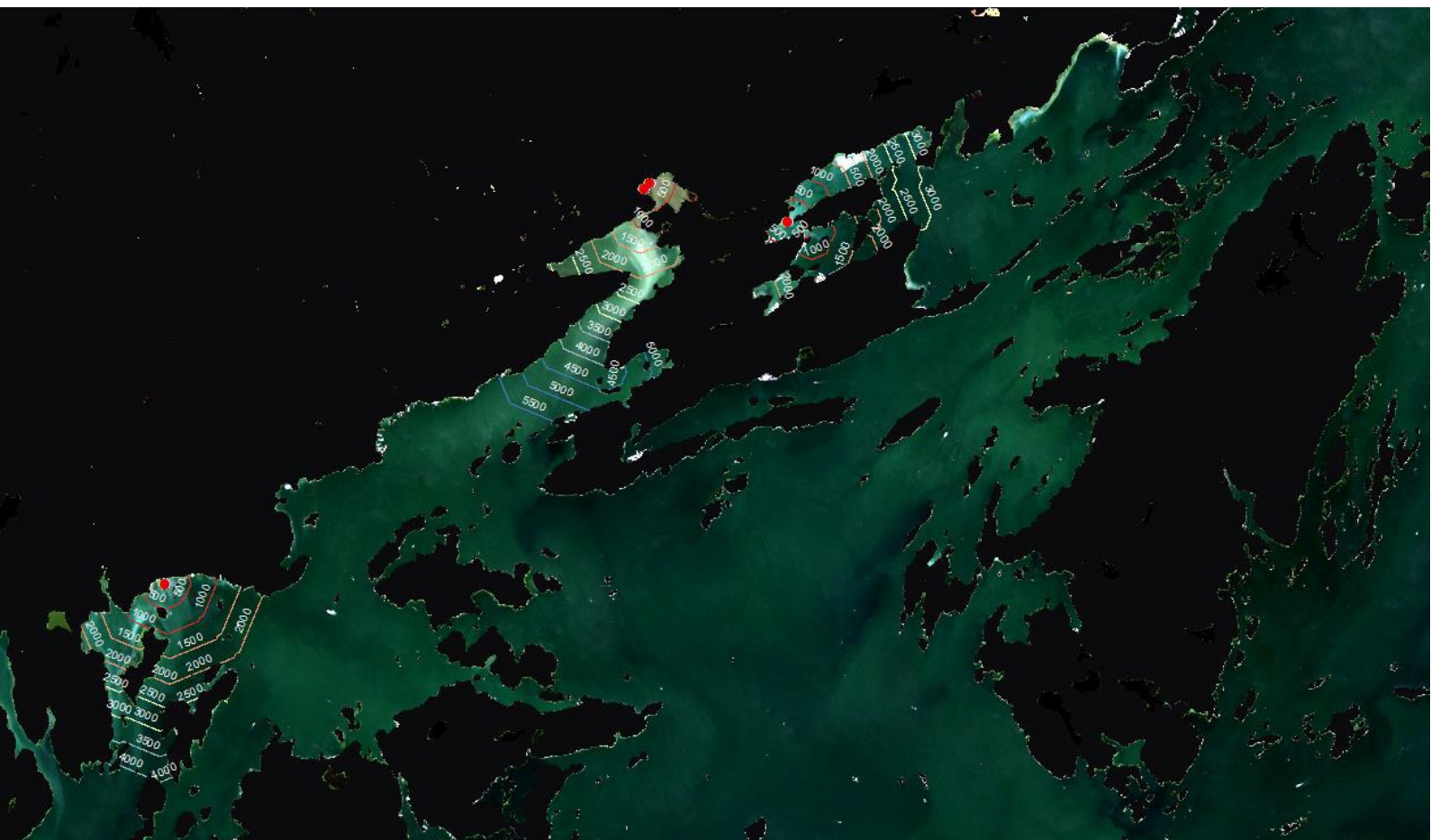


# En operationell metod för detektion och avgränsning av muddringar med hjälp av satellitdata

Arbetsrapport inom biogeografisk uppföljning och projektet  
Fysisk påverkan i svenska kustvatten

Oscar Törnqvist, med bidrag av Carl Gilljam och Mats Rosengren



Metria AB, 2017-11-28

Box 30016, 104 25 Stockholm

Tel 010-121 80 00

info@metria.se | metria.se



Rekommenderat format vid citering:

Törnqvist O, Gilljam C och Rosengren M 2020. En operationell metod för detektion och avgränsning av muddringar med hjälp av satellitdata – Arbetsrapport inom biogeografisk uppföljning och projektet Fysisk påverkan i svenska kustvatten. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2020:11, 28 sidor.

Projektledare: Ingemar Andersson och Erland Lettevall, Havs- och vattenmyndigheten.

Nyckelord: muddring, grumling, fjärranalys, satellitbild, vattenkvalitet, fysisk påverkan, bottenstörning, bottenskador, art- och habitatdirektivet, havsmiljödirektivet, vattendirektivet, uppföljning, kartläggning, grundområden, kustzonsplanering, kustmiljö, marin miljö, grunda havsområden.

Den här rapporten har tagits fram på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten och utgör en underlagsrapport till slutrapporten Fysisk störning i grunda havsområden (Havs- och vattenmyndighetens rapport 2020:12). Innehållet och slutsatserna i rapporten innebär inte något ställningstagande från Havs- och vattenmyndighetens sida.

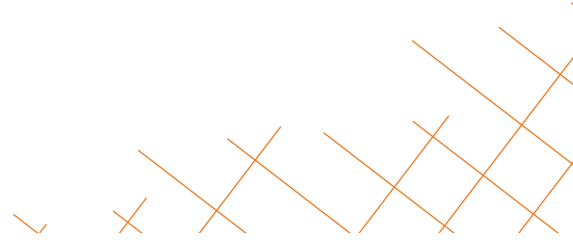
Havs- och vattenmyndighetens rapport 2020:11

Omslagsbild: Muddringar (rött) och deras grumlingsplymer synliga i satellitbild (Sentinel-2, ljust blågröna i bilden) med analys av plymernas utsträckning, i meter. Området mellan Årsta och Dalarö, Stockholms södra skärgård.

ISBN, digital version: 978-91-88727-71-8

## Innehåll

1	Introduktion	4
1.1	Bakgrund	4
1.2	Syfte och målsättning	4
1.3	Avgränsningar	5
2	Grundläggande förutsättningar	6
2.1	Frekvensband	7
2.2	Algoritmer och kombinationer av frekvensband	8
2.3	Kromaticitet – analytisk kontrastförstärkning	10
2.4	Detektion av mindre muddringsplymer	12
2.5	Områden med grövre bottensubstrat och större vågexponering	13
2.6	Tillgång till molnfria data och problem med moln	14
2.6.1	En metod för en molnfri vattenyta	15
3	Metodutvärdering	16
3.1	Begränsningar med utvalda bandkombinationer och kromaticitet	17
3.2	Att avgöra typ av grumling längs kusten	19
3.3	Förslag på tolkningsunderlag	20
4	Analys av påverkanszon	22
4.1	Uppskattad grumlingszon	24
4.2	Föreslagen påverkanszon	24
5	Slutsatser	25
5.1	En operationell metod	25
5.2	Fördelar, synergier och kostnader	26
	Referenser	27





## 1 Introduktion

### 1.1 Bakgrund

Man har länge försökt att kartlägga vattenkvalitet med hjälp av satellitdata. I korthet går de oftast inom universitetsvärlden bedrivna projekten ut på att korrelera reflektans i satellitbilder till faktiska mätningar av olika i fält uppmätta parametrar; i synnerhet siktdjup, humusämnen, klorofyll och suspenderat material (organiskt, inorganiskt eller totalt).

För respektive satellitsensor har man försökt att etablera olika algoritmer som via reflektansen kan räkna ut faktiska värden på de sökta parametrarna, t.ex. siktdjup i meter eller andelen silt i vattnet mätt i mg per liter. Satellitbilden blir då ett sätt att kostnadseffektivt skala upp några mätpunkter till en kartering över stora områden. Uteslutande har man tidigare använt sig av satelliter som ger bilder med lite lägre upplösning (t.ex. MODIS och MERIS, se t.ex. Petus et al. 2010, Kratzer et al. 2008) där bildpunkterna, pixlarna, är mellan 250 och 1200 m stora. Detta har fungerat för att kartlägga egenskaper hos vattnet på en övergripande skala (t.ex. vattenförekomst) men inte på den detaljnivå som krävs för att kartlägga små muddringar eller andra störningar längs våra kuster.

Metria har tidigare undersökt möjligheter med att både detektera muddringar i satellitbild och att spåra resuspension – långtidsgrumling – med samma metodik (Metria 2008, Engdahl et. Al 2011). Här har utgångspunkten varit data från satelliten SPOT-5 med 10 meters upplösning men med sämre antal frekvensband och bara enstaka bilder tillgängliga för varje år. Sedan 2015 ger en högupplöst satellitsensor (Sentinel-2) täta serier med bilder över våra vatten – ofta med ett par veckors mellanrum – som kan användas kostnadsfritt. Sensorn har dessutom fler frekvensband än SPOT-5. Möjligheterna med marin fjärranalys har därmed i grunden förändrats.

Inom flera projekt bedrivna för Havs- och vattenmyndighetens räkning är det av vikt att kartlägga var och i vilken omfattning bottenarna störs av muddringsverksamhet och att använda satellitbildsanalys skulle potentiellt vara en kostnadseffektiv metod. Existerande metodik som avser att kartlägga framförallt mindre muddringar i kustmiljö bygger på flygbildstolkning (se t.ex. Nilsson 2010, Törnqvist & Engdahl 2012) och är därmed ganska kostsam att utföra, i synnerhet i en nationell omfattning. Dessutom finns uppfattningar om att nya satelliters flera frekvensband – och mer frekventa bilder – skulle kunna hjälpa till att bättre inte bara utvisa var grumlingar förekommer utan även hjälpa till att tolka dem, baserat på att olika substanser ger upphov till olika reflektans. Slutligen har det även förts fram idéer om att satellitbildsanalys kan komplettera flygbildstolkning i de områden där vattnen är grumliga och muddringar därför svåra att identifiera.

### 1.2 Syfte och målsättning

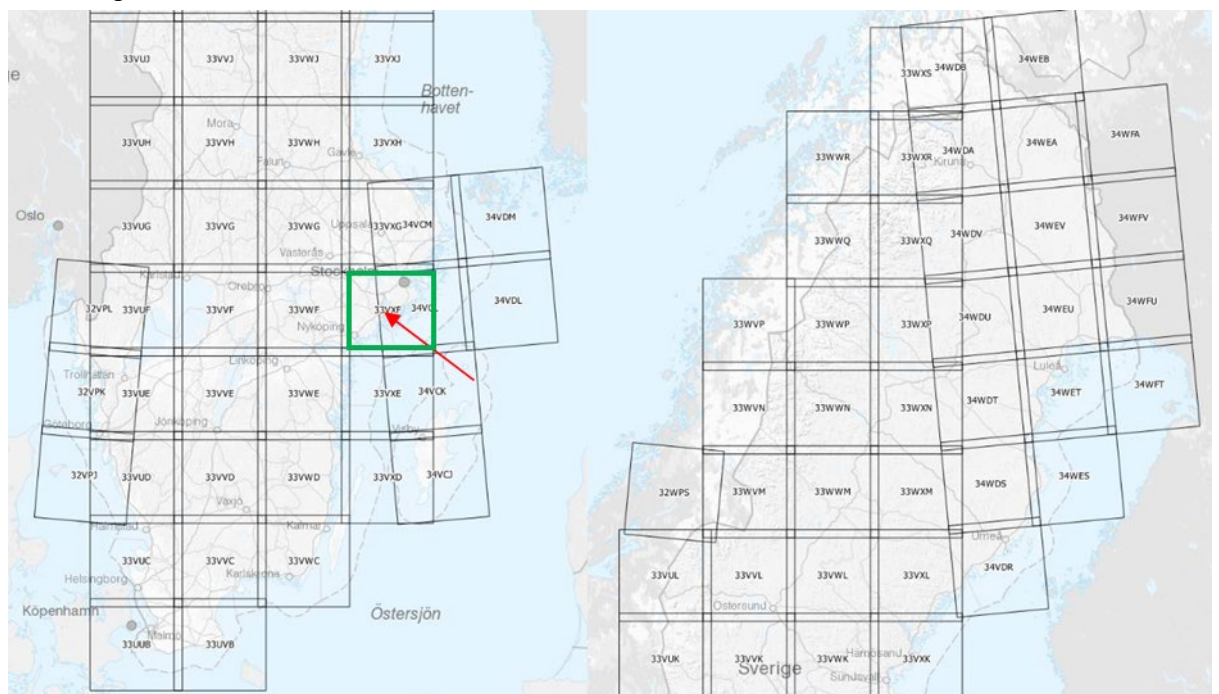
Syftet med denna rapport är att utreda om och hur satellitdata kan användas för att kartlägga muddringar. Målsättningen är att, om möjligt, hitta en konkret metod för praktiskt arbete med att kartera muddringar för i synnerhet områden med grumliga vatten och då antingen som komplement till inventering i flygbilder eller som ersättare för denna metodik.

Uppdraget medför ett behov av att identifiera metoder för att kartlägga förekomst av inorganiskt material (silt och finlera) i vattenpelaren, ofta kallade PIM (particle inorganic matter). Metoder för detta är dock ännu inte utvecklade för Sentinel-2 (Ligi et al. 2017). Ett mer realistiskt mål är att i innevarande studie hitta metoder för att kartlägga förekomst av den totala mängden suspenderat material, kallat TSM ("total suspended matter") eller SPM ("suspended particle matter"), som kan påvisa var det har pågått muddringar. TSM innehåller fler komponenter än PIM, t.ex. alger, varför man på sikt bör försöka utveckla metoder för att undvika alger och istället fokusera på att uteslutande kartlägga grumlingar av lera och silt, dvs. PIM.

### 1.3 Avgränsningar

Som undersökningsområde har valts satellitbildruta 33VXF enligt Sentinel-2:s indelning av flygstråk och bildrutor (se figur 1 nedan). Inom denna ruta har ett antal analyser utförts och satellitdata har tolkats tillsammans med kända nya och äldre muddringar. Studien gör anspråk på att vara vederhäftig för analys av svenska inner- och mellanskärgårdar, där behovet av komplement till flygbildstolkning är extra stort och kusten dessutom fragmenterad och komplicerad att inventera. Det skulle vara möjligt att föra kompletterande metodstudier för exempelvis Västkusten och Norrlandskusten där helt andra natur- och kulturgeografiska förhållanden råder. Men dessa områden omfattas inte av detta uppdrag.

Metodundersökningen gör anspråk på att komma med generella rekommendationer men det har inte rymts inom budget att utföra tidsstudier och kostnadsberäkningar för att skatta den faktiska ekonomiska vinsten med att använda satellitbildsanalys istället för eller som komplement till flygbildsanalys. Men som det skall visa sig är ändå rekommendationerna konkreta då resultatet pekar i en riktning.



Figur 1. Indelning av Skandinavien i olika flygstråk och rutor för kartläggning med satelliten Sentinel-2. Testområdet, med beteckningen 33VXF (Sörmlands skärgård och Stockholms södra inner-/mellanskärgård), indikerat med röd pil.

## 2 Grundläggande förutsättningar

Det har funnits och finns en del utmaningar med att kartlägga grumling i vattnet.

Innan 2015 har det i praktiken bara funnits en eller högst två nationella täckningar av tillräckligt högupplöst satellitdata (10 – 25 meter) per år. Det röde då sig då om bilder från satelliterna SPOT-5, LANDSAT och IRS. Sedan år 2015 har det Europeiska rymdorganet ESA driftsatt en satellit som ger oss data med mycket hög frekvens. I praktiken kan vi få bilder med ett par veckors mellanrum. Eftersom synliga plymer av finsediment från muddringar ofta dröjer kvar längre än så är det i alla fall teoretiskt möjligt att detektera dessa i satellitbilder. Möjligheten finns nu alltså att använda data från Sentinel-2 (Salama et al. 2012, Pahlevan et al. 2017).

Nästa utmaning består av att avgöra vad som är en muddring. Regelmässigt så utgår man enligt ovan från fältmätningar när man skall avgöra förekomst av och utbredning av substanser i vattnet. Men det finns även några försök till generiska algoritmer som syftar till att skatta halter av ämnen även utan fältmätningar (t.ex. Larouche et al. 2008, Nechad et al. 2010, Dogliotti 2015). För innevarande syfte finns inga fältmätningar utan företeelserna vi söker kartlägga är istället okända och skall dels detekteras, dels avgränsas. Här skulle en generisk algoritm kunna hjälpa till att avgöra var det finns förhöjda halter av TSM. För MODIS har en algoritm för TSM utvecklats för finska viken (Vazyulya et al. 2014). För Sentinel-2 finns ännu ingen algoritm för Östersjöområdet (jfr Ligi et al. 2017).

Eftersom vattenpelarens spektrala reflektans beror av flera olika faktorer; solvinkel, atmosfär, humusämnen, halten klorofyll (alger), avrinning från mark (i synnerhet bar åkermark), bottenbeskaffenhet, vattendjup och vågor är det inte trivialt att skilja ut TSM från andra komponenter i reflektansen. Och i synnerhet inte att skilja ut grumling från muddring från annan grumling, t.ex. avrinning från åkermark, uppgrumlade bottnar på grund av storm, båttrafik, byggnationer osv. De generiska algoritmer som har tagits fram gäller följaktligen bara i vissa vatten, eftersom de tar hänsyn till att de i vattnet ingående ämnena varierar från exempelvis Östersjön och medelhavet. Även för enskilda områden med tillgängliga mätdata, när en mer exakt algoritm kan tas fram, har det visat sig att botten (oftast ljusa sand- och lerbottnar) ställvis lyser igenom och felaktigt tolkas av algoritmen som grumling, eftersom sand och lera under vatten ser mer eller mindre identiskt ut som grumling av inorganiskt material orsakat av mekanisk nötning. I ett försök att skatta vattenkvalitet i svenska kustvattenförekomster<sup>1</sup> blev tyvärr modellering av TSM felaktig på grund av att botten lyser igenom. I det resultatet utpekades klara vatten med god kvalitet (låg TSM) som dåliga. Ställvis förekommer även problem, i synnerhet i skärgårdar, med att reflektans från stranden slår igenom i vattenpixlarna närmast stranden, förstås särskilt märkbart när satellitdata är av lägre upplösning som t.ex. för MODIS och MERIS.

Metoden måste alltså kompensera bort bottnar som lyser igenom i bilderna så att dessa inte felaktigt detekteras som grumling och den bör om möjligt kunna skilja på i synnerhet oorganisk grumling och algbloomingar. Problemet med störning från land måste också lösas. Till hjälp står satellitbildens olika kanaler eller data över frekvensband.

<sup>1</sup> Se GIS-portalen från [http://gisportal.brockmann-geomatics.se/webapp/wq/wq\\_wfd/?type=tsm](http://gisportal.brockmann-geomatics.se/webapp/wq/wq_wfd/?type=tsm).

## 2.1 Frekvensband

Satellitdata processas i olika steg (nivåer). En faktisk produkt med stor bulkvolym av bilder som är processade till nivå 2A är Metrias "Automatiserade Tjänst för Sentinel-2" (MATS). Denna tjänst laddar ned, atmosfärkorrigerar, tar bort moln ("molnmaskar") och gör satellitbilder från Sentinel-2A och 2B analysfärdiga i SWEREF 99 TM på lokal disk hos Metria i Stockholm. Det finns förstås andra datalager av samma typ men inte där materialet ligger i SWEREF 99 TM.

I tabell 1 framgår frekvensband och upplösning frekvensband och upplösning för Sentinel-2A och Sentinel-2B i nivå 2A. I tabellen framgår även frekvensbanden enligt hur de lagras och organiseras i MATS.

Tabell 1. Frekvensband tillgängliga i scener från Sentinel-2. Notera den varierande geometriska upplösningen, 10–60 meter, beroende på frekvensband.

Upplösning (m)	Band	Band MATS	Benämning	S2A		S2B	
				Central våglängd (nm)	Bandbredd (nm)	Central våglängd (nm)	Bandbredd (nm)
<b>10</b>	2	1	Blått	496,6	98	492,1	98
	3	2	Grönt	560,0	45	559	46
	4	3	Rött	664,5	38	665	39
	8	4	Nära infrarött, NIR	835,1	145	833	133
<b>20</b>	5	7	Veg. RedEdge I	703,9	19	703,8	20
	6	8	Veg. RedEdge II	740,2	18	739,1	18
	7	9	Veg. RedEdge III	782,5	28	779,7	28
	8a	10	Nära infrarött, smalt NIR	864,8	33	864	32
	11	5	Infrarött, SWIR	1613,7	143	1610,4	141
	12	6	Infrarött, SWIR	2202,4	242	2185,7	238
<b>60</b>	1	-	Kustaerosol	443,9	27	442,3	45
	9	-	Vattenånga	945,0	26	943,2	27
	10	-	SWIR – Cirrus	1373,5	75	1376,9	76



## 2.2 Algoritmer och kombinationer av frekvensband

Med utgångspunkt från satellitbildens frekvensband söker man ett samband mellan reflektans i ett eller fler band och den företeelse man avser kartlägga. Ofta är det även en kvot eller differens mellan två eller fler band som bäst pekar ut förekomst av ett visst ämne eller företeelse i bilden.

Vatten absorberar infraröda band oerhört väl. En öppen vattenyta kan därför avgränsas genom att hitta en tröskel i bilden för värdet i något av IR-banden. Inom denna vattenyta skall sedan grumlingen detekteras. Rent allmänt kan sägas att grumling från inorganiskt material borde ha hög reflektans i synnerhet i gult/rött, i jämförelse med grönt/gult/IR, vilket dominerar reflektansen från alger. För vegetationens klorofyll finns ett antal algoritmer utvecklade som fångar upp dess reflektans. Oftast är det en kombination av rött band och NIR. Detta kallas för vegetationsindex (NDVI, se Lillesand et al. 2015). Ett vegetationsindex kan alltså förmodas vara användbart vid att skilja algblomning/vattenvegetation från oorganisk grumling.

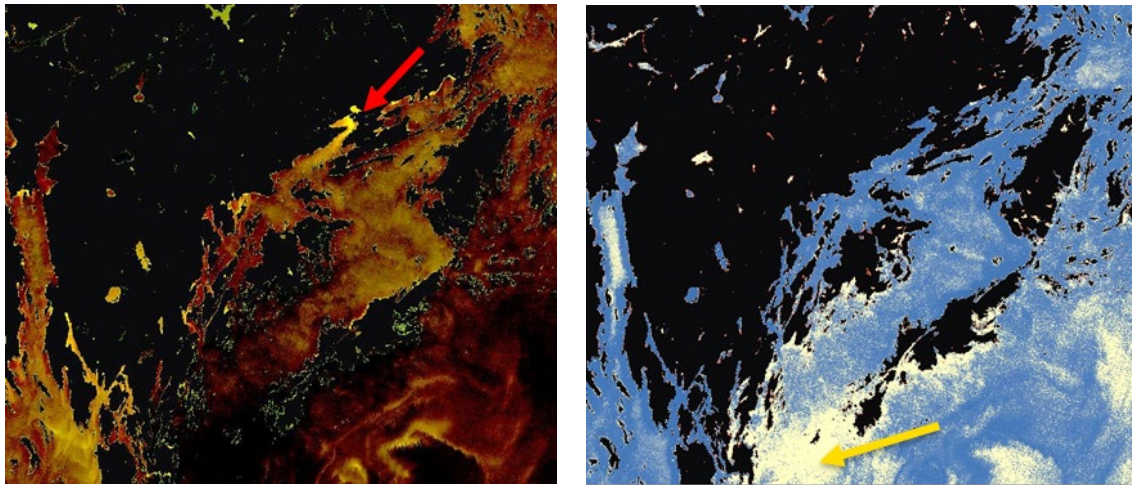
För grumlingsplymer har tidigare studier visat att våglängderna 645 och 859 nm (Dogliotti et al. 2015), 650–850 nm (Ruddick & Vanhellefont 2015), 670–750 nm (Nechad et al. 2010), 720–730nm, 770 nm (Lorthiois et al. 2012) och 790–820 nm (Nechad et al. 2016) korrelerar bra med förhöjd turbiditet. Band 9 i MATS (780 nm) visade sig i våra vatten korrelera mer med klorofyll än TSM. Sammantaget borde banden 3, 7, och 8 i MATS (Sentinel band 4, 6 och 7) vara relevanta. Denna kombination visar grumlingsplymer mycket bra men reagerar också på algblomningar. I forskarvärlden bygger den bästa algoritmen för TSM i Sentinel-2 på frekvensbandet 810 nm (Ligi et al. 2017) och till synes bäst anpassad för Sentinel-2 som banden RedEdge I (Red–RedEdge III).

Vid försök i UO kunde det konstateras att i de relativt turbida vatten som föreligger i inner- och mellanskärgårdarna – och där alltså satellitbildsmetodiken har störs potential då finsediment lätt rörs upp dessa miljöer och man dessutom har minimalt med problem av reflektans från havsbotten eftersom denna inte syns i de grumliga vattnet – så förelåg störst kontrast i MATS band 3 och 7, rött/665 nm och RedEdge II/740 nm. Däremot fungerade inte band 8A (MATS band 10). Dessutom kunde det konstateras att i motsats till algblomningar har grumlingsplymer lågt NDVI, eftersom grumlingen har hög reflektans i rött men ringa eller ingen reflektans i IR-banden.

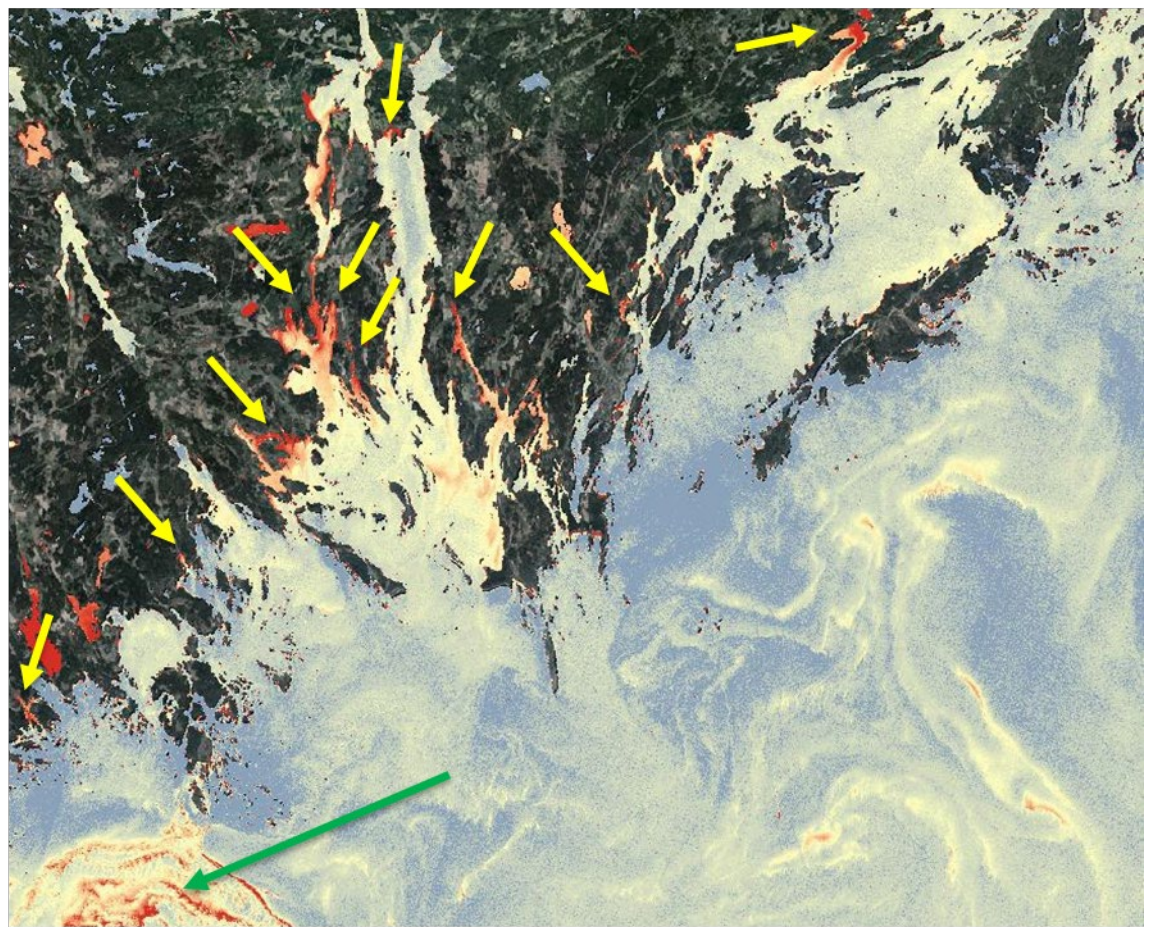
Nedan presenteras några exempel på analyser och bandkombinationer som undersökts i syfte att detektera muddringsgrumling. I figur 2 visas skillnaden mellan NDVI och en kombination av rött och RedEdge I, där den sistnämnda pekar ut muddringsgrumling men även ger viss reflektans av algblomning. I figur 3 syns en differensbild mellan dessa båda indikatorer, som (Rött + RedEdge I) – NDVI. Denna framhäver än mer markant muddringsplymer men får fortfarande viss reflektans från kraftigare algblomningar (grön pil i figur 3). Slutligen testades att kontrastera rött och RedEdge mot IR-banden, via NDVI och NIR1 & NIR 2, se figur 4.

Slutsatsen av dessa experiment visar att det går att effektivt peka ut grumlingar genom i synnerhet de algoritmer som presenteras i figur 3 och 4. De kraftigaste algblomningarna, de som skapar synliga stråk i flygbilderna, får man dock ej bort via algoritmerna, även om man försöker kompensera bort högt NDVI. Här måste en operatör kunna skilja dessa företeelser åt, något som i praktiken inte är något problem

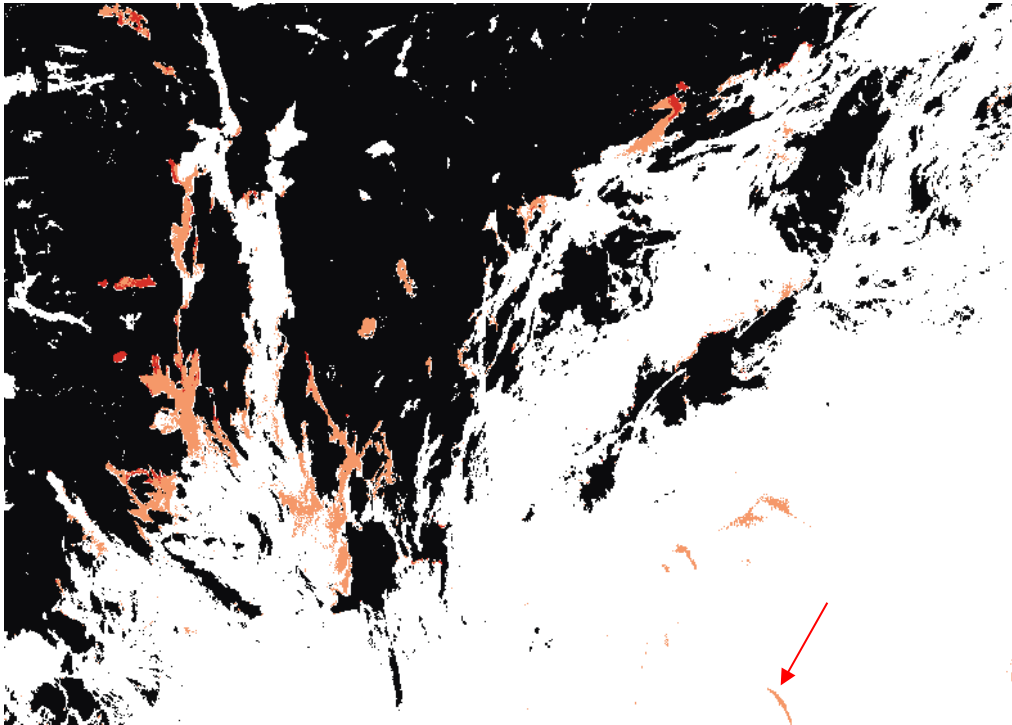
eftersom dessa kraftiga algstråk mycket sällan ligger kustnära utan istället i utsjön (Se grön pil i figur 3).



Figur 2. En jämförelse mellan NDVI – som fångar upp algblomning – med band 3 och 7 som i större utsträckning fångar upp grumling men även ger utslag för i synnerhet kraftiga algblomningar. T.v. algblomning indikerat med gul pil, t.h. grumlingsplym indikerad med röd pil. Södertörns skärgård. Scenens beteckning 33VXF, datum 2016-08-13.



Figur 3. Samma scen som i figur 2 fast här i MATS B3+B7 (Rött plus RedEdge 1) minus NDVI. Grumling tecknas här i rött/orange/gult. Samma scen och datum som ovan. Notera hur kraftiga algblomningar med algpartiklar i vattenytan ger utslag även i denna analys, även om de kustnära grumlingarna (gula pilar) är väl avgränsade.



Figur 4. MATS B3+B7-(NDVI+B4+B10), dvs. Rött + RedEdge 1 – (NDVI + NIR1 + NIR2). Grumling tecknas här i rött/orange. Samma scen och datum som ovan. Röd pil indikerar stråk av alger som ej filtreras bort.

### 2.3 Kromaticitet – analytisk kontrastförstärkning

Vid sidan av ett försök att förstärka kontrasten i bilderna med avseende på de reflektansband som man via forskning kan knyta till grumling finns anledning att undersöka om man rent allmänt kan bearbeta satellitbilderna så att de är så "tydliga" eller "talande" som möjligt, dvs. att de frekvensband som uppvisar störst nyanser och kontrast används i en visuell trebands- (RGB-) bild.

I detta sammanhang är kromaticitet ett färgindex där intensiteten i bilden normerats bort. Från en trebandsbild beräknas kromaticitet  $x$ ,  $y$  och  $z$  enligt:

$$X = r_1 / (r_1 + r_2 + r_3)$$

$$Y = r_2 / (r_1 + r_2 + r_3)$$

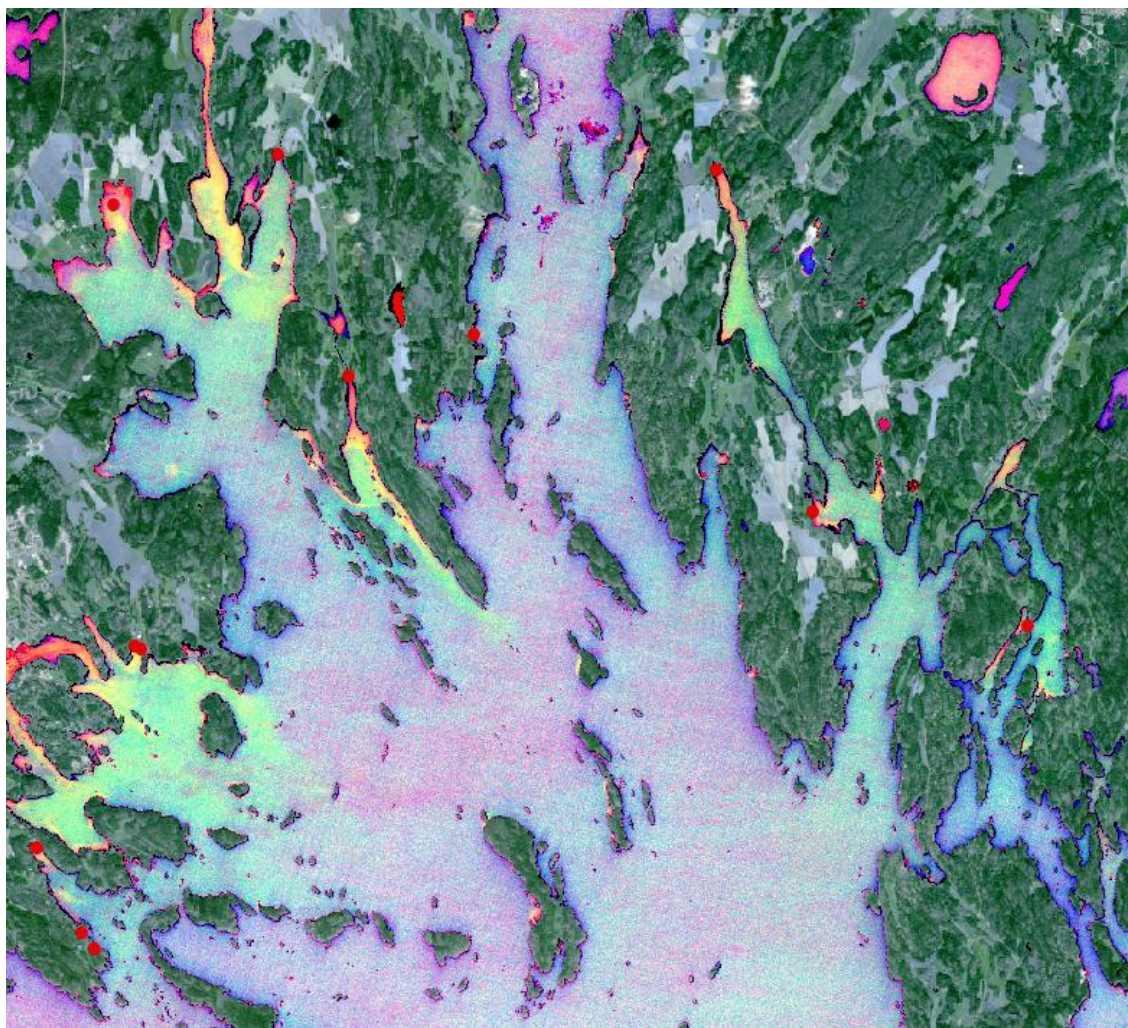
$$Z = r_3 / (r_1 + r_2 + r_3)$$

Där  $r$  = reflektans = DN

Observera att summan  $X+Y+Z = 1$

För att framhäva färgerna hos vatten så att skillnaden mellan exempelvis alger och oorganiskt material ska synas bra experimenterades med olika kombinationer av index och spektralband. En korrelationsmatris mellan olika kromaticitetskombinationer finns presenterat i tabell 2 nedan.

Av ett stor antal kombinationer befanns följande kombination bäst identifiera just siltiga muddringsplymer, uttryckt som 3-bands RGB: NDWI/3/8, 3/4/8, 2/3/4, se figur 5 nedan.



Figur 5. Bästa identifierade kromaticitetsbild baserat på NDWI och banden 2,3,4 och 8, uttryckt i RGB. I bilden framträder grumlingar i skalan rött (blottad sand/siltbotten eller mycket kraftig grumling), gult (kraftig grumling) till grönt (visst synligt silt i vattenpelaren). Röda punkter visar identifierade muddringar i området. Området kring Mörkö, mellan Askö och Torö och inloppet mot Södertälje. Bildens datum 2016-08-27.

Slutsatsen av denna test visar att kromaticitet med kombinationen (chromy234; chromy348; chromz238) kan användas för att teckna grumlingar. Eftersom "känslan" i bilden, när den kopplas fri från en mer verklighetstrogen representation av vattenytan (där alger är gröna, grumling är grå osv.) går förlorad så gör en i figur 5 illustrerad artificiell färgsättning att en operatör får svårare att tolka det som ses, även om bilden i sig innehåller kontrast och nyanser; vegetation, byggnationer, djupförhållanden osv. blir svåra att förstå. En kromaticitetsbild bör alltså användas som komplement till en mer lättbegriplig bild och bör inte ensam användas för att detektera och avgränsa grumlingar.

Tabell 2. Med hjälp av pixelstatistik från en stack av bilder har parvis korrelation mellan olika bilder undersökts. Den trebandskombination med lägst korrelation mellan bilderna är (ychrom234; ychrom348; zchrom238). En bild med dessa tre i RGB-bandet bör ge ett bra färgrikt innehåll för tolkning och finns exemplifierad i figur 5 ovan.

Korrelation	NDWI38	xchrom234	ychrom234	zchrom234	xchrom348	ychrom348	zchrom348	xchrom238	ychrom238	zchrom238	B02	B03	B04	B08
NDWI38	1,00	0,39	0,18	-0,69	0,96	0,03	-0,99	0,68	0,53	-0,98	-0,35	-0,29	-0,56	-0,86
xchrom234	0,39	1,00	-0,68	-0,78	0,41	-0,12	-0,37	0,92	-0,53	-0,55	-0,70	-0,92	-0,83	-0,68
ychrom234	0,18	-0,68	1,00	0,07	0,29	-0,40	-0,14	-0,56	0,90	-0,03	0,27	0,64	0,25	0,08
zchrom234	-0,69	-0,78	0,07	1,00	-0,81	0,52	0,64	-0,77	-0,05	0,77	0,72	0,70	0,92	0,86
xchrom348	0,96	0,41	0,29	-0,81	1,00	-0,25	-0,93	0,63	0,55	-0,94	-0,43	-0,31	-0,64	-0,85
ychrom348	0,03	-0,12	-0,40	0,52	-0,25	1,00	-0,12	0,11	-0,12	-0,03	0,34	0,14	0,39	0,11
zchrom348	-0,99	-0,37	-0,14	0,64	-0,93	-0,12	1,00	-0,68	-0,51	0,98	0,31	0,26	0,50	0,83
xchrom238	0,68	0,92	-0,56	-0,77	0,63	0,11	-0,68	1,00	-0,26	-0,80	-0,62	-0,81	-0,78	-0,83
ychrom238	0,53	-0,53	0,90	-0,05	0,55	-0,12	-0,51	-0,26	1,00	-0,38	0,21	0,54	0,13	-0,20
zchrom238	-0,98	-0,55	-0,03	0,77	-0,94	-0,03	0,98	-0,80	-0,38	1,00	0,46	0,44	0,67	0,92
B02	-0,35	-0,70	0,27	0,72	-0,43	0,34	0,31	-0,62	0,21	0,46	1,00	0,89	0,90	0,72
B03	-0,29	-0,92	0,64	0,70	-0,31	0,14	0,26	-0,81	0,54	0,44	0,89	1,00	0,88	0,67
B04	-0,56	-0,83	0,25	0,92	-0,64	0,39	0,50	-0,78	0,13	0,67	0,90	0,88	1,00	0,88
B08	-0,86	-0,68	0,08	0,86	-0,85	0,11	0,83	-0,83	-0,20	0,92	0,72	0,67	0,88	1,00

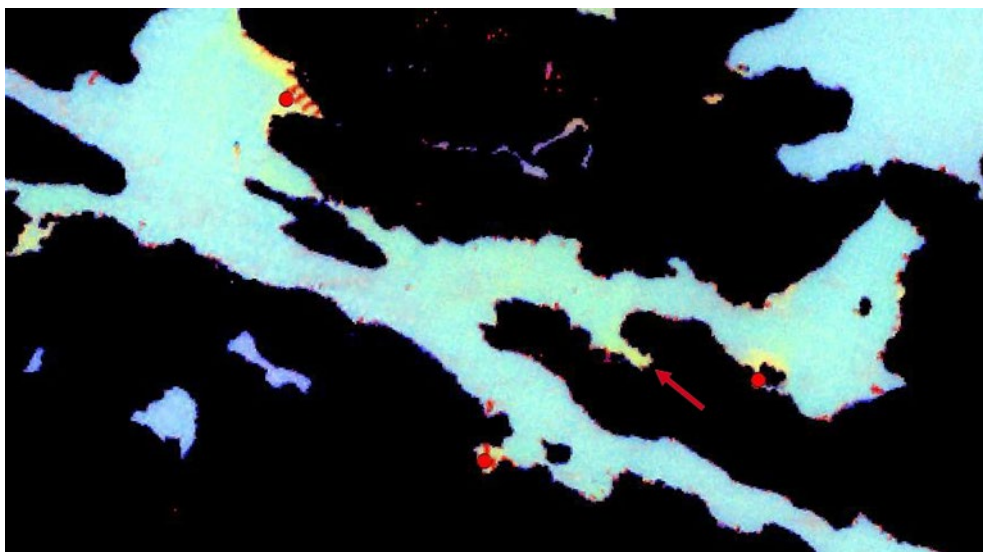
## 2.4 Detektion av mindre muddringsplymer

Ovan framgår att det går att identifiera grumlingsplymer från muddringar via Sentinel-2. I kapitel 3.2 visas att sådan satellitbild kan användas för att identifiera samtliga större muddringar i områden där man muddrat i finsedimentär botten och där vattenutbytet inte är för kraftigt. Angeläget är att undersöka om även mindre muddringar i skyddade områden, där vattenutbytet är ännu mindre och där muddringsplymen därför ej sprids ut över någon större yta.

För att testa metodiken för att detektera sådana mindre muddringplymer togs karterade muddringar inom området fram, vilka kunde iaktas i ortofoton från maj 2015. Två delområden valdes. I område 1 kunde en detekteras tydligt, en vagt och den tredje inte skiljas från det bryggkomplex där den förekom. I område 2 kunde alla tre muddringar detekteras fast en bara mycket svagt. Dessa muddringar kunde detekteras även två år efter deras tillkomst, se exempel i figur 6 nedan.

Metoden visar att även mindre muddringar i mjukare bottenar resuspenderar sediment under flera år och att detta går att kartlägga i satellitbild. Ett försök att avgränsa muddringar analytiskt gjordes genom att beräkna differensen av reflektans i rött band och minimivärdet för hela årets reflektans i rött band (se figur 7). Detta visade sig fungera till viss del och ungefär hälften av muddringarna kom fram som avgränsade objekt. Men eftersom metoden även introducerar brus och missar större, vagare plymer är

en operatörsgranskad kartläggning ändå att föredra, åtminstone så länge några mer avancerade algoritmer för avgränsning av muddringsplymer saknas.



Figur 6. Tre muddringar två år efter att de muddrats (muddrade 2014, satellitbild 2016-08-27), samt en misstänkt muddring från 2014 (otydlig) vid röd pil. Samtliga muddringar har en synlig grumling (gul) i kromaticitetsbilden.



Figur 7. Differensen mellan reflektans i rött band för ett visst datum mot minimivärdet för samma år i detta frekvensband, vilket alltså visar aktuell bilds anomali mot ett förväntat "normaltillstånd" med minimal grumling. Tre muddringar som rosa stjärnor, två har viss indikation på muddring medan en har en kraftig indikation. Samma område och muddringar som i figur 6 ovan.

## 2.5 Områden med grövre bottensubstrat och större vågexponering

Syftet med innevarande studie är att särskilt undersöka möjligheterna att detektera muddringar i områden med grumligt vatten, alltså i praktiken inner- och mellanskärgårdar med finsedimentära bottenar och med begränsat vattenutbyte. Det kan även vara av intresse att studera om grumlingsplymer

kan iaktas även i andra vatten där muddringar ofta utförs, exempelvis längs Norrlandskustens välventilerade grusbottenar eller i Västkustens djupa system av fjordar och vikar.

En preliminär bedömning är att man i sådana områden bör kunna iaktta muddringar med samma metoder som ovan skisserats men att muddringarna sällan resuspenderar material i samma omfattning i dessa områden mellan år. En större tonvikt bör antagligen läggas på att jämföra enskilda bilders reflektans i RGB-bandet, i synnerhet rött, med minimivärdet för året eller de kringliggande åren, på det att enskilda grumlingar kan tänkas "lysa igenom" mot bakgrunden, se figur 7 för exempel. Detta bör vara ett viktigt verktyg just när man har långgrunda ljusa bottenar som i sig ger stark reflektans och en muddring då endast kan spåras som en ökad reflektans mot referensvärdet (bottnens normala reflektans). Att göra en sådan analys har dock inte rymts inom detta arbete.

## 2.6 Tillgång till molnfria data och problem med moln

Moln är problematiska i satellitbilder. Dels döljer molnen underliggande mark och vatten, dels inverkar de ofta mycket ljusa molnen på bildernas fördelning av ljus och mörker; dvs. deras histogram. Avser man att exempelvis teckna en bild med maximal kontrast och bred fördelning av reflektans ("sträcka bilden") behöver man därför ta bort, "maska", molnen.

Scener med mindre än 60 % molntäckning lagras i MATS. För varje scen finns en automatgenererad molnmask i MATS. Men den algoritm som automatiskt avgränsar och tar bort moln (se figur 8 nedan) detekterar bryggkomplex i vattnet som moln och blockerar därmed ut de allra mest uppenbara områdena där störningar kan förekomma. Så denna automatiska molnmask är problematisk att använda.



*Figur 8. Den automatiska algoritmen som tar fram molnmasker i MATS identifierar felaktigt bryggkomplex i vattnet som moln, varför viktiga områden systematiskt exkluderas. "Moln" som rosa områden i bilden ovan.*

Genom att ta fram minimivärdet hos reflektansen i frekvensbanden över

tid (år, årstid) kan en molnfri bild skapas (då ju moln har hög reflektans). Men en sådan summarisk bild kan ju inte visa varje bilds varierande grumlighet eftersom det är en minimibild av ett intervall (kallad "stack"). Denna molnfria

bild kan istället användas för att kartera statiska objekt (så som bryggor) och översiktlig vattenkvalitet (medel, median, minimum i stacken) även om just medelvärde kommer att påverkas av moln, varför det egentligen krävs en analys av medianvärdet, med tillräckligt antal molnfria pixlar för att de molnbeströdda områdena skall uteslutas ur median-analysen. Men varken bryggor eller översiktlig vattenkvalitet är något som vi avser att undersöka i detta arbete.

Som slutsats måste vi alltså undersöka hur vi får en molnfri vattenyta som inte tar bort för mycket vatten runt molnen och kring bryggor och liknande i strandzonen.

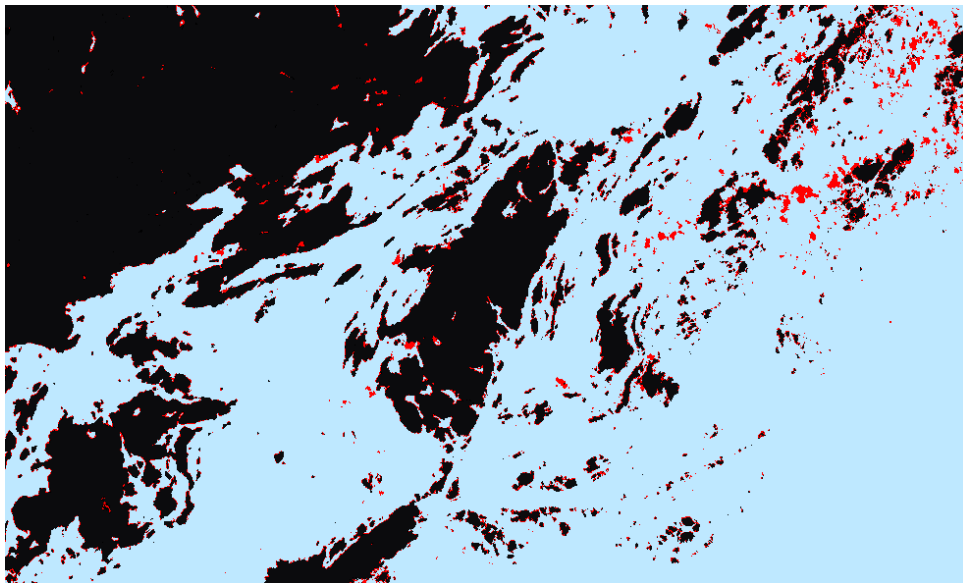
### 2.6.1 En metod för en molnfri vattenyta

Vi har tre möjligheter för att arbeta med molnmasker; (i) ett specifikt vattenindex, (ii) via Sentinel-2:s färdiga molnmask och (iii) via MATS färdiga molnmask.

Med hjälp av vattenindex, "NDWI", kan vattenytan avgränsas från övriga företeelser, däribland moln (Gao 1996). Två olika vattenindex finns beskrivna i litteraturen varav det ena använder sig av ett MIR-band. I denna studie valdes ett NDWI som enbart utnyttjar frekvensband som håller 10 meters upplösning för att slippa kanteffekter runt kustlinjen i form av "blödning" (störning) från pixlar närmast land. Algoritmen som testas (se nästa figur) består av följande formel:

$$NDWI_{38} = (B03 - B08) / (B03 + B08)$$

Moln och molnskuggor får i denna modell lägre NDWI än vatten.



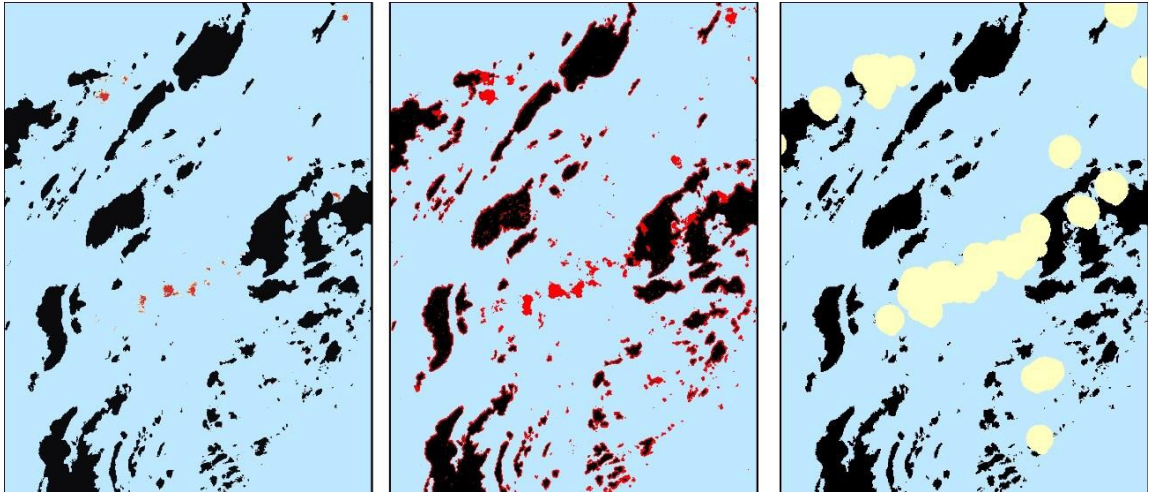
*Figur 9. Molnmask framtagen med NDWI. Denna kan skilja moln från vatten men grunda bottnar, bryggor och annat i strandkanten faller ut vid analysen (rött i bilden). Nackdelen är att byggnationer utesluts och därför ej kan karteras. Fördelen är att vi får en "ren" vattenyta som fungerar för att analysera just grumlingsplymer med. Här har tröskeln satts vid vatten = NDWI > 6500.*

Denna mask liknar den som levereras med Sentinel-2 (se figur 10), vilket gör att Sentinel-2:s masker och NDWI kan användas på liknande sätt. Dock upplevs det som via egen NDWI får man ett bättre filter av mindre molntussar, varför en egen mask kan vara att föredra. Sentinels mask är dessutom i 20-meters



upplösning vilket också understryker behovet av att skapa ett eget NDWI att passa den sökta upplösningen om 10 meter.

MATS molnmask (se figur 10) skapar bredare buffrar runt molntussar vilket förvisso är bra om man söker stadigare data över flera scener och några hål i data inte är problematiska. I innevarande fall är det dock just dynamiken mellan bilder som är eftersökt och därmed maximal täckningsyta. MATS molnmask förefaller därför mindre lämplig för att följa grumling i vattnet.

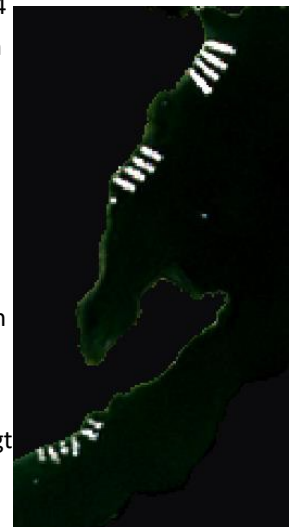


Figur 10. En jämförelse av tre molnmasker; dels via Sentinel SCL, via eget vattenindex (NDWI) och via MATS algoritm för molnmaskning. Molnen tecknas pixel för pixel i rött i de två första fallen och MATS buffert tecknas i gult.

### 3 Metodutvärdering

Testen ovan visar att det går att detektera en majoritet av muddringarna med hjälp av bandkombinationer i Sentinel-2. För de små muddringarna användes bara en bild och 4 av 6 muddringar kunde identifieras. Skulle fler bilder användas så skulle identifieringen bli mer fullständig eftersom plymerna varierar över tid. Nedan framgår vidare att i känsliga områden, med finsedimentära bottenar och med vist om än begränsat vattenutbyte, kan samtliga muddringar identifieras och grovt avgränsas via satellitbildanalys. Se figur 12.

Dessutom måste noteras att man dels kan identifiera båtar och bryggor och flera grumlingar som ej går att föra till kategorin muddring. Antingen är det muddringar som ej identifierats i ortofoton eller så består plymerna av övrig grumling. Man kan direkt slutleda att det förekommer resuspension och/eller avrinning av finkornigt material på olika ställen. Fler satellitbilder samt granskning och verifiering i ortofoton är nödvändigt för att följa upp varje enskild grumling. I praktiken ger även mycket små muddringar i känsliga miljöer upphov till plymer som sträcker sig över ett halvdussin pixlar eller mer i satellitbilden, både i längd och bredd. I princip borde alla muddringar därför kunna ses, med reservation för att bakgrundsgrumlingen ställvis kan vara så stor att en nytilkommen plym inte märks.



Figur 11. Tre bryggkomplex så som de framträder i satellitbild. Bryggorna är 40–130 m långa.

Den mycket framgångsrika identifieringen av bryggor och andra byggnationer över vattenytan är ett sidoresultat som ej får förglömmas men där metoden istället bör kunna komplettera eller i vissa fall t.o.m. ersätta annan inventering av bryggor och byggnationer i kustzonen. Se figur 11 för exempel.

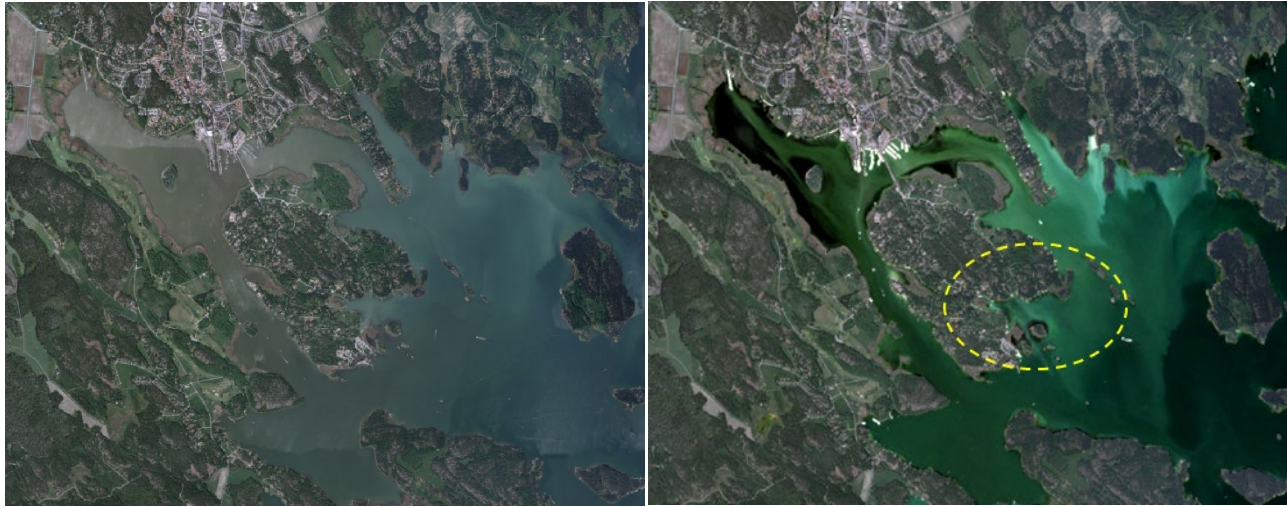


Figur 12. Med röd pil visas källan till en mycket stor (närmare 15 km lång, det orange-röda fältet i svart pils riktning) plym av grumling som i alla fall delvis synes härröra från uppförandet av en större småbåtshamn och dumpning av muddermassor i vattnet. Den mellanstora grumlingen, gula pilen, (600 x 85 m<sup>2</sup>) har orsakats av en enskild muddring. Båda dessa av samma årtal som satellitbilden. Vid grön pil några mindre muddringar som syns i satellitanalysen som näst intill ströpixlar. Dessa har muddrats innan året 2006 respektive åren 2012 och 2014. Vid blå pil syns i 2017 års ortofoto att fastighetsägaren år 2015 röjde vass, alger och stenar vid sin sandstrand. Vid orange pil några mindre muddringar som dels är äldre, senaste tydliga muddring år 2011. Fortfarande grumlar de, om än lokalt.

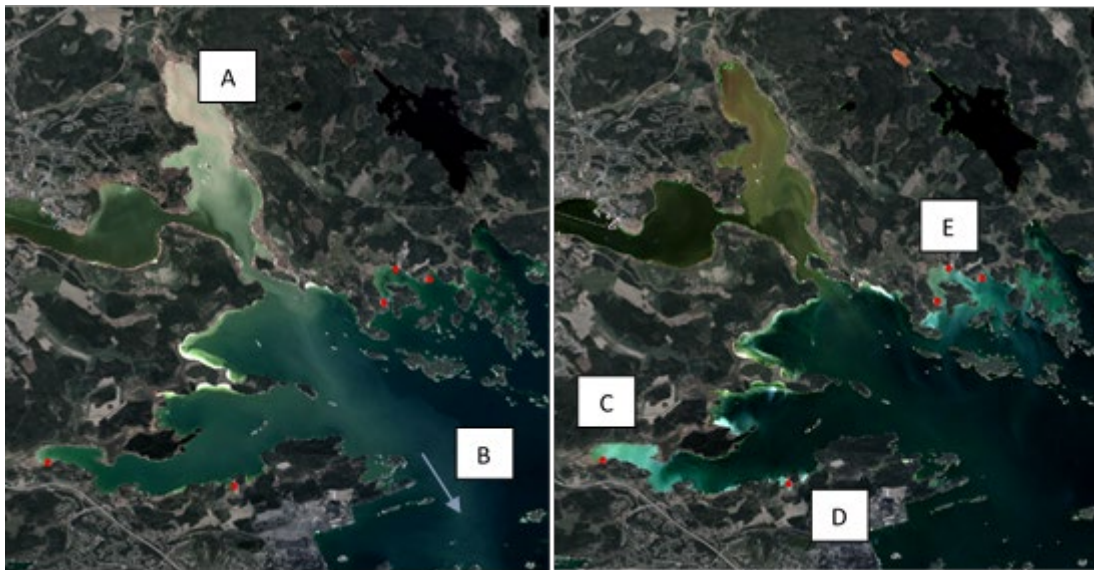
### 3.1 Begränsningar med utvalda bandkombinationer och kromaticitet

Eftersom uppgiftens komplexitet gör det nödvändigt med en operatörsstyrd kartering har det visat sig att operatören måste kunna väga in flera olika förhållanden i sin tolkning; om grumlingen verkar härröra från avrinning av åkermark, om det finns humusämnen eller alger i vattnet, om det är grunda bottnar vars reflektans lyser igenom, om det finns vegetation, byggnationer eller annat i närheten. Det stod efter ett test klar att sådana frågor bäst kan lösas om operatören med ögonen ser en förstärkt naturlig bild snarare än en analytiskt preparerad, i vilka pixlarnas färger inte motsvarar naturliga färger. Den visuellt mest effektiva metoden, och den som kräver minst inlärning, är därför om man förstärker naturlig reflektans i RGB-banden. Väljs denna metod bör man kunna bläddra mellan en förstärkt naturlig bild och en som i synnerhet visar skillnad mellan alger och oorganiskt material via en analytisk preparering (som i figurerna 3–7 ovan).

En mycket bra visuell förstärkning uppnås om bilden sträcks dynamiskt utan att alltför många pixlar blöder ut som kritvita eller kolsvarta. Nödvändigt är att först klippa bort pixlar på land. En efterföljande histogramstäckning med procentuell klippning enligt aktuell vy (0,25 %) har visat sig fungera utmärkt. I ArcGIS således Stretch Percent clip 0,25, se figur 13.



Figur 13. Ofta är det svårt att i flygbildsmosaiker tolka olika typer av grumlingar och skilja alger från suspenderad silt. T.v. flygbild över Trosaåns mynning, t.h. kontraststräckt RGB-bild från Sentinel-2 (2015-08-13) som ganska tydligt visar grumlingen från muddringar i bildens högra kant (turkosgrönt, inringat område) till skillnad från grumling och algblooming som härrör från näringsrik avrinning från åkermark via trosaån (grönt i bilden).



Figur 14. En jämförelse mellan en vår- och en sommarbild. I vårbilden t.v. syns humusrik och siltig avrinning från Svärtaån, NO Nyköping (A). Plymen sträcker sig ner förbi Oxelösund (B, pil). I sommarbilden t.h. är det istället grumling från muddringar vid Stjärnholm (C), Aspa (D) och i Hornsviken (D) som tydligt framträder i turkos färg. Muddringar som röda punkter. Kontraststräckt RGB-bild där land klippts bort, 2016-04-12 respektive 2015-08-13. De ljusa partierna mitten av bilderna är grunda sandbottnar, i sommarbilden med en avrinningsplym från en liten våtmark (grön pil).

### 3.2 Att avgöra typ av grumling längs kusten

Genom att jämföra satellitbilder tagna under våren, i vilka vattendragens avrinning oftast är särskilt markant, med bilder från senare under säsongen kan man mycket effektivt tolka vilka plymer som härrör från avrinning och vilka som snarare måste tillskrivas muddringar eller andra grumlande verksamheter. Till hjälp kan man använda GIS-skikt över vattendrag, förslagsvis HL-skiktet i översiktskartan, eftersom detta skikt inte visar de minsta dikena, samtidigt som de som visas har en storleksklass inkodad (se Lantmäteriet 2020).

Jämför man vårbilder med sommarbilder och relaterar grumlingar till vattendrag så kan man alltså börja kunna se orsaken bakom grumlingen. Jämför bilderna nedan (15 med 16 samt delfigurer i figur 14) så framgår att man ganska enkelt kan skilja grumling från vattendrag och från muddringar, samt att man direkt ser effekten av att muddra i eller i anslutning till ett vattendrag, då fina partiklar sprids långt ut i öppna havet.



Figur 15. Vårdbild (20160412) i vilken tydligt framgår avrinning från Svärtaån (A) och Trosaån (B) samt mindre muddringar från mindre vattendrag. I vårbilden syns även resuspension från föregående års muddringar (C).



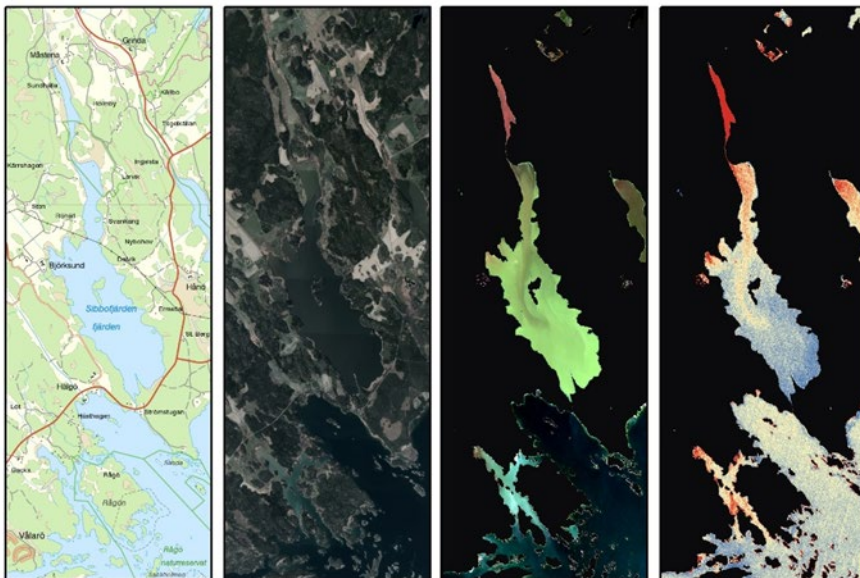
Figur 16. Sensommarbild (20150813) som inte bara visar algblomningar utan även plymer efter muddringar för bryggor (A–D) samt underhåll av kanal och mindre vattendrag/diken (E). Området vid F infällt som förstoring, med ytterligare en förstoring infälld av den södra delen. I denna bild syns mindre muddringsarbeten invid tre enskilda fastigheter, två i bilden med störst förstoring. Infälld bild med förstoring över västra området kring E visar muddrade diken och grumling två år efter muddringen (flygbild daterad 2017-05-19).

### 3.3 Förslag på tolkningsunderlag

Den bästa analytiska bearbetningen syns vara R+B-G (B3+B1-B2), kompletterat av ett preparerat index likt någon av figurerna 3–7, t.ex. B3+B7-NDVI. R+B-G ger starka indikationer på nya muddringar. Äldre muddringar är oftast mer gröna i färgen, säkerligen för att de dels är mer utdragna i vattenpelaren, dels att muddringsplymen har givit upphov till stark alg tillväxt i och med en ökad tillförsel och därmed omsättning av näringsämnen i vattenpelaren. Exakt vilket index som väljs ut är inte avgjort vid denna tidpunkt utan bör utvärderas. Den tekniska metoden för att framställa ett index är ändå identisk så valet av index har ingen återverkan på kostnad eller metod för preparering.

RGB-underlaget är tydligt, naturligt, mycket lätt att tolka. Den skiljer ut alger (grönt) från humus och organiska partiklar (rött) och lera (blått) på ett bra sätt, även där algbloomingen är mycket ymnig, se exempel ovan i figur 16.

Efter lite experimenterande står det klart att bilder bör beskäras med land och dessutom normaliseras. I rätt format innehåller de olika scenerna och banden reflektans som har helt olika magnitud, beroende på bl.a. solintensitet, väderlek och atmosfär. Genom att skala om alla band i alla bilder till en gemensam skala, t.ex. 0–100, blir det lättare att bedöma vad skillnader och mönster beror på. Vid en sådan operation, som är tämligen trivial, skulle man kunna matcha bildernas histogram för respektive bildruta att göra olika bilder över en och samma vattenyta jämförbara. Dessutom vore det bra att atmosfärskorrigera bilderna för marina tillämpningar (Ruddick & Vanhellemont 2015). Som det nu är implementerar nivå 2A av Sentinel-2 atmosfärskorrektion för analys av markområden, varvid en del information i vattnet försvinner (då de innehåller färre digitalnivåer och "dränks" av markytans signalbehandling). Man skulle alltså kunna göra korrigeringen anpassad för just marina tillämpningar som struntar i markytan utan istället kompenserar för situationen över vatten.



Figur 17. Samma område med olika bilder. Sibbofjärden i Sörmland i topografiska kartan, flygbilder, kontraststräckt i Sentinel-2 i RGB samt analytiskt R+B-G, där den sistnämnda (B) visar plymerna med suspenderat material i rött, även där gröna alger dominerar. RGB-bilden (A) visar istället i ljusblått grumling från muddring, i grönt alger och lite gömt i det gröna en brunaktig plym med grumling från avrinning

Sammantaget anses det bästa tolkningsunderlaget vara sträckt RGB under vattenmask, kompletterat av R+B-G för att skilja på äldre (grönare) och nyare (rödare och blåare) muddringar. Dessutom bör algoritmerna bakom figurerna 3–7 utvärderas, i synnerhet B3+B7-NDVI.

## 4 Analys av påverkanszon

I uppgiften ingick även att undersöka om det går att avgränsa muddringar med satellitbild. Eftersom de vattenområden som undersökningen berör har grumligt vatten (vilket var en anledning till att prova metoden över huvud taget) så syns sällan botten och därmed inte heller muddringsrännan. Dessutom är det i områden som är känsliga för resuspension där resuspension uppstår i muddringsrännan och dessa områden har fina sediment, litet vattenutbyte, rent allmänt grumligt och algrikt vatten och dåligt siktdjup. Likafullt är det ganska uppenbart att man antingen ser en muddringsplym eller en muddringsränna; rännan är ju svår att se om det ligger en plym av silt ovanför den, oavsett om silt kommer sig av själva muddringen eller senare resuspension.

Den typ av avgränsning som går att göra i områden med grumliga vatten är därför ej själva rännans utsträckning utan istället den indirekta påverkanszonen i form av plymens utbredning. Inom området som berörs av plymen kommer fina partiklar falla till botten, fotosyntesen minska, näringsomsättningen öka och sedimenten ändra sammansättning.

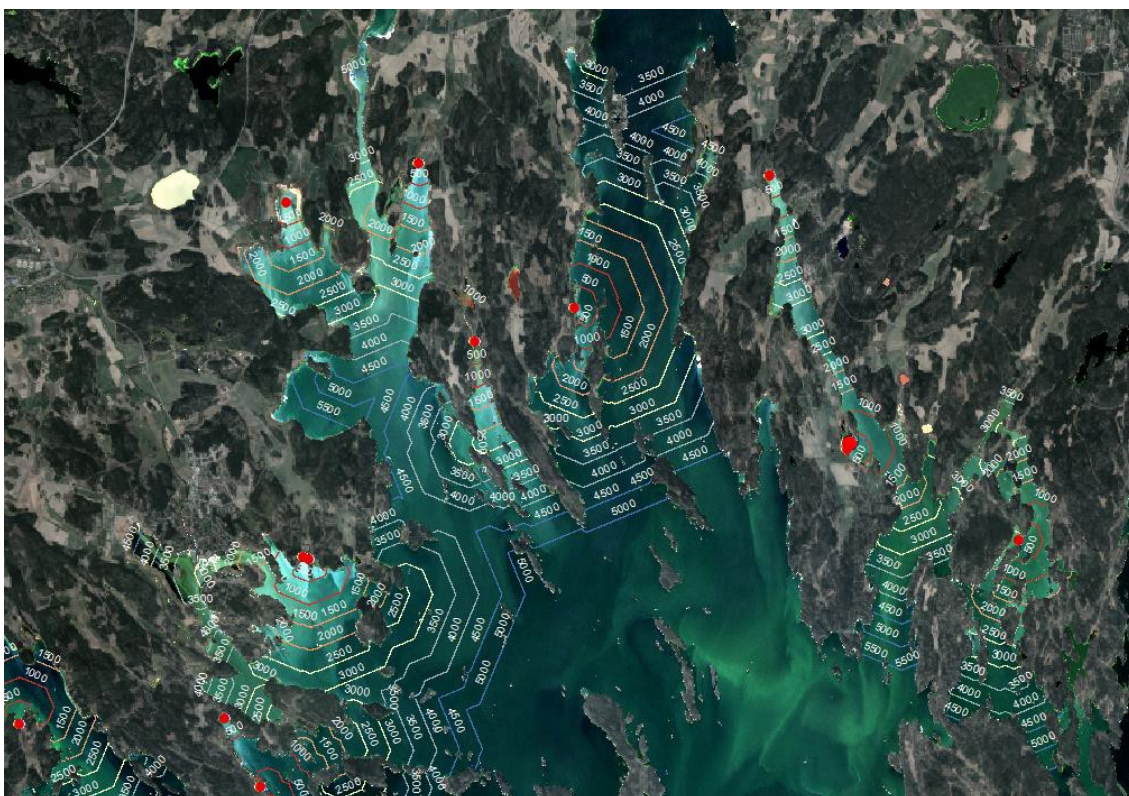
För att testa om det går att uppskatta plymens storlek och läge undersöktes samma satellitbilder som använts ovan. Utifrån muddringar identifierade i satellitbilden och verifierade i ortofoton digitaliserades punkter för vilka en avstånds raster ("cost distance") beräknades. För varje avståndsberäkning, med maximalt avstånd 6000 meter, skapades avståndskurvor var 500:e meter och det avstånd på vilken man i bilderna kan skönja en förhöjd förekomst av suspenderat material noterades. Eftersom det totalt rörde sig om 18 muddringar och det (än så länge) inte finns någon algoritm för att bestämma halt av TSM eller PIM via Sentinel-2 och därmed ingen definition av trösklar i reflektansen som anger var en grumlingsplym upphör blir en avgränsning i dagsläget ungefärlig. Det saknas även en verifiering av att den avgränsningen som valts verkligen är relevant ur hydromorfologiskt eller biologiskt perspektiv. I bilderna nedan exemplifieras avståndsberäkningar för olika muddringar.



Figur 18. Muddringsplym, Västerhaninge-Gålö. Plymen förs iväg av ett vattendrag och når över 5000 m.



Figur 19. Muddringsplym, Söderby norr om Muskö, omkring 4000 m lång. Grumlingen till vänster i bilden har inte kunnat identifieras som muddring men troligtvis härrör grumlingen från en muddring invid bryggorna (pilen).



Figur 20. Flera muddringar som på ett påtagligt sätt påverkar vattenmiljön runt Mörkö, Sörmlands skärgård.



#### 4.1 Uppskattad grumlingszon

Utifrån de 18 identifierade muddringarna har ett försök till uppdelning gjorts. Muddringarna delades in i fyra storleksklasser och områdena i tre känslighetsklasser med avseende på generell vågexponering (se tabell 3). Notera att värdena gäller tillkomståret, påföljande år minskade oftast plymen markant.

*Tabell 3. Förslag till grov indelning av grumlingszon, uttryckt i meter, enligt storleken på/typen av muddring samt områdets känslighet för resuspension och sedimentflykt, här uttryckt i relativ vågexponering. Med skyddade lägen menas områden med långgrund mjukbotten och liten vattenomsättning. Exponerade bottenar är istället stabila sand, grus- och lerbottenar där vågrörelser relativt hastigt för bort ev. suspenderat material och risken för resuspension är mindre eftersom bottenmaterialet ofta är mer grovkornigt.*

Typ av muddring	Skyddat läge	Halvskyddat	Exponerat
Muddring i vattendrag	5000–7000	2500	1250
Småbåtshamn	6000	3000	1500
Stor eller ett par bryggor	3000	1500	750
Enskild brygga	2000	1000	500

#### 4.2 Föreslagen påverkanszon

Vid uppföljning av muddringar som är flera år gamla, ibland så mycket som tio år, kunde det konstateras att enskilda bryggor och grävningar under broar i smala sund ofta har en resuspensionszon som uppgår till omkring 200 meter, större muddringar vid bryggkomplex kan ha återkommande plymer om upp till 500 meters längd och småbåtshamnar kan grumla på ett avstånd om 1000 meter. Med härledning av dessa iakttagelser kan förslagsvis halva grumlingszonen få utgöra ”påverkanszonen”, den zon inom vilken vi kan förvänta oss signifikant påverkan av siktdjup, fotosyntes och sedimentsammansättning och som har en kronologisk omslutning som övergår 1 år. Följaktligen rekommenderas som ett idéutkast påverkanszon enligt tabell 4 nedan.

*Tabell 4. Följande påverkanszon föreslås, med avseende på fotosyntes och sedimentsammansättning (> 1 år). Inom denna zon kan man förvänta sig högre näringstillgång, sämre ljusinsläpp, nedfall av fina partiklar, mjukare sediment och mindre rotad eller bentisk vegetation.*

Typ av muddring	Skyddat läge	Halvskyddat	Exponerat
Muddring i vattendrag	2500–3500	1250	625
Småbåtshamn	3000	1500	750
Stor eller ett par bryggor	1500	750	375
Enskild brygga	1000	500	250

Denna ytliga genomgång kunde även konstatera att mindre industrihamnar inte grumlar så att det märks i satellitbilden, med undantag för där det finns rinnande vatten så som i Gävle hamn, där får man snarare anta en påverkan som ligger i linje med ”Muddring i vattendrag”.

## 5 Slutsatser

### 5.1 En operationell metod

Eftersom det inte finns några kriterier för vilken koncentration resuspenderat material måste hålla för att det skall räknas som en störande muddringsplym, och liknande halter TSM/PIM kan tillföras vattnet via exempelvis våtmarker, vattendrag eller byggnationer, går det inte att avgränsa eller distinkt detektera just muddringsplymer. Men det finns ett sätt med vilket det går att identifiera kandidatobjekt, minska mängden irrelevanta indikationer och översiktligt kunna skatta plymens utbredning. Följande metod föreslås som operationellt genomförbar:

Moment 1: Visuella underlag, grundbearbetning

- Gå igenom datalagret MATS och klipp underlaget mot fastighetskartans markskikt.
- Maskera bort moln enligt NDWI-metoden.
- Atmosfärskorrigerade för marina tillämpningar och normalisera data.
- Bilderna slås lämpligtvis samman till olika mosaiker med samma eller närliggande datumstämpel, förslagsvis per månad och år (max av reflektans).
- Packa RGB-mosaik med datumstämpel, visuellt sträckt till current view extent, clip 0,25 och i datumordning i ett GIS-projektfil.

Moment 2: Analytiska underlag, tolkningshjälp:

- Välj ut en eller två algoritmer, exempelvis R+B-G (B1+B3-B2) och B3+B7-NDVI.
- Gå igenom MATS och kör algoritmerna på respektive bild, maskad med vattenmask.
- Gör även en kromaticitetsbild av varje bild, maskad med vattenmask.
- Mosaik som i grundbearbetningen.
- Packa dessa mosaiker i en projektfil i datumordning.

Moment 3: Arbetsprocess när underlag tagits fram:

- Hitta (eller anpassa) ett verktyg med vilken man kan bläddra ("flickra") mellan bilder med olika ålder för en och samma plats, gärna exempelvis med piltangenterna eller liknande.
- Låta operatörer granska och bedöma underlag och identifiera potentiella objekt
- Bestäm en översiktlig karteringsskala, preliminärt bedömd till 1:50.000, i vilken muddringar identifieras.
- För respektive identifiering, verifiera muddringar ortofoton.

Analytiska underlag, utvecklingspotential:

- Kvot mellan bilderna och bakgrundsvärdet för området. Genom att räkna ut min- eller medianvärdet för reflektansen i ett område, år för år eller säsong för säsong, fås ett naturligt referensvärde mot vilket varje underlag skall mätas. Görs detta kommer varje relativ avvikelse mot normalvärdet att framstå tydligare.
- Försök med att korrelera reflektans mot TSM/PIM och beräkna en tröskel för muddringsplymens utbredning.

På detta sätt kan en hanterlig mängd mosaiker, maximalt ett dussin per år, skapas för operatörsstyrd granskning i de områden där täta bildserier är användbara, dvs. grumliga områden där man inte lätt ser själva muddringsrännan utan istället muddringsplymen.

## 5.2 Fördelar, synergier och kostnader

En kartering i skala 1:50 000 med visuell och/eller analytiskt förstärkta satellitbildsunderlag är mycket tidseffektiv. En jämförelse med kartering via ortofoton är egentligen inte möjlig med mindre än att man genomför en tidsstudie. Men om man skall våga sig på en uppskattning så tar det med existerande metodik ungefär c:a 20 dagar att gå igenom de runt 5000 inventeringsrutor (med existerande rutindelning för inventering av muddring i kusten och som bygger på rutor om 500 x 500 m), vilka täcker den ovan använda rutan 33VXF i Sentinel-2:s flygstråk. Uppskattningsvis kommer en uppföljning av kartering av muddringar, som alltså endast avser att kartlägga nya muddringar, dvs. de som syns som grumlingar, att för samma område ta mindre än en dag i anspråk.

Som ovan nämnts kan man identifiera och faktiskt analytiskt avgränsa inte bara muddringsplymer utan även båtar, byggnationer och bryggor i bilderna. Statiska bryggor och byggnationer kommer för övrigt mycket bra fram i minimivärdet för en bildserie ("min-stack"), t.ex. ett år, eftersom grumlingar kommer och går men bryggan består. Man kan alltså kartlägga byggnationer och bryggor (om än av en viss storlek då pixlarna är 10 x 10 meter) automatiskt direkt i en min-stack. En sådan uppgift ligger utan detta uppdrags omfattning men det är alltså fullt möjligt att inte bara använda satellitdata för muddringskartering utan även för kartering av bryggor och byggnationer med liknande tidsvinst.

En annan sidoeffekt är att man med samma underlag, analytiska preparering och metoder kan identifiera både punkter längs kusten där avrinning förekommer (direkt i bilderna) och där vattenkvaliteten håller en jämn låg nivå med avseende på siktdjup och TSM, via analys av min-stacken. Man kan här även med fördel testa en medelvärdesbild för att underlätta statusklassning av mindre vattenbassänger eller bedömning av t.ex. siktdjup och klorofyllhalt. Underlagen och metoderna lämpar sig alltså, med smärre modifikationer eller tillägg, för fler miljörelaterade analyser och uppföljningar än bara för inventering av muddringar, bryggor och liknande.

Bilder som visar avrinning och/eller bassänger med indikation på sämre status i fysikaliskt-kemiskt hänseende kan med fördel användas för att exempelvis planera ekologiska kantzoner och näringsfällor i och kring vattendrag. Statiska bilder med en högupplöst bild av medelvärdet/minimum av suspenderat material kan inte bara användas för statusklassning av bassänger utan även vid arbete med områdesskydd och tillståndsgivning, genom att i detalj kunna följa utvecklingen av TSM inom ett område eller kring vissa objekt och relatera detta till de föreskrifter och miljömål som reglerar områdets användning, bevarande och utveckling.

Kostnaderna för inventering av kustlinjen med hjälp av ortofoton ligger i miljonklassen. En mycket grov uppskattning är att man via satellitbaserad metod kan kapa åtminstone 90 % av inventeringstiden. Till detta kommer kostnad för bearbetning av satellitdata. Men denna kostnad bör rimligtvis bara utgöra omkring tio eller ett par tiotals procent av kostnaden för ortofototolkning. Sammantaget kommer en kartläggning i satellitdata att säkerligen innebära långt under halva kostnaden jämfört med ortofotobaserad inventering. Och då får man via satellitbildsbehandling underlag som fungerar för en hel rad andra ändamål vad gäller ekologisk statusbedömning, bedömning av påverkanszon, vattenkvalitetsarbete, arbete med avrinning och näringsfällor, analys av områdesskydd och föreskrifter, tillståndsgivning vid muddring och byggnation, ekologiska konsekvensbedömningar osv.

Allt sammantaget rekommenderas starkt att gå vidare med denna metod.

## Referenser

- Dogliotti, A.I., Ruddick, K.G., Nechad, B., Doxaran, D. & Knaeps, E. 2015. A single algorithm to retrieve turbidity from remotely-sensed data in all coastal and estuarine waters. *Remote Sensing of Environment* 156, January 2015, pp. 157–168.
- Gao, B-C. NDWI — A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment* 58:3, pp. 257–266.
- Metria 2008. Detektion och kartering av muddringar. Dokument iD M07/02438.4. Stencil.
- Nilsson, T. 2010. Exploatering av stränder i Norrbottens kust- och skärgårdsområde. Länsstyrelsen i Norrbottens län, rapport 11/2010.
- Engdahl, A., Törnqvist, O., Wiman, S. & Thulin, S. 2011. *Fjärranalys för uppföljning av långtidsgrumling från muddring*. Rapport, Metria Geoanalys. Stencil.
- Kratzer, S., Brockmann, C. & Moorde, G. 2008. Using MERIS full resolution data to monitor coastal waters — A case study from Himmerfjärden, a fjord-like bay in the northwestern Baltic Sea. *Remote Sensing of Environment* 112:5, pp. 2284–2300.
- Lantmäteriet 2020. Produktbeskrivning: GSD-Sverigekartan 1:1 miljon, vektor. Dokumentversion 6.7. Hämtad 2020-10-06 från [https://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/kartor/sv1mshmi\\_red.pdf](https://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/kartor/sv1mshmi_red.pdf).
- Ligi, M., Kutser, T., Kallio, K., Attila, J., Koponen, S., Paavel, B., Soomets, T. & Reinart, A. 2017. Testing the performance of empirical remote sensing algorithms in the Baltic Sea waters with modelled and in situ reflectance data. *Oceanologia*. Volume 59, Issue 1, January–March 2017, pp. 57–68.
- Lillesand, T., Kiefer, R.W. & Chipman, J. 2015. *Remote Sensing and Image Interpretation*, 7<sup>th</sup> Edition. Wiley.
- Lorthiois, T., Doxaran, D. & Chami, M. 2012. Daily and seasonal dynamics of suspended particles in the Rhône River plume based on remote sensing and field optical measurements. *Geo-Mar Lett* (2012) 32, pp. 89–101.
- Nechad, B., Ruddick, K.G. & Park, Y. 2010. Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters. *Remote Sensing of Environment* 114 (2010), pp. 854–866. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.11.022>.
- Nechad, B., Dogliotti, A., Ruddick, K. & Doxaran, D. 2016. Particulate Backscattering Retrieval from Remotely-Sensed Turbidity in Various Coastal and Riverine Turbid Waters. *Living Planet Symposium, Proceedings of the conference held 9–13 May 2016 in Prague, Czech Republic*. Edited by L. Ouwehand. ESA-SP Volume 740, ISBN: 978-92-9221-305-3.
- Pahlevan, N., Sarkar, S., Franz, B. A., Balasubramanian, S. V. & He, J. 2017. Sentinel-2 MultiSpectral Instrument (MSI) data processing for aquatic science applications: Demonstrations and validations. *Remote Sensing of Environment*, vol. 201, pp. 47–56.

- Petus, C., Chust, G., Gohin, F., Doxaran, D. & Froidefond, J-M. 2010. Estimating turbidity and total suspended matter in the Adour River plume (South Bay of Biscay) using MNODIS 250-m imagery. *Continental Shelf Research* 30(2010), 379–392.
- Ruddick, K. & Vanhellemont, Q. 2015. Use of the new olci and slstr bands for atmospheric correction over turbid coastal and inland waters. *Sentinel-3 for Science Workshop, Proceedings of a workshop held 2–5 June, 2015 in Venice, Italy*. Edited by L. Ouwehand. ESA SP-734, ISBN 978-92-9221-298-8.
- Salama, M.S., Radwan, M., van der Velde, R. 2012. A hydro-optical model for deriving water quality variables from satellite images (HydroSat): A case study of the Nile River demonstrating the future Sentinel-2 capabilities. *Physics and Chemistry of the Earth* 50–52 (2012), pp. 224–232
- Törnqvist, O. & Engdahl, A. 2012. *Uppföljning av exploatering i kustzonen - rekommenderade geodata och analysmetoder*. Länsstyrelsen i Norrbottens län, rapport 1/2012.