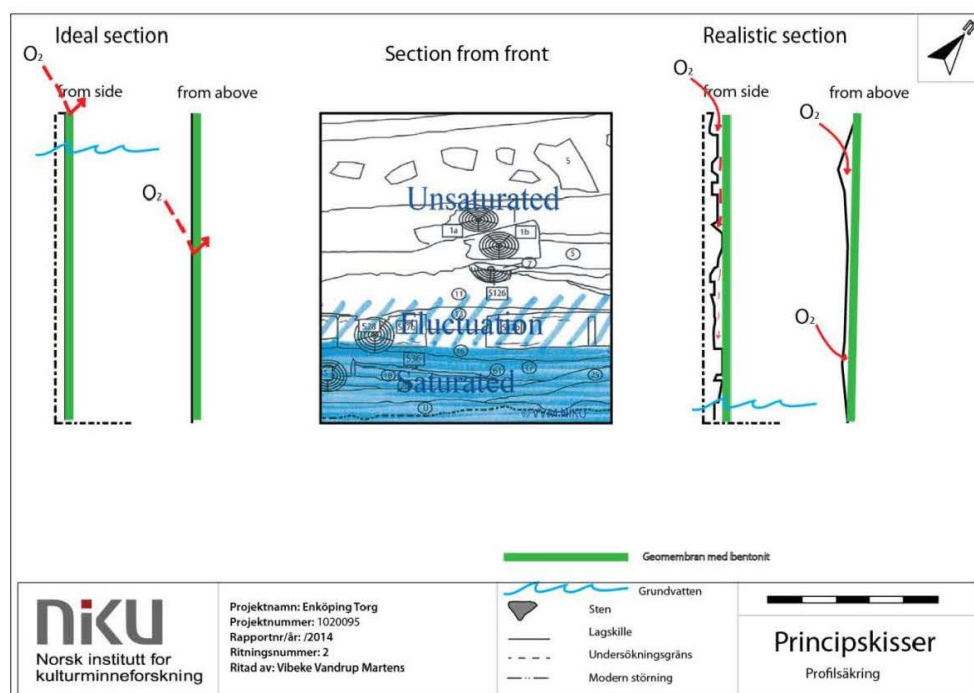
NIKU faktaark kulturlagssikring

Vibeke Vandrup Martens

Mulige metoder, vurderinger av effektivitet, tidsbruk og kostnader

Ved eksponering av arkeologiske kulturlag i profilvegger ved anleggsarbeider eller arkeologiske undersøkelser, er det viktig å huske på å sikre disse før enn sjaktene legges igjen. Verste nedbrytningsfaktor for organiske rester i kulturlag er oksygen (O_2), og målet med sikring er å hindre oksygen i å trenge inn i lagene. Det er i hovedsak testet og benyttet to metoder; enten tildekking med geomembraner med bentonitt (leirmineral); eller tildekking/innpakking av gjenstående profilvegger med et opp til 20cm (og minimum 5) tykt lag ikke-marin blåleire.

Bruk av geomembraner forutsetter helt rette og glatte profilvegger og konstant kontakt med grunnvann. Hvis membranen tørker ut, blir bentonitten til pulver igjen – og da har det ingen beskyttende effekt. Om man får tak i relativt små og fleksible geomembraner, kan det være et tidsbesparende men ganske kostbart tiltak. Men om ikke membranen kan holdes konstant fuktig, er det stor risiko for at oksygen kan trenge inn bak den, og da er det i beste fall bortkastet tid og penger; i verste fall mister man den arkeologi som membranen skulle beskytte.



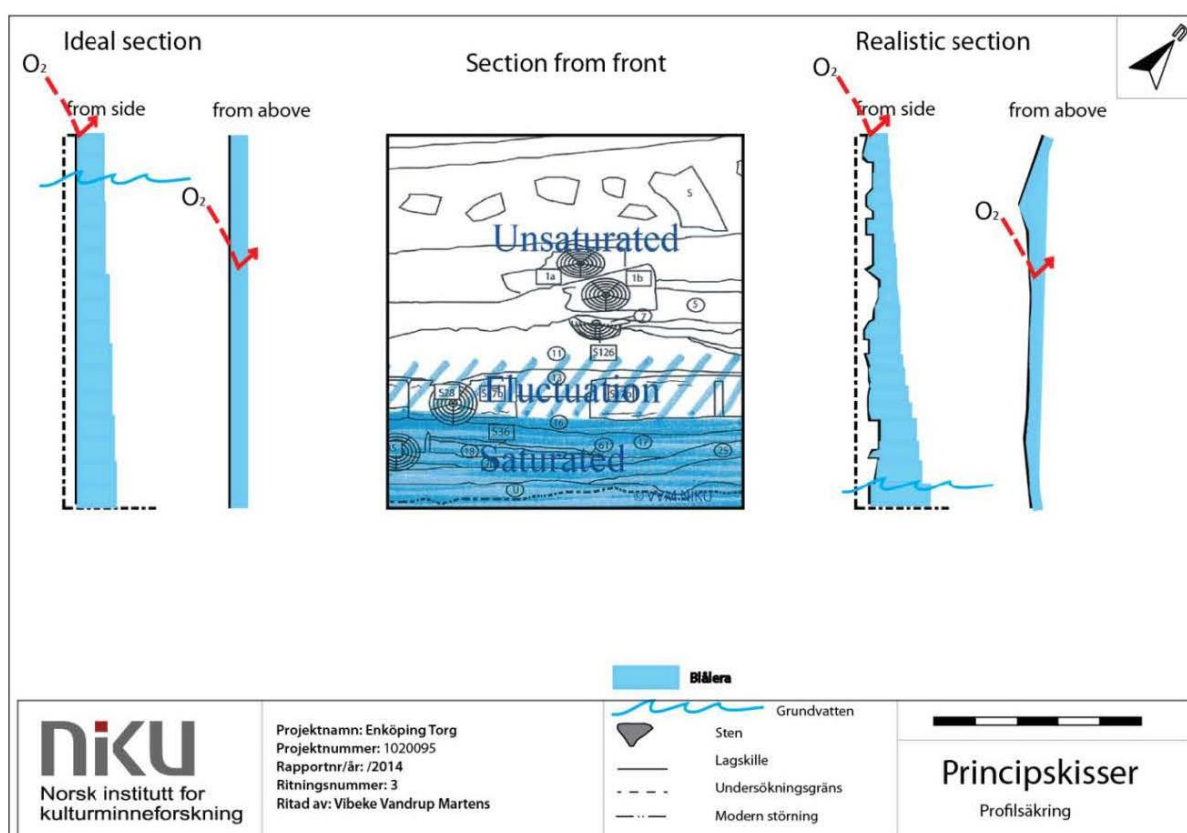
Tegning 1: En profil med pålagt geomembran. Om profilveggen er rett, og det er høy grunnvannstand, fungerer det bra. Om det er ujevne flater er det stor risiko for at oksygen kan trenge inn bak matten.

Sikreste og mest effektive alternativ blir da å legge et inntil 20cm tykt lag med ikke-marin blåleire, som presses helt inn mot og i profilveggen. På den måten unngår man at oksygen kan trenge inn, uansett hvor ujevn profilveggen måtte være, og binder fukten i jordlagene lengst mulig. Uten på leiren kan man legge vanlig geotekstil/fiberduk og deretter fylle opp med ønsket materiale, uten å risikere at det forstyrrer fortsatt bevaring av kulturlagene.

Om det er lite plass, må man gjøre det for hånd (tungt og tidskrevende), men om man får ned en gravemaskinskuff i sjakten, kan den skyve leiren på plass inn mot profilen (under arkeologisk overvåking) – da er det en effektiv og billig metode. Sårbare områder med gjenstander eller installert overvåkingsutstyr som stikker ut av veggen må pakkes for hånd.

Det er viktig at leiren som brukes er ikke-marin, da marin leire inneholder sulfat som kan oksidere kulturlagene og dermed øke nedbrytningshastigheten – altså motsatt den ønskede effekten. Leiren må være plastisk og fri for store stein – helst blåleire, men såkalt gråleire kan være et alternativ.

Leiren har den fordel at den slipper vann igjennom, men svært sakte, så kulturlagene får anledning til å suge til seg mest mulig fukt. Det er med på å bevare det organiske materialet, sikrer fremtidig bevaring – og man unngår en ikke ubetydelig sideeffekt: setningsskader på bygninger, gater og infrastruktur.



Tegning 2: En profilvegg med leire lagt helt inn til veggen og pakket inn mellom ujevnhetene i overflaten.

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

NIKU Rapport 165

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