

Sandbudget mellem Kjul strand og Tversted

Skrivebordsvurdering

Kystbeskyttelseslaget Gl. Skagen

Date: 24. Marts 2023

Indhold

1	Introduktion	1
2	Data	3
3	Metode	3
3.1	Kystlinjebudget.....	3
3.1.1	Resultater.....	6
3.2	Aktive erosionszone	8
3.2.1	Resultater.....	17
3.3	Resultater af kyst- og skræntanalyser	18
4	Referencer.....	18

1 Introduktion

Grundejerforeninger og lodsejere i Kjul og Tversted området har i de seneste par år udvist en stigende bekymring for den systematiske tilbagetrækning/erosion af stranden. Dette skyldes angiveligt den historiske udvikling af den regionale kyst- og sanddynamik omkring Hirtshals Havn.

Grundejerforeninger og lodsejere i Kjul og Tversted området har bedt NIRAS udføre en vurdering af den (tilsyneladende) progressive erosion af stranden.

Til denne vurdering er der ikke stillet data eller målinger til rådighed for NIRAS. Derfor er vurderingen foretaget ved brug af frit tilgængelige data samt en række tekniske antagelser.

Formålet med denne undersøgelse er således ikke at udføre en detaljeret analyse men i stedet en overordnet vurdering af kysten, samt give et estimat på størrelsesordenen af mængden af sediment (i kubikmeter, m³) der enten er tilført eller tabt i årene fra 1995 til i dag.

Figur 1 and Figur 2 viser henholdsvis et billede af projektområdets placering i Nordjylland og et billede af selve projektområdet.

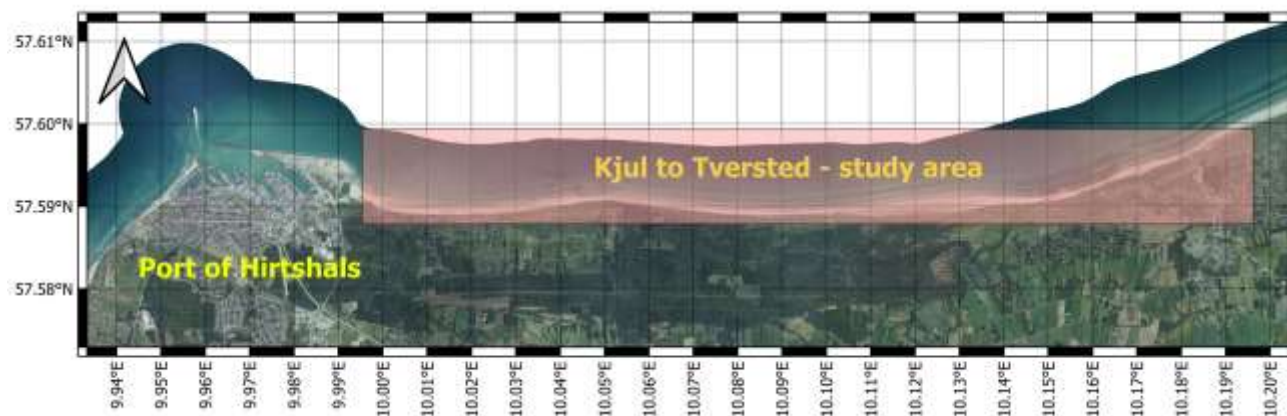
Denne opgave er rekvireret af Grundejerforeninger og lodsejere i Kjul og Tversted området langs Tannis bugt fra Kjul til Tversted.

Ifølge Kystplanlæggeren¹ er nettosedimenttransporten på kyststrækningen fra vest mod øst. Hirtshals Havn spær-
rer derfor for den langsgående sedimenttransport.



Figur 1: Projektområdet – overblik.

¹ www.kystplanlagger.dk. Kystplanlæggeren er et digitalt værktøj, som giver landets kommuner en landsdækkende risikovurdering for erosion og oversvømmelse og vejledende strategier og forslag til konkrete tiltag, som kan anvendes direkte af kommunerne i deres planlægning og indsats for klimatilpasning i kystzonen



Figur 2: Projektområdet – forstørret overblik.

2 Data

Følgende datakilder er blevet brugt i denne indledende vurdering:

- Ortofotos² af Kjul Strand/Tversted området for årene³ 1995, 1999, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017, 2019, 2020, 2021 and 2022.
- Dansk Søkort 101 Kattegat, N-lige del / Skagen – målestok 1:200000.
- SCALGO: Profiler i stranden baseret på Den Danske Højdemodel (DHM 0,4 m grid) hentet 2022.

3 Metode

Den anvendte metode er en generelt anvendt metode inden for kysthydraulik og sedimenttransport. Den baserer sig på at man ud fra et satellitfoto eller et luftfoto identificerer kystlinjen. Typisk punktet nedenfor klitterne eller vandlinjen. I dette tilfælde vandlinjen.

Denne analyse er suppleret med en udvikling af det aktive erosionsområde imellem vandlinjen og klitten, analyseret gennem visuel inspektion af ortofotos hvor en grønlig nuance på billedet beskriver en ikke eroderet zone gennem længere tid (Klinten). Det er udført uden opmåling af klinten til samme historiske tidspunkter og er derfor med en vis usikkerhed ift. højderne. Tværsnit af strand/klint er trukket ud og gengivet for år 2022 baseret på SCALGO/DHM i 0,4 m grid.

3.1 Kystlinjebudget

Når man optegner kystlinjens visuelle placering på billeder fra forskellige år, kan man se kystens bevægelser over tid. Når man kender kystens bevægelser og gerne vil udregne et volumen så skal man lave en antagelse om hvordan kystens profil ser ud. I den optimale verden var der lavet målinger af dette hvert år men det har vi ikke her. Så vi må basere os på de typiske kystprofiler man kender fra litteraturen.

² Kilde: Forårsbilleder Ortofoto - GeoDanmark. Dataforsyningen. [Online] Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, 2021. [Citeret: 18. 01 2023.] <https://dataforsyningen.dk>

³ De manglende år på listen skyldes manglende tilgængelighed af billeder i projektområdet.

Ved at flytte dette profil frem og tilbage med kystens bevægelser kan man udregne tabet eller tilvæksten af sandet som den mængde sand, som ligger imellem de tværgående profiler fra år til år. Det vigtige man skal huske ved denne metode er at man kun regner på profilet fra kystlinjen og ud. Man medtager altså ikke klit erosion og man kan heller ikke tage højde for hvis der er lokale forhold som gør at kysten bliver stejlere end antaget. Så der er altså en del usikkerheder men man kan regne med at der eroderes en væsentlig større mængde sand hvis det var muligt at medtage tabet fra klitterne.

I første fase af undersøgelsen blev placeringen af strandens permanent tørre område defineret ud fra de tilgængelige ortofotos. Denne opgave indebærer følgende usikkerheder:

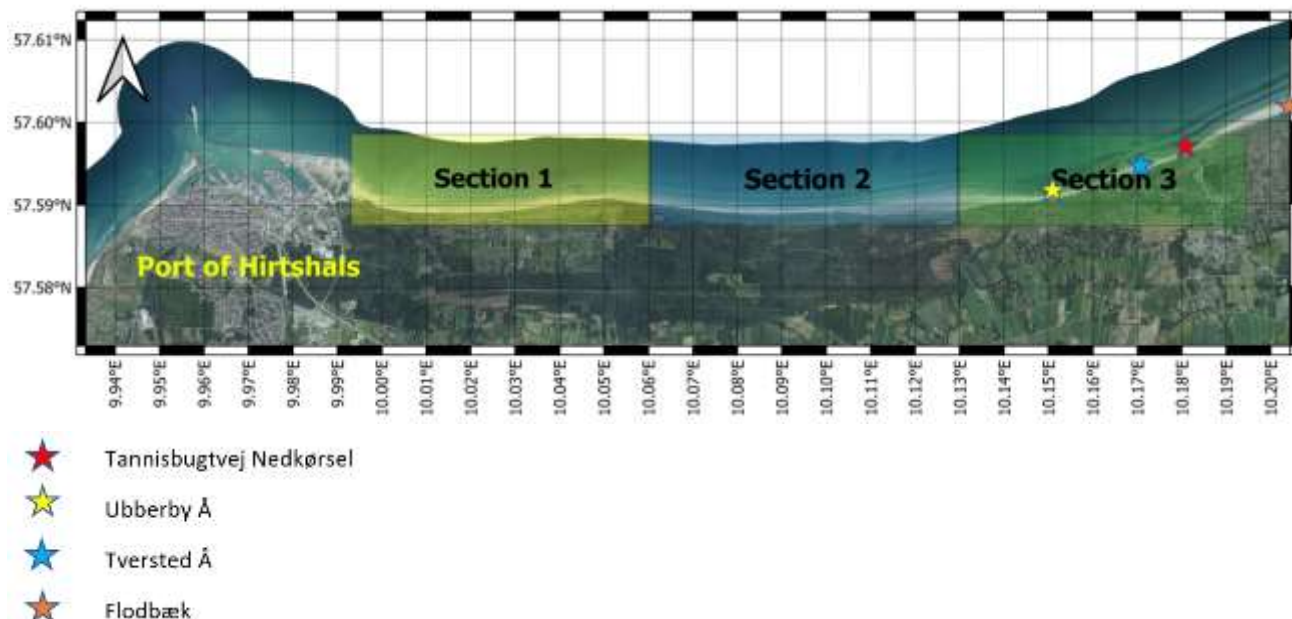
1. Afhængigt af det betragtede år, kan ortofotoets kvalitet og farvepalet gøre det vanskeligt at identificere det tørre område af stranden præcist.
2. Den nøjagtige dato, hvor ortofotoene blev taget, er ukendt og dermed årstiden. Dette er en vigtig information, eftersom strandens bredde varierer fra begyndelsen af vinteren (kortere) til begyndelsen af sommeren (brede).
3. Ligeledes er vandstanden (tidevandet), på det tidspunkt hvor ortofotoene blev taget, ukendt. Selvom vandstandsændringen forårsaget af tidevand i området er relativt lille - med flod der når op til ~0,3m MSL (middelevanstand), kan effekten ikke negligeres, da den gennemsnitlige strandhældning er ret lille (1/500, se næste side) og indfører derfor risiko for bias i vurderingen af ortofotos.
4. Der er ondulationer (sandbølger) på kystlinjen som vandrer imod nord med en periode på 10 – 20 år hvilket overlejrer netto effekten.

Ikke desto mindre, og selv om der på bestemte strækninger vil være en vis usikkerhed i forbindelse med bestemmelse af det tørre område, anses digitaliseringen af kystlinjerne for at være robuste og repræsentative for deres faktiske positioner. Ved, som her, at undersøge kystlinjen for mange år reduceres usikkerheden betydeligt.

I anden fase af undersøgelsen, er projektområdet blevet inddelt i tre forskellige sektioner som følger:

1. Sektion 1 dækker området fra den østlige side af Hirtshals Havn til Øster Kjulvej Natur Camping
2. Sektion 2 dækker området fra Øster Kjulvej Natur Camping til den vestlige udmundning af Uggerby Å
3. Sektion 3 dækker området fra Uggerby Å og Tversted.

Figur 3 viser de tre forskellige sektioner, som projektområdet er inddelt i. Længden af hver sektion er angivet i Tabel 1.



Figur 3: Undersøgelsesområde – sektionerne undersøgt i skrivebordsvurderingen.

Tabel 1: Distancen langs kysten for hver af sektionerne undersøgt i skrivebordsvurderingen.

	Sektion 1	Sektion 2	Sektion 3
Distance (km)	4,0	4,2	3,6

I den tredje og sidste del af undersøgelsen er ændringen i sandvolumenet for hver af de tre sektionerne, vist i Figur 3 fundet mellem hvert analyseret årstal. Volumenet afhænger især af ændringer i placeringer af kystlinjen mellem de to år, der sammenlignes, samt selve formen af strandprofilen.

Analysen er baseret på følgende antagelser:

- Da der ikke er tilgængelige dybdemålinger, er det veletablerede teoretiske ligevægts strandprofil formuleret af Dean [1] anvendt. Profilet, som blev valideret med mere end 500 målte strandprofiler over hele USA, har følgende udtryk :

$$h(x) = A \cdot x^{\frac{2}{3}} \quad \text{Ligning [1]}$$

hvor h er vanddybde målt i afstanden x fra kystlinjen, og A er den eksperimentelle koefficient, som kontrollerer den paraboliske kurve. Koefficienten A angiver sammenhængen mellem sedimentets medianstørrelse (D_{50}) og den lokale strandhældning. Strandhældning er ud fra Søkort 101 vurderet til at være 1:500 langs alle tre sektioner. Ud fra denne hældning kan koefficienten A findes på baggrund af analyser udarbejdet af Gomez-Pina [2], som har fundet en sammenhæng mellem den gennemsnitlige strandhældning og koefficienten A ved at have analyseret ni strande med forskellige typer sediment og hældninger over hele den spanske kyst. Værdien af koefficienten A for en gennemsnitlig strandhældning på 1/500 er lig med 0,1.

- Sedimenttransporten sker inden for den aktive dybde. Den aktive dybde afhænger af bølgehøjde, bølgeperiode, og somme tider sedimentpartiklernes størrelse. Da der ikke er data for det lokale bølgeklima

tilgængeligt, er det antaget, at den aktive dybde er 10 m. Selvom denne værdi er tilfældig valgt, vil det ikke have nogen betydning for den overordnede vurdering som baseres på ændringen i sandvolumenet fra år til år.

Volumenet af sand langs hver sektion er fundet som følger:

1. I hver sektion inddeles kystlinjen i snit med en bredde på 1 meter.
2. Med antagelsen om Dean's strandprofil [1], beregnes sandvolumenet for hver snit, som til sidst summeres for hver sektion.
3. Ændringen i sandvolumenet for hver sektion findes ved at sammenholde det beregnede sandvolumen for to årstal. Ved et negativt volumen er der sket erosion, mens et positiv volumen betyder, at der er sket aflejring.

3.1.1 Resultater

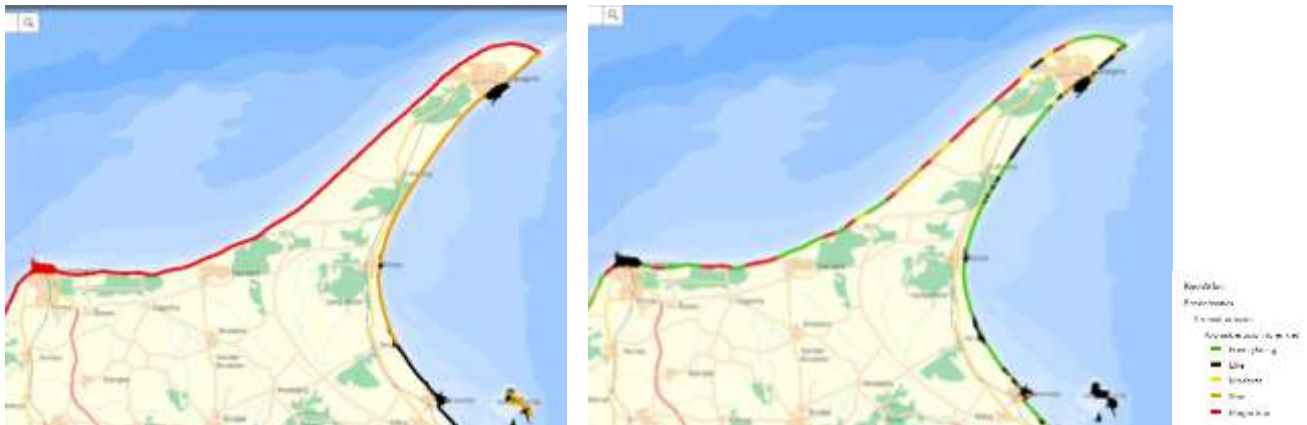
Tabel 2 præsenterer volumen af sediment (sand, i kubikmeter [m^3]) enten aflejret (+) eller eroderet (-) for hver sektion og mellem hvert analyseret årstal.

Tabel 2: Nettovolumen af sediment (m^3) aflejret/eroderet per sektion og mellem hvert analyseret årstal.

	Sektion 1	Sektion 2	Sektion 3
1995 til 1999	349605	112956	-174577
1999 til 2002	-47957	132371	95623
2002 til 2004	4209	117465	-38910
2004 til 2006	-112757	-48080	-246900
2006 til 2008	-82071	114710	12048
2008 til 2009	8884	55910	-50222
2009 til 2010	110045	60944	-39211
2010 til 2012	-73838	-46211	-194718
2012 til 2014	-31190	162043	3610
2014 til 2015	-29073	9988	-84350
2015 til 2016	-198986	-31953	-118797
2016 til 2017	-43518	-47615	-151979
2017 til 2019	136916	147860	241338
2019 til 2020	31364	-108497	-230520
2020 til 2021	-688	-140610	-84134
2021 til 2022	-61322	42852	121087
Sum	-40376	534135	-940613

Det kan ses ud fra Tabel 2, at der på trods af udsving mellem årene, sker et netto tab af sediment og hermed en kysttilbagetrækning langs sektion 1 og sektion 3, når alle årlige volumenerne summeres, mens sektion 2 ser ud til at modtage noget af det eroderede sediment fra nabosektionerne.

Hvis alle tallene i Tabel 2 lægges sammen, for alle de analyserede årstal og de tre sektioner, observeres et samlet nettotab ($-446855 m^3$). Bemærk at dette tal udelukkende omfatter det tab som findes ude i profilet og altså ikke et eventuelt tab i klitrækken. Man kan altså godt opleve at klitrækken er rykket tilbage som følge af storme uden at det afspejler sig i denne analyse fordi det eroderede materiale lægger sig i havstokken hvorved vandlinjen ikke rykker sig tilbage i samme grad. Dette stemmer overens med at hele området er truet af meget stor akut erosion hvilket giver en tilbagerykkende klitrække og i mindre grad af kronisk erosion, som er erosion ude i profilet. Dette ses af Figur 3.1.



Figur 3.1 Akut erosion (Venstre), Kronisk erosion (Højre) fra Kystatlas.

På trods af sandbølger, år til år udsving og andre udsving er det på grundlag vist at kystlinjen over tid rykker tilbage i sektion 1 og 3. Det kan derfor konkluderes at strandstrækningen mellem østsiden af Hirtshals Havn og Tversted samlet set er ramt af erosion gennem årene.

Dette skyldes en række faktorer. Dels er kysten eksponeret for bølger så der vil altid være en dynamik hvilket vil give bevægelser i kystlinjen. Men der vil også være komponenter af klima forandringer, samt ændringer i sedimenttransporten fra opstrøms side. Havnens blokering siden 1995, sejlrendens evne til at fange forbigående sand og bypass procedurerne omkring havnen har også en indflydelse på sedimentbudgettet. Man kan ikke på grundlag af dette arbejde afgøre hvilken indflydelse de enkelte komponenter har. Hvis man ønsker en mere detaljeret viden om dette skal der opstilles numerisk model som tager højde for alle komponenter i sedimentbudgettet. Herunder de naturlige processer, havnens blokering, bypass, sejlrendens effekt og klimaforandringer.

Det bør bemærkes, at de her præsenterede tal er udarbejdet ud fra flere vigtige antagelser, der kan afvige væsentligt fra de faktiske bl.a. fordi kliterosion ikke er med, og en mere detaljeret analyse af kystændringerne og deres årsag anbefales således at de enkelte årsager til kysterrosionen kan identificeres og mitigeres. Ikke desto mindre er den eroderende tendens i området blevet identificeret

3.2 Aktive erosionszone

Som supplement til kystlinjeanalysen er der ligeledes set på hvor den aktive erosionszone ligger. På de fleste fotos (tidperioder) står denne overgang, som typisk er klitkanten, relativt skarpt, men på nogle kan det være svært at vurdere alene ud fra et luftfoto om det er skrænten/klinten som er faldet sammen grundet erosion eller der er kommet materiale til ved foden som er begyndt at blive begroet. Analysen er baseret på professionelt skøn og skal vise de overordnede bevægelser af klinten. Som supplement her til er udtrukket profil af kysten fra SCALGO, der dog kun kan ses for 2022.

Der er lavet seks nedslag på kysten som vist i nedenstående Figur 3.2.



Figur 3.2: Nedslag langs kyststrækningen hvor den aktive erosionszone er indlagt for årene 1995, 2006 og 2022.

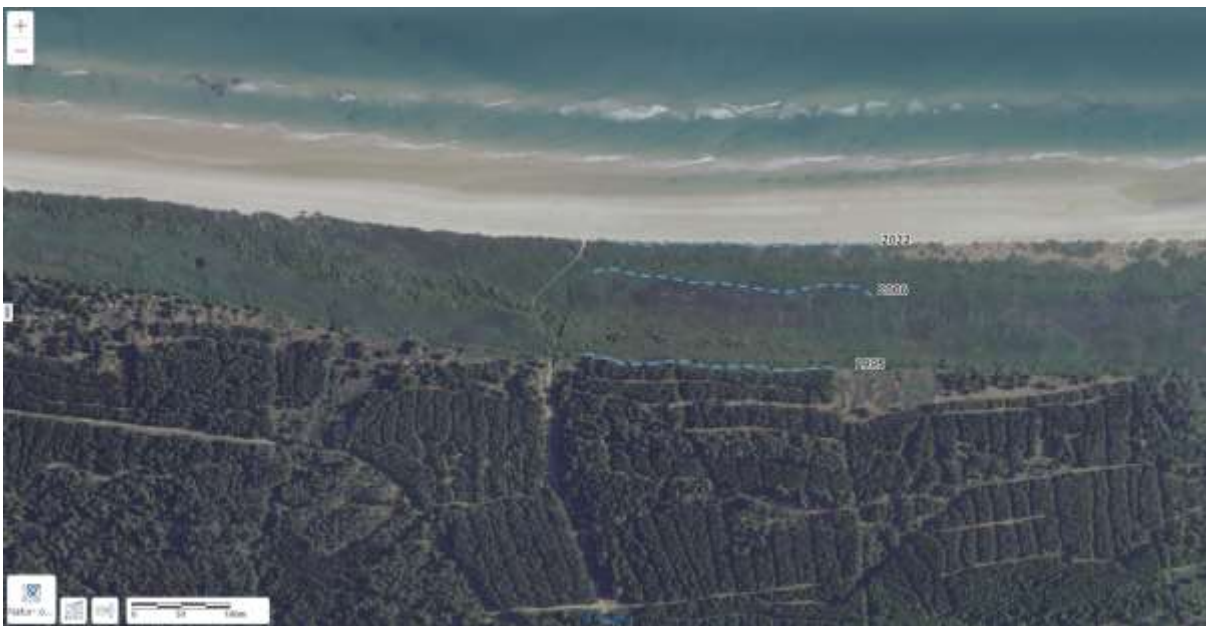
I de følgende seks figurer er der zoomet ind på strækningerne (Figur 3.3 til Figur 3.8).



Figur 3.3: Punkt 1.



Figur 3.4: Punkt 2.



Figur 3.5: Punkt 3.



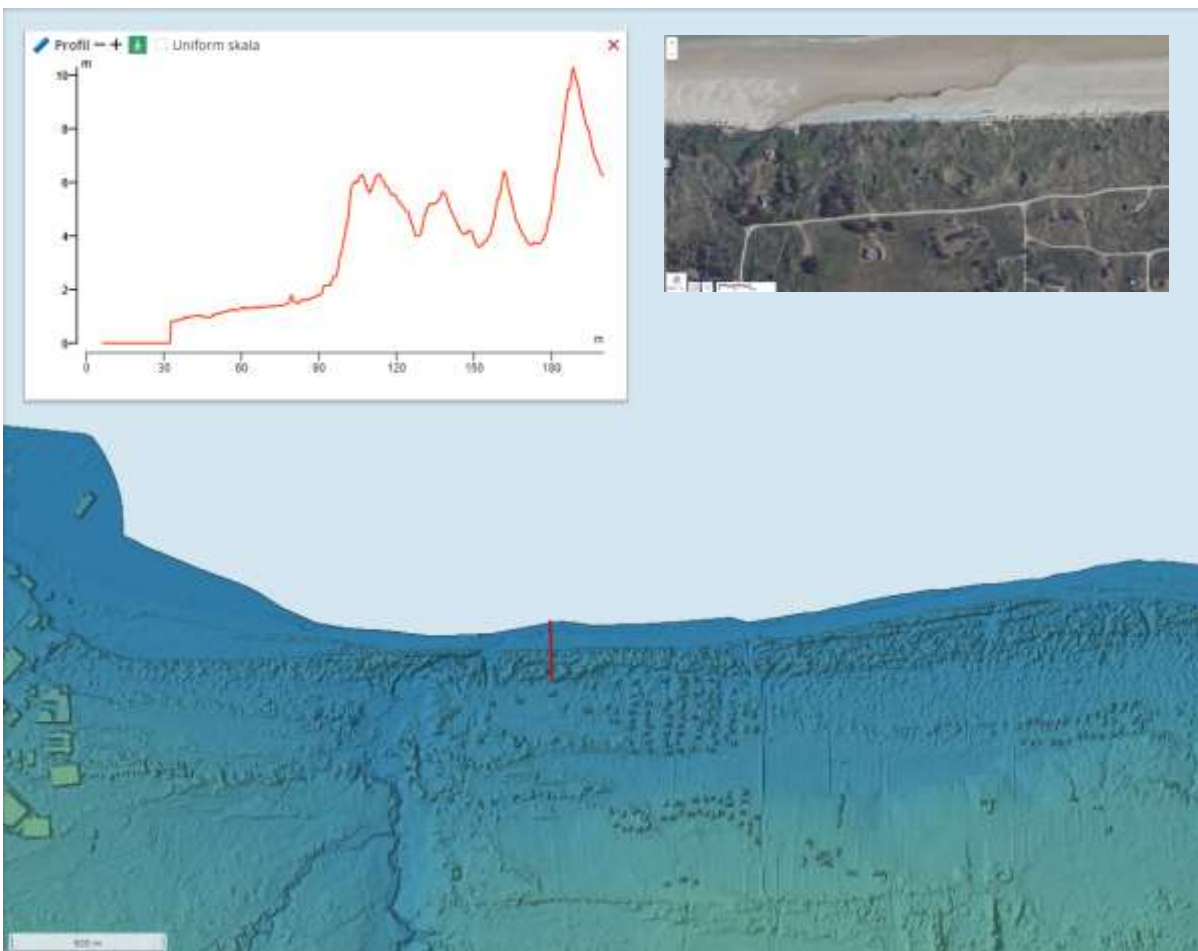
Figur 3.6: Punkt 4.



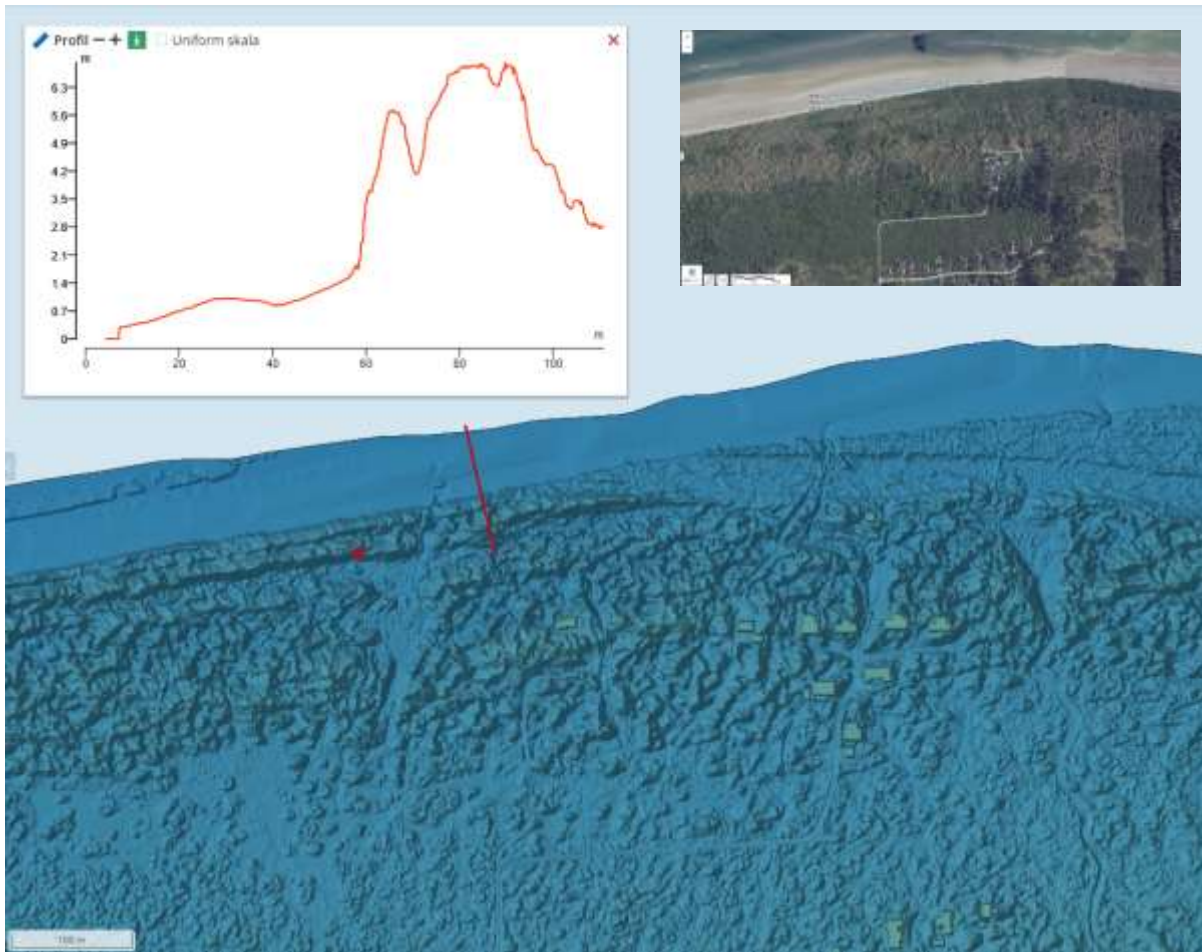
Figur 3.7: Punkt 5.



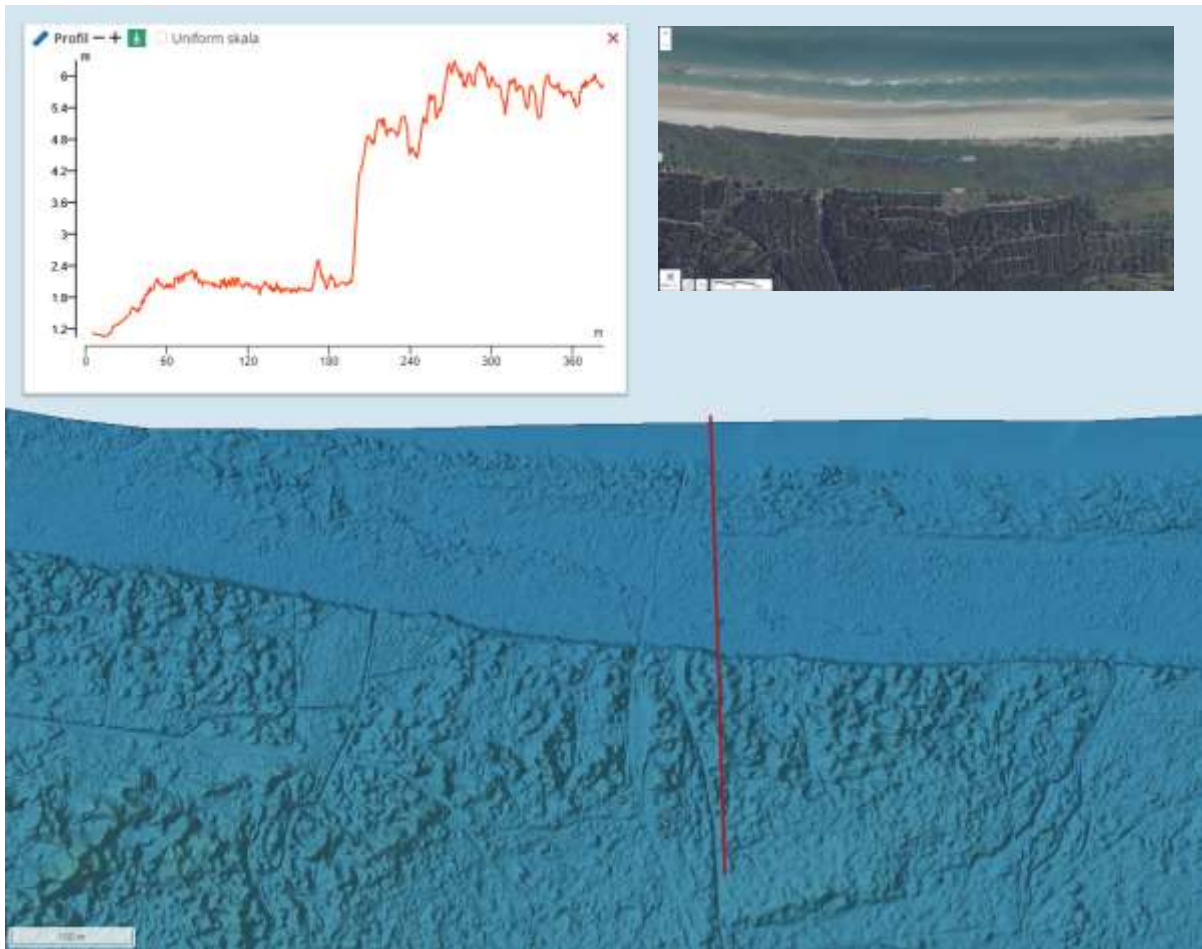
Figur 3.8: Punkt 6.



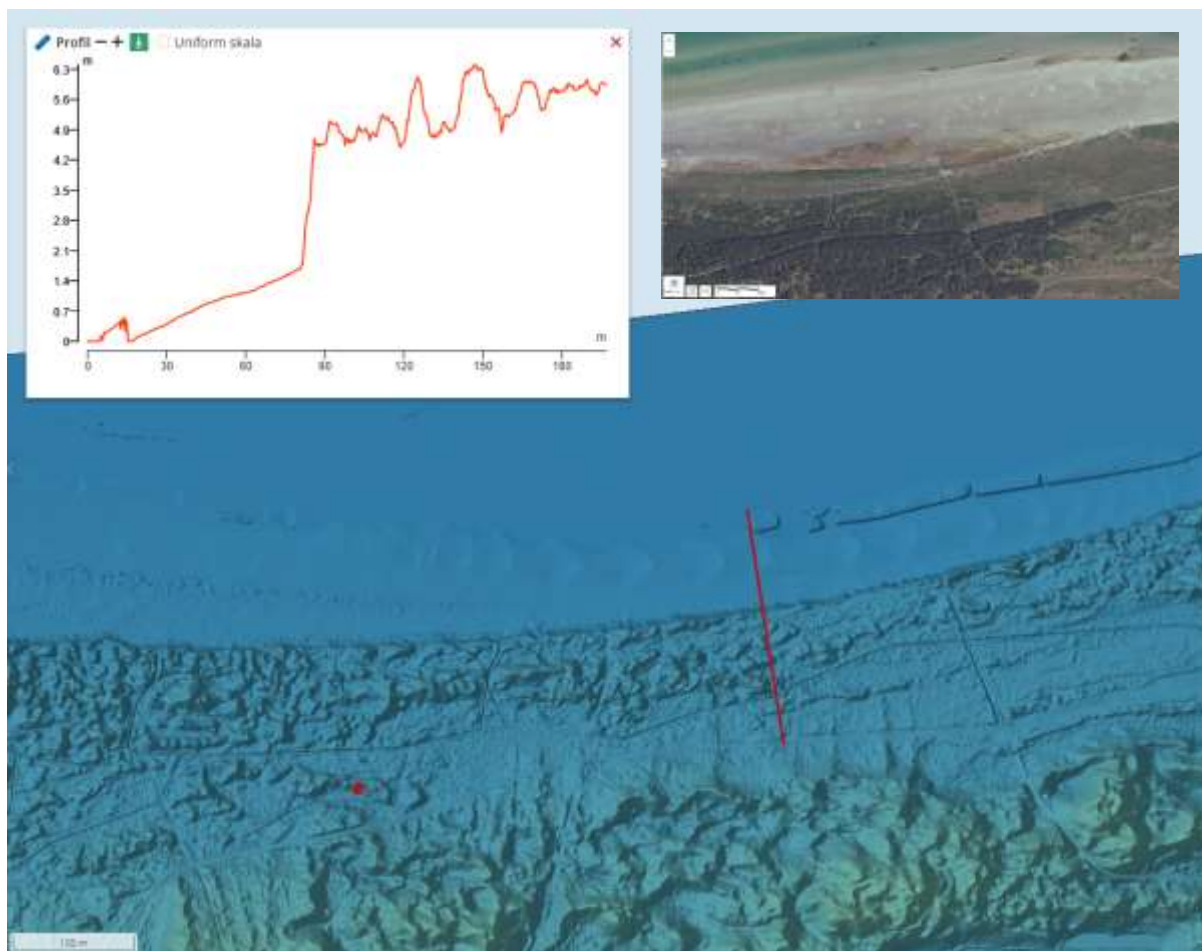
Figur 3.9: Udtræk fra SCALGO der viser klit/skrænt ved strækningen punkt 1.



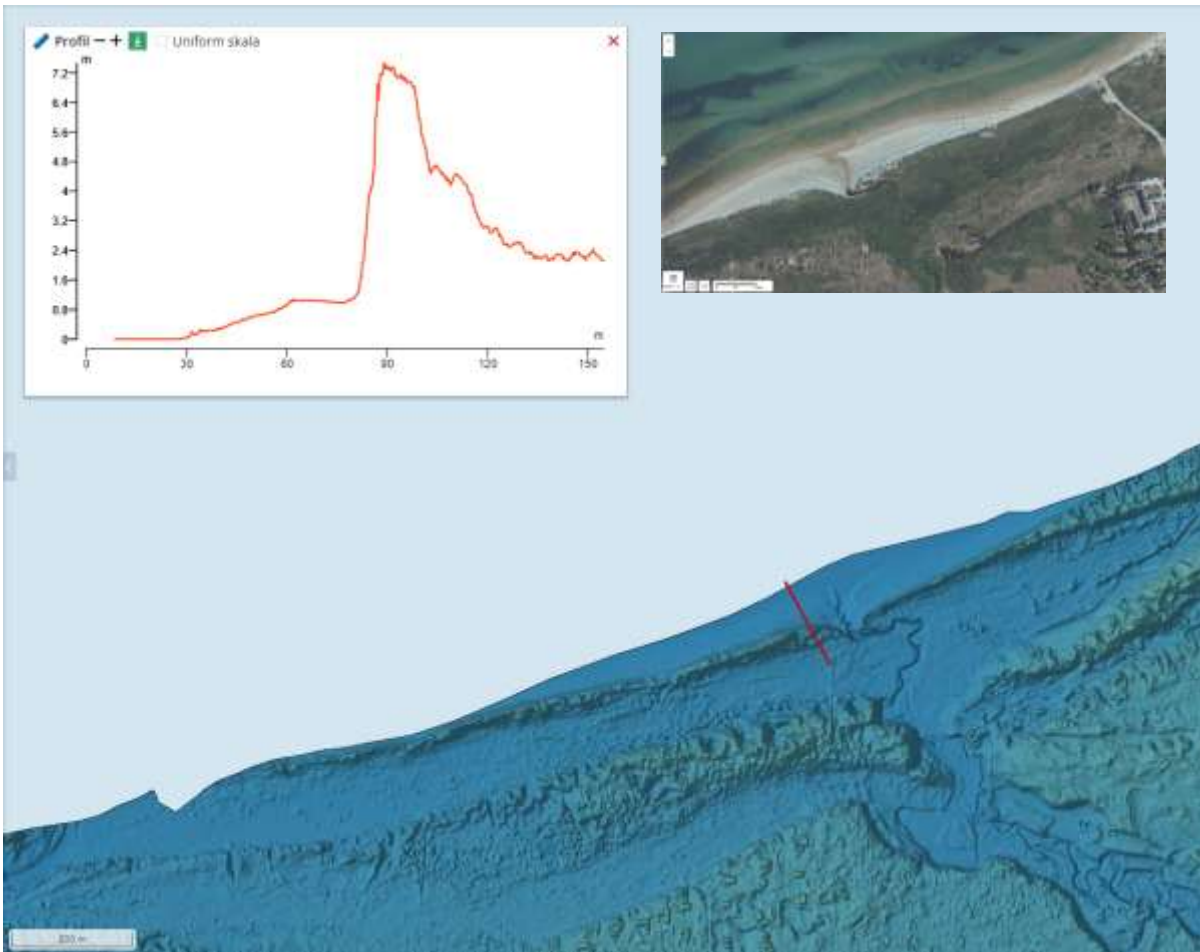
Figur 3.10: Udtæk fra SCALGO der viser klit/skrænt ved strækningen punkt 2.



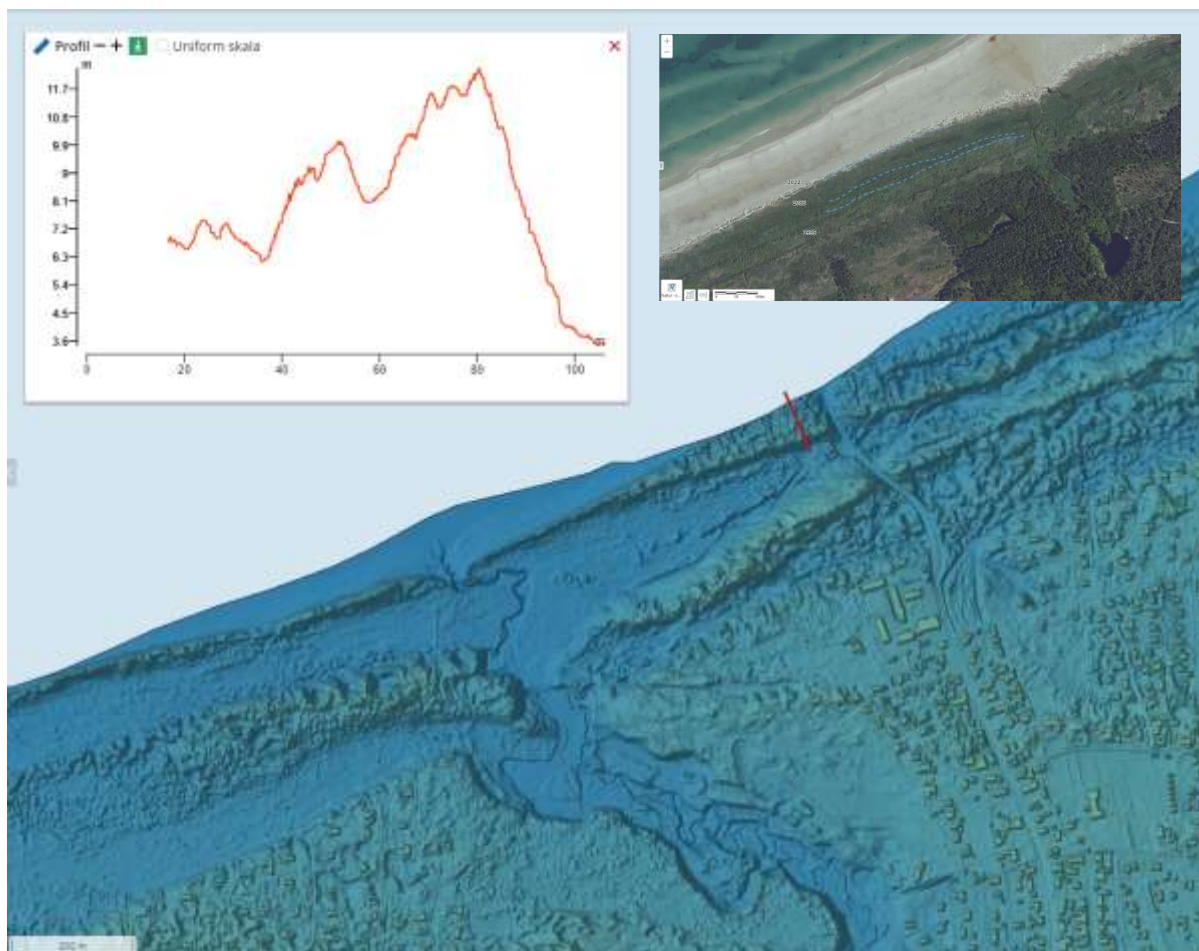
Figur 3.11: Udtræk fra SCALGO der viser klit/skrænt ved strækningen punkt 3.



Figur 3.12: Udtæk fra SCALGO der viser klit/skrænt ved strækningen punkt 4.



Figur 3.13: Udtræk fra SCALGO der viser klit/skrænt ved strækningen punkt 5.



Figur 3.14: Udtræk fra SCALGO der viser klit/skrænt ved strækningen punkt 6.

3.2.1 Resultater

I Figur 3.15 ses de seks punkter og den generelle udvikling fundet ved optegningen. '-' svarer til erosion og '+' til tilvækst af kyststrækningen lokalt. Af skræntprofilerne fra SCALGO ses det, at skrænterne har relativt forskelligt udseende og der ved nogle er dannet en slags 'forskrænt' af nedfaldet materiale. Ved punkt 5 ses en meget stejl skrænt der kan tyde på at den kort før måling er styrtet sammen.

Af figurer og opmålinger ses følgende overordnede bevægelser som angivet i Tabel 3.1. Der ses variationer mellem ~-10-125 m.

Tabel 3.1: Bevægelse af skrænten mellem 1995 – 2022 (Arealinfo.dk).

Punkt	1	2	3	4	5	6
Bevægelse (Erosion = '-') (m)	-10	-25	125	-125	-20	80

Da det ikke har været muligt at finde gode opmålinger i tid er det ikke muligt med denne analyse at sige noget om mængden af det materiale der er kommet til / fra skrænterne i perioden.



Figur 3.15: Generel udvikling ved de seks punkter langs kyststrækningen.

3.3 Resultater af kyst- og skræntanalyser

Af resultaterne ses, at der er overensstemmelse mellem beregninger ift. kystlinjens udvikling og det visuelle i skrænternes udvikling præsenteret i hhv. afsnit 3.1 og 3.2.

Der er fundet en generel tilbagerykning af det meste af strækningen. Hvor der ses tilvækst kan det ikke siges om det er nedfaldne skrænter der ikke længere påvirkes eller det er tilført sand der ligger uberørt og dermed over tid begros.

Erosionens variation over årene skyldes enten manglende tilført sediment fra vest eller generelt varierende påvirkninger (som f.eks. hyppigere storme og højvande).

4 Referencer

- [1] R. G. Dean, »Coastal Sediment Processes: Toward engineering solution,« i *Proceedings of Coastal Sediments*, 1987.
- [2] G. Gomez-Pina, »Análisis de perfiles de playa en las fachadas cantábrica y atlántica de la costa española y su aplicación a proyectos de regeneración,« Universidad de Cantabria, Santander, 1995.