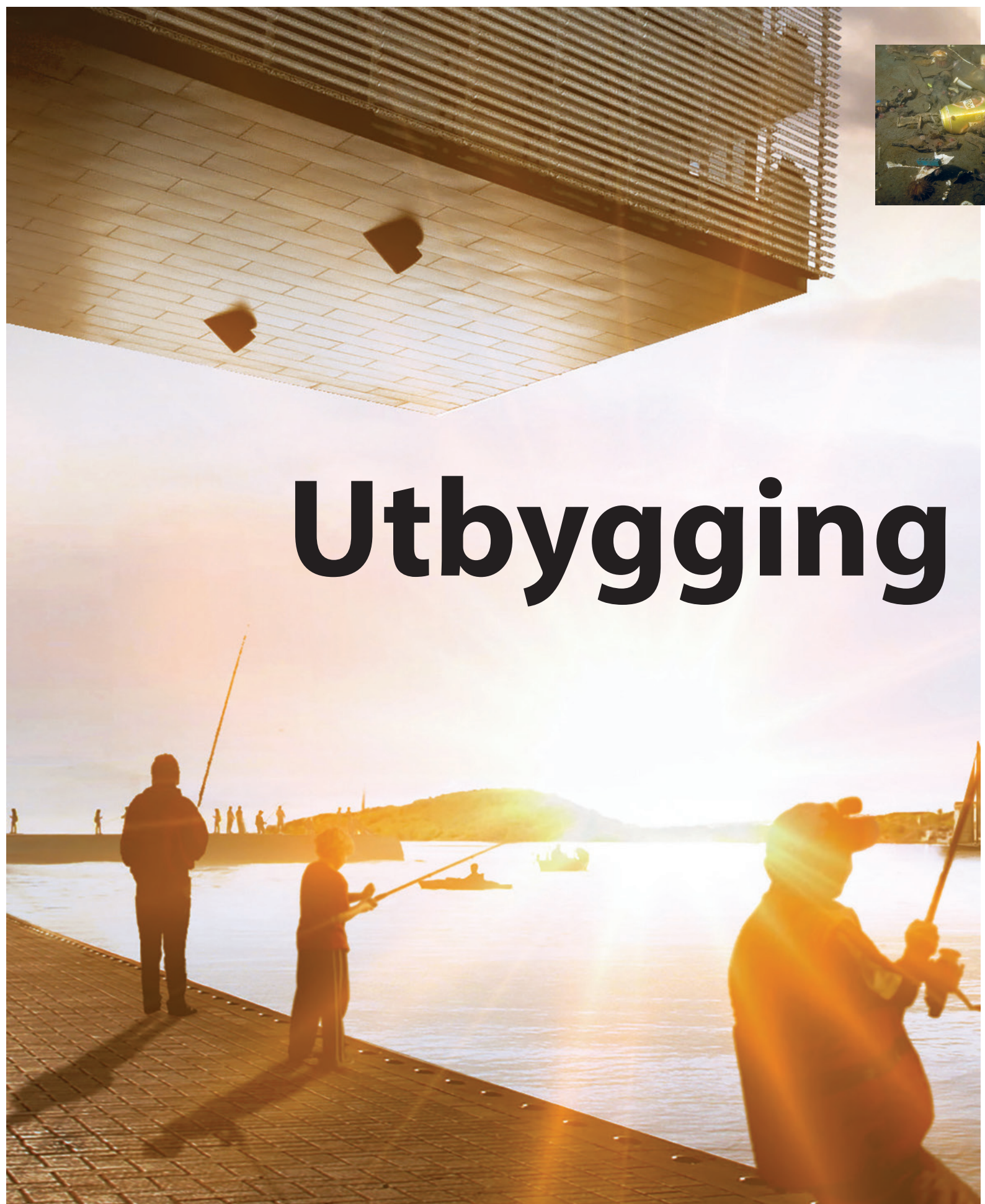




Utbygging





Figur 1. Det du ikke ser finnes ikke ... Oslofjorden over og under vannoverflaten. Illustrasjon venstre side: Visjon for Vippe-tangen i «Forslag til prinsipp- og strategiplan for Havnepromenaden (2014: 164). Undervannsfoto t.v.: Fredrik Myhre © Hjelp havets haier. Undervannsfoto t.h.: Caterina Cattaneo © Project Baseline.

Stikkord: Betongbasert marin infrastruktur, korridorer for fremmede arter, hardbunnsamfunn, kunstige habitater og bioaktive overflater

Påvirker menneskeskapte konstruksjoner i sjø marine økosystem? I denne artikkelen tar vi for oss dette spørsmålet i lys av internasjonale forskningsstudier.

i det blå

Elin T. Sørensen, doktorgradsstipendiat
Fakultet for landskap og samfunn NMBU
Karl Inne Ugland, professor Seksjon for
akvatisk biologi og toksikologi UiO
Johan Petter Nystuen, professor
emeritus Institutt for geofag UiO

Store deler av kystområdene i Europa, Nord-Amerika, Asia og Australia er nå dekket av diker, bølgebrytere, større hydrauliske systemer for å hindre utvasking eller sedimentering, brygger, kunstige rev, oljeplattformer, rørsystemer for olje og gass, offshore vindkraft, osv. Utbredelsen av marin infrastruktur i sjø (fra engelsk: «ocean sprawl») representerer en omfattende menneskelig påvirkning som kan føre til uønskede endringer i de marine økosystemene. I de senere årene har det for eksempel blitt dokumentert at det utvikler

seg artssamfunn på de kunstige substratene. Dette er artssamfunn som adskiller seg en god del fra de samfunnene som vokser opp på det naturlige steinete kystlandskapet, med de karakteristiske uregelmessige heterogene overflatene.

I byplanleggingen diskuteres utforming, byggehøyder, plassering og materialbruk. Det legges til rette for grønnstruktur med parker og møteplasser for å øke innbyggernes trivsel. Men hva skjer når vi beveger oss fra atmosfæren og ned i havet? Avfall, plast og kjemikalier som ender i havet er ute av syne og kan derfor fort bli betraktet som ikke-eksisterende (figur 1).

De siste årene har begrepet økosystemtjenester blitt stadig mer tatt i bruk. Med EUs *Urban Agenda* – som er del av Horizon 2020 programmet – fremheves «Naturbaserte løsninger» (NBS). Her inngår følgende tre retningslinjer: ta vare på naturen; bruke naturens egen teknologi

til å løse utfordringer vi står overfor; og etterligne natursystemene gjennom en *naturhermende prosjektering*.

Havnepromenaden i Oslo er del av den vedtatte Fjordbyplanen og dekker hele den indre bydelens kontakt med sjøen – i det 9 km lange strekket fra Frognerstranda i vest til Kongs-havn i øst. I 2014 kom det ut en strategiplan for Havnepromenaden, som er veiledende for videre transformasjonsprosesser. Her er det å øke «kontakten med vannet og byen» ett av fire overordnede prinsipper. Det heter videre at planlegging og prosjektering skal «foredle eller skape ny kontakt med fjorden og vannflaten», og biomangfold skal utvikles ved å etablere «habitater langs vannkanten» (White arkitekter *et al.* 2014). Strategiplanen omhandler altså «vannflaten» og «vannkanten». Forholdene under overflaten står igjen som blanke ark. Vi vil argumentere for at de ønskede overordnede prinsipper bare vil oppnås dersom man også inkluderer de underliggende vannmassene og sjøbunnen.

Geologisk mangfold versus en «monokultur» av syntetiske flater

Havets kontakt med land er en uregelmessig overflate av *berggrunn* og påliggende *løsmasser*. Berggrunnen langs kysten av Norge har blitt formet av kvartærtidens innlandsis som har gravd ut store og små fjorder og formet avrundete svaberg. I noen kyststrøk har berggrunnen blitt langsomt modifisert av mekanisk og kjemisk forvitring – av bølger, tidevann, kyststrømmer og ikke minst frostsprengning – etter at den siste innlandsisen forsvant fra kysten for omkring 11500-20 000 år siden.

Graden av modifisering endrer seg med bergartstype, beliggenhet i forhold til energien i de omgivende

KORT OM ØKOSYSTEMTJENESTER

Økosystemtjenester er et samlebegrep for grunnleggende naturgoder, som det er en tendens til å ta for gitt. Med at vi blir stadig flere mennesker på jorda, beskattes ressursene stadig hardere – noe som også medfører store endringer i naturen og ugjenkallelige tap av naturareal, arter og livsformer. Begrepet er etablert for å kommunisere betydningen av naturverdiene – før de forsvinner.

Her grupperes «naturgodene» i «forsynende tjenester» som mat, bioenergi og genetiske ressurser; «regulerende tjenester» som pollinering og klimaregulering; «kulturelle tjenester» som friluftsliv, estetikk, og åndelig berikelse. I tillegg kommer de «grunnleggende livsprosessene» som fotosyntese, jordsmonndannelse, vannkretsløp og økologiske interaksjoner.

Økosystemtjenester spiller en særs viktig rolle i urbane strøk, der fortetting og harde flater fører med seg utfordringer knyttet til vannkretsløp, vannkvalitet med mer.

vannmasser som rolig vs. turbulent sjø, og til en viss grad begroingen på berggrunnen. Resultatet av forvitring og erosjon av berggrunnen langs kysten er at kystlinjen på mikronivå blir meget lang med en komplisert struktur av mange store og små uregelmessigheter.

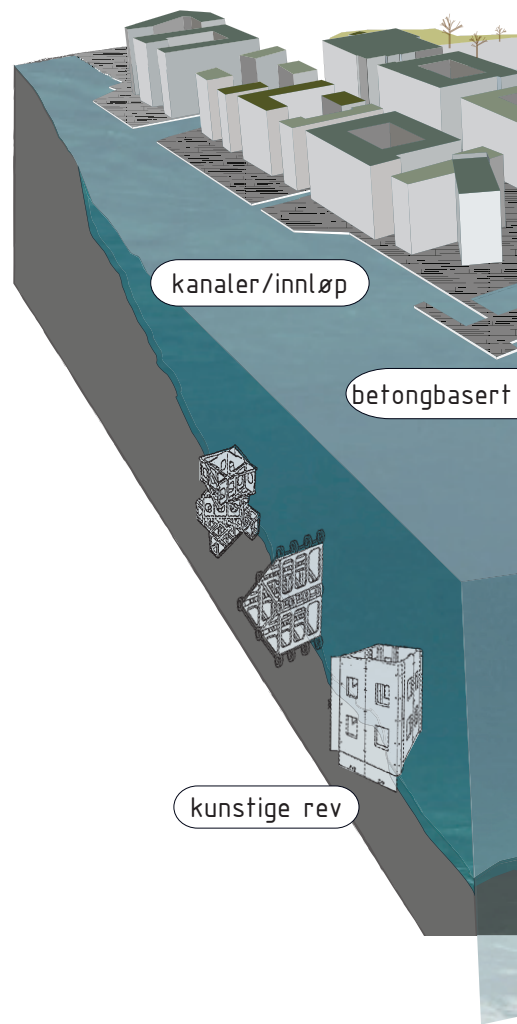
Berggrunnen består av en eller flere typer av *bergarter*, som igjen består av *mineraler*. Siden det er mange ulike mineraler og måter bergarter kan dannes på, finnes det mange forskjellige bergarter. En bergart holdes sammen fordi de ulike mineral Kornene fliker inn i hverandre som brikkene i et komplisert puslespill, eller mineral Kornene holdes sammen av naturlig sement av mineraler som har blitt felt ut fra rommet mellom Kornene. Selv små bruddstykker av en bergart vil som regel inneholde flere forskjellige mineraler. Eksempelvis er bergarten granitt sammensatt av mineralene kvarts, feltspat og glimmer. Noen bergarter kan være dominert av Korn av samme slags mineral, for eksempel kalkstein. Berggrunn og løsmasser i kontakt med sjøvann viser et stort mangfold i sammensetning med hensyn til mineralinnhold og kjemi, fasthet, farge og størrelse, mønster og formmessige arrangementer av ujevnheter i overflaten (tekstur); egenskaper som er viktig for kolonisering av marine organismer. Graden av fasthet er spesielt viktig for hvilke organismer som vil kolonisere havbunnen.

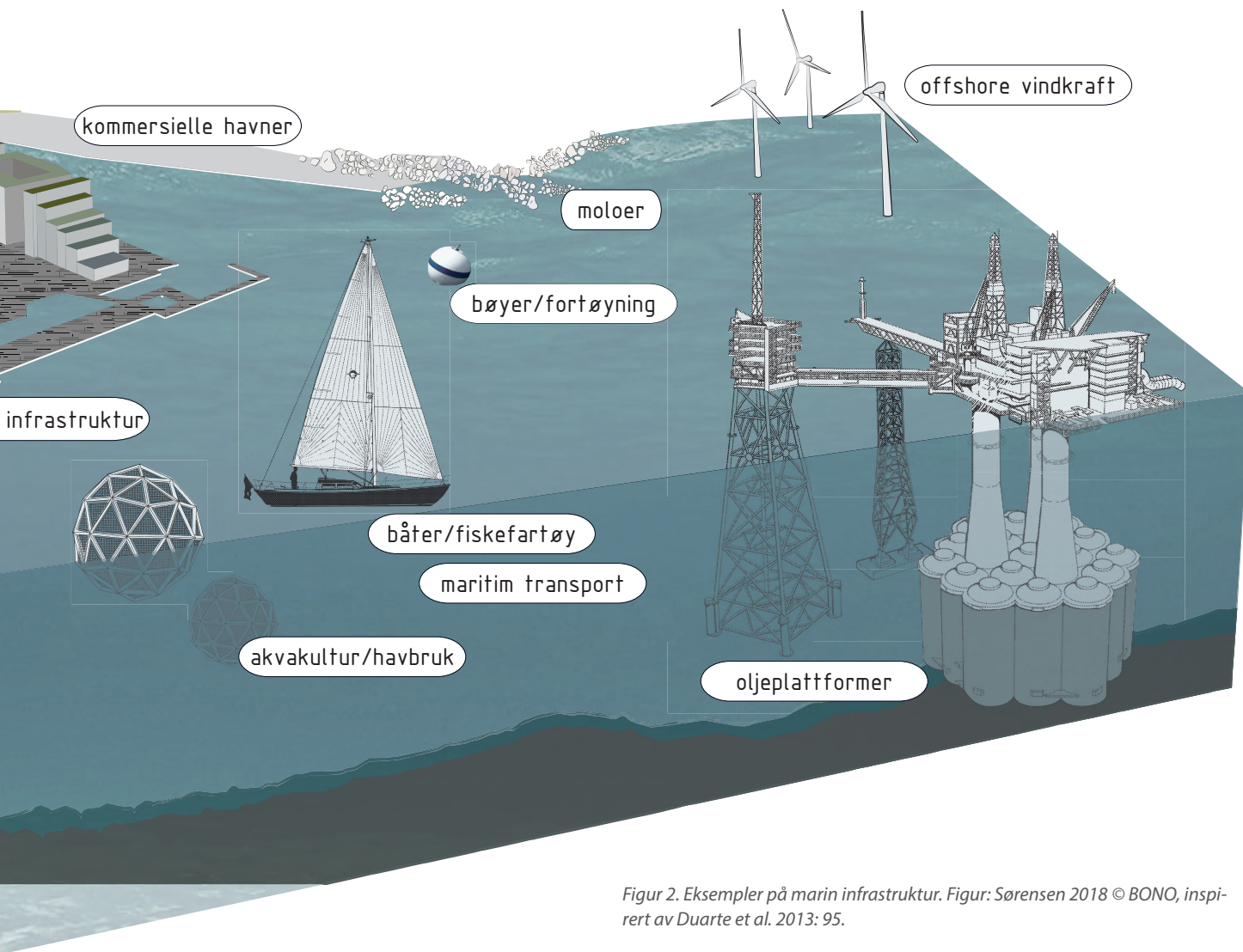
De fleste fastsittende organismer

har en livssyklus der de starter livet som fritt svømmende larver. På den måten kan de spre seg til nye områder i mer eller mindre lang avstand fra foreldrene. Etter en tid som varierer mye fra art til art, må larvene slå seg ned på et egnet substrat for å omdannes til et fastsittende individ. Ved berøring av substratet er larvene i stand til å gjenkjenne ulike teksturer med sanseceller som reagerer på mekaniske påvirkninger (mekanoreseptorer).

I et eksperiment ble sjøpunglarver (*Ciona intestinalis*) eksponert for flater av pleksiglass med forskjellig tekstur, der den ene halvparten var glatt, mens den andre halvpar-

En spasertur langs svabergene i indre Oslofjord om sommeren, med sol over, bølgeplask i bakgrunnen og måker som kretser skrikende der oppe sammen med solen, er stort sett en overveldende vakker opplevelse i et land med lange vintre. Men for oss som har frekventert miljøet langs land og under vann, er veien kort til at denne idyllen blir brutt med et smell. Nå er det et økende fokus på plast og forsøpling – men jeg har dykket i over tre år, og kan med hundre prosent sikkerhet si at mengden avfall både over og under vann har økt dramatisk. Indre Oslofjord har også forandret seg på generell basis. Det kan virke som om vannkvaliteten er bedret – vannet er ikke lengre så brunt som det pleide å være. Samtidig er det «alltid» mye partikler i vannet som gjør at sikten er dårlig. På åttitallet pleide vi å si at vinterdykking er best av to grunner: Mindre trafikk på vannet og bedre sikt. Dette stemmer ikke helt lengre. Det er stort sett dårlig sikt i indre Oslofjord året rundt (Caterina Cattaneo dykker Project Baseline, 2018).





Figur 2. Eksempler på marin infrastruktur. Figur: Sørensen 2018 © BONO, inspirert av Duarte et al. 2013: 95.

ten hadde ulike teksturer som var overflatebehandlet med fint og grovt sandpapir samt ved sandblåsing. Her viste det seg at larvene foretrakk den glatte halvdelen fremfor flatene som var behandlet med sandpapir, men at de også foretrakk den sandblåste siden fremfor den glatte. I et annet forsøk ble larver av fjærerur (*Semibalanus balanoides*), som kalles cypridlarver, eksponert for plater med teksturvariasjoner målt som overflateruhet i spennet fra glatt, fin (fra 0 til 0,5 mm), medium (fra 0,5 til 2 mm), og grov (fra 2 til 4 mm). Her ble det observert at tettheten av bunnslåing varierte med tekstur i følgende nedadgående rangering i tettheten av cypridlarver:

Fin (3 larver/cm²) > Medium (2,2 3 larver/cm²) > Grov (1,4 3 larver/cm²) > Glatt (0,2 3 larver/cm²).

Her samlet flest individer seg på den finruglete tekturen, mens de unngår den glatte tekturen. Larvene velger altså overflater med ujevnheter som tilsvarer deres kroppsstørrelse (0,5–2 mm). De gjeldende hypotesene for dette valget er at slike groper gir beskyttelse mot både predasjon og sterke vannbevegelser som ellers kunne ha ført larvene vekk til uønskede områder. Det samme valget er observert for larvene til muslingene blåskjell (*Mytilus edulis*) og steinboreskjell (*Hiatella arctica*), som har mindre kroppsstørrelse og derfor foretrekker

mindre groper på 1 mm.

Foruten bergartenes tekstur, blir larvenes substratvalg også påvirket av mineralene. For eksempel er det påvist at planularlarvene av noen hydroider foretrekker kalkstein fremfor granitt med kvarts som hovedmineral. En nylig fremsatt hypotese er at noe av silisiumet i kvarts har en kjemisk påvirkning av det tilgrensende vannet som blir registrert av kjemoreseptorer og får larven til å avgjøre om den skal bli eller lete videre.

Hardbunnsamfunnene har vært gjenstand for omfattende undersøkelser i det vestlige Middelhavet hvor forholdsvis nærliggende områder består av bergarter som enten er rik eller fattig på kvarts. Berggrun-



Figur 3. Kambrosilurbergarter i Oslofjorden versus betongdokk og stålpunt på Filipstad. Foto: Sørensen 2018 © BONO.

nen på Gallinaria, en øy i Italia vest for Genova, har høy konsentrasjon av kvarts og domineres av blomstrende kolonier av hornkoraller. Men diversiteten er betydelig mindre i alle områder som har rikelig med kvarts. Portofino, et nes på den italienske kysten øst for Genova, er derimot karakterisert av kalkstein og sandstein, og generelt lavt innhold av kvarts. Her dominerer svamper, mens hornkoraller er sjeldne. Samspillet mellom organismene og mineralene spiller altså en stor rolle, ikke bare for larvenes substratvalg, men også for den senere utviklingen av samfunnets artssammensetning (Bavestrello, G, *et al.* 2000).

En standardisert, ensartet marin infrastruktur representerer på mange vis en «monokultur» som står i skarp kontrast til naturmangfoldet. Som vi skal se av fagstoffet som presenteres i kommende avsnitt, er det geologiske mangfoldet en sentral referanse i marine restaureringsprosjekt. Her forstås marine restaureringstiltak som økologisk kompensasjon, biologisk gjenoppretting og fysisk tilbakeføring av «naturlike forhold» i marine miljø – på steder der en naturlig dynamikk er «ødelagt» el-

ler «degradert». Slike «reparasjoner» kan ha ulike faglige tilnærminger i spennet fra ren vitenskap til mer praktisk og anvendt aktivitet. Innen en landskapsøkologisk tilnærming står tilrettelegging for variasjon, mangfold og optimaliserte økologiske strukturer og funksjoner sentralt.

Økologiske effekter av kunstige substrater

Vadehavet er et randhav til Nord-sjøen, som ligger mellom De frisiske øyer i Nederland og den danske vestkysten. Her er det bygget en sammenhengende kunstig flate av sement og stein som strekker seg over 3 km². Det interessante er at flaten understøtter koloniseringen av hardbunssamfunn, som i utgangspunktet er sjeldne eller ikke hjemmehørende i dette bløtbunnsområdet. Lignende funn er gjort i den nordlige delen av Mexicogolfen, der det er utplassert mer enn tusen olje- og gassplattformer. Konstruksjonene huser nå flere korallarter, og har bidratt til en spredning av arter til områder der de før var fraværende.

Sommeren 2008 ble det gjennomført en sammenlignende studie i Adriaterhavet, av naturlige rev

versus kunstige konstruksjoner langs 22 kyststriper på til sammen 500 km (Airoldi *et al.* 2015). Målet var å lære mer om hvordan hjemmehørende og fremmede arter slo seg ned både på naturlige og kunstige substrater. Undersøkelsen tok for seg kolonisering av sjøpunger (*Ascidier*), fordi denne gruppen er en av nøkkelartene i bentiske samfunn.

Sjøpunger er sessile organismer, det vil si dyr som lever fastsittende på bunnen. De kan opptre i enorme mengder og blir da ofte betraktet som en «plage». Både i tropiske og tempererte farvann ser man at sjøpunger slår seg ned i havneanlegg. Disse artene har kortlevende larver som begrenser deres naturlige spredningskapasitet. Arter som kommer fra fjerne strøk, må derfor nødvendigvis ha «fått hjelp». Airoldi *et al.* (2015) identifiserte tretti arter av sjøpunger – hvorav nitten hadde naturlig tilhold i Adriaterhavet, 8 var fremmede, og 3 var kryptogene. Sistnevnte vil si sjeldne arter hvor man vet for lite til å bestemme hovedutbredelsen, men disse artene kan imidlertid opptre i store mengder i havneanlegg.

Det ble videre observert store forskjeller i sammensetning og diversitet mellom kolonisering på kunstige og naturlige habitat. På de kunstige strukturene hadde nesten kun fremmede og kryptogene arter slått seg ned, mens hjemmehørende arter var nærmest fraværende. Dette til tross for at mange av konstruksjonene var etablert for over 60 år siden. Selv på marin infrastruktur som lå i nærheten av en naturlig hardbunn, utgjorde de lokale artene bare mellom 10 og 50 prosent av samfunnet som hadde etablerte seg.

Et annet eksempel på spredning av sjøpunger er invaderingen av Brudenell-estuariet på Prince Edward Island i Canada. Siden 1997 har det blitt observert inntog av fire fremmede sjøpunger, henholdsvis *Styela clava*, *Ciona intestinalis*, *Botrylloides violaceus* og *Botryllus schlosseri*. De første årene dominerte *S. clava*, som deretter ble erstattet av tarmsjøpungen *C. intestinalis*, med de kolonidannende *B. schlosseri* og *B. violaceus* på andre og tredje



Figur 4. *Ciona intestinalis* i Oslofjorden. Undervannsfoto: Caterina Cattaneo © Project Baseline.

plass. Per i dag har disse fullstendig utkonkurrert andre arter og antatt epidemiske proporsjoner med tettheter opp til 5 per cm².

Årsaken til tarmsjøpungens suksess er dens konkurransemessige fordeler; Reproduksjonen starter tidlig på året, og larvene tåler lave temperaturer – der *C. intestinalis* starter i juni med 8 °C og *S. clava* i juli med 12 °C. En annen årsak relateres til den store andelen av kunstige substrater i Brudenell-estuarier, der det har vist seg at nevnte arter ikke viker av veien for å slå seg til på «ny» syntetisk hardbunn. Disse fire artene av sjøpunger klassifiseres nå som «uønskede». Forholdet representerer en betydelig økonomisk belastning for de kommersielle muslingfarmene – der sjøpungene står for begroing og konkurrerer om mat og plass med oppdyrkede blåskjell (*Mytilus edulis* L.).

Byggverk i sjøen virker som korridorer for fremmede arter

Flere undersøkelser konkluderer med at samfunnene som utvikler seg på betongbaserte marine byggverk karakteriseres ved lav diversitet og stort innslag av fremmede arter. Den rasjonelle utformingen utgjør til sammen en monokultur av repeterende glatte flater, med lav strukturell kompleksitet og avvikende kjemiske

KORT OM SPREDNING AV ENKELTE FREMMEDE ARTER

Den sørafrikanske brune muslingen (*Perna perna*) har kolonisert kystene av Texas og Mexicogolfen i et tempo på 95 km per år. Sebramuslingen (*Dreissena polymorpha*) i Svartehavet og Det kaspiske hav, har spredt seg til store deler av kysten langs Europa og Nordøst-Amerika. Den blå middelhavsmuslingen (*Mytilus galloprovincialis*) ankom vestkysten av Sør-Afrika i 1970 – og har på 30 år spredt seg over 2000 kilometer av kysten langs Sør-Afrika og Namibia. Spredningen har vært spektakulær idet biomassen av den fremmede middelhavsmuslingen utgjør $\frac{3}{4}$ av den totale biomassen av alle muslinger på bølgeeksponerte områder. En viktig årsak til at naturlig hjemmehørende muslinger og snegler utkonkurreres, er at *M. galloprovincialis* har frittsvømmende larver som spiser små organismer i sjøen (såkalte planktotrofe larver) som kan slå seg til på havbunnen i mengder på 2 millioner rekrutter per kvadratmeter.

Sjøpungen *Pyura praeputialis* er solitær og kan bli lenger enn 30 cm. Den er hjemmehørende på den eksponerte sydøstlige kysten av Australia. Ved hjelp av skipsfarten etablerte arten seg på en 100 km lang strekning i Antofagasta-bukten i Chile på 1800-tallet. Her vant inntrengerne kampen om plass med muslingen *Perumytilus purpuratus* og rurarten *Chthamalus cirratus* – ved ganske enkelt å vokse over dem. I tillegg fungerer *P. praeputialis* også som en såkalt «ingeniørart», det vil si en art som endrer det lokale miljøet rundt seg slik at tilstedeværelsen av andre arter påvirkes. Effekten av *P. praeputialis* er å «understøtte» et rikt samfunn på 116 arter, hvilket er 50 prosent mer enn i tilsvarende tidevannshabitat i nærheten. Eksempelet viser at en fremmed art strukturelt sett kan medføre fundamentale endringer i naturlige økosystem.

egenskaper. Effekten er at områdets naturlige hjemmehørende arter ikke «kjenner seg igjen» – som igjen gir mer plass samt mindre konkurranse og predasjon til fremmede arter. Tendensen er at slike miljø tiltrekker seg opportunistar og generalister med stor tilpasningsevne til mange ulike

miljø (Sella & Perkol-Finkel 2015). Det ser ut til at marin infrastruktur fungerer som «springbrett» («stepping stones») for fremmede arter. Videre bidrar skipsskrog og ballastvann til å transportere arter over lange avstander til nye områder. Når «inntrengerne» opptrer i store mengder kan

KORT OM BETONG

Betong er en blanding av sement, tilslagsmaterialer, vann og eventuelle mineralske eller kjemiske tilsetningsstoffer. Det er en rekke mineralske tilsetningsstoffer som brukes for å optimalisere betongens egenskaper – enten av resursmessige, økonomiske eller miljømessige hensyn.

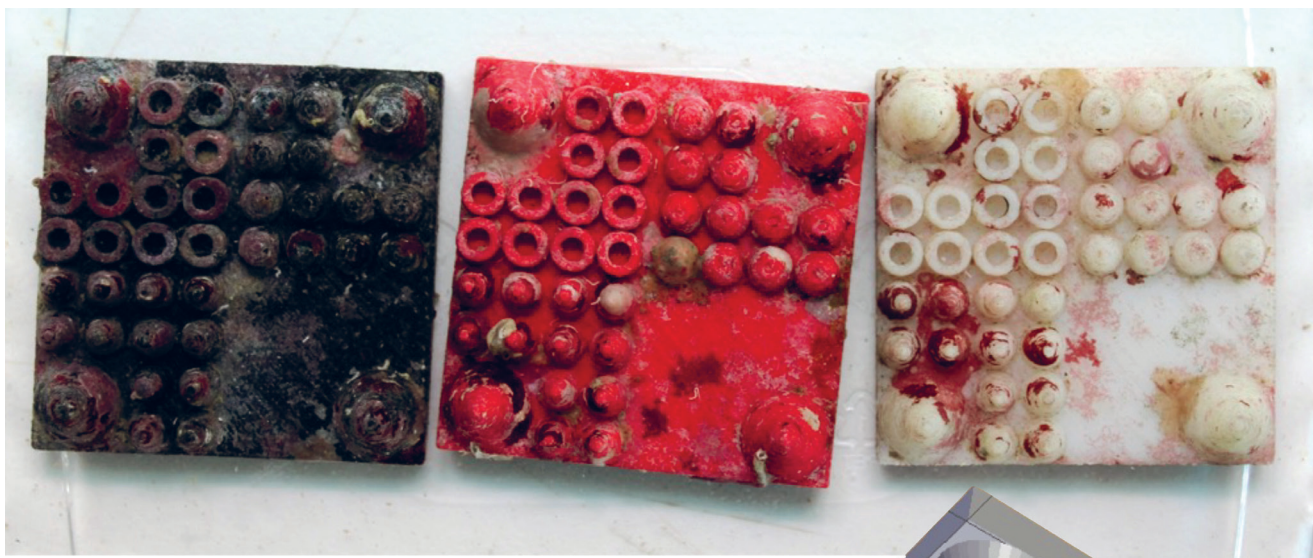
Når sement blandes med vann dannes et sement-lim som fyller ut hulrommene mellom tilslaget som ofte er av sand og stein. I kjemisk reaksjon med vann herdes sementen til en hard masse, og det kan ta opptil to år før betongen oppnår 80-90 prosent av sin styrke.

Betong sies å ha blitt oppdaget allerede av steinaldermenneskene. Med den industrielle revolusjon fikk bruken et vesentlig oppsving utover 1800-tallet. På den tiden ble det brukt såkalt «naturlig sement» som fremstilles fra en enkelt råvare, eksempelvis leirholdig kalkstein eller pozzolan – en vulkansk aske. I vår tid kan betong trygt sies å være ett av byggebransjens mest utbredte materialer både på land og i sjø – i alle deler av verden. Det som i dagligtale omtales som sement er gjerne «portlandsement», som også har størst kommersiell utbredelse på verdensbasis.

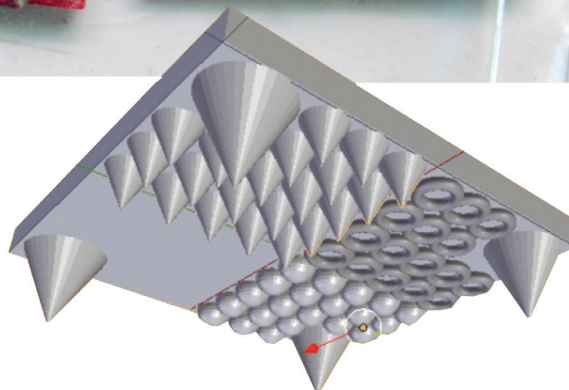
«Portlandsementen» ble oppfunnet av den engelske mureren Joseph Aspdin i 1824, i en prosess der han brente kalkstein sammen med leire til en sement. Leiren kan også blandes med kritt til «sintring» – det vi si en prosess hvor materialene ved oppvarming begynner å vokse sammen. Teknisk sett tilsvarer dette fremstillingen av hydraulisk kalk. Blandingens navn kommer av at materialet etter herding lignet den engelske portlandsteinen (Jahren 2012: 12, 16 og 23; Stenby 2017)

det også lede til store endringer i de regionale økosystemene.

Det er gode indikasjoner på at den korridordannende virkningen av byggverk i sjøen også har uventede økologiske konsekvenser. I verdenshavene er det observert en generell oppblomstring av stormaneter, *Scyphozoa*, i de siste tiårene. Flere har påpekt at veksten av disse populasjonene har vært sammenfallende med den voldsomme utbyggingen i sjøen siden 1970-tallet. Flere eksperimentelle undersøkelser har dokumentert at manetlarvene, som kalles planula-larver, villig slår seg ned på syntetiske materialer som betongheller, stålplater, blikkbokser, rep, glass og plast. Med rikelig tilgang på betongstrukturer, oljeplattformer og rørledninger vil manetpolyppene derfor lettvinnt kunne spre seg over store områder. Duarte *et al.* (2013) kunne således lansere hypotesen at korridoreffekten er en viktig mekanisme i oppblomstringen av maneter i verdenshavet..



Figur 5. Testpanel i ulike farger. I forsøket ble den flate oversiden vendt opp, mens undersiden med en variert utforming av kjegler, rugler og hulrom ble vendt ned i vannsøylen. Foto/illustrasjon: White/Marhaver Lab (2014).



Materialbruk i marine miljø

Det er betimelig å stille spørsmål til materialbruken i marine byggverk. Vi skal her se nærmere på betongbaserte konstruksjoner. Betong er nærmest uunngåelig å støte på langs kysten, med størst grad av fortetting og forsegling av overflater i urbane strøk. Fra et biologisk synspunkt er det viktig å ha kunnskap om hvordan ulike marine organismer responderer på betongelementene. Fra ingeniørenes synspunkt skal de oppførte strukturene hovedsakelig tilfredsstillende byggetekniske krav.

Samtidig er betong et fleksibelt materiale som kan formgis på mangfoldige vis. Ulike tilsatser gjør også at betong kan skreddersys ulike sammenhenger. Det er noen grunner til at betong også brukes i såkalte kunstige rev, der målet er å tilrettelegge for fisk og hardbunnsorganismer ved tredimensjonale strukturer. Betong regnes som egnet for «bosetting» av hardbunssamfunn, gitt at utformingen følger visse kriterier, jf. avsnittet under. En grunn er at betong gir en stabil struktur med lang holdbarhet.

Når det kommer til tiltak for gjenoppbygging av korallrev er eksempelvis en tett betong med kalkholdig

tilslag egnet, hvor kalsiumholdige ioner i overflaten er gunstig som byggegrunn for nye korallstrukturer. Innen restaurering av tareskog og lignende kan en porøs betong egne seg med silisium/kvartsholdig tilslag (Jahren 2012: 128; Jahren 2015: 233).

I det følgende vises det til noen retninger innen marin restaurering, der målet er å bygge bro mellom marinbiologi og byggekunst.

Bruk av økologiske kriterier innen design av byggverk i sjø

Begrepet *naturhermende prosjektering* (fra engelsk: «ecological engineering»), er et relativt nytt konsept som integrerer økologiske, økonomiske og sosiale behov i utformingen av menneskeskapte, eller konstruerte økosystemer (Firth *et al.* 2014). Dette kan ses som en metode som forener biologi og byggekunst – der målet er økt habitatkvalitet for folk, flora og fauna. Den sentrale ideen er at kunstige bygningsstrukturer har et potensial til å utformes på måter som fremmer oppveksten av et mangfold av marine organismer.

I denne sammenhengen brukes begrepet *biologisk aktive overflater* om overflater som skal tilrettelegge

for eksempelvis hardbunssamfunn. Uavhengig av framstillingsmateriale, er formålet å «hjelp naturprosessene i gang» i områder som er «forstyrret» eller «degradert» – enten årsaken er naturlig eller menneskepåvirket.

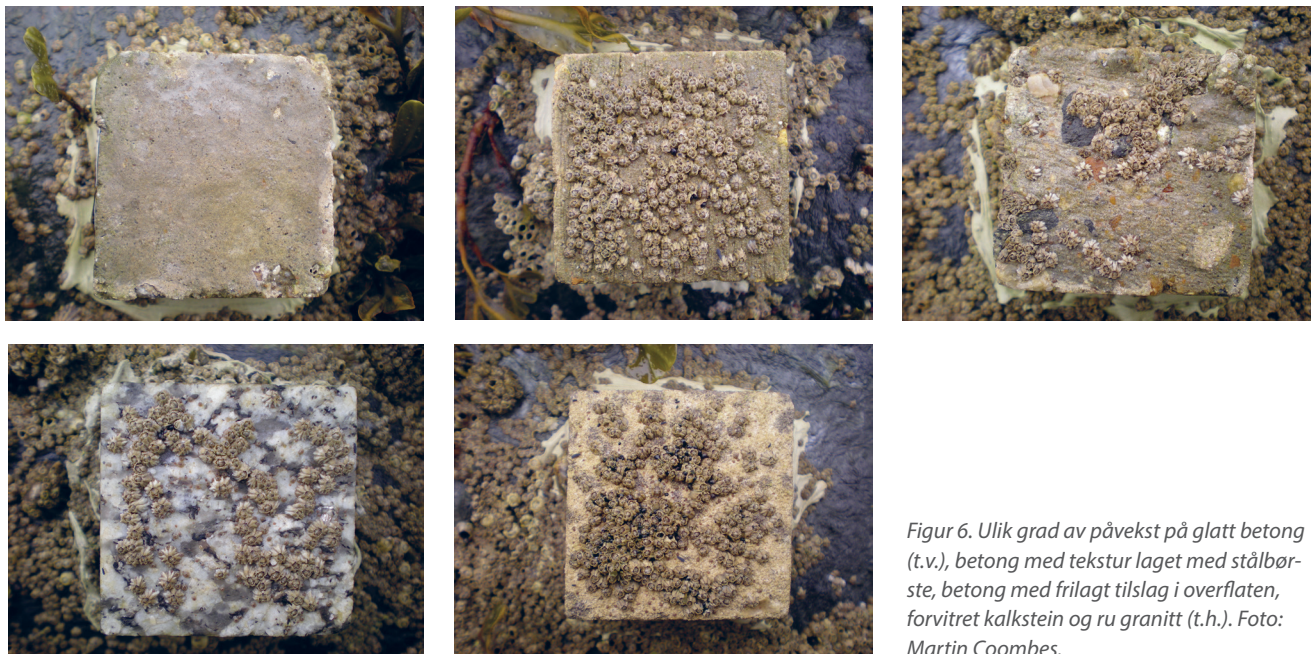
Farge og form

Som vist ovenfor har marine organismer en innebygget preferanse i sitt valg av substrat der ulike faktorer som materialets konsistens, farge, form og struktur spiller en rolle. Det er for eksempel påvist at larver av steinkorall har spesielle preferanser for bestemte farger og kompleksitet av overflaten.

Funnene tilsier at ung-koraller orienterer seg etter og viser tydelige preferanser for faktorer som farge og overflatekompleksitet. Overflater med en artsspesifikk fargepreferanse og struktur kan relateres til naturlige, hjemmehørende habitat – der det også er størst sannsynlighet for å overleve (White 2014).

Struktur og overflateareal

Som nevnt kan geologiske forhold og overflateruhet ha stor effekt på hvilke arter som slår seg ned: Billedeksemplene under viser et forsøk der målet var å sammenligne overflaters



Figur 6. Ulik grad av påvekst på glatt betong (t.v.), betong med tekstur laget med stålbørste, betong med frilagt tilslag i overflaten, forvitret kalkstein og ru granitt (t.h.). Foto: Martin Coombes.

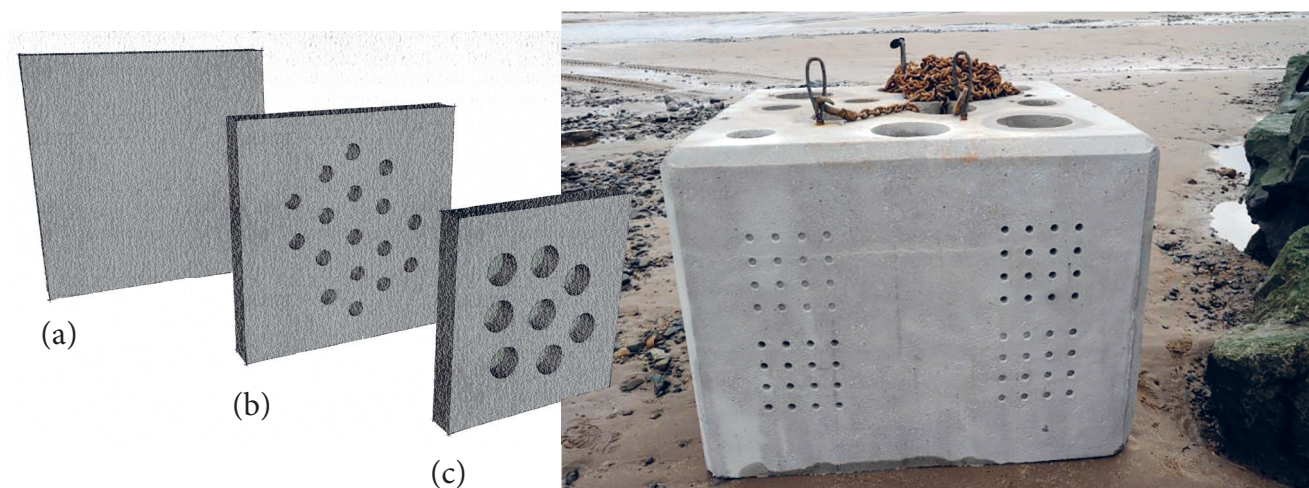
yteevne på en mikroskala på henholdsvis betong, Cornwall-granitt og Portland-kalkstein (figur 6). I dette forsøket viste det seg at granittblokkene understøttet flere arter enn betong- og kalksteinsflatene (Firth *et al.* 2012).

Heterogenitet på substratet er avgjørende for artenes sameksistens. Strukturelt komplekse overflater gir bedre livsvilkår med mikrohabita-

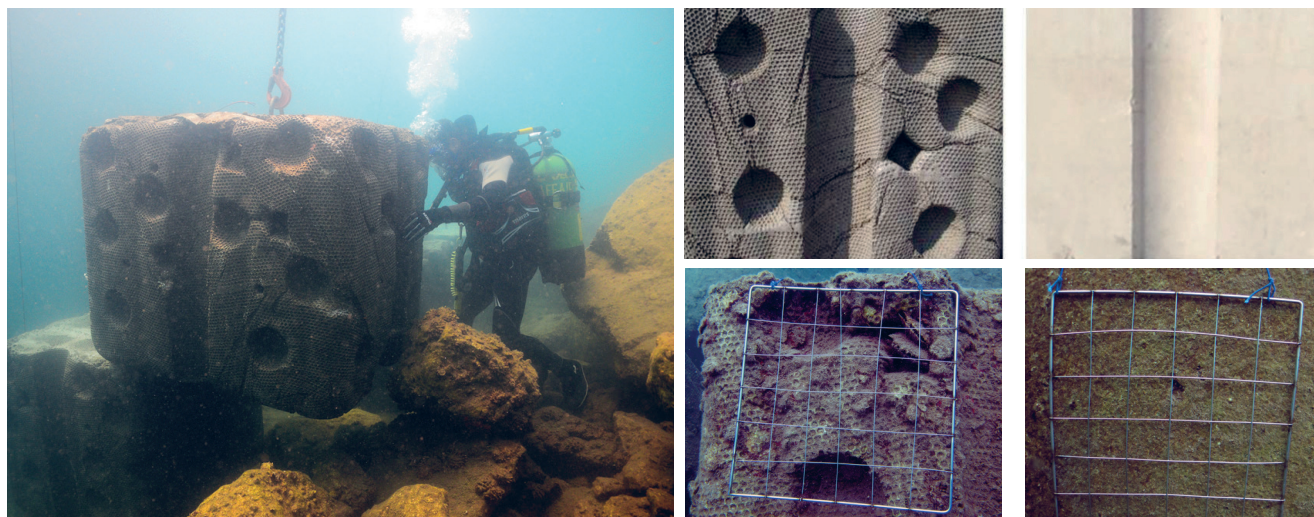
ter og økologiske nisjer enn glatte, rettvinklede strukturer. Bildene under er fra et forsøk der ulike panel ble montert, både horisontalt og vertikalt, til steinblokkene på en bølgebryter på sørkysten i England (figur 7). Etter fem måneder ble det observert høyest diversitet på panelene med små groper. På det helt glatte kontrollpanelet ble det registrert vesentlig færre arter. Med

BIOBLOCK-forsøket er testmodulen tilført variasjon i habitattyper på alle sider: Det horisontale planet har små tidevannsbasseng i forskjellige dybder og diameter. Blokkens vertikale sider har både sirkulære groper med forskjellige dybder og langsgående fordypninger i et stripemønster (Firth *et al.* 2012).

Marinbiologene Ido Sella og Shimrit Perkol-Finkel har spesialisert



Figur 7. Glatt panel (a), panel med mange små groper på 14 mm (b), og med færre, større groper på 32 mm (c). Illustrasjon t.v.: Sørensen basert på Firth *et al.* (2012: 13). Bilde t.h. viser prototypen BIOBLOCK på stranden før uttesting i Colwyn Bay, Wales. Foto: D. Roberts <http://urbaneproject.org/sites/colwyn-bay>.



Figur 8. EConcrete® Antifers plasseres ut i sjø ved et teknisk dykkerteam (t.v.) Modulens komplekse overflate satt opp mot standardmodul i portlandsement (øverst t.h.), med og uten påvekst (nederst t.h.). Foto: EConcrete.

KORT OM TEST-MODULENE ECONCRETE®ANTIFERS

Tre moduler (henholdsvis M1-3, hver på 1m³) er støpt i tre typer betong. M1 består av en alumina-rik sementblanding, mens M2 og M3 er laget av sement med ulike pozzolan-tilsatter, som flyveaske og silikastøv.

Modulene hadde alle lavere pH enn portlandsementmodulene – der M1-M3 lå på nivåer fra 9-10.5 lå standardmodulene på 12.5-13.5.

Modulenes overflate er laget med ca. 10 cm dype hulrom i kombinasjon med et heldekkende mønster av sprekker og mikrofordypninger. Modulene er plassert på 5-7 m dybde med 8 enheter nederst og 7 enheter på toppen.

De tre matrisene oppfyller standardkravene for marine konstruksjoner, spesielt med hensyn til styrke og holdbarhet knyttet til lavt vann/sement-forhold og kloridpermeabilitet.

seg innen design og overvåking av kunstige habitater og urbane marine miljøer. De har utviklet bølgebryter-modulen ECONcrete®Antifers, som er satt ut i Middelhavet. Deres studier viser at overflatemanipulering, pH og betongtilsatt er av betydning for hvor mange og hvilke arter som etablerer seg – satt opp mot standardiserte moduler i portlandsement (figur 8).

I løpet av 24 måneder, ble det observert vesentlig høyere artsrikdom på test-modulene, mens de naturlig forekommende artene unngikk

portlandsementen. Dette ble satt i sammenheng med høy overflatealkalinitet – mens portlandsementen har en pH på 13 ligger sjøvann i området 7.5-8.4 (Sella & Perkol-Finkel 2015). Forholdet korresponderer med en veileder for restaurering av korallrev, som fremmer mer pH-nøytral betongblanding og overflateruhet som suksesskriteriene for kolonisering.

Sella & Perkol-Finkel (2015) konkluderte med at en økologisk forbedring av betongbasert marin infrastruktur øker økosystemtjenestene uten at dette nødvendigvis går

på bekostning av strukturelle ytelse. De anbefalte større grad av slike løsninger i fremtidige kystutviklingsprosjekter – der det mest effektive er å ta metodikken inn i tidlig planleggingsfase.

Hvordan bygge ut det blå byrommet?

Innledningsvis vises det til Havnepromenadens strategiplan, hvor ett overordnet prinsipp er en økt kontakt mellom byen og fjorden. Samtidig ser vi at forholdene under overflaten ikke inkluderes i denne planen, og i norsk sammenheng er det generelt få forsøk på å knytte den «blågrønne infrastrukturen» på land ut i fjorden. I planleggingssammenheng stopper bylandskapet ved kaikanten. Vi ser det også tydelig i plankartframstillingene – der vannet som regel visualiseres som en opak flate. Byplanleggerne tar ikke det som finnes under overflaten med i sine betraktninger, mens fagfolk som marinbiologer og oseanografer så absolutt gjør det. Her er det en manglende kommunikasjon- og informasjonsflyt på tvers av kunnskapsområder. Gjennom artikkelen vises det til et spekter av studier som belyser tematikken økosystemproses-



Figur 9. Havnepromenaden i Oslo – et tidevannslandskap med utviklingspotensial. Foto: Sørensen 2018 © BONO.

ser i havet og menneskelig aktivitet – eksempelvis det som oppstår i møte mellom biota og kunstige bygningsstrukturer. Kan vi da se noen konsekvenser av overstående innsikter for landskapsarkitektur- og byutviklingsfeltet?

Et sentralt poeng er at utbredelsen av marin infrastruktur og en massiv urbanisering av kystsona gir et standardisert, ensartet landskap, som både fører til biotisk homogenisering og spredning av fremmede arter. Det vil si en «monokultur» uten varierte økologiske nisjer som understøtter et rikere biologisk liv. For å motvirke og/eller forebygge dette trekker flere internasjonale studier frem faktorer som kan styres gjennom bevisst planlegging og utforming av tidevannslandskapet: Det kan være overflater som fungerer som «husrom» og skjul for fastsittende marine organismer. Overflatearealer kan økes med hulrom, sprekker, irregulariteter, porøsitet og farger. Som denne artikkelen viser har artsspesifikke koloniseringspreferanser sammenheng med artenes naturlige habitat. Andre faktorer som kan tilrettelegges for å «hjelp naturen i gang», er å øke variasjonen i overgangen vann-land, både i form og størrelse på bygnings-elementer og moduler, sammen med hvordan disse settes sammen og plasseres i vannsøylen og/eller i overgangen land og vann. Avhengig av formål og kontekst kan slike grep utføres i en rekke romlige skalaer – fra millimeter- opp i kilometernivå.

Hvis det skal bygges bro mellom kystøkologi og plan- og arkitektfagene, må flere yrkesgrupper komme sammen. Hvis det skal bygges bro mellom kystøkologi og plan- og arkitektfagene, må flere yrkesgrupper komme sammen. Men forskjellige fagfelt har ulik forståelse, faguttrykk og metoder som også kan gjenspeile i ulike verdisyn. Arkitekter, landskapsarkitekter og byplanleggere befatter seg mye med romlige, estetiske og sosiale opplevelsesperspektiv, mens marinbiologer forsker på vekster, dyr og organismer i vann – i spennet fra økoregion til individer i en populasjon. Mens marinbiologene skal forstå og analysere økologiske prosesser, vil designere og byplanleg-

gere bearbeide og endre vannkanten som en del av bystrukturen og det urbane opplevelsesrommet. Det som mangler i dagens byforming, fra planleggerne og formgivernes side, er at livet i havet formidles som relevant (figur 8). Vi må vise den urbane sjøfronten og overgangen vann-land som et sammenhengende landskap.

Når man bruker store mengder av fritiden og livet under overflaten, blir man opptatt av økosystemprosessenes langsomme endringer. Da dukker spørsmålet opp: «Er det noe vi kan gjøre?» For oss som observerer – men uten inngående kunnskap om biologi, korridorer og hvordan fremmede arter havner i våre farvann og etablerer seg – er det beste vi kan gjøre å fortsette å observere, fotografere, og dokumentere på ulike vis. Og vi er veldig mange som driver med akkurat det. Et økende samarbeid mellom vitenskapelige miljø, byutviklere og vi som befinner oss under overflaten store deler av fritiden, er essensielt i arbeidet fremover mot å også integrere det marine livet i planlegging av urbane miljø (Cattaneo 2018).

Litteraturliste

- Airolidi, L., Turon, X., Perkol-Finkel, S. & Rius, M. 2015. Corridors for aliens but not for natives: effects of marine urban sprawl at a regional scale. *Diversity and Distributions*, 21, 755–768.
- Bavestrello, G., et al. 2000. Bio-mineralogy as a structuring factor for marine epibenthic communities. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 193: 241–249.
- Duarte et al. 2013. Is global ocean sprawl a cause of jellyfish blooms? *Ecol Environm*, 11 (2): 91–97.
- Firth et al. 2014. Between rock and a hard place: Environmental and engineering considerations when designing coastal defence structures. *Coastal Engineering*, 87: 122–135.
- Firth, L.B., Thompson, R.C., Hawkins, S.J. 2012. *Eco-engineering of artificial coastal structures to enhance biodiversity: An illustrated guide*. Pp. 20.
- Jahren, P. 2012. *Betong – mangfold og muligheter*. Akademika forlag 2012. Pp. 211. ISBN 9788251929141.
- Jahren, P. 2015. *Vann fakta og historier om hvordan vann griper inn i livet vårt*. Thure forlag 2015. Pp. 244.
- Sella, I. & Perkol-Finkel, S. 2015. Blue is the new green – Ecological enhancement of concrete based coastal and marine infrastructure. *Ecological Engineering*, 84: 260–272.
- Stenby, O. C. 2017. *Begreper om betong*. <https://www.byggogbevar.no/pusse-opp/mur/artikler/begreper-i-betong> 2018-03-25.
- White arkitekter, Rodeo arkitekter, Grønning, M. 2014. *Havnepromenaden i Oslo. Forslag til prinsipp- og strategiplan for Havnepromenaden*. Oslo kommune 2014. Pp. 186.
- White, C. M. 2014. *Role of surface characteristics and mobile invertebrates on settlement choices and post-settlement survivorship of three scleractinian coral species*. Master Thesis. University of Amsterdam, Biological Sciences, Limnology and Oceanography.