

Vindeby Havmøllepark

Marin flora og fauna efter nedtagning

Afsluttende undersøgelsesrapport 2020



NOE

Udarbejdet af: Hans Ohrt, Christian B. Hvidt
Kontrolleret af: Christian B. Hvidt
Godkendt af: Hans Ohrt
Dato: 05.02.2021
Version: 2
Projekt nr.: 1007085

MOE A/S

Buddingevej 272
DK-2860 Søborg
T: +45 4457 6000
CVR nr.: 64 04 56 28
www.moe.dk

Indholdsfortegnelse

0	Sammenfatning	4
0	Summary	5
1	Baggrund	6
2	Lokalitetsbeskrivelse.....	8
3	Undersøgelsernes omfang	9
3.1	Videotransekter.....	10
3.2	Sidescan Sonar	11
3.3	Interaktive 360 ^o fotopanorama og VR-video ved tidligere turbinelokaliteter	11
3.4	Ortofoto og sidescan imaging på tidligere turbinelokaliteter	13
4	Resultater	14
4.1	Gennemførelse af feltarbejdet 2020	14
4.2	Sidescan- og videotransekter	15
4.2.1	Substrattyper og vegetation	16
4.2.2	Ålegræs	18
4.3	Tidligere vindmøllelokaliteter	19
5	Diskussion	34
5.1	Substrattyper og vegetation	34
5.2	Tidligere vindmøllelokaliteter	38
6	Konklusion	40
7	Referencer.....	41
Annex 1		42

0 Sammenfatning

Der er i efteråret 2020 gennemført en afsluttende undersøgelse af flora og fauna i og omkring den tidligere Vindeby havmøllepark som opfølgning på tidligere undersøgelser foretaget umiddelbart før og efter nedtagning af havmølleparken i hh. 2016 og 2017. Undersøgelsen omfatter sidescan og videokortlægning langs 5 transekter i og omkring den tidligere møllepark. Ligesom ved undersøgelsen i 2017 er dette suppleret med optagelse af interaktive 360° fotopanorama og VR-video ved de 11 tidligere møllefundamenter.

Undersøgelsen viser ligesom undersøgelsen i 2017 en høj grad af overensstemmelse med basisundersøgelsen i 2016 med hensyn til udbredelse og forekomst af substrattyper og ålegræs. Siden 2017 har forekomst og fordeling af substrattyper udviklet sig i retning mod basisundersøgelsen i 2016. Der er vedvarende ændringer øst for havmølleparken, hvor der stadig ses mindre forekomst af hårbund og mere ålegræs. Ingen af ændringerne kan tilskrives arbejdet med nedtagning af Vindeby havmøllepark, men tilskrives en naturlig udvikling et meget dynamisk havbundsmiljø.

Undersøgelsen i 2017 viste markante ændringer på de tidligere vindmøllelokaliteter dels i form af efterladenskaber fra vindmøllefundamenterne, dels i form af fordybninger på op til 1,5 m dybde og ca. 15 m diameter i forhold til den omgivende havbund. I 2020 er disse ændringer stort set forsvundet på grund af en kombination af aflejring af sand, overbegrøning og korrosion af armeringsjern. Havbunden er stort set reetableret til en tilstand fra før havmølleparken blev etableret, hvor havbunden ligner den omkringliggende havbund. Betonfragmenterne er så overbevoksede, at de ikke kan skelnes fra naturlige sten. Det forventes, at denne udvikling vil fortsætte, så de sidste fordybninger og rester af armeringsjern vil være helt forsvundet i løbet af en kortere årrække.

Det må derfor konkluderes, at havet efter en kortere årrække stort set har slettet alle synlige spor af havmølleparken.

Det vurderes samtidig, at undersøgelserne i 2016, 2017 og 2020 har givet en tilfredsstillende beskrivelse af såvel effekterne af at fjerne fundamenterne som af havbundens efterfølgende reetablering. Der skønnes ikke at være behov for yderligere opfølgende undersøgelser.

0 Summary

In the autumn 2020 a conclusive investigation of flora and fauna at the earlier Vindeby offshore windfarm has been completed, in continuation of earlier investigations conducted shortly before and shortly after decommissioning of the windfarm in 2017. The investigations comprise sidescan and video mapping along 5 transects within and outside the now decommissioned windfarm. This has in 2017 and 2020 been supplemented with interactive 360° panorama photo and VR-video recordings at the 11 earlier wind turbine foundations.

The investigation in 2020 shows a high degree of compliance with the 2016 baseline investigation regarding the distribution of eelgrass and of 4 identified substrate categories, as did also the 2017 investigation conducted shortly after the decommissioning. Since 2017, the distribution of substrate categories have however developed further towards the distribution found in the baseline investigation 2016. Persistent differences are still found in the area east of the decommissioned windfarm, where the occurrence of hard bottom habitats has decreased while the occurrence of eelgrass has increased. None of these seemingly persistent differences can be attributed to impacts from the decommissioning work, but are merely considered to be a result of natural developments in a highly dynamic coastal environment.

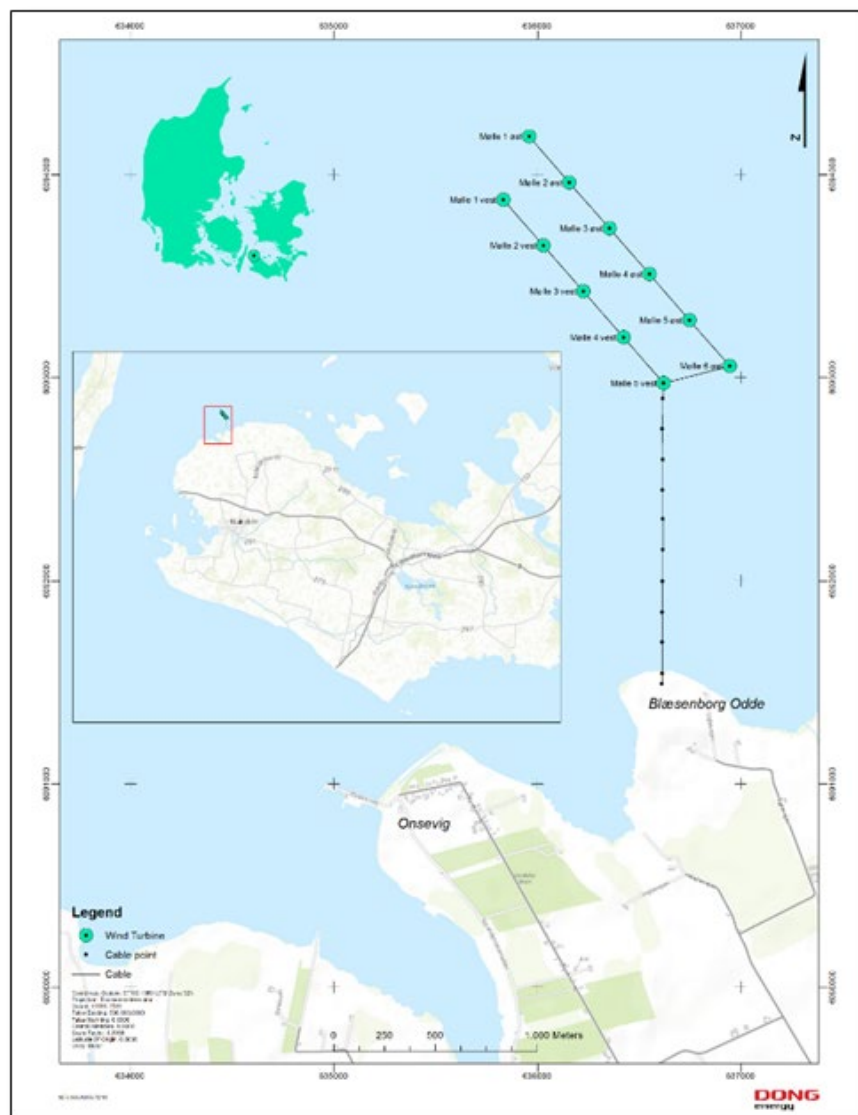
In 2017, significant changes were registered at the earlier wind turbine foundations, both as leftover foundation concrete remnants (including concrete rebars), and as seabed depressions up to 1,5 m deep and approximately 15 m in wide.

In 2020, these changes are merely visible due to a combination of sand accumulation, growth of macroalgae and corrosion of rebar. The seabed is almost reestablished to a condition resembling the unaffected surrounding conditions, as before the wind farm was established in 1992. The leftover fragments of turbine concrete are so overgrown with marine organisms that they cannot be distinguished from stones occurring naturally in the area. It is expected this development will continue, so the last remains of the seabed depressions and rebars will vanish completely within a few years.

It is concluded that the dynamic marine environment already after a few years almost has erased all visible signs of the earlier, decommissioned Vindeby offshore windfarm. It is furthermore concluded that the conducted investigations in 2016, 2017 and 2020 has provided an adequate description of impacts to the seabed from removal of the wind turbine foundations as well as of the subsequent reestablishment of the seabed. No further investigations are considered necessary.

1 Baggrund

Vindeby Havmøllepark bestod af 11 BONUS 450 kW vindmøller etableret i 1991 i en afstand på 1,5 - 3 km fra kysten ved den nordlige del af Lolland, som verdens første egentlige Havmøllepark (se Figur 1). Havmølleparken var efter 25 års drift udtjent, og Ørsted A/S (tidligere DONG Energy A/S), fik som ejer af parken i januar 2017 tilladelse fra Energistyrelsen til at nedtage Vindeby Havmøllepark. Havmølleparken blev nedtaget i perioden februar – september 2017.



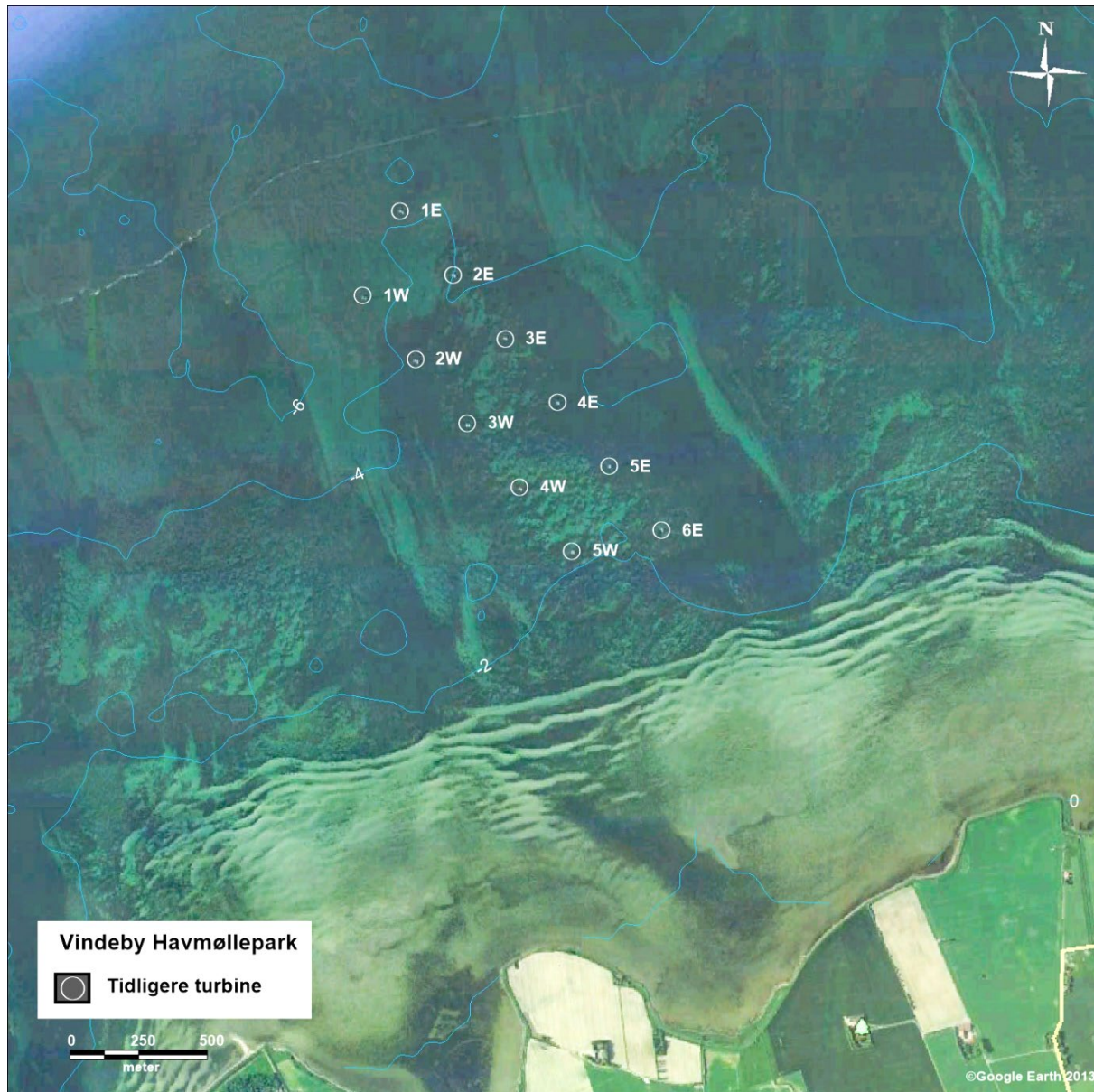
Figur 1: Placering af den tidligere Vindeby Havmøllepark

Energistyrelsen har i deres godkendelse af nedtagningen stillet krav om, at der udføres undersøgelser af den marine flora og fauna efter nedtagningen. Undersøgelserne skal tilvejebringe viden om

havbundens flora og fauna efter nedtagningen i 2017, samt udviklingen efter 3 år (dvs. i 2020). Undersøgelsesprogrammet skal godkendes af Energistyrelsen.

MOE har i 2017 udarbejdet et undersøgelsesprogram som blev godkendt af Energistyrelsen. Undersøgelserne i 2017 og 2020 er udført i overensstemmelse med dette program. I denne rapport redegøres nærmere for de afsluttende undersøgelser, der er gennemført i 2020. Undersøgelsesresultat præsenteres og sammenlignes med tidligere undersøgelser, og der vurderes herefter på den samlede udvikling havbundens flora og fauna efter nedtagning af havmølleparken.

2 Lokalitetsbeskrivelse



Figur 2: Placering af tidligere turbiner i Vindeby Havmøllepark. Baggrundsfoto er fra 2013.

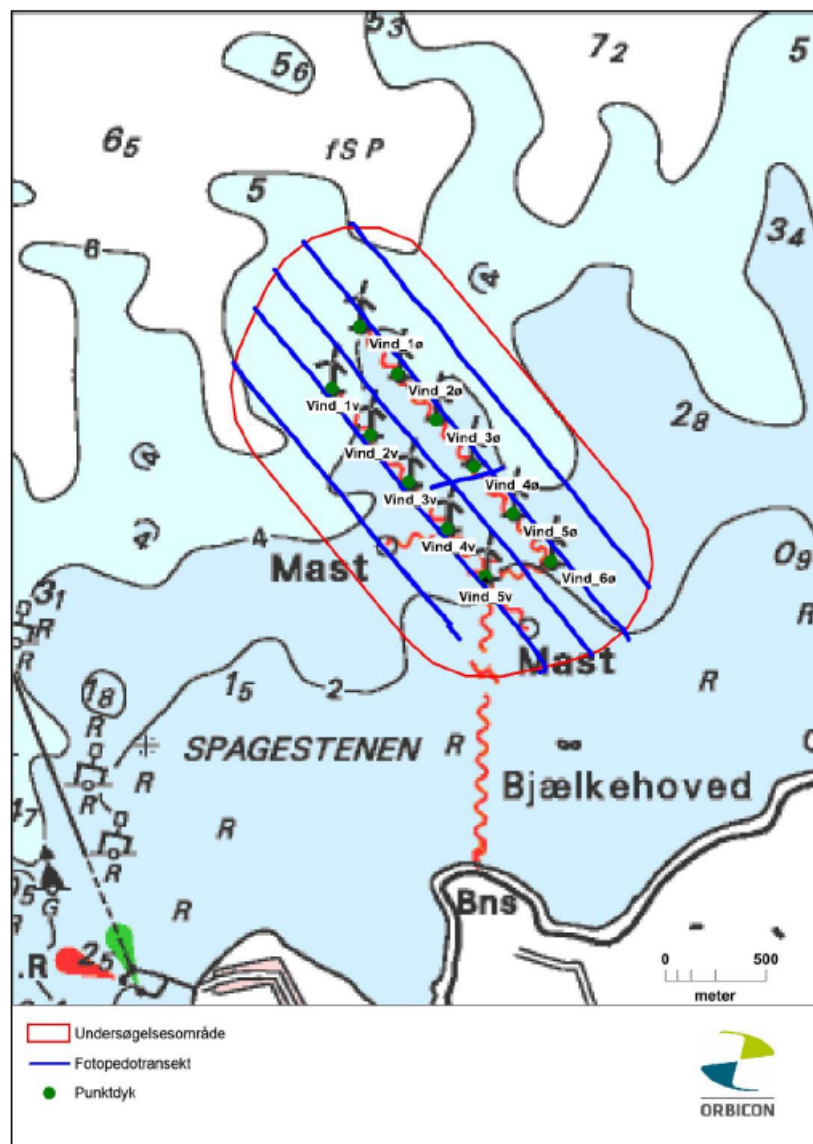
Vindeby Havmøllepark var placeret i et dynamisk og eksponeret marint miljø på grænsen mellem Storebælt og Smålandsfarvandet. Området er karakteriseret af tidvis kraftig strøm. Strøm og bølger medfører en betydelig sedimentomlejring, og ud fra Lolland kyst ses et system af NNW-orienterede morænetunger der indikerer stor variation i substrater (se Figur 2).

3 Undersøgelsernes omfang

Undersøgelserne skal tilvejebringe viden om havbundens flora og fauna efter nedtagningen, samt udviklingen efter 3 år. Ved at gentage undersøgelserne i 2020 vil undersøgelsesprogrammet også kunne fortælle noget om de forskellig flora- og faunasamfunds evne til at reetablere sig efter fjernelse af de hårde substrattyper som vindmøllefundamenterne udgør. Ved undersøgelserne i 2017 og 2020 er anvendt samme metodik som beskrevet i det følgende.

De marine flora og faunaundersøgelser, der gennemføres efter nedtagningen af Vindeby havmøllepark skal sammenholdes med basisundersøgelserne for nedtagning af havmølleparken i 2016 (Orbicon, 2016). Undersøgelserne omfatter de samme fem transekter, der indgik i undersøgelserne i 2016 inden nedtagningen (basisundersøgelserne, vist på Figur 3), med en samlet længde på 12 km. Endvidere foretages observationer på de tidligere vindmøllelokaliteter.

Transekterne er kortlagt med videooptagelser, vandkikkert og sidescan imaging (SSI) af havbunden. På de tidligere placeringer af de 11 vindmøllefundamenter er foretaget en visuel foto/video monitoring ved undervandsoptagelser af interaktive 360° højopløselige fotopanoramaer og korte 360° VR (Virtual Reality) videoer. Videooptagelser fra de tidligere fundamenter blev i 2018 suppleret med ortofotos optaget med drone, og i 2020 er der yderligere suppleret med sidescan imaging af havbunden på de lokaliteter, hvor vindmøllefundamenterne tidligere har stået.



Figur 3: Placering af videotransekter (blå) forud for nedtagningen af møllerne, foretaget i forbindelse med miljøredegørelsen for nedtagningen. Overvågningen af de efterfølgende virkninger af nedtagning er foretaget langs de samme transekter. Figurkilde: Orbicon, 2016.

3.1 Videotransekter

Videoundersøgelser langs de fem transekter er i alle år udført fra en båd udstyret med kortplotter og RTK-GPS for at sikre korrekt positionering (positionsfejlen af RTK-GPS er <4 cm xyz). Video af transekter er udført ved et undervandsvideokamera monteret på en slæde, der er trukket bag båden og som kan styres i lodret position. 4K video sikrer en video med høj billedopløsning og er et godt middel til at klassificere substrat, habitattyper og arter. Den vandrette position og forskydning af slæden beregnes vha. data fra RTK-GPSen og længden af kablet til slæden. Videosignalet overføres til båden sammen med udlæsninger for sensorer ved SDI-kommunikation og direkte logning.

Videooptagelserne er analyseret og følgende oplysninger registreret:

- Substrattype (Sand, grus, småsten, store kampesten)
- Makroalger
- Blåmuslinger (*Mytilus edulis*)
- Ålegræs (*Zostera maritima*)
- Andre dominerende faunaelementer

3.2 Sidescan Sonar

Den samtidige optagelse med sidescan sonar er udført langs et transekt på 50 meter fra hver side af transduceren svarende til et totalt 100 meter swath. Som sidescan sonar er anvendt Humminbird Sidescan Imaging (SSI), som opererer ved 455/800 KHz. Ekkogrammerne fra sidescan sonaren er egnede til undersøgelser af havbundens ruhed og til kortlægning af dækningsgrad og dybdegrænse for ålegræs og forekomster af større makroalger.

3.3 Interaktive 360° fotopanorama og VR-video ved tidligere turbinelokaliteter

Monitering og indsamling af marinbiologiske data ved hjælp af SCUBA-dykker i Vindeby Havmøllepark er ikke mulig grundet krav til storstilet mobilisering af såvel materiel som mandskab i henhold til Ørsted's sikkerhedsprocedurer (HSE) på området. Som en alternativ metode til SCUBA-dykning er opgaven med overvågning af flora og fauna på de 11 lokaliteter, hvor der tidligere har stået vindmøllefundamenter, derfor udført med den i 2017 nyudviklede metode, hvor der indsamles detaljeret, spatial og interaktiv foto- og videodokumentation til en efterfølgende analyse.

Overvågning af flora og fauna på de 11 lokaliteter er udført ved optagelser med et specialdesignet undervandskammersystem bestående af 6 kameraer, Figur 4, der er sat op i hexagonal kube placeret under 1 meter over havbunden (afhængig af dybde og sigt i vandet). Kammersystemet optager et spatial 360°, højopløseligt panoramafoto og en kort 360° VR-video af ca. to minutters varighed. De to typer visualisering understøtter hinanden, således at det interaktive, højopløselige foto er anvendt til at gå i detaljer ved artsbestemmelser, beskrivelse af dækningsgrad, sediment mv., mens videoen primært er anvendt til monitering af mobil fauna, der ikke nødvendigvis vil være registreret i et "snapshot". Position og afstand over havbund på optagelserne er den samme for foto og video og er blevet bestemt med henholdsvis RTK-GPS og lodning af dybde.

Det vil primært være sigtbarheden i vandet, der bestemmer, hvor stort et areal af havbunden, der kan afsøges med metoden. Den tekniske anvisning for det nationale overvågningsprogram (Teknisk anvisning. TA_M12, DCE, 2014) foreskriver en afsøgning af 25 m² med dykker svarende til en cir-

kel med radius på 2,8 meter. Såfremt sigten vurderes for ringe til at opnå tilstrækkeligt skarpe detaljer i denne afstand fra centrum af det visualiserede spatial rum, er der suppleret med yderligere optagelser. Sigtheden i vandet er vurderet visuelt dels med vandkikkert dels ud fra fotomaterialet.

De seks fotos og videoer fra hver optagelse/lokalitet er efterfølgende behandlet i specielle "stitching" og "panotour" software til interaktive 360° panoramafotos og en 360° VR-video. Panoramafotos er GIS orienteret og med angivelse af FOV (Field of View) og kompasretning, hvilket er grundlæggende for de optagelser, som skal sammenlignes.



Figur 4: Tv, hexagonal, vandtæt kube med 6 kameraer anvendt til 360° panoramafotos. Th. Lodret dækning af havbunden ekstraheeret fra panoramafoto.

Panoramafotos og VR-video er gennemgået af marinbiologer med lang og stor erfaring med bestemmelse af makroalger, marin flora og fauna under vandet. Metoden fra den tekniske anvisning for det nationale overvågningsprogram (Teknisk anvisning. TA_M12, DCE, 2014) er i størst muligt omfang repliceret ved interaktiv analyse af panoramafotos og VR-video. Metoden er anvendt til at beskrive fordelingen af hårdt substrat og stenstørrelser, samlet vegetationsdækning og fordeling af den artsspecifikke dækning indenfor et areal på ca. 25 m². Hermed er det sikret at data vil være sammenlignelige med eksisterende overvågningsdata fra nærliggende NOVANA stationer og med basisundersøgelserne i 2016.

Med nærværende undersøgelse foreligger to visualiseringer taget med 3 års mellemrum således, at det er muligt at sammenligne fotos af de tidligere turbinelokaliteter tidligt mod hinanden med henblik på en sammenlignende beskrivelse. Der er begge år foretaget beskrivelse af bundforhold, identificerbare arter af bundfauna og bundvegetation samt bemærkninger om efterladte effekter.

3.4 Ortofoto og sidescan imaging på tidligere turbinelokaliteter

I maj 2018 blev undersøgelsen suppleret med højopløselige lodskudsfoto taget med drone på og umiddelbart omkring hvert af de 11 tidligere lokaliteter for vindmøllefundamenterne. Lodskudsfotos er optaget med en "fixed-wing" drone med RTK-navigation og som bærer et kamera og objektiv monteret med cirkulært polaroid filter. De georefererede fotos er optaget i RAW-format og efterfølgende sammensat i en ortomosaik for videre klassificering af havbunden. I 2020 har det ikke været muligt at foretaget ortofotografering med drone. Derimod er det foretaget en detaljeret sidescan imaging (800 KHz) af hver tidligere turbinelokalitet. De tidligere sidescans fra 2016 og 2017 dækker ikke de tidligere vindmøllefundamenter.

Klassificering af havbunden på baggrund af ortofotos og sidescan imaging giver mulighed for at sammenligne havbunden mellem undersøgelserne i 2017 og 2020, og dermed beskrive den overordnede retablering af havbunden på de positioner, hvor der forventes de største forandringer.

4 Resultater

Nedtagningen af Vindeby Havmøllepark blev udført i perioden fra 3. marts – 3. september 2017. Nedtagningen blev foretaget med to mindre ændringer i forhold til den oprindelige plan (DONG Energy, 2016), dels var fundamenterne ikke som forventet fyldt med sand men med større sten, dels blev det opdaget, at der på bunden af fundamenterne var støbt ekstra beton formet som en fladtoppet kegle, hvorved bundpladen blev op til 2 m tyk på visse positioner (DONG Energy, 2017).

Dette indebar for det første, at der ikke var behov for bortskaffelse af sandmateriale ved klapning, for det andet at fundamentets bundplade var for tykt til, at den hydrauliske hammer kunne hakke sig igennem. Løsningen var at anvende et såkaldt fræservingstøj (Drum Cutter), for at raspe den ekstra beton væk, indtil den hydrauliske hammer igen kunne bruges som planlagt (DONG Energy, 2017).

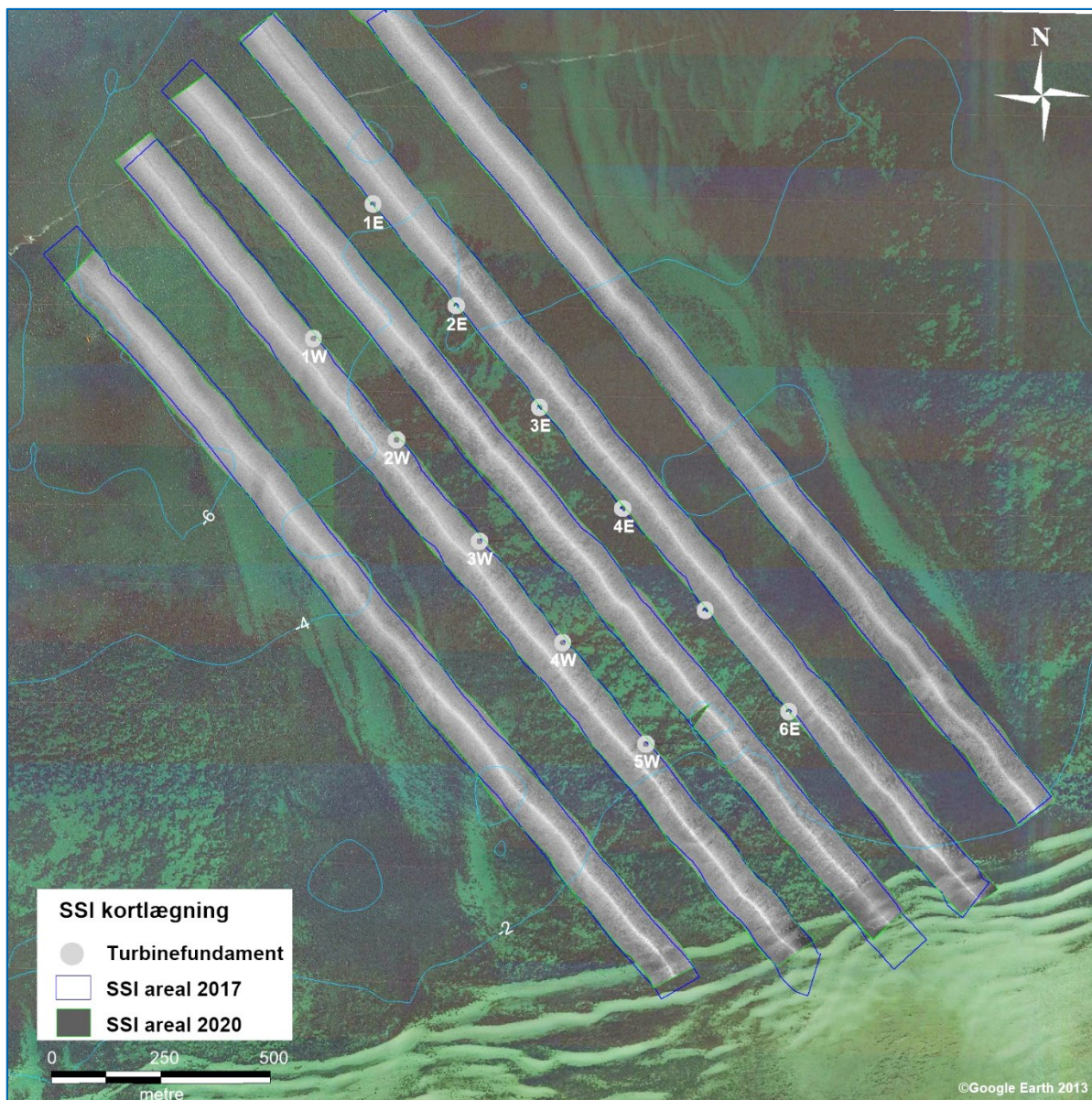
4.1 Gennemførelse af feltarbejdet 2020

En pålidelig udførelse af de planlagte undersøgelser forudsætter, at sidescan imaging foretages på relativt "fladt vand" med bølgehøjde under 0,25 meter og optagelse af undervands 360° fotopanorama kun under forhold med en god sigtbarhed.

Den 17. oktober 2020 blev sidescan- og videobesigtigelse gennemført af samtlige fem transekter foruden også sidescan imaging af de 11 tidligere vindmøllelokaliteter.

31. oktober 2020 blev 360° fotopanorama- og VR-videooptagelser gennemført på alle 11 tidligere vindmøllelokaliteter.

4.2 Sidescan- og videotransekter



Figur 5: Kort over arealer af sidescan imaging transekter i undersøgelsesområdet. Sidescan imaging vist er foretaget i 2020.

Der blev med sidescanning kortlagt i alt godt 123 ha mod 122 ha i 2017 ha langs de fem transekter, Figur 5, til anvendelse i forbindelse med kortlægning af substrattyper og ålegræs. Sidescanningen dækker dybder fra 1 m til godt 6 meters dybde. Sidescanningen langs to af de fem transekter dækker delvist over de tidligere vindmøllefundamenter.

Som i 2017 var videodokumentation i 2020 til verifikation af sidescan imaging data langs transekterne ikke særligt brugbare grundet dårlig sigt. Med erfaringer og sammenligning med sidescan

imaging fra 2017, sidescan imaging sammenholdt med tolkning af seneste dækkende ortofoto (2018) fra området og ortomosaik af transekterne (maj 2020) vurderes kortlægningen af substrattyper og vegetation langs transekterne at være i overensstemmelse med de faktiske forhold.

4.2.1 Substrattyper og vegetation

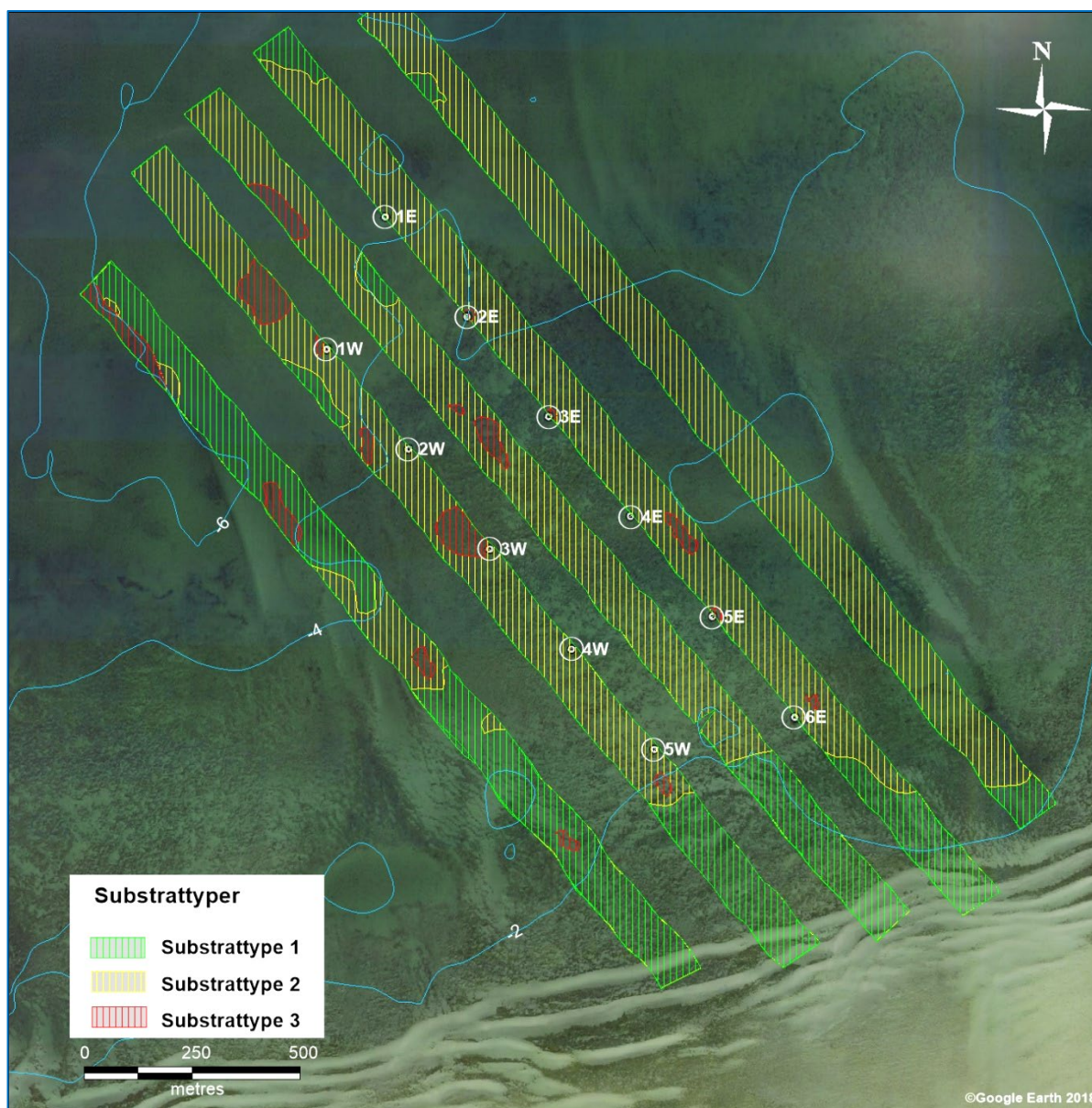
Transekter og vindmøllelokaliteter er undersøgt for forekomst af fire substrattyper defineret efter:

- *Type 1 – Sand:* Områder bestående af siltet sand til fast sandbund med varierende bundformer (ofte dynamisk). Underopdeles i 1a (siltet blød bund), 1b (fast sandbund) og 1c (leret sandbund).
- *Type 2 – Sand, grus, småsten og enkelte større sten.* Områder domineret af sand men med varierende mængder af grus og småsten samt enkelte spredte store sten (<1-10 %). Denne substrattype består af en blanding af sand og grus med en kornstørrelse på ca. 2 – 20 mm og småsten med en størrelse på ca. 2 – 10 cm. Substrattypen indeholder også enkelte større sten fra ca. 10 cm og større, der dækker op til maksimalt 10 % af havbunden.
- *Type 3 – Sand, grus og småsten samt stenbestrøning med større sten dækkende 10-25 %.* Områder bestående af blandede substratformer med sand, grus og småsten som dominerende element. Her findes også en variabel mængde spredte større sten (stenbestrøning) med en samlet dækningsgrad på op til 25 % af den samlede bund.
- *Type 4 – Stenede områder, hvor større sten dækker >25 %, herunder stenbestrøning over 25% og egentlige stenrev med relief.* Øvrige substrater kan være sand, grus og småsten.

Analyse og tolkning af sidescan-data med tilhørende verifikation viser, at havbunden i undersøgelsesområdet overordnet forekommer i tre af de fire substrattyper; type 1b, 2 og 3, jf. Figur 6.

Substrattype 1 er kun identificeret ved undertype 1b (fast sandbund) og udgør 25% af det samlede sidescannede område. Forekomsten af substrattype 1b er primært på lavere vand og forekommer sporadisk mellem to morænetunger vest for den tidligere havmøllepark. På det lavere vand danner substrattype 1b revler, hvor toppen typisk er dækket med ålegræsbede med op til 100% dækning, mens dalene er rent fast sand. Hvor der forekommer grus, er der ud over ålegræs også strengtang (*Chorda filum*), som er udbredt ud til godt 1,5 meter. På dybere vand overtager bevoksninger af makroalger det faste substrat af især småsten. Hvor substrattype 1b forekommer på dybere vand er der tydelige bølgeribber, der vidner om et eksponeret og dynamisk område med markante strømforhold.

Substrattype 2 er med en forekomst på 70% af det sidescannede område den mest hyppige substrattype forekommende fra ca. 2,5 meter til den maksimale dybde i det undersøgte område. Hvor substratet er rent sand forekommer ofte ålegræs, men i meget varierende dækningsgrader. Mere fast substrat, hårdbund, i form af småsten og spredte større sten er typisk begroet med rød- og brunalger typisk trådformede rødalger og savtang (*Fucus serratus*).



Figur 6: Substrattypekort over undersøgelsesområdet, der viser kortlagte substrattyper inden for sidescan-sonar transekter i 2020.

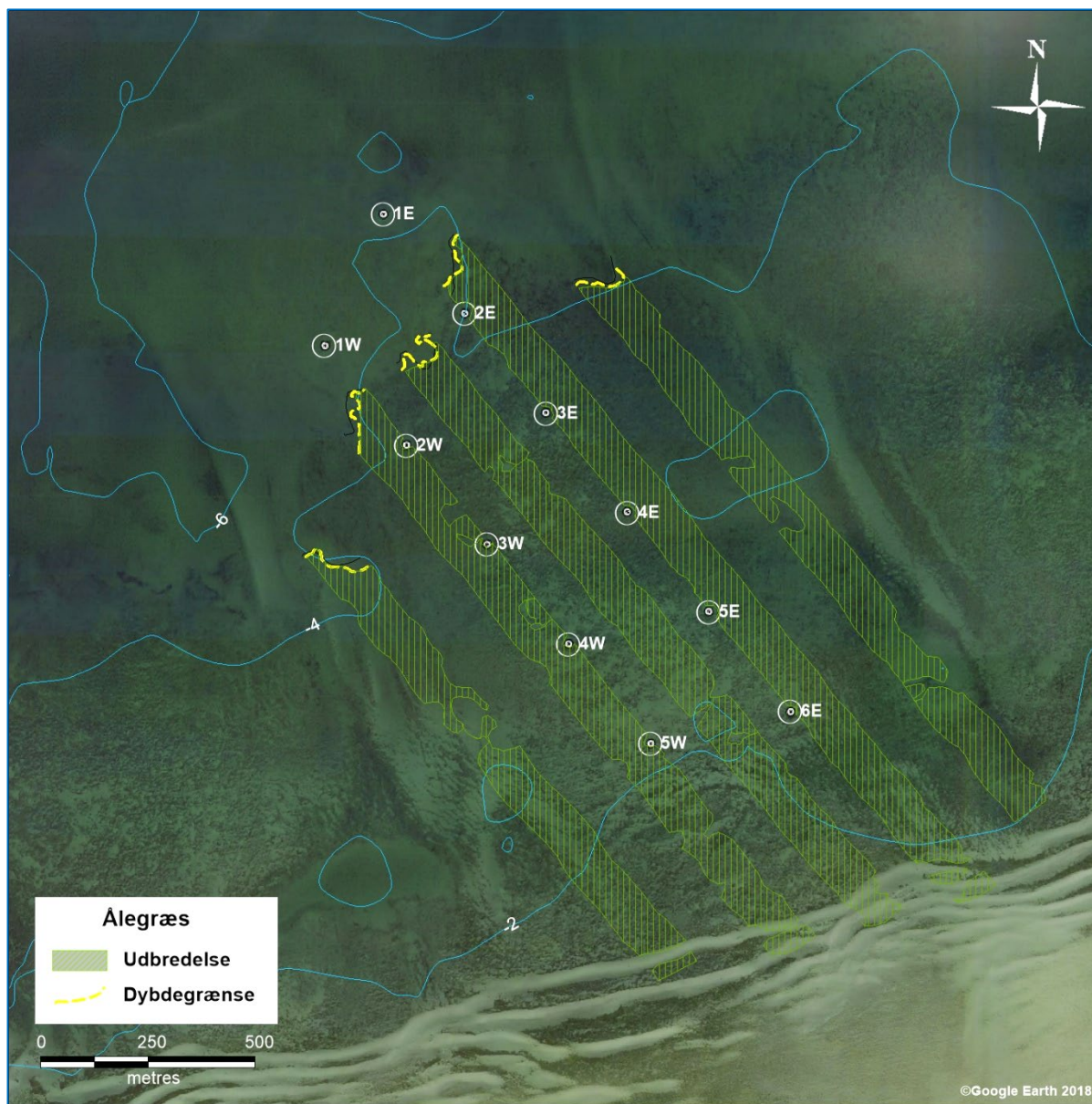
Substrattype 3 forekommer i mindre spredte områder hovedsageligt i den vestlige del af det undersøgte område dybere end ca. 3,5 meter. Identifikationen af substrattype 3 udgør 5% af det samlede undersøgte område og udgør således kun en mindre del. Vegetationen på hårbund er begroet med rød- og brunalger typisk trådformede rødalger og savtang (*Fucus serratus*).

Substrattype 4 blev i 2017 kun identificeret i forbindelse med områder, hvor de tidligere vindmøllefundamenter nu er nedbrudt, og substrattypen var på mindre end 1% af det samlede sidescan-undersøgte område. Verifikationen af substrattype 4 er foretaget på baggrund af især 360° panoramafotos og ortomosaik af lodskudsphotos med drone, jf. Figur 8 til Figur 18. Panoramafotografierne viser i 2020 ikke med samme tydelighed forekomst af hårbund (sten/betonstykker fra vindmøllefundamenter) i substrattype 4, idet den del af substratet i dag ikke kan erkendes som følge af begroning med makroalger. Hvor forekomsten af makroalger er udbredt og tæt formodes der underliggende at være hårbund, men substrattypen er i 2020 vurderet til at være substrattype 3 som følge af delvis tilsanding. Vegetationen på hårbund af substrattype 3 er tæt begroet med rød- og brunalger typisk trådformede rødalger og savtang (*Fucus serratus*).

4.2.2 Ålegræs

Ålegræs er udbredt i det undersøgte sidescanområde, men forekommer med meget varierende dækningsgrad ud til en maksimaldybde på godt 4,5 meter, Figur 7. Forekomsten af ålegræs har størst dækningsgrad i den sydlige del af det undersøgte område og bliver mere spredt og sporadisk og med mindre dækningsgrad nordud med dybden.

Af de sidescannede 122 og 123 ha i hhv. 2017 og 2020 er ålegræs identificeret på hhv. 74 og 76 ha heraf, begge år svarende til 61% af det undersøgte område, jf. tabel 2.



Figur 7: Udbredelseskort af ålegræs, der viser registrering af ålegræs i 2020 inden for transekter med side-scan imaging i undersøgelsesområdet.

4.3 Tidligere vindmøllelokaliteter

Beskrivelse af de 11 lokaliteter med tidligere vindmøllefundamenter er som tidligere nævnt baseret på undervandsoptagelser med nedsænket 360° panoramafoto. Der er foretaget beskrivelse af bundforhold, identificerbare arter af bundfauna og bundvegetation samt bemærkninger om efterladte effekter. På grund af vandets sigtbarhed er nærmere artsidentifikation ikke mulig og det skønnes at beskrivelserne gælder maksimalt 3 – 4 meter i 2020. Dette gjaldt også for beskrivelserne i 2017. De resulterende fotos ses nedenfor på Figur 8 til Figur 18.

De 11 beskrevne lokaliteter ligger alle i et område karakteriseret som et overvejende erosionsområde med eksponeret morænebund hovedsageligt bestående af mellemstore og små sten, grus og fast ler. Desuden ses felter dækket med groft sand med markante ribber, som tegn på kraftig strøm- og bølgepåvirkning.

Der er ikke foretaget bathymetrisk kortlægning (multibeam) i området i 2020. Den bathymetriske kortlægning som blev foretaget af Ørsted umiddelbart efter fjernelse af vindmøllefundamenterne i 2017 viste en central fordybning i forhold til den omgivende naturlige havbund på de tidligere vindmøllelokaliteter. Fordybningerne havde en diameter ca. på 8 – 15 meter, og varierede fra ca. 0,5 til 1,5 meter. Fordybningerne var næsten alle mere eller mindre omgivet af en forhøjet, mindre vold eller forhøjninger primært bestående af efterladte betonskærver og -stykker.

I 2017 blev der observeret efterladte effekter fra nedtagningen af vindmøllefundamenterne i form af betonskærver og større betonstykker på næsten alle lokaliteter. Ud over efterladt beton blev observeret stykker af armeringsjern på syv af de 11 lokaliteter. På en enkelt lokalitet var der op til en meter lange oprejste armeringsjern.

I 2020 ser det ud til at fordybningerne er forsvundet eller reduceret kraftigt. Den maksimale fordybning er ca. 0,5 m, og på flere lokaliteter ses bølgeribber. Det ser derfor ud til at fordybningerne i de seneste 3 år gradvist er blevet opfyldt med sand. Betonskærver og -stykker der i 2017 lå med friske brudflader uden begroning er i 2020 alle begroet med makroalger, der bruger betonen som vedhæftelsessubstrat. På en enkelt lokalitet kan stadig erkendes armeringsjern, som er overbevokset med alger.

Floraen på de tidligere vindmøllefundamenter består i 2020 af en artsfattig hårbundsvegetation domineret af især brunalgen savtang (*Fucus serratus*), men også blæretang (*Fucus vesiculosus*) er blevet mere talrig. Begge arter er typisk for dybdeintervallet 1-4m, idet deres kraftige løv er modstandsdygtig for kraftig vandbevægelse. Ud over savtang og blæretang er der stort set ikke registreret flerårige arter af makroalger på nogen af de 11 lokaliteter, bortset fra at der på lokalitet E4 er fundet en mindre forekomst af rødalgen gaffeltang (*Furcellaria lumbricalis*). Denne sammensætning er tegn på et ustabilt og eksponeret miljø. Der ses mindre bestande af enårig trådformede rødalger herunder almindelig klotang (*Ceramium virgatum*), men disse er også hæmmet af det ustabile miljø og ses kun som få eksemplarer. Enkelte individer af brunalgen strengetang (*Corda filum*) er også indvandret på de tidligere vindmøllefundamenter beliggende på lavere vand.

Sandfelterne på de 11 lokaliteter er ikke ret dybe og flytter formentlig rundt med strøm og bølger og er således ikke udpræget egnet som voksested for ålegræs, som gerne vil have mere stabile forhold. Ålegræs findes dog som spredt mosaik i varierende tætheder i det tidligere havvindmølle-

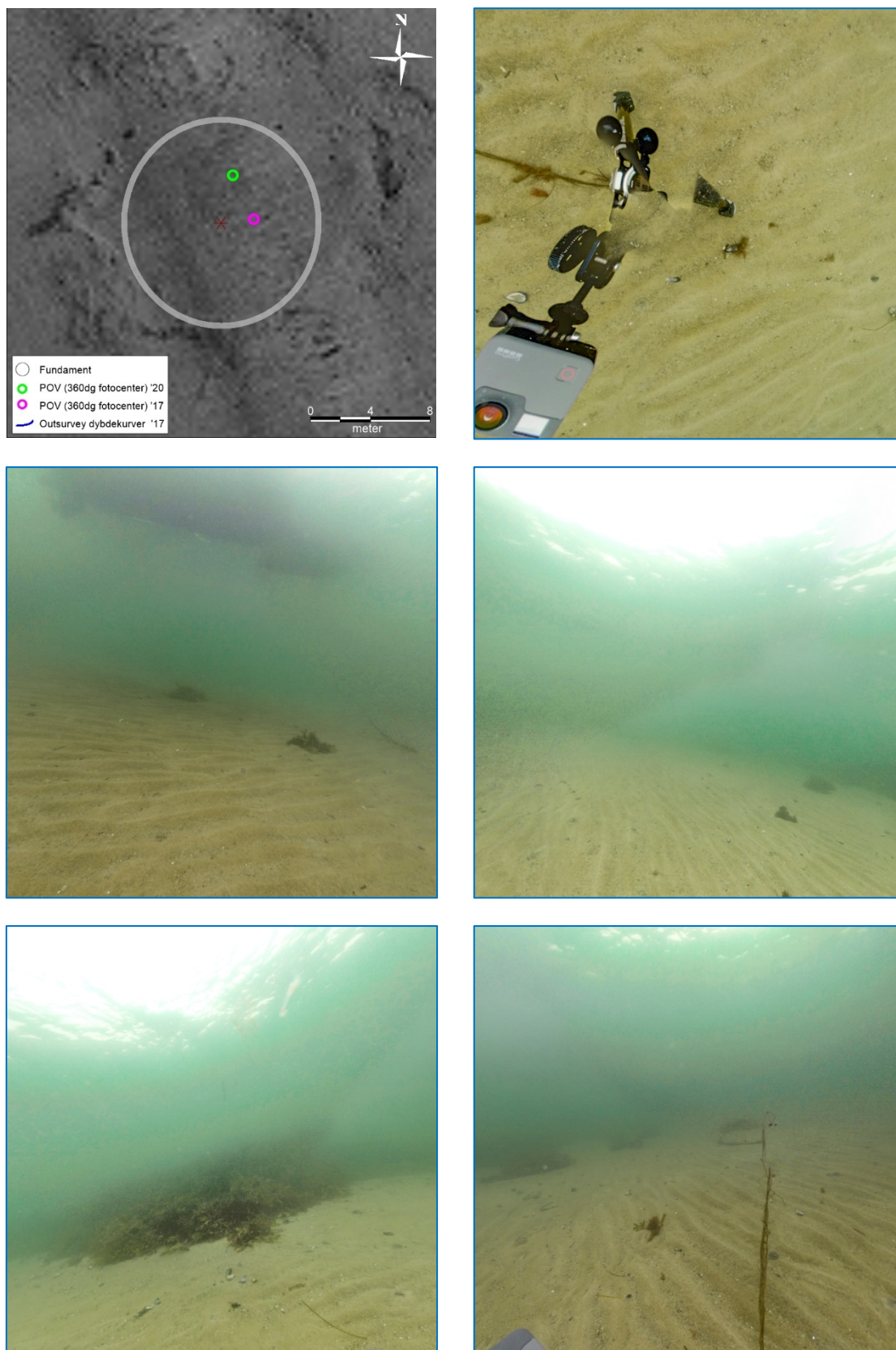
område samt inde på lavere vand, hvor der er registreret en del egentlige ålegræsbede. Af det totale undersøgte sidescan-areal er der fundet ålegræs på 61% heraf. Registreringerne af ålegræs dækker forekomster fra 1-100% dækning.

Den registrerede fauna i 2020 er som i 2017 artsfattig og domineret af blåmuslinger (*Mytilus edulis*) og rurer (*Balanidae*), som begge er fastsiddende på hårde substrater. Modsat 2017 er sandorm (*Arenicola*) nu almindeligt forekommende på de tilsandede områder af de tidligere vindmøllefundamenter. Af mobil fauna er der i 2020 kun observeret enkelte kutlinger (*Pomatoschistus*), hvor den mobile fauna i 2017 var domineret af almindelig søstjerne (*Asterias rubens*).

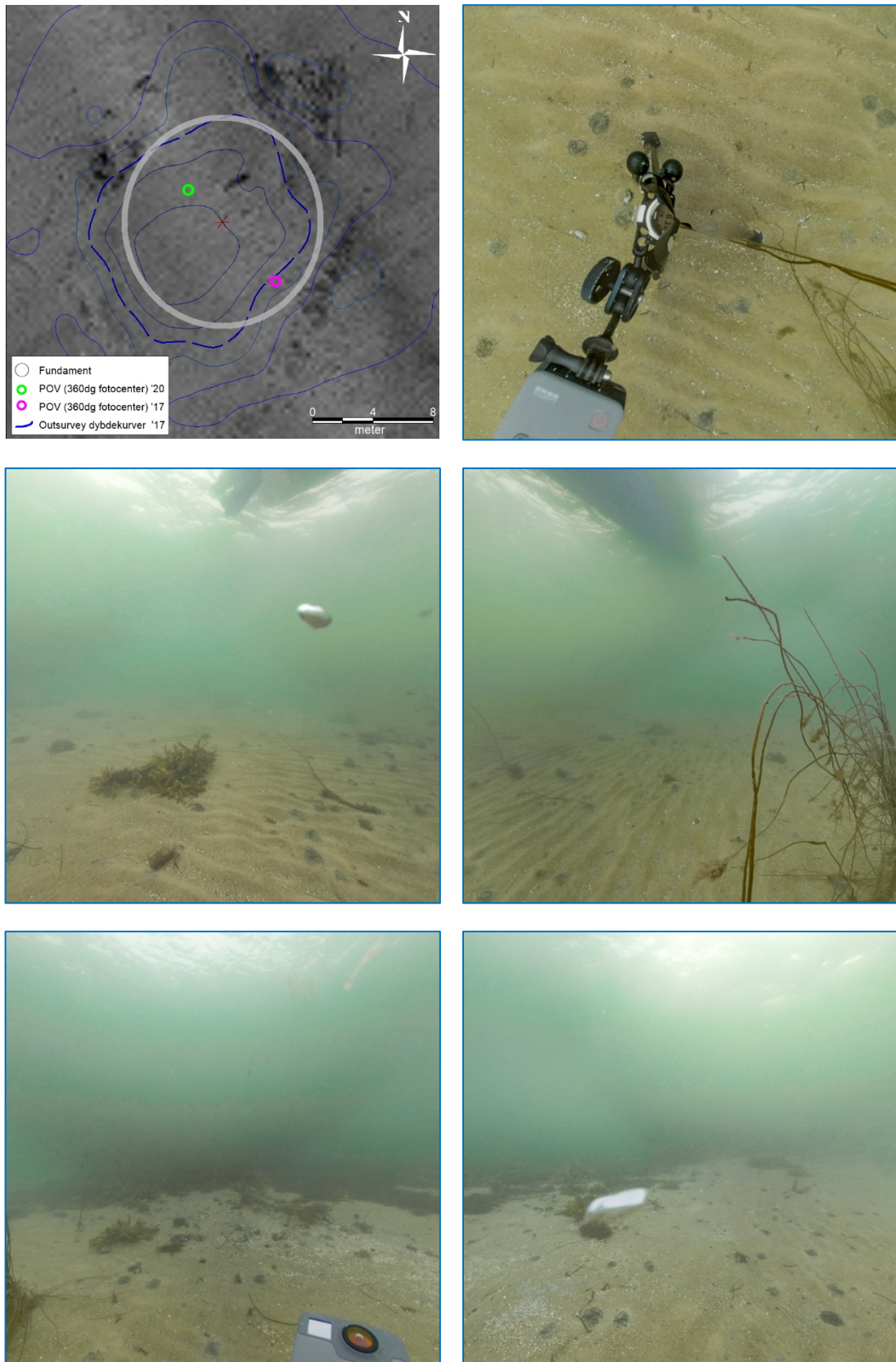
En sammenfattende, beskrivelse af hver af de tidligere vindmøllelokaliteter ud fra analyse af ortomosaik og 360° panoramafoto og -video fremgår af Tabel 1.

Station	1E	1W	2E	2W	3E	3W	4E	4W	5E	5W	6E
Positioner											
Turbinefundamenter	1E	1W	2E	2W	3E	3W	4E	4W	5E	5W	6E
UTM_X 32N Euref 89	635.833	636.030	636.226	636.424	636.621	635.960	636.157	636.354	636.552	636.748	636.946
UTM_Y32N Euref 89	6.093.875	6.093.649	6.093.424	6.093.198	6.092.972	6.094.186	6.093.960	6.093.733	6.093.508	6.093.282	6.093.056
360° kamera 2017 / 2020	Ph 1E	Ph 1W	Ph 2E	Ph 2W	Ph 3E	Ph 3W	Ph 4E	Ph 4W	Ph 5E	Ph 5W	Ph 6E
UTM_X 32N Euref 89 2017	635.962	635.836	636.158	636.028	636.354	636.229	636.555	636.426	636.757	636.628	636.945
UTM_Y 32N Euref 89 2017	6.094.186	6.093.871	6.093.871	6.093.648	6.093.737	6.093.424	6.093.509	6.093.196	6.093.283	6.092.974	6.093.051
UTM_X 32N Euref 89 2020	635.961	635.829	636.158	636.028	636.356	636.224	636.554	636.424	636.752	636.622	636.948
UTM_Y 32N Euref 89 2020	6.094.189	6.093.879	6.093.962	6.093.648	6.093.735	6.093.427	6.093.510	6.093.198	6.093.295	6.092.975	6.093.056
Dybde m	5,32 / 5,36	5,23 / 5,06	4,83 / 4,55	4,84 / 5,04	4,05 / 4,24	4,66 / 4,17	4,67 / 4,43	4,38 / 3,73	3,78 / 3,73	3,98 / 3,13	3,29 / 3,13
360° kamera elevation m	0,7 / 0,7	0,7 / 0,7	0,7 / 0,7	0,7 / 0,7	0,7 / 0,7	0,7 / 0,7	0,7 / 0,7	0,7 / 0,7	0,7 / 0,7	0,7 / 0,7	0,7 / 0,7
Sigtbarhed 2017 / 2020 m	4-5 / 3-4	4-5 / 3-4	4-5 / 3-4	4-5 / 3-4	4-5 / 3-4	4-5 / 3-4	4-5 / 3-4	4-5 / 3-4	4-5 / 3-4	4-5 / 3-4	2-3
Bundforhold 2017 (X) / 2020 (O)											
Heterogen	X		X	O	X/O		X/O		X/O	X	
Homogen	O	X/O	O	X	O	X/O	O	X/O		O	X/O
Bundsstrat 2017 / 2020											
Ler	**/	*/	/	**/	**/	/	/	/	/	*/	
Sand	**/****	****/****	**/****	**/****	**/****	****/****	****/****	**/****	**/****	****/****	****/****
Grus	****/	/	****/	****/	****/	****/	****/	****/	****/	****/	****/
Sten < ca. 5 cm	****/	****/	****/	****/	****/	****/	****/	****/	****/	****/	****/
Sten > ca. 5 cm	****/	****/	****/	****/	****/	****/	****/	****/	****/	****/	****/
Substrattype	4/2	3/2	4/3	3/2	4/3	2/2	3/2	3/2	4/3	3/2	2/2
Vegetation 2017 / 2020											
Dækningsgrad % af hårbund	0-2/60-80	0-2/60-70	2-10/80-100	10-20/80-90	0-2/90-100	2-10/70-8	10-20/60-70	90-100/80-90	20-30/90-100	40-50/100	2-10/70-80
Savtang (<i>Fucus serratus</i>)	*/****	/****	/****	****/****	*/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****
Blæretang (<i>Fucus vesiculosus</i>)	/	*/	*/	****/****	/	/	*/	*/	*	*	/
Gaffeltang (<i>Furcellaria lumbricalis</i>)	/	/	/	/	/	/	*/	/	/	/	/
Strengetang (<i>Chorda filum</i>)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Klotang (<i>Ceramium virgatum</i>)	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****
Ålegræs (<i>Zostera marina</i>)	/	/	/	/	/	*/	/	*/	/	*/	/
Bundfauna 2017 / 2020											
Mosdyr (<i>Bryozoa</i>)	/	/	/	/	/	/	/	/	****/****	/	/
Sandorm (<i>Arenicola</i>)	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****
Rurer (<i>Balanidae</i>)	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****
Søstjerne (<i>Asteriidae</i>)	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****
Blåmuslinge (<i>Mytilus edulis</i>)	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****
Strandkrabbe (<i>Carcinus maenas</i>)	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****
Kutling (<i>Pomatoschistus</i> sp.)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Synlige Efterladte effekter 2017 / 2020											
Betonskærver	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****
Betonstykker > 10 cm	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****
Armeringsjern	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****	****/****

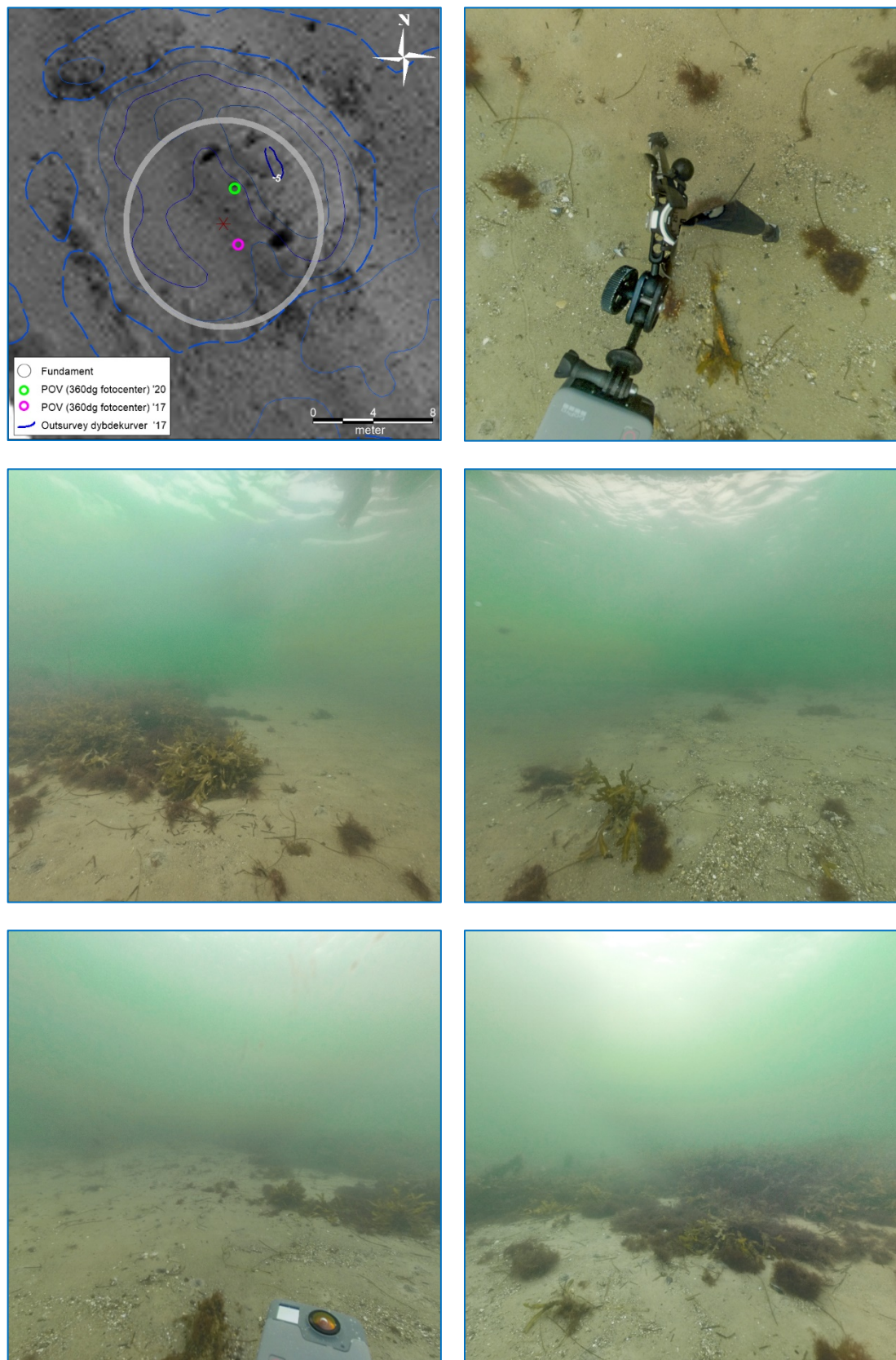
Tabel 1. Sammenfatning af 360° kamerainformation og marinbiologiske registreringer samt forekomster af efterladte effekter ved de tidligere vindmøllefundamenter i hhv. 2017 og 2020. * = enkelte, ** = hyppig, *** = talrig, **** = masseforekomst.



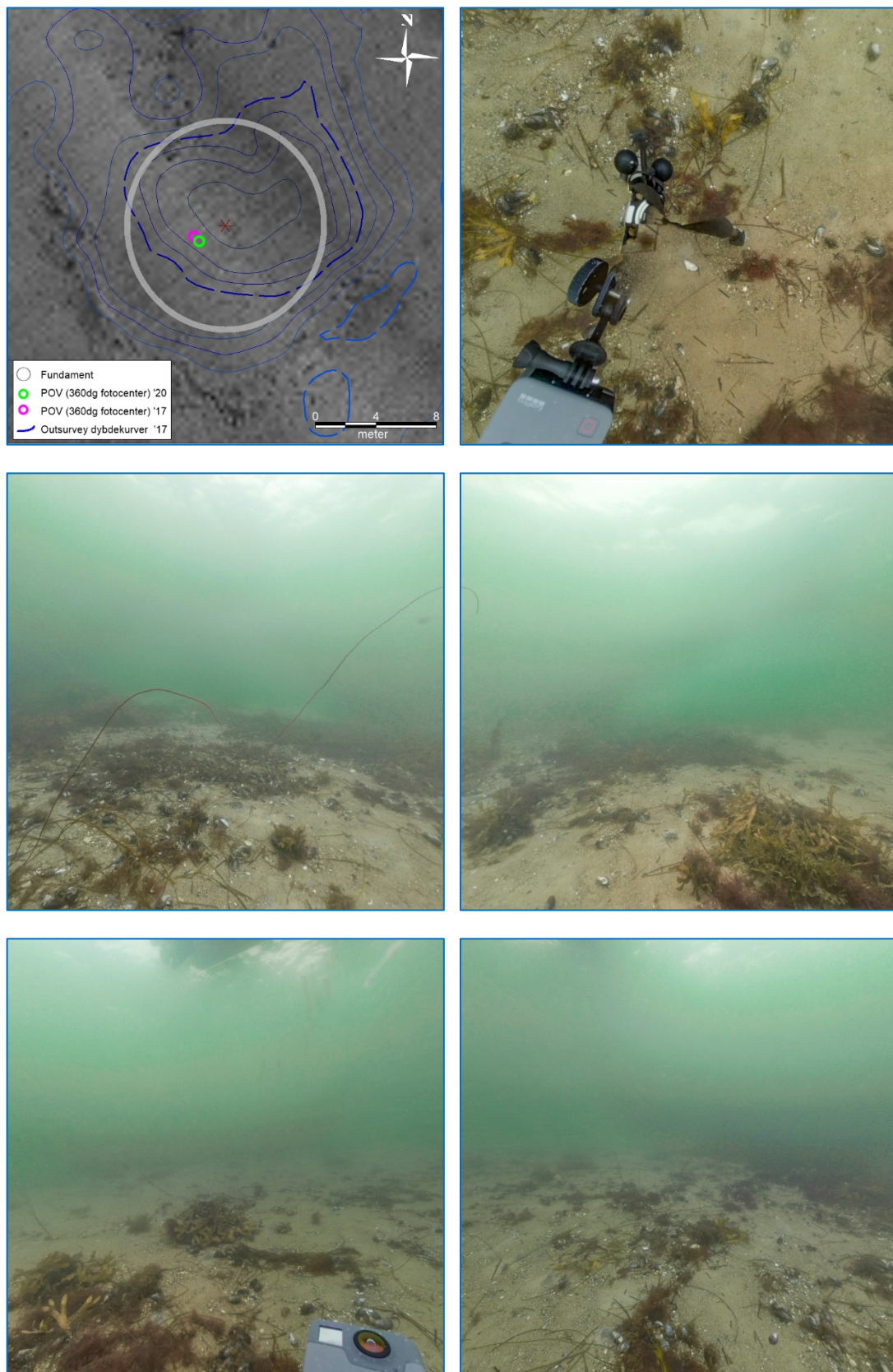
Figur 8: Vindmøllelokalitet 1E. Sidescan imaging med positioner for center af fotopanorama (POV) 2017 og 2020 samt opsplittet 360⁰ fotopanorama fra undersøgelsen i 2020.



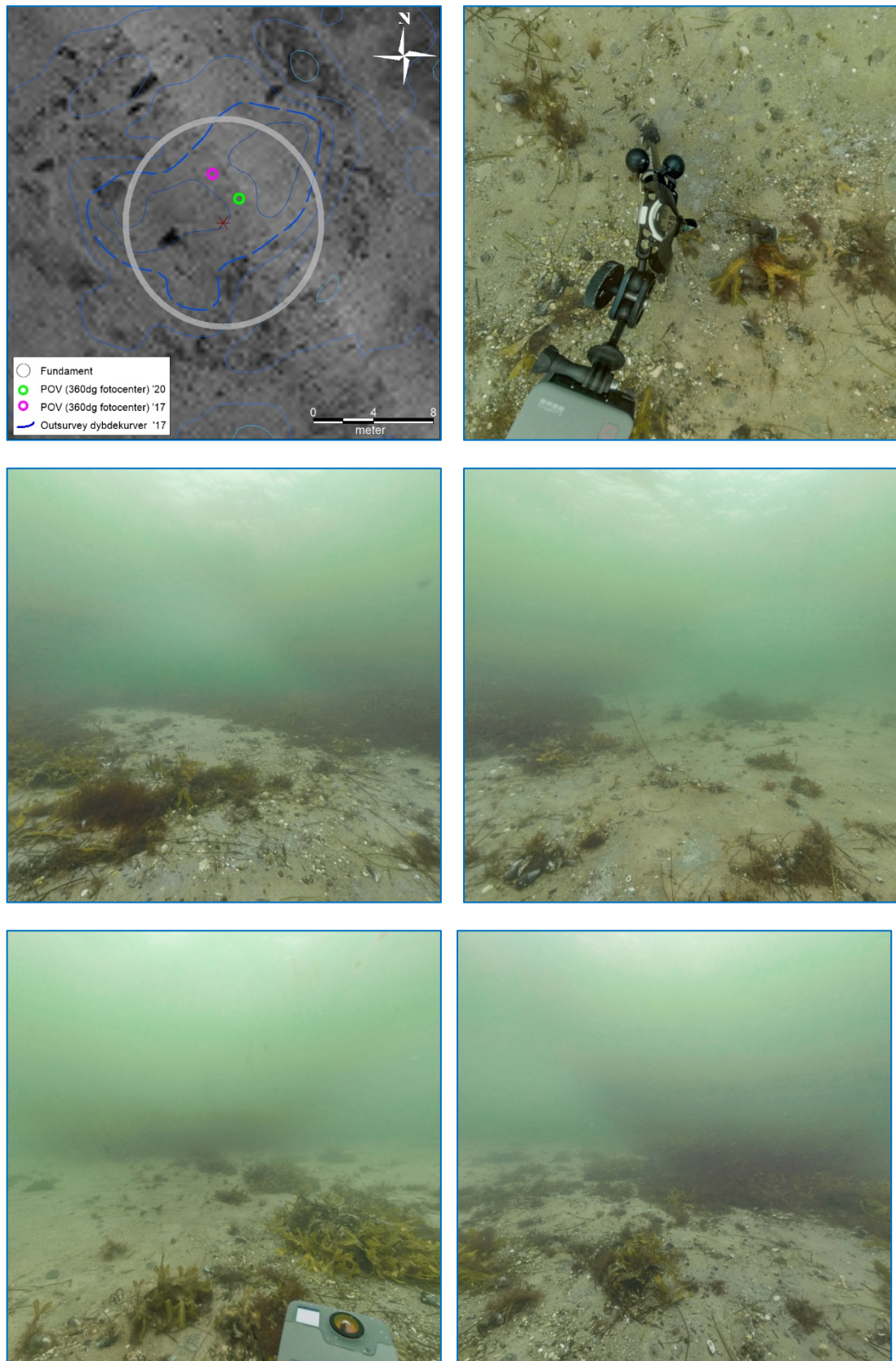
Figur 9: Vindmøllelokalitet 1W. Side scan imaging med positioner for center af fotopanorama (POV) 2017 og 2020 samt opsplittet 360⁰ fotopanorama fra undersøgelsen i 2020.

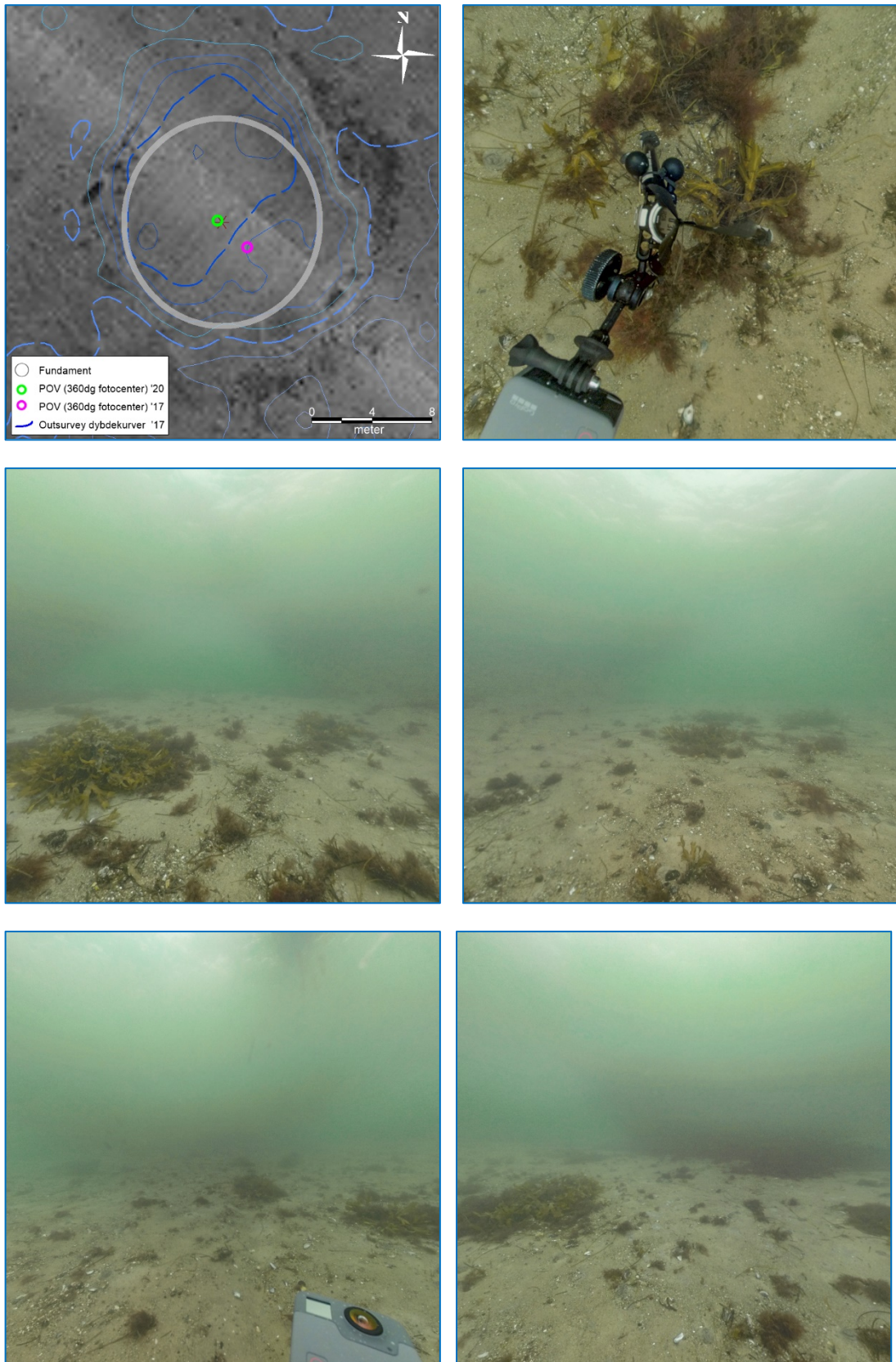


Figur 10: Vindmøllelokaltet 2E. Ortomosaik af dronefotos og 0,25 m dybdekurver (kilde: MTE) samt opsplittet 360° fotopanorama fra undersøgelsen i 2020.

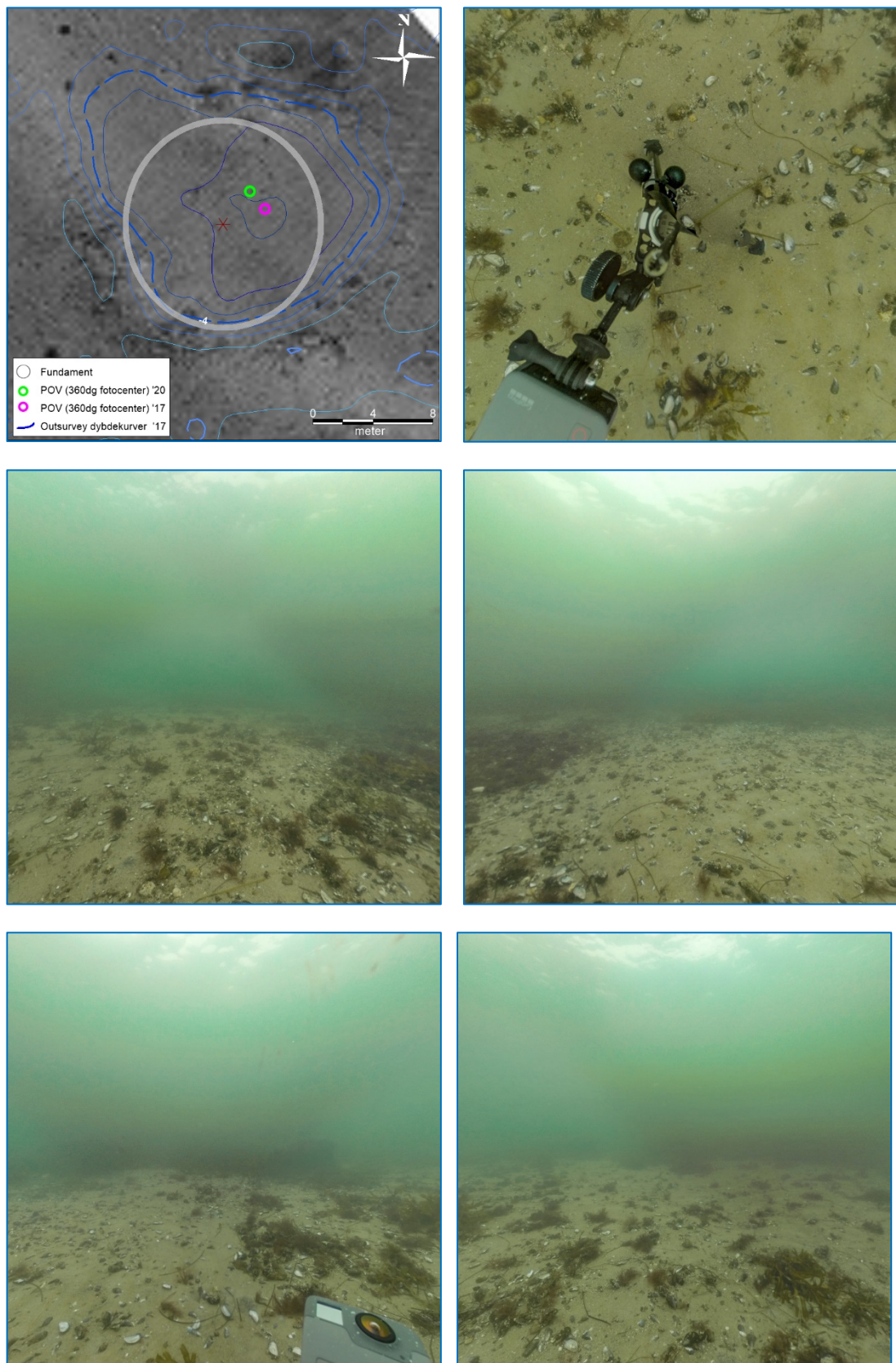


Figur 11: Vindmøllelokaltet 2W. Sidescan imaging med 0,25 m dybdekurver (kilde: MTE 2017) og positioner for center af fotopanorama (POV) 2017 og 2020 samt opsplittet 360° fotopanorama fra undersøgelsen i 2020.

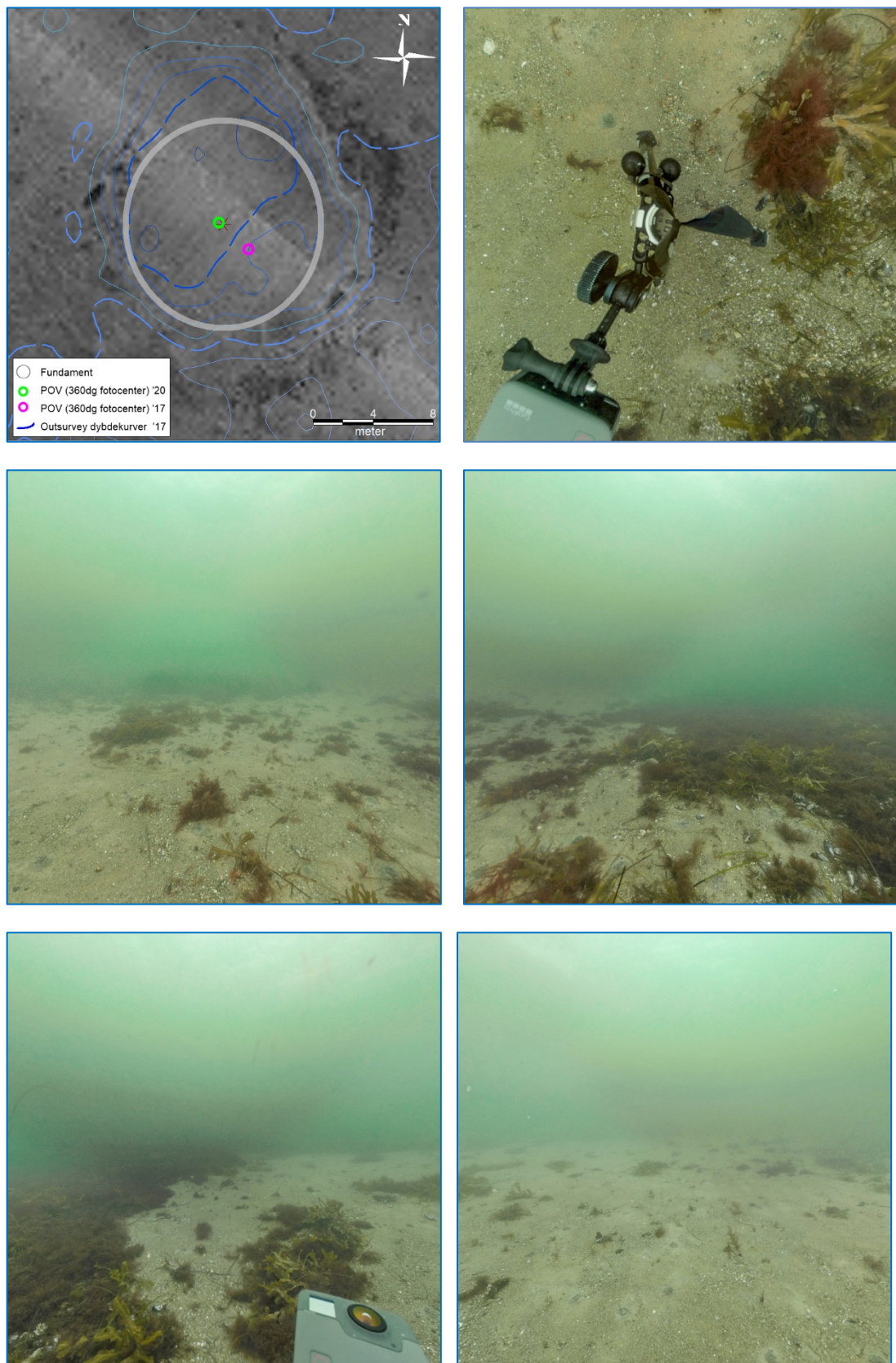




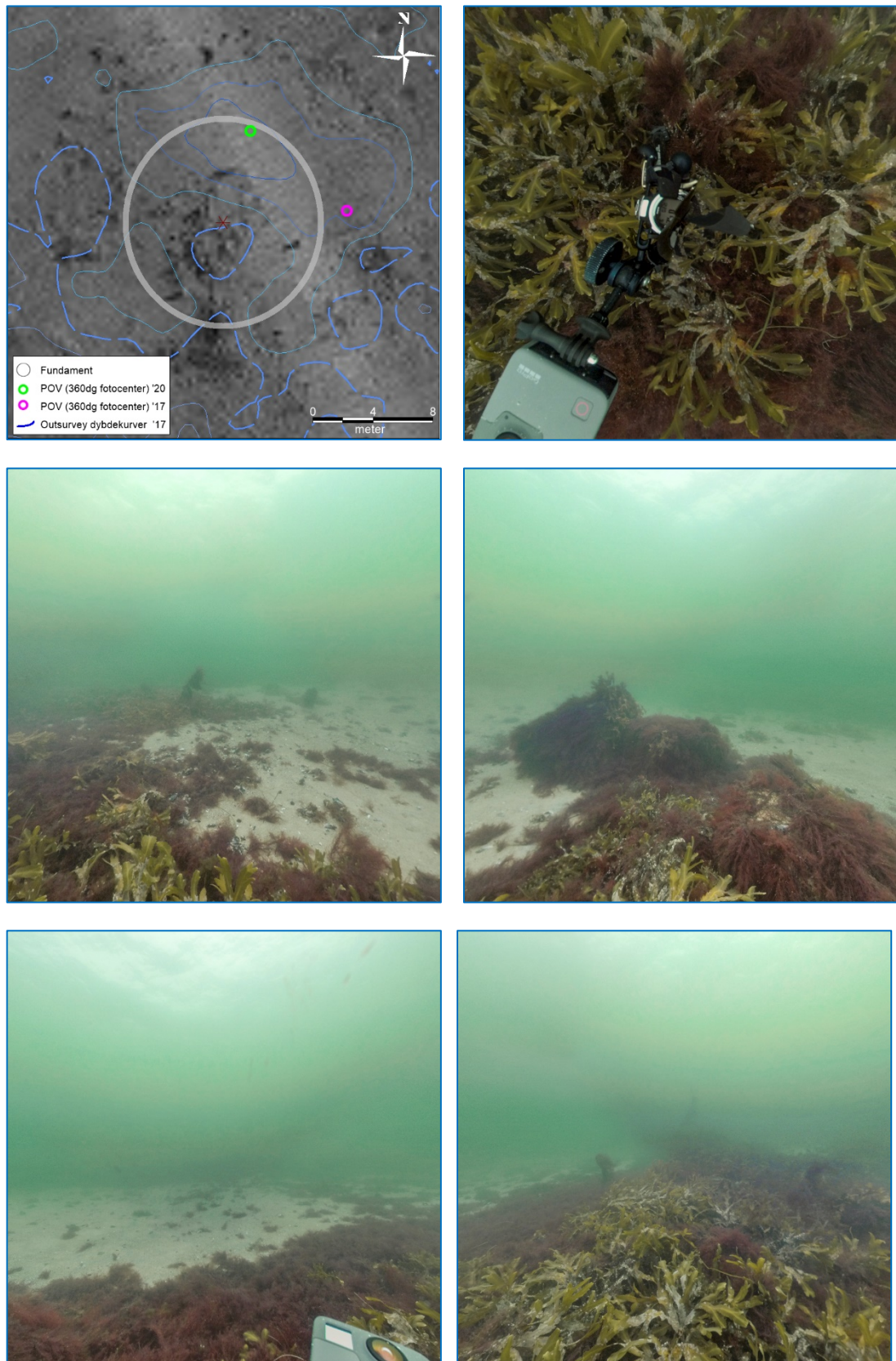
Figur 13: Vindmøllelokalitet 3W. Ortomosaik af dronefotos og 0,25 m dybdekurver (kilde: MTE) samt opsplittet 360⁰ fotopanorama fra undersøgelsen i 2020.



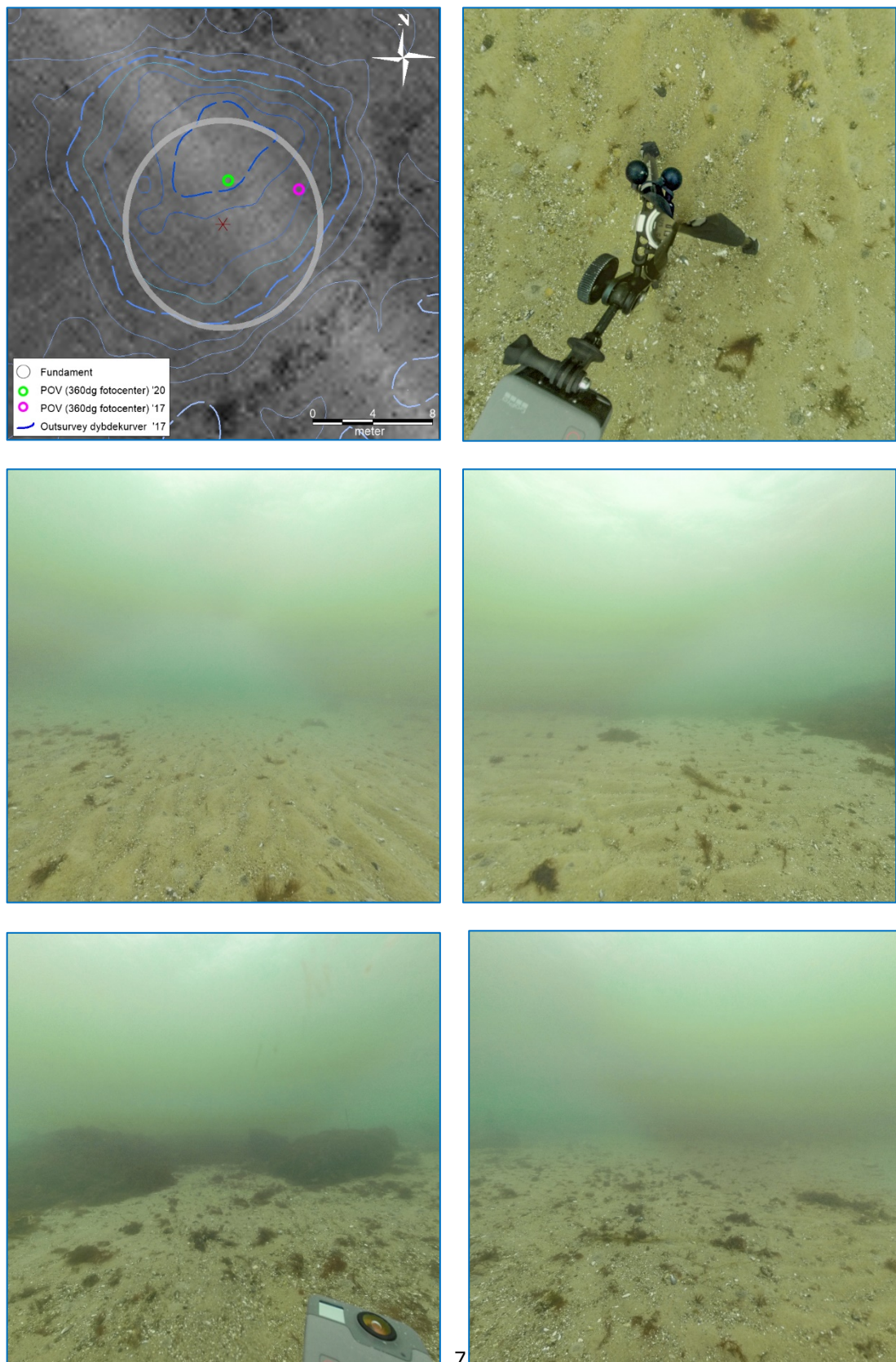
Figur 14: Turbinelokalitet 4E. Ortomosaik af dronefotos og 0,25 m dybdekurver (kilde: MTE) samt opsplittet 360° fotopanorama fra undersøgelsen i 2020.



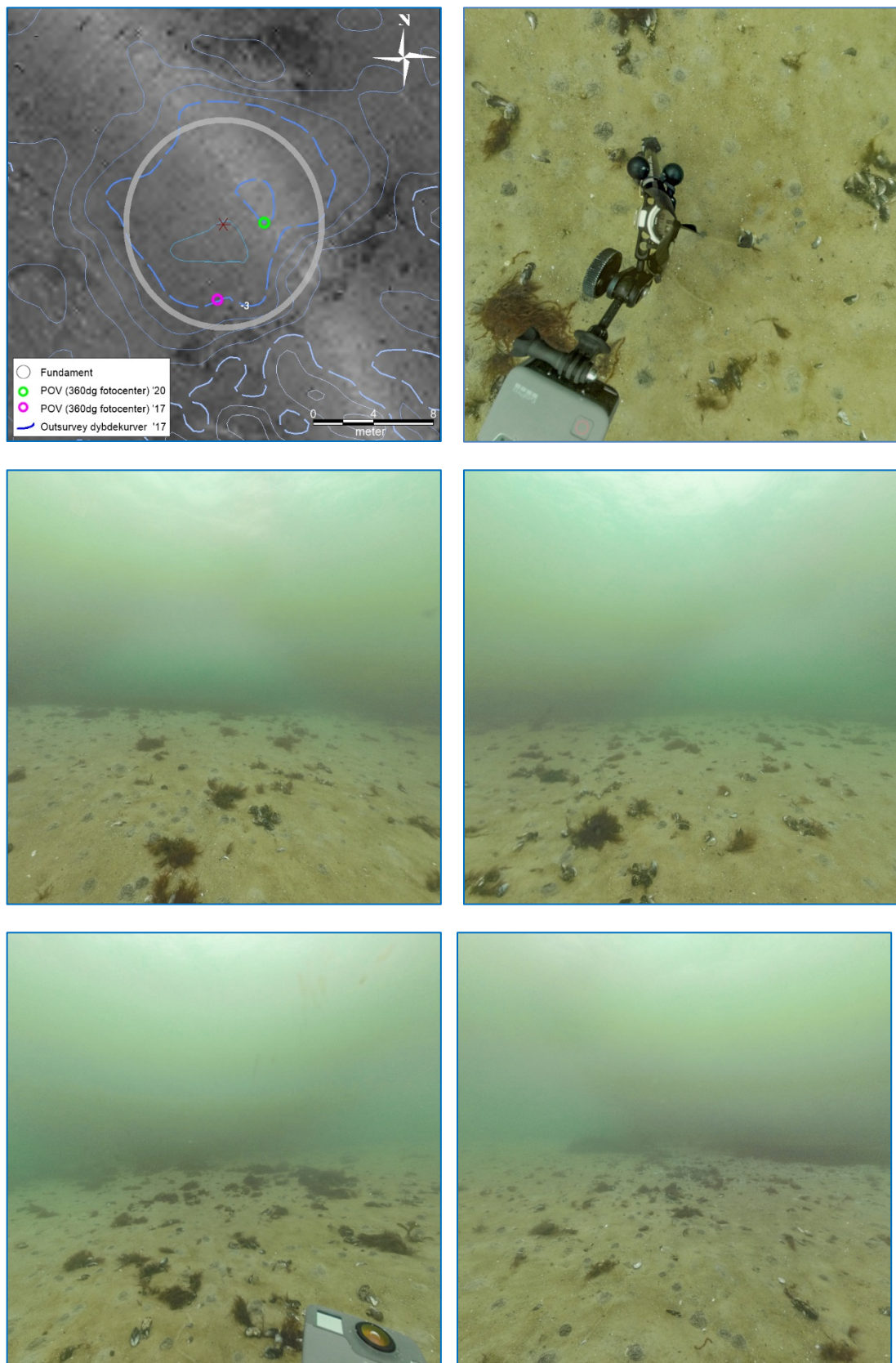
Figur 15: Vindmøllelokaltet 4W. Ortomosaik af dronefotos og 0,25 m dybdekurver (kilde: MTE) samt opsplittet 360° fotopanorama fra undersøgelsen i 2020.



Figur 16: Vindmøllelokalitet 5E. Ortomosaik af dronefotos og 0,25 m dybdekurver (kilde: MTE) samt opsplittet 360° fotopanorama fra undersøgelsen i 2020.



Figur 17: Vindmøllelokaltet 5W. Ortomosaik af dronefotos og 0,25 m dybdekurver (kilde: MTE) samt opsplittet 360⁰ fotopanorama fra undersøgelsen i 2020.



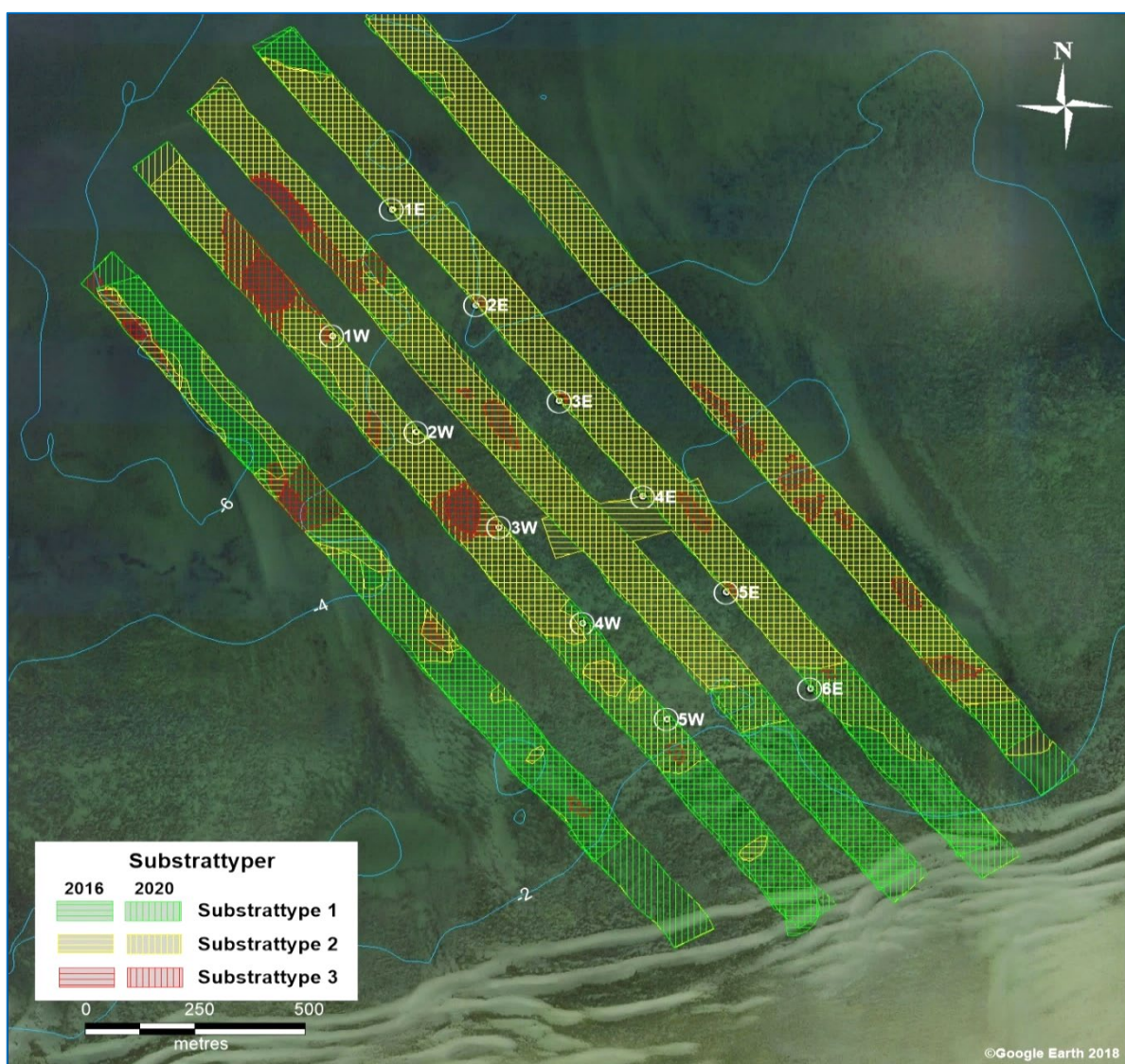
Figur 18: Vindmøllelokaltet 6E. Ortomosaik af dronefotos og 0,25 m dybdekurver (kilde: MTE) samt opsplittet 360° fotopanorama fra undersøgelsen i 2020.

5 Diskussion

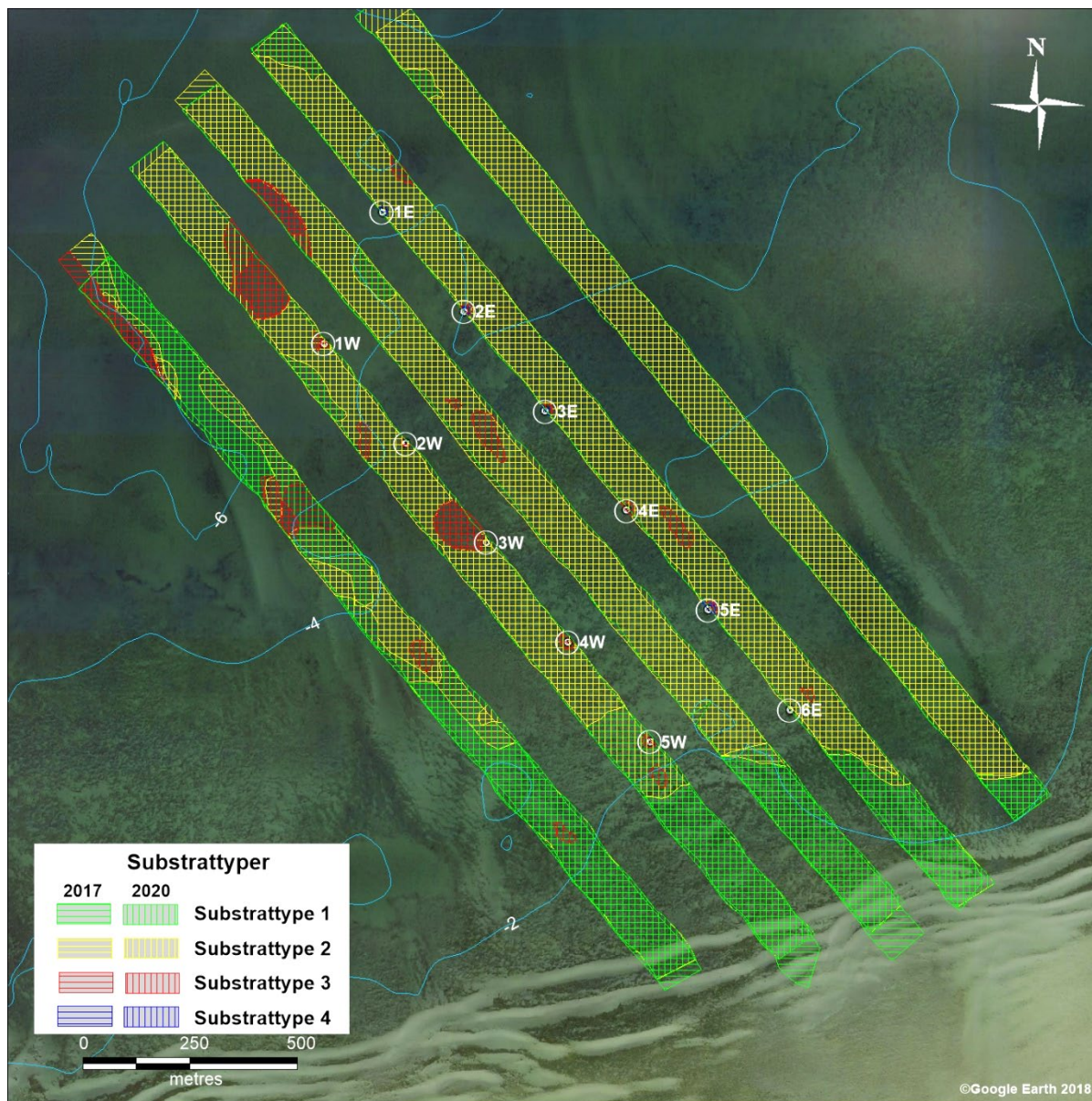
5.1 Substrattyper og vegetation

Undersøgelserne i 2017 og 2020 har kortlagt de samme arealer som ved basisundersøgelsen (Orbicon 2016), dog kan der være minimale afvigelser som især skyldes sidescanning på lavere vand, hvor der kun forekommer substrattype 1b (rent sand).

På nedenstående figurer er resultaterne fra 2020 sammenlignet med hhv. basisundersøgelsen i 2016 (Figur 19) og undersøgelsen i 2017 (Figur 20).



Figur 19: Ændringer i kortlagte substrattyper i undersøgelsesområdet fundet i basisundersøgelsen 2016 (Fra Orbicon, 2016) og 2020.



Figur 20: Ændringer i kortlagte substrattyper i undersøgelsesområdet fundet i 2017 og 2020 inden for side-scan-sonar transekter.

Resultatet af basisundersøgelsen sammenlignet med resultater fra 2017 og nærværende undersøgelse fremgår af Tabel 2. Der er i alle år anvendt samme klassificering af substrattyper (se afsnit 5.2.1).

Generelt er der god overensstemmelse med resultaterne i alle 3 år:

- Der er i 2016 fundet substrattyperne 1b, 2 og 3, der udgjorde henholdsvis 29%, 63% og 7% af de undersøgte områder. I 2017 og 2020 er der tilsvarende fundet en udbredelse af substrattyper på henholdsvis 25% og 28 % for substrattype 1b, 70% og 68 % for substrattype 2, 5% og 5 % for substrattype 3 samt <1% og 0 % for substrattype 4.

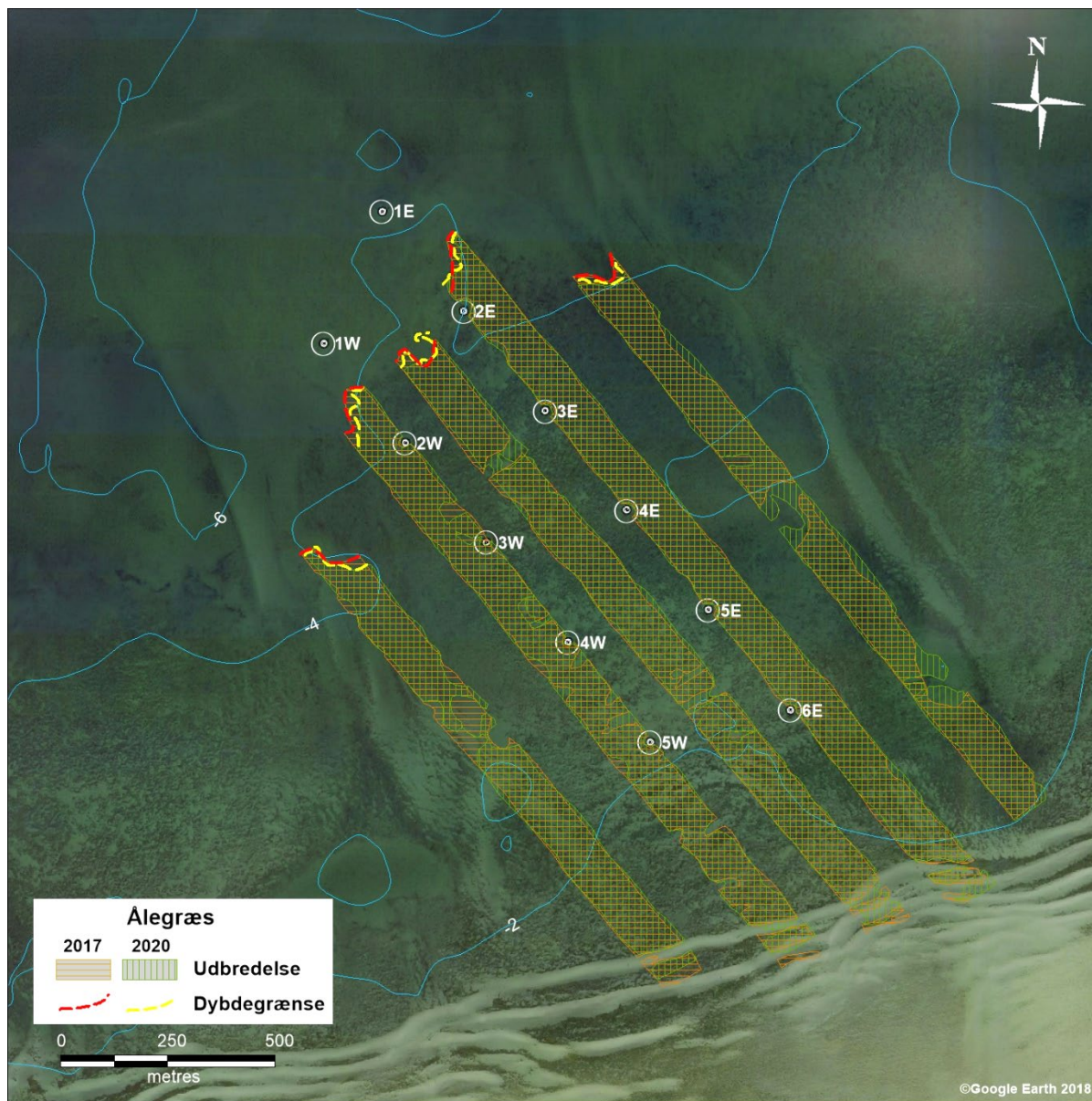
- Der er stor overensstemmelse mellem udbredelsen af substrattyperne i alle 3 år:
 - Områderne nærmest kysten (dybder under 2 – 4 m) er domineret af substrattype 1b (fast sandbund), som også findes i et område på dybere vand på den vestligste transekt.
 - Størstedelen af de undersøgte områder udgøres af substrattype 2 (større sten < 1 – 10 %), som også er den dominerende substrattype inden for den tidligere møllepark.
 - Substrattype 3 (stenbestrøning 10 – 25 %) findes lokalt på de 3 vestligste transekter, omtrent med samme udbredelse (bl.a. lige W – NW for fundament 3W og ca. 100 m N – NW for fundament 1W).

Der er dog også mindre forskelle:

- Lokale forekomster af substrattype 3 (stenbestrøning 10-25 %) langs den østligste transekt fundet i 2016) kan ikke bekræftes af de efterfølgende undersøgelser i 2017 og 2020.
- Substrattype 1b (fast sandbund) havde i 2017 en mere kystnær og generelt mindre udbredelse i forhold til 2016, men udbredelsen er igen øget i 2020 overvejende i den vestlige del af området
- Substrattype 4 (Stenbestrøning 25 – 100 %) blev i 2017 fundet i umiddelbar nærhed rundt om nogle af turbinefundamenterne, primært i form af efterladte betonstykker og stenpuder. I 2020 kan denne substrattype ikke erkendes på grund af overbevoksning og tilsanding af de tidligere vindmøllelokaliteter.

Areal og ændringer af substrattype og ålegræs					
	2016	2017	2020	Ændring 2016/2020	Ændring 2017/2020
Opmålt	1.161.623	1.221.529	1.231.686	5,7%	0,8%
Substrattyper					
Substrattype 1 (m ²)	341.932	308.478	344.833	0,8%	10,5%
Substrattype 2 (m ²)	734.181	856.264	831.770	11,7%	-2,9%
Substrattype 3 (m ²)	85.510	57.910	58.227	-46,9%	0,5%
Substrattype 4 (m ²)	0	1.535	0	0	-1.535
Ålegræs					
Areal (m ²)	625.046	742.172	757.284	17,5%	2,0%
Areal af opmålt (%)	53,8%	60,8%	61,5%		

Tabel 2. Arealer af opmålte og registrerede forekomster af substrattyper og ålegræs samt ændringer fra henholdsvis 2016 og 2017 til 2020.



Figur 21: Ændringer i kortlagte udbredelser af ålegræs og dybdegrænser i undersøgelsesområdet fundet i 2017 og 2020 inden for sidescan-sonar transekter.

Udbredelsen af ålegræs kortlagt i 2020 (62 %) svarer til udbredelsen i 2017 (61%) med kun mindre lokale forskelle. Der er stor overensstemmelse med de målte dybdegrænser i 2017 og 2020. I forhold til basisundersøgelsen i 2016, hvor udbredelsen var 54 % af arealet, synes udbredelsen af ålegræs derfor vedvarende forøget. Dybdegrænsen er ikke angivet præcist i basisundersøgelsen (Orbicon 2016), men en umiddelbar sammenligning indikerer en god overensstemmelse med udbredelsen inde i havmølleparken og vest for denne. Der er derfor ikke indikationer på at dybdegrænsen har ændret sig markant siden 2016. Ålegræsset er i 2017 og 2020 udbredt langs det østligste transekt, hvor det ikke blev registreret i 2016. Dette resultat understøtter indtrykket af, at

det østligste transekt i 2016 generelt havde en mere stenet substrattype (substrattype 3) i forhold til de efterfølgende undersøgelser.

Samlet set vurderes at der er en god overensstemmelse mht. udbredelse af substrattyper og ålegræs inden for den tidligere havmølleparken og på det vestligste transekt uden for havmølleparken i undersøgelserne før og efter nedtagning af havmølleparken. Den samlede fordeling og udbredelse af substrattyper i 2020 har i forhold til 2017 bevæget sig nærmere basisundersøgelserne i 2016.

De største vedvarende forskelle ses i på den østligste transekt, hvor der er mindre groft sediment og mere udbredt forekomst af ålegræs efter nedtagning af havmølleparken.

Ingen af de registrerede ændringer kan tilskrives arbejdet med nedtagning af havmølleparken. Området er meget dynamisk, og de største ændringer er registreret udenfor selve havmølleparken.

5.2 Tidligere vindmøllelokaliteter

Fjernelsen af de tidligere vindmøllefundamenter medførte ændringer i substrat, bathymetri og til dels fauna og flora.

I 2017 var substratsammensætningen ændret ved efterladet af betonstykker, armeringsjern samt sten fra de tidligere stenpuder under fundamenterne. Forekomsten af disse efterladenskaber var varierende på de forskellige lokaliteter. Efterladenskaberne resulterede i, at der blev observeret lokal forekomst af substrattype 4 ved flere tidligere turbinelokaliteter i 2017.

I 2020 kan de efterladte betonskærver og stykker ikke længere erkendes, da de er helt overvokset med makroalger (se Figur 22). På en enkelt lokalitet kan stadig erkendes armeringsjern, som er overbevokset med alger. Men samlet set er der sket en betydelig overbegroning og tilsanding, ligesom det meste armeringsjern er korroderet. Det blev i 2017 vurderet, at netop denne udvikling ville finde sted.

De fordybninger, der i 2017 blev observeret på mindst 10 af de 11 tidligere vindmøllelokaliteter på op til 1,5 meter i forhold til den omgivende naturlige havbund, er i 2020 næsten forsvundet eller kraftigt reduceret som følge af sandindvandring i den mellemliggende periode. De resterende fordybninger som i 2020 er maksimalt 0,5 m dybe, forventes ligeledes at blive opfyldt med sand i løbet af en kortere årrække. Det vurderes, at der dermed ikke længere er risiko for, at der opstår sedimentationsfælder for fint sediment og sammenskyld af løst drivende alger ved de tidligere vindmøllelokaliteter.



Figur 22: Sammenlignelige eksempler på udvikling i begroning af makroalger på hårbund (knust beton) fra 2017 (venstre) til 2020 (højre). Eksemplerne er fra vindmøllelokalitet 2E (øverst) og 5E (nederst).

6 Konklusion

Der er i 2020 gennemført en afsluttende undersøgelse af flora og fauna i og omkring den tidligere Vindeby Havmøllepark som opfølgning på tidligere undersøgelser foretaget umiddelbart før (2016) og efter nedtagning af havmølleparken i 2017.

Undersøgelsen i 2020 viser en høj grad af overensstemmelse med tidligere undersøgelser i 2017, men fordelingen af substrattyper ligger nu endnu tættere på basisundersøgelserne i 2016. De største vedblivende ændringer ses øst for den tidligere havmøllepark, hvor der nu forekommer mindre hård bund og mere ålegræs end før nedtagning af havmølleparken. Disse ændringer kan dog ikke tilskrives arbejdet med nedtagning af Vindeby Havmøllepark, men tilskrives en naturlig udvikling i et dynamisk havbundsmiljø.

Undersøgelsen i 2017 viste markante ændringer på de tidligere vindmøllelokaliteter dels i form af efterladenskaber fra fundamenterne, dels i form af fordybninger på op til 1,5 m dybde og ca. 15 m diameter i forhold til den omgivende havbund. I 2020 er disse ændringer stort set forsvundet på grund af en kombination af indvandring af sand, overbegroning og korrosion af armeringsjern. Havbunden er stort set reableret til en tilstand fra før havmølleparken blev etableret, hvor havbunden ligner den omkringliggende havbund. Betonfragmenterne er så overbevoksede at de ikke kan skelnes fra naturlige sten. Det forventes at denne udvikling vil fortsætte, så de sidste fordybninger og rester af armeringsjern fra fundamenterne vil være helt forsvundet i løbet af en kortere årrække.

Det må derfor konkluderes, at havet efter en kortere årrække stort set har slettet alle synlige spor af havmølleparken.

Det vurderes samtidig, at undersøgelserne i 2016, 2017 og 2020 har givet en tilfredsstillende beskrivelse af såvel effekterne af at fjerne fundamenterne som af havbundens efterfølgende reablering. Der skønnes ikke at være behov for yderligere opfølgende undersøgelser.

7 Referencer

DCE (2014): Teknisk anvisning M12 - Makroalger på kystnær hårbund, Versionsnummer: 3

DONG Energy (2016): Nedtagningsplan for Vindeby Havmøllepark, Final - Update Okt. 2016

DONG Energy (2017): VNB Decom – Afrapportering af Vindeby Havmøllepark nedtagning.

MOE (2018): Vindeby Havmøllepark. Sedimentforurening efter nedtagning. Undersøgelsesrapport til Ørsted.

MOE (2018): Vindeby Havmøllepark. Marin flora og fauna efter nedtagning. Undersøgelsesrapport 2017. Rapport til Ørsted.

Orbicon (2016): Vindeby Havmøllepark, Miljøvurdering for nedtagning af Vindeby Havmøllepark, 03- 10-2016.

Annex 1

Interaktive 360 grader panoramaoptagelser

(Er afrapporteret separat og uploadet til Energistyrelsens filudvekslingssystem)