



---

## Notat: Dokumentation for data

**Sagsnavn:** Coast 2 Coast Climate Challenge Grenåens opland  
**Sagsnummer:** MidtRum  
**Skrevet af:** Morten Hundahl, Syddjurs Kommune  
**E-mail:** mhp@syddjurs.dk  
**Dato:** 25. februar 2020

---

### Projekt- og procesbeskrivelse for C2C CC, delprojekt Grenåens opland. Terrænsætninger af Sweco

#### 1. Formål med dette data ift. den hydrauliske model

Formålet med denne delundersøgelse er at beskrive de geologiske og geotekniske processer, som i givet fald forårsager sætninger af terrænet i modelområdet. Endvidere at fastslå en evt. årlig terrænsætning i modelområdet, som i kombination med IPPC's klimaprognose for havspejlsstigningen, skal indgå i en endelig vurdering af områdets klimarobusthed overfor stigende grundvand, nedbør og havspejl.

#### Abstract

*The purpose of this sub-study is to describe the geological and geotechnical processes that cause settlements of the terrain in the model area's rivers. Furthermore, to establish a possible annual land use in the model area, which in combination with the IPCC's climate forecast for sea level rise, must be included in a final assessment of the area's climate resilience to rising groundwater, rainfall and sea level.*

*The report concludes that terrain settlements occur in the river valley around Ryom Å and Grenåen, but that the settling rate is lower than previously assumed by the County of Aarhus due to a lower carbon content in the marine deposited soils ("blådynd").*

#### 2. Metode for dataindsamling og ansvarsholder

Undersøgelsen er gennemført med geolog Morten Hundahl som faglig tovholder.

Undersøgelsen tager udgangspunkt i en kritisk gennemgang af en tidligere undersøgelse, som Århus Amt har foretaget på baggrund af terrænnivellemeter i 5 delområder, og som blev udført i 1984 og 2000.

#### 3. Kilde / hvorfra kommer data

Data stammer fra tidligere rapporter fra Århus Amt:

1. Undersøgelser af afvandingsforholdene i og omkring Kolindsund, forprojekt. Hedeselskabet, 1983.
2. Forbedring af vandføringsevnen i Vandløbssystemet omkring Kolindsund. Hedeselskabet, 1985.
3. Terrænsætninger og afvandingstilstand. Hedeselskabet, 2000
4. Undersøgelse af afvandingsforholdene i og omkring Kolindsund. Hedeselskabet, 1983
5. Supplerende tekniske undersøgelser i og ved Kolindsund, 1984

Selve revurderingen er foretaget af konsulentfirmaet SWECO A/S i juni 2019.

#### **4.Opmærksomhedspunkter ift. dataindsamlingen / kilde- og datakritik / er der afvigelser?**

Rapporten konkluderer, at der foregår terrænsætninger i ådalen omkring Ryom Å og Grenåen, men at sætningsgraden er mindre end tidligere antaget af Århus Amt pga. et mindre indhold af kulstof i den marintaflejrede jordbund ("blådynd").

#### **5.Hvad gik og var vellykket i data-indsamlingen**

Undersøgelsen underbyggede den nuværende modelopfattelse af områdets terrænsætning.

#### **6.Hvordan kunne dataindsamlingen have været forbedret**

SWECO anbefaler at der gennemføres en analyse af Lidarmålinger for at skabe et fuldt overblik over den årlige terrænsætninger

#### **7. Denne datas relevans i sammenhæng til anden data og inde i det samlede projekt**

Fremgår af ovenstående

# 1. Geologi og sætninger ved Kolindsund

## 1.1. Indledning

Sweco Danmark A/S er af Syddjurs Kommune blevet bedt om at udarbejde en rapport til beskrivelse og vurdering af de geologiske og jordbundsmæssige forhold indenfor 5 udvalgte projektarealer i Kolindsund (figur 1).

Kolindsund er det lavtliggende fladt område der fra Grenåen kan følges vestpå til Kolind. Herfra videre vestpå langs Ryom Å og er ligeledes en del af samme lavtliggende område, dette areal er dog forsumpet til mose i stedet for at være tørlagt sø. Der beskrives videre arealer langs Korup Å ned til Rostved Bro der danner en naturlig afgrænsning.

Der er tale om en del af et C2CC-projekt vedr. klimatilpasning i oplandet til Grenåen (project no. Life15 IPC/Dk/000006/C2CC), som skal indgå i den opstillede vandbalancemodel for fremtidens klimaudvikling.

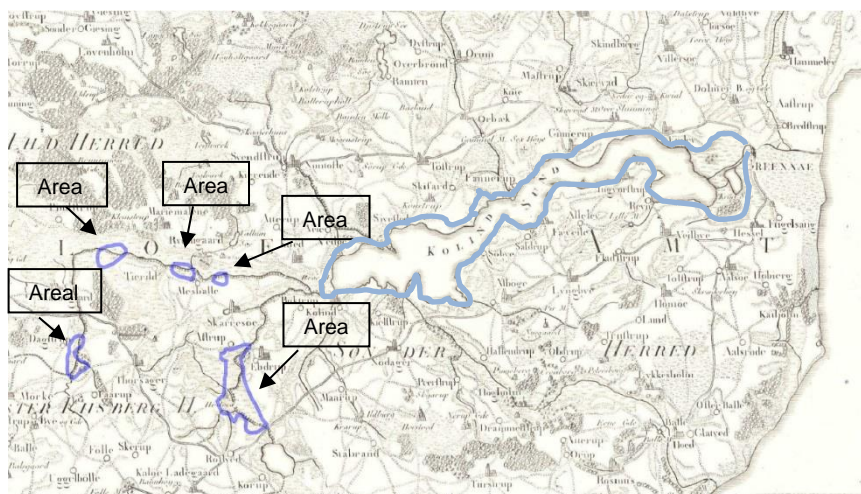
Forhold der betinger de observerede terrænændringer bliver beskrevet i rapporten.

Rapporten er udført på baggrund af eksisterende data samt 5 tidligere rapporter udført indenfor projektarealerne angivet nedenfor og belyser de geologiske og geotekniske egenskaber samt den forventelige fremtidige udvikling i de sætningsgivende materialer.

De behandlede data inkluderer flere forskellige højderreferencer. Der er tale om både Dansk Normal nul, DNN og Dansk vertikalreference 1990, DVR90. Der er ved beskrivelsen ikke taget højde for denne unøjagtighed, der i Århus er opgjort til 4 cm. Men med lokal variation.

Rapporten belyser først terrænforholdene i de 5 tidligere undersøgte arealer og derefter beskrives arealet ved selve Kolindsund.

Der bliver ikke draget direkte paralleller til udenlandske projekter.



figur 1 Angiver placering af de 5 arealer samt den inddæmmede Kolindsund. Modificeret efter Gst.dk

Indholdsfortegnelse	
1. Geologi og sætninger ved Kolindsund	1
1.1. Indledning	1
1.2. Tidligere undersøgelser	2
2. Geologisk udvikling i Kolindsund	2
2.1. Havniveauets variation	4
3. Terrænsætninger og afvandingstilstand inden for 5 arealer undersøgt i 2000	5
3.1. Areal 1	6
3.2. Areal 2	7
3.3. Areal 3	9
3.4. Areal 4	10
3.5. Areal 5	12
4. Geotekniske parametre	13
4.1. Deformationsparametre af organiskholdige aflejringer på baggrund af vandindhold	15
4.2. Sætninger	16
4.3. Fremtidig forventelig udvikling i de sætningsgivende materialer	17
5. Fremtidige undersøgelser	20

## 1.2. Tidligere undersøgelser

Der er tidligere udført en række undersøgelser ved Kolindsund. Blandt disse er:

1. Undersøgelser af afvandingsforholdene i og omkring Kolindsund, forprojekt. Hedeselskabet, 1983.
2. Forbedring af vandføringsevnen i Vandløbssystemet omkring Kolindsund. Hedeselskabet, 1985.
3. Terrænsætninger og afvandingstilstand. Hedeselskabet, 2000
4. Undersøgelse af afvandingsforholdene i og omkring Kolindsund. Hedeselskabet, 1983
5. Supplerende tekniske undersøgelser i og ved Kolindsund, 1984

Herudover er der udgivet bogen: Djurslands Geologi, S.A.S Pedersen & K.S. Petersen, GEUS, 1997 og Moor- und Torfkunde, K. Göttlich, 1990

Derudover er der i Kolindsund kun udført et beskedent antal borer. De fleste er udført i forbindelse med etablering eller reovering af broer ved Thoragervej syd for Ryomgård, Sivestedvej nord for Kolindsund samt etablering af Ringvejen rundt om Grenå.

## 2. Geologisk udvikling i Kolindsund

Som reference for udviklingen af Kolindsund anvendes det glacielle og senglacielle landskab der blev efterladt ved udgangen af sidste istid. Dette landskab bestod af en tunneldal der var eroderet ca. 50 m ned i den omkringliggende kalk. Dalen blev

under istiden delvist opfyldt med til smeltevandssand og grus med nogle lerlag indimellem.

Nord for Kolindsund skærer en større forkastning igennem det nordlige Djursland, men der er kun ringe aktivitet langs denne. Der er mellem 1963 og 2015 kun registreret 1 mærkbart jordskælv (her Richter 3,4) på Djursland. Dette forekom ved Grenå d. 30. maj 1995. Der er ikke beskrevet yderligere jordskælv mærkbare (>Richter 2,5) jordskælv i nærheden af Kolindsund.

I tidlig senglacial tid var havniveauet væsentligt under det nuværende, hvor havniveauets laveste beliggenhed var lavere end kote -15 m, idet der ved Grenaa er truffet tørv i denne dybde. Ved Kolind er der truffet ferskvandsdannelser (her tørv) omkring kote -10 m. Over ferskvandsdannelserne findes marin gytje med skaller. Der er beskrevet talrige arter af muslinger heriblandt hjertemusling og østers. Dette giver en række fine miljøindikatorer med et lavmarint område, en lavvandet fjord (figur 2).

Havniveauet blev fastholdt indtil omkring 4000 år før nu, hvor Kolindsund blev afsnøret gennem krummodde-vækst sydfra ved Grenå (figur 3). Herefter forblev Kolindsund en sø indtil sidst i 1872, hvor dræningen blev påbegyndt. Ved inddæmningen blev etableret 2 pumpestationer, ved Fannerup der pumpede ud i Nordkanalen og 3 km sydvest for Grenå, der pumpede ud i Sydkanalen. Der blev i første omgang etableret en midterkanal samt et større antal sidekanaler der kunne regulere vandstanden.

På et tidspunkt ca. 4000 år før nu var Kolindsund blevet så lavvandet at tagrør har haft muligheden for at brede sig ud over området og dermed ledt til formindsket tidevandsstrøm ind og ud af sundet. Herved er det tilførte sand ikke længere skyllet væk af tidevandsstrøm og Grenåen blev dannet, der herefter strømmede ud fra den nydannede Kolindsund sø. Igennem de 4000 år Kolindsund sø eksisterede blev der tilsyneladende ikke opbygget betydende mængder ferskvandsdannelser i form af ferskvandsgytje og tørv. De afrapporterede tykkelser som beskrevet af DGU i 1936 viser kun omkring en enkelt meter ferskvandssand over 10 – 15 m marin gytje afsluttende med et tyndt ferskvandslag.

I 1877 blev området opmålt og data blev senere udgivet som høje målebordsblade. Alle senere målebordsblade i området er baseret på opmålingen i 1877. Ved opmålingen i 1877 var de centrale dele af Kolindsund under kote -1,5 m, mens langt den største del af den gamle sø var beliggende mellem kote +0 og -1,5 m. Den dybeste kote registreret på målebordsbladene er -6 fod, svarende til ca. kote -1,8 m.

Der er i borer i Kolind ved Mårup Å truffet ferskvandsdannelser ned omkring kote -11 m. Der findes her marine aflejringer fra ca. kote -1 m og ned til kote -10 m. Ved Grenaa er der i borer truffet postglaciale ferskvandsaflejringer ned til omkring kote -21 m ved omfartsvejen (boring DGU.nr. 71.120). Her findes marine sandaflejringer mere eller mindre fra kote -15 m og opefter. Det forventes at lukningen af Kolindsund er sket ved en langsom, men nogenlunde konstant tilførsel af sand sydfra.

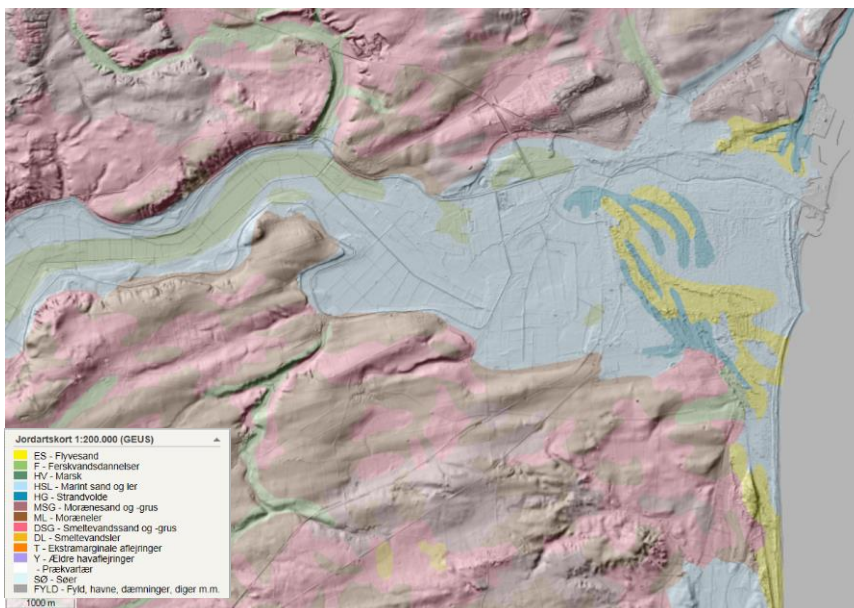
## 2.1. Havniveauets variation

Ved indgangen til Senglacial tid fandtes havniveauet langt under nutidens havniveau og hele Kolindsund var enten tørt land eller forsumpet mose. Der fandtes givetvis mindre søer, men disse er ikke kortlagt.

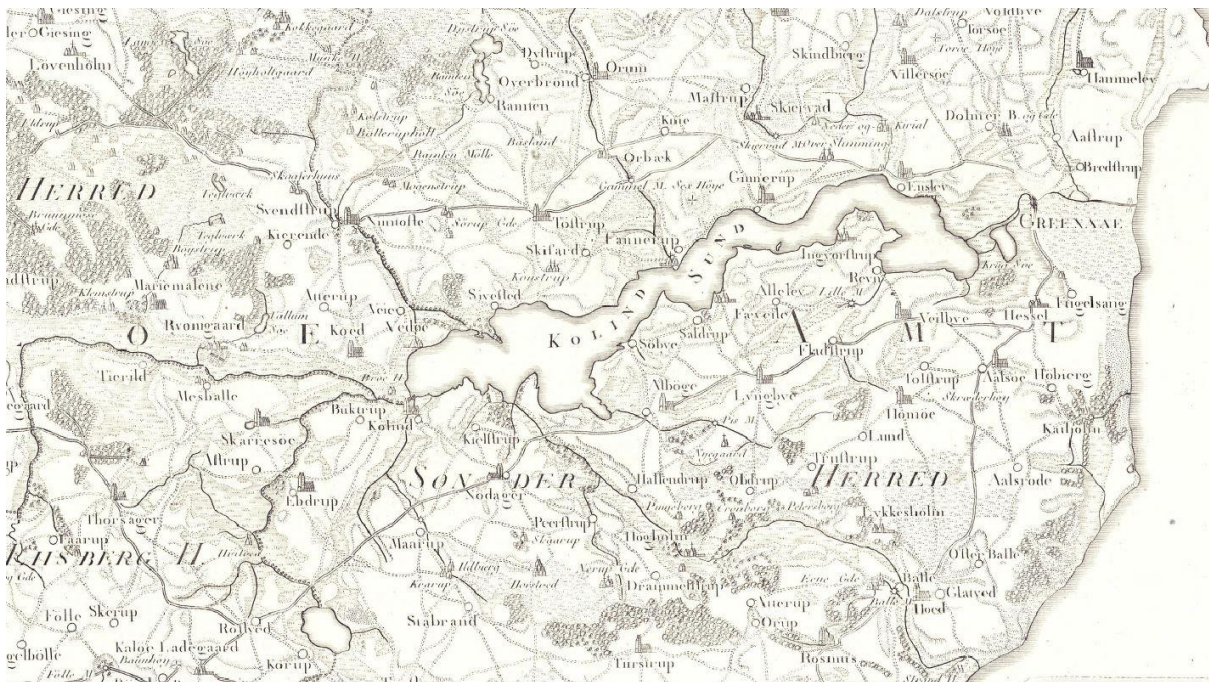
Omkring 8.800 år før nu steg havniveauet relativt hurtigt til ca. 4 m over nuværende havniveau, Litorinahavets maksimale niveau. Herved blev hele Kolindsund oversvømmet og var gennem de næste årtusinder en mere eller mindre lavvandet fjordarm. Iflg. Pedersen & Petersen, 1997, var der kun ringe vandudskiftning i fjorden, og der var i muslingefaunaen tegn på at de vestlige dele ofte var brakvandsdomineret.

I stenalderen blev etableret et større antal bopladser langs fjorden primært ved Fannerup, men der er truffet Ertebølle bopladser helt ind til Ryomgård. Der er registreret marine forhold i den østlige del af Kolindsund til omkring 4000 år før nu.

Kort herefter skete en afsnøring af Kolindsund ved marin vækst sydfra, som er synligt på nedenstående kort i figur 3. Afsnøringen er formodentlig mulig på grund af, at Kolindsund var blevet mere eller mindre opfyldt med sediment, således at tagrør kunne bremse tidevandsbevægelseres erosion.



figur 2 Sammenstilling af skyggekort, og jordartskort ved Grenaa og østlige del af Kolindsund. Det angivne flyvesand betragtes som omlejret marint sand. Efter arealinfo.dk



figur 3 Udsnit af Videnskabernes Selskabs kort over Djursland 1791. Det ses at Kolindsund stadig er en sø afgrænset i vest ved Kolind og i øst af et sumpområde fulgt af lynghede ved Grenaa. Efter Gst.dk

### 3. Terrænsætninger og afvandingstilstand inden for 5 arealer undersøgt i 2000

Der er af Hedeselskabet i 2000 udført en større sammenlignende undersøgelse af datasæt for højder opmålt i 1924/1936 og i 1999.

Data er først plottet ved simpel triangulering mellem punkter. Til dette er anvendt et program fra Geopak, der hedder GeoTerrain. Data fra de to tidsserier er herefter trukket fra hinanden maskinelt. Desværre er der ikke regnet med fortegn i denne proces, hvilket betyder, at områder, hvor der er sket opfyldning eller anden opadgående terrænregulering, er klassificeret som sætninger. Dette er specielt udpræget indenfor areal 1, hvor store dele af de sætninger der er beskrevet, faktisk er "negative". Dvs. at terrænet er steget i perioden mellem 1924 og 1999.

Metoden med at benytte subtraktion af to triangulerede modeller giver videre en del uhensigtsmæssigheder, idet der ikke tages tilstrækkelig højde for ydergrænser i områderne. Dette leder til tolkninger af relativt komplekse højdekurveforløb, uden der er belæg for dette i datasættene. Specielt er datasæt fra 1924 meget sparsomt.

På baggrund af ovenstående anbefales det ikke, at de beregnede sætninger fra denne periode anvendes til videre beregninger.

En nærmere gennemgang af rapportens arealer findes nedenstående.

Denne detaljerede gennemgang er foretaget for at beskrive årsager til de stedvist endog meget store sætninger der er registreret.

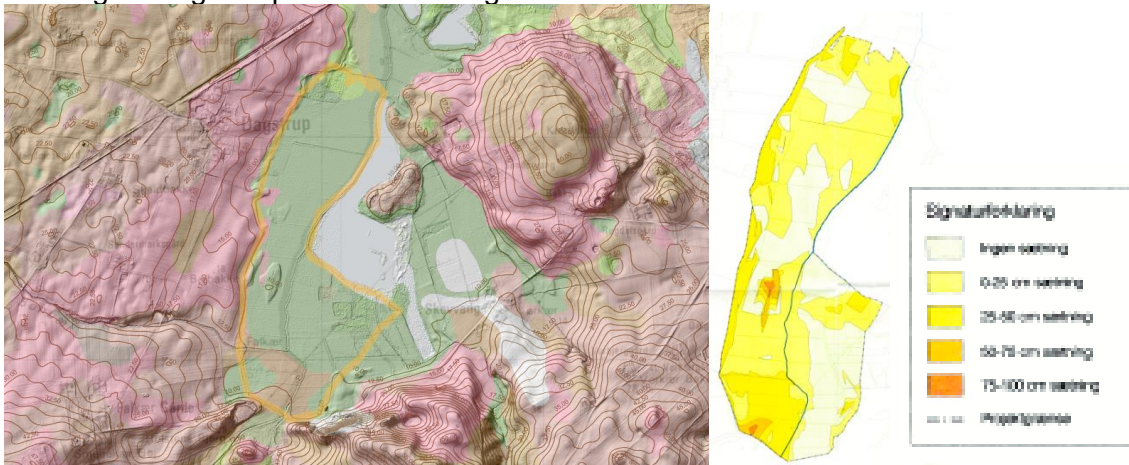
### 3.1. Areal 1

Området er en postglacialt opfyldt dal hvori Ryom Å løber. Området er mod syd og øst afgrænset af en randmoræne, som er en del af randmorænestrøget fra Mols Bjerge, der løber nord om Kalø Vig. Mod vest er området afgrænset af en glacial hedeslette. Der er ikke registreret borer i Jupiter, og derfor kendes tykkelsen af de organiske aflejringer ikke.

Området er på jordartskortet klassificeret som en postglacial ferskvandsdannelse med lidt moræneler i den sydlige del (figur 4).

Sammenligning af opmålingsdata fra 1999 og lidarmålinger dateret 2014-2015 viser sætning i store dele af arealet på ca. 0,25 m.

Lidarmålinger er udført med en densitet der er væsentligt større end den topografiske terrænopmåling. Der eksisterer lidarmålinger fra perioden 2007 og fremefter. Disse data er højopløselige og kan derfor anvendes til at angive sætningsmængder i perioden 2007 og frem.



figur 4 Lidar kort over areal 1 fra 2007. Der er anvendt jordartskort og historisk 4-cm kort som baggrund. Efter arealinfo.dk. Til højre ses sætninger for den sydvestlige del af areal 1, som beregnet i Hedeselskabets rapport, 2000.

Billedet af sætningerne på figur 4 forstyrres af, at der tilsyneladende er sket en hævnning af terræn i den sydlige del af området. Det forventes at være forårsaget af påfyldning, hvilket ligeledes er tilfældet øst for Bolbakke, hvor terræn er hævet ca. 1 m.

Sætninger fra 1999 til 2014 ser mere eller mindre ensartede ud i den nordlige del af arealet, idet der er sket en forskydning af højdekurverne med ca. 0,25 -0,5 m. Denne forskydning ser ud til at være sket efter 1999.

Øvrige sætninger i areal 1 er knyttet til den vestlige rand af området, hvor der forventes sand og ler. Sætningsundersøgelsen fra 1936 til 1999 er samlet yderst tvivlsom i kvalitet for dette område.

Der ses dog overensstemmelse mellem lidarmålinger og målebordsblade for de fleste af arealerne, hvorfor det vurderes at sætningen er marginal, < 0,5 m. Der forventes ikke større senere sætninger i areal 1.



### 3.2. Areal 2

Jordartskortet angiver et areal med senglacialt smeltevandssand gennemskåret af postglaciale ferskvandsdannelser.

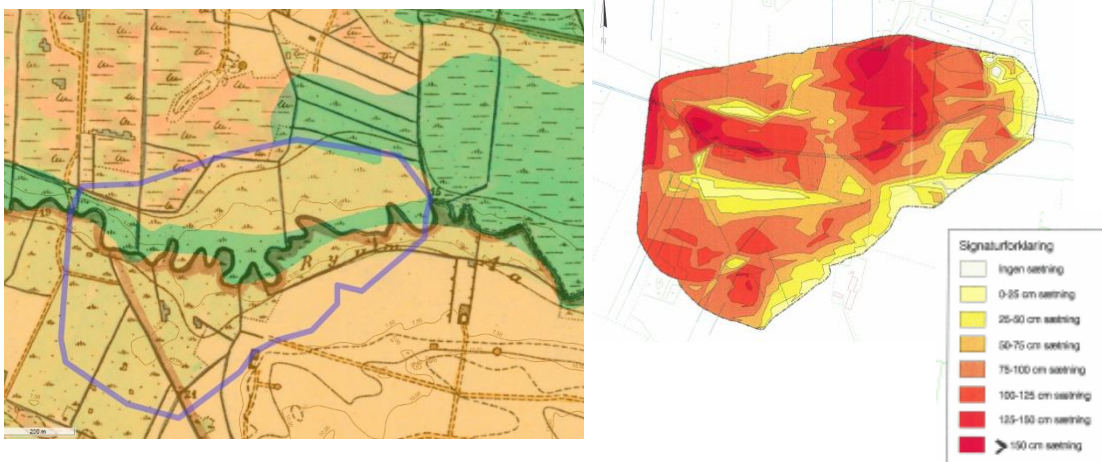
Området er på de høje målebordsblade omkring år 1896 indmålt beliggende omkring kote +20 fod svarende til kote +6 m. Ved den østlige ende af området er der ved Ryom Å en højdemåling på 16 fod svarende til ca. kote + 4,5 m (figur 5).

På høje og lave målebordsblade er området angivet med mosesignatur med en stærkt slynget å igennem arealets centrale del. Åen er senere rettet ud og arealet har i dag sat sig til at være beliggende omkring kote +5 m med en vandspejlskote omkring +3,5 m (figur 6).

På terrænopmålingen fra 1924 er der typisk målt koter omkring kote +5,5 m til +6 m. Der er registreret lavtliggende punkter ved områder med tørvegravning (figur 7).

Der er i området registreret generelt sætninger mellem 0 og over 1,5 m. Dette er desværre for en stor del sammenfaldende med aktiviteter med tørvegravning i området både ved første opmåling men også imellem de to opmålinger.

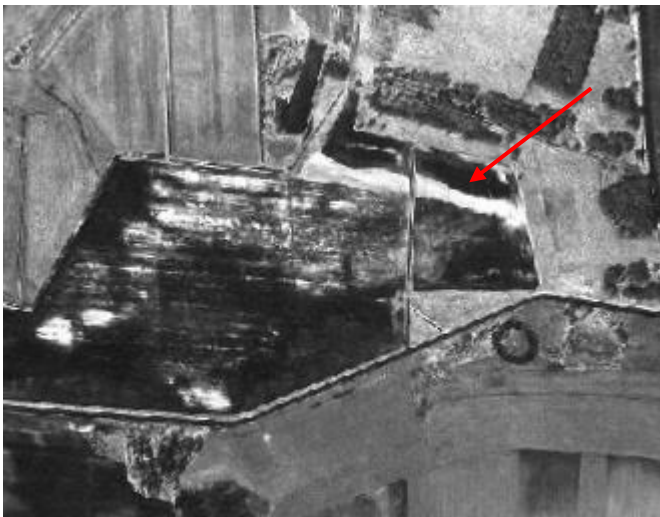
Området kan på baggrund af kortmaterialet og de foretagne højdemålinger ikke forventes at have vertikale bevægelser i terrænet, der er genkendelige som sætninger, idet der er gravet tørv i området.



figur 5 Areal 2, Sammenstilling af Jordartskort, høje målebordsblade samt højdekurver (2014/2015). 20 fods højdekurven ses i den nordlige og sydlige del af området. Bemærk koten på 15 fod ved åen mod øst. tørvegravning i den sydlige del af arealet. Efter arealinfo.dk



figur 6 Areal 2, nordøstlig del. Flyfoto fra 2017 med indlagte højdekurver (2014/2015), her med 0,5 m ækvivalens. Bemærk forløbet af drængrøften midt i billedet. Efter arealinfo.dk



figur 7 Flyfoto 1974 af nordøstlig del af areal 2. Der ses en tørvegravning nær den nordlige perimeter af området (rød pil). Denne falder sammen med det relativt lave område mod nord. Efter flyfotoarkivet.dk.

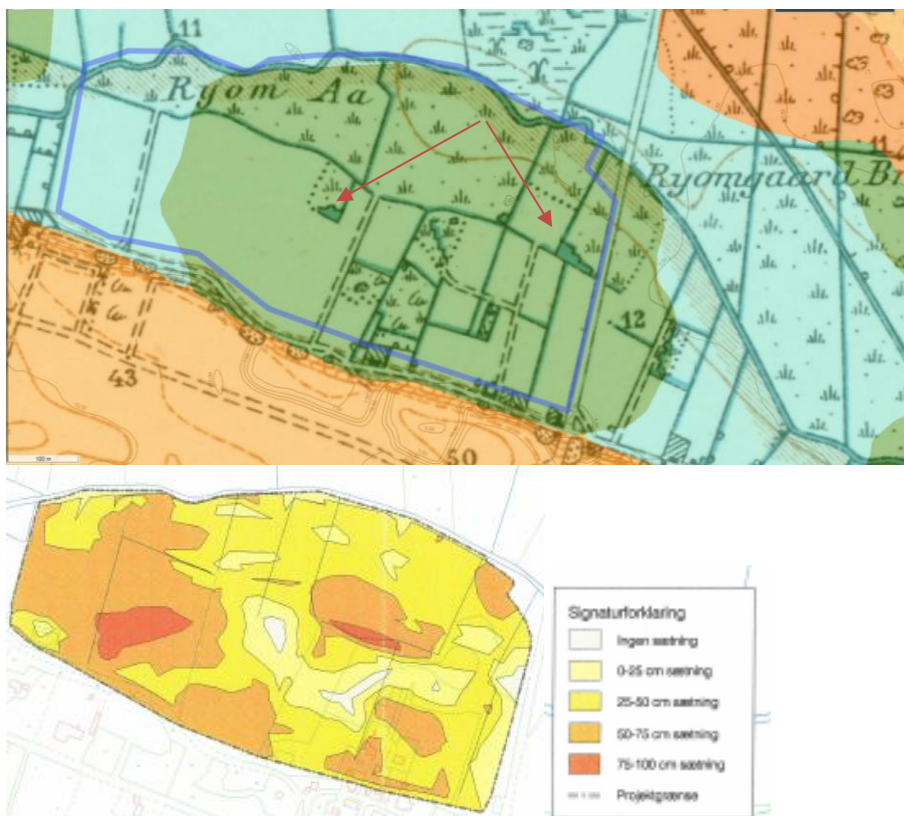
### 3.3. Areal 3

Området er klassificeret af GEUS som et areal med ferskvandstørv over marin gytje. Forekomsten af ferskvandsdannelse bekræftes af spor af tørvegravning, som det ses på figur 8. Der er ikke registreret boringer i Jupiter, og derfor kendes tykkelsen af de organiske aflejringer ikke.

På de høje og lave målebordsblade er området angivet med mosesignatur med en slyngnet å som afgrænser arealet mod nord. Åen er senere rettet ud og arealet er i dag beliggende i kote +2,5 m til +3,5 m med en vandspejlskote omkring kote +2 m.

Den nordøstlige del af området er på de høje målebordsblade indmålt beliggende omkring kote +10 fod svarende til kote ca. +3 m. Samme tendens ses på de lave målebordsblade.

Sætninger i området ses koncentreret i områder, hvor der ligesom i areal 2 fandt tørvegravning sted. De rapporterede sætninger her er op til 1 m beliggende både i den sydvestlige del af arealet samt centralt ved den sporede tørvegravning.



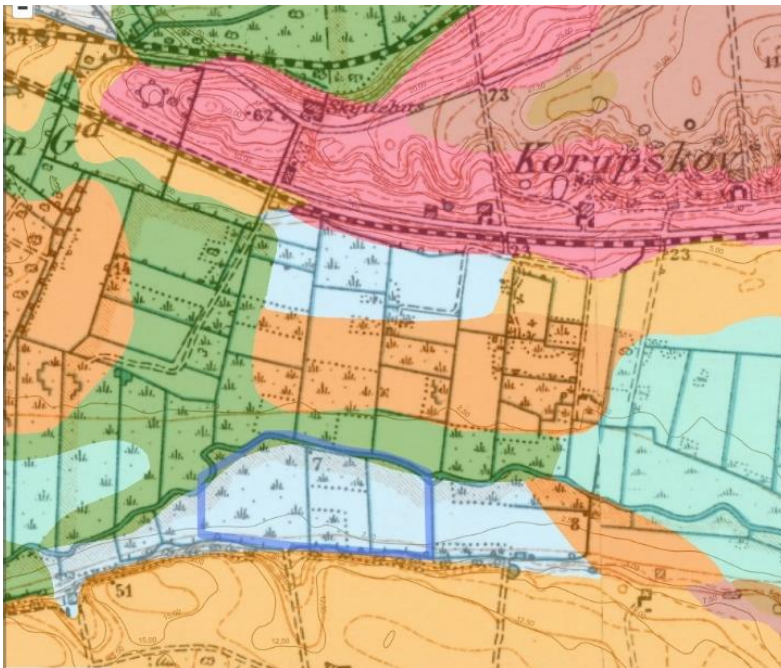
Figur 8: Areal 3, Sammenstilling af Jordartskort, lave målebordsblade samt højdekurver (2014/2015). Bemærk tørvegravning ved de to pile i den centrale del af arealet. Efter arealinfo.dk

### 3.4. Areal 4

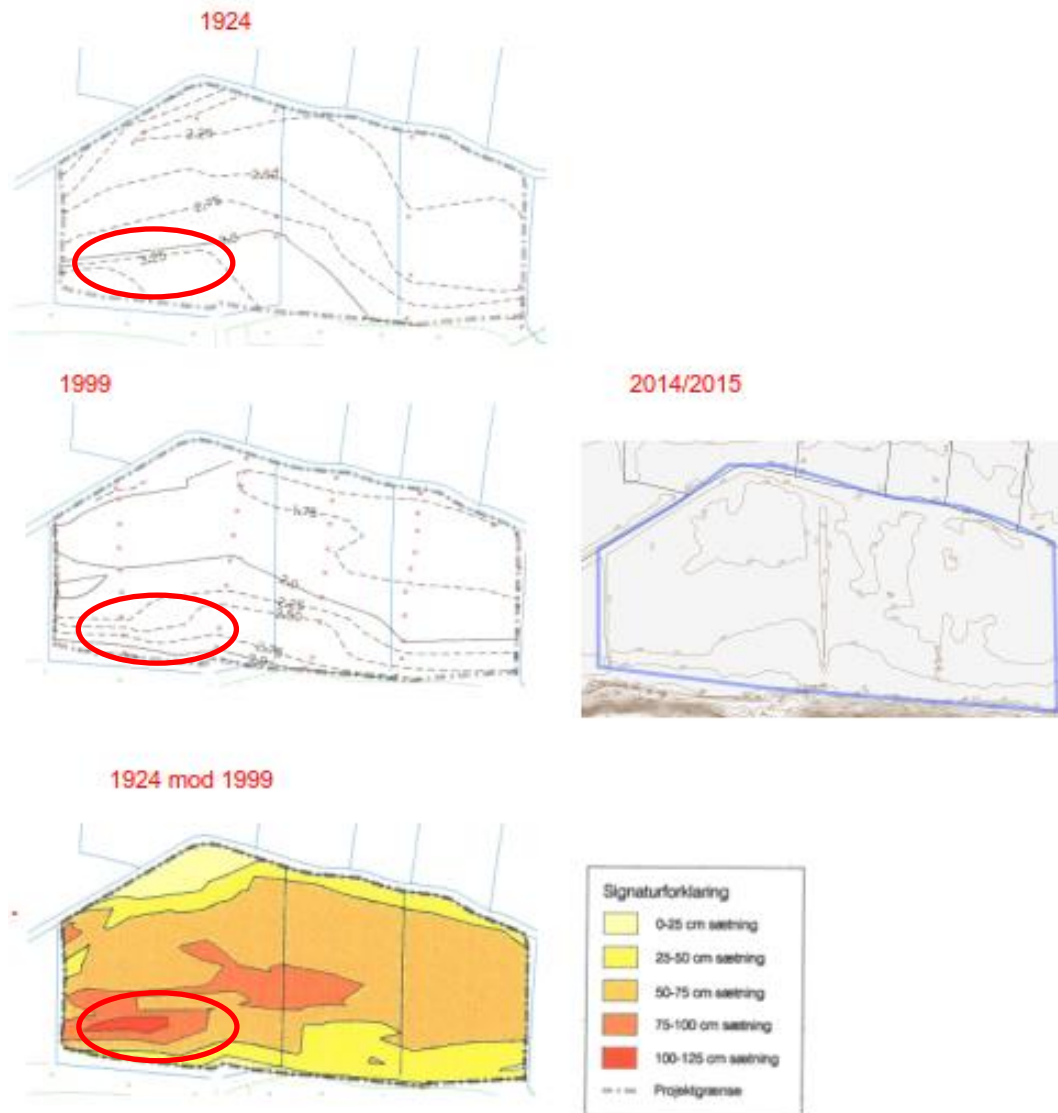
Området er beliggende i den sydlige del af Kolindsund på angivelig marin bund. Mod syd er arealet afgrænset af en højereliggende senglacialt smeltevandsslette (figur 9). Der er ikke registreret borer i Jupiter, og derfor kendes tykkelsen af de organiske aflejringer ikke.

Der er på opmålingen foretaget i 1924 registreret en kote ned til mellem +2,0 og +2,25 m. På opmålingen i 1999 er der registreret en højde <1,75 til ca. 2,75 m.

Der er beregnet sætninger på over 0,5 m på 2/3 af arealet og maksimale sætninger op til 1,2 m.



*Figur 9: Areal 4, Sammenstilling af Jordartskort, høje målebordsblade samt højdekurver (2014/2015). Bemærk at området er jordartsklassificeret som marint postglacialt. Efter arealinfo.dk*



Figur 10 Areal 4, Til venstre: Højdemålinger og højdekurveforløb for målinger år 1924 og 1999 samt sætning, som afrapporteret af Hedeselskabet, 2000. Til højre højdedata fra Arealinfo.dk. Det ses at der ikke er datamæssigt belæg for specielt de store sætninger afrapporteret mod sydvest idet der ikke findes målepunkter i dette område fra 1924. Usikkerheden på de faktiske sætninger forøges af at målepunkterne i 1924 er udført i nærheden af gravede grøfter. Det ses endvidere at relativt store arealer er afrapporteret under kote +2,0 målt i 1999, som i 2014/2015 placeres over kote +2,0 m. I 2014/2015 er der ikke registreret punkter lavere end +2,0 m udenfor å og kanaler. Dette kan skyldes organisk vækst eller måleusikkerhed. Ovenstående er udpeget med ovaler på figuren.

Højdekurverne fra 2014-2015 kan ikke relateres direkte til de foretagne målinger fra 1924 og 1999, og der er sket en voldsom overfortolkning af kurveforløbet som følge af det relativt primitive kurveberegningværktøj der er anvendt.

Det ses, at der er en del ikke-naturlige knæk på højdekurvene, idet programmet har anvendt midtnormaler mellem punkter samt faste randbetingelser. Dette giver bl.a. udslag i et voldsomt kompliceret kurveforløb baseret på 16 målinger samt en "skrånning" på +0,5 m mod sydvest fra <3,0 til >3,5 m over 10 m længde, som det

ses på figur 10. Dette leder til en vurdering af at de afrapporterede sætninger formodentlig er overvurderede.

Sætningsmønstret afrapporteret af Hedeselskabet i 2000 indikerer en let sætning langs den gravede kanal og en væsentlig større sætning nær ådalens kant. Dette er ikke understøttet i de faktiske målinger og ikke understøttet i den nylige udvikling som beskrevet mellem 1999 og 2014/2015.

I 1896 er der afrapporteret et enkelt målepunkt med en højde af 7 fod svarende til ca. kote 2,1 m (se figur 9). Nær dette punkt er i 1924 målt ca. kote +2,3 m. i 1999 er der målt ca. kote 2,0 m, hvilket også er registreret i 2014/2015.

Sætningsmønstret synes at vise en nogenlunde jævn sætning på langt det meste af arealet i størrelsesordenen 0,3 m over 90 år.

### **3.5. Areal 5**

Areal 5 er det største af områderne og er beliggende mellem Kolind og Rønde. Arealet gennemskæres af den let slyngende Korup Å, der længere mod nord fletter sammen med Ryom Å. Området er af GEUS klassificeret som et areal med overvejende marin gytje, hvor der langs ydergrænsen af arealet er dannet en ferskvandstørv. Forekomsten af ferskvandsdannelser bekræftes af spor af tørvegravning, som det ses på figur 11. Der er ikke registreret boringer i Jupiter, og derfor kendes tykkelsen af de organiske aflejringer ikke.

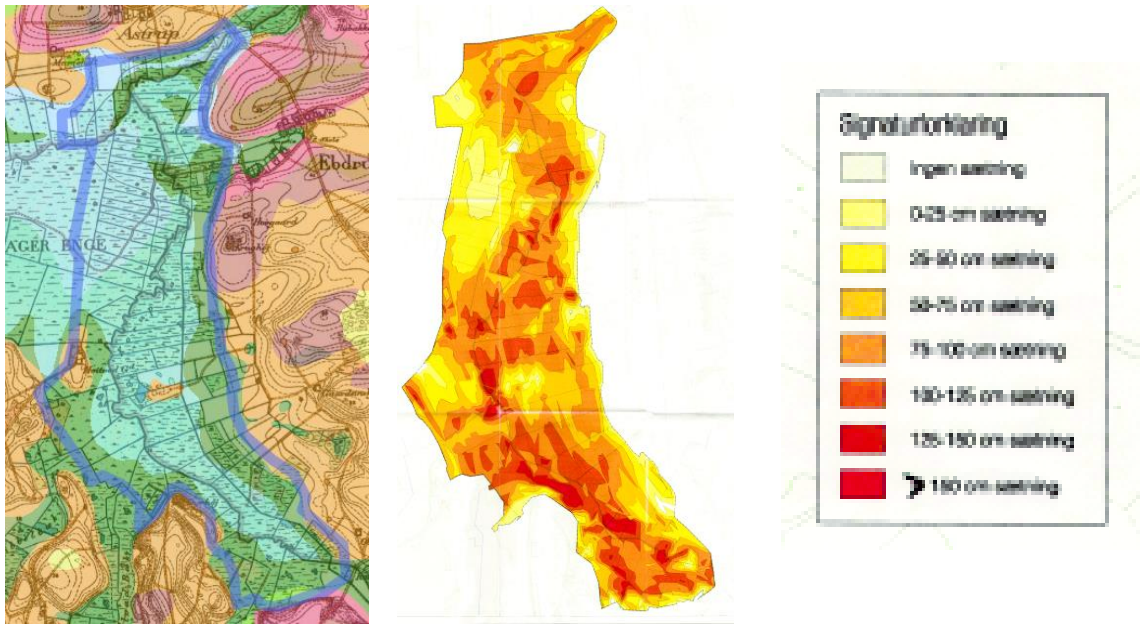
På de høje og lave målebordsblade er der 5 målepunkter langs åen. I den sydlige del af arealet er der indmålt en højde på 13 fod, svarende til kote +3,9 m faldende mod nord til 8 fod, svarende til kote +2,4 m. Midt i arealet er der indmålt 2 punkter til 11 fod, svarende til kote +3,3 m.

I dag falder terrænet fra den sydlige del af arealet fra kote +2,5 m til kote +1,5 m i den nordlige del af arealet.

Terrænændringerne kan for en stor del tilskrives større tørvegravning med relativt uensartede ændringer til følge. Den største bevægelse ses nær den nuværende Korup Å. Der ses enkelte målinger i dybdepunkter på opmålingen fra 1924, der resultere i meget små forskelle i terrænniveau ved genopmålingen i 1999. Dette er forventeligt et resultat af tørvegravning inden målingen i 1924.

Der er ikke truffet opmålinger af den forventede tørvegravning under anden verdenskrig, hvor mange tørvegrave blev genåbnet.

Sætninger over hele arealet ligger i størrelsesordenen 0,75-1,0 m med lokale variationer. Der er dog størst sætning i de centrale dele langs den nuværende Korup Å.



Figur 11 Areal 5, sammenstilling af jordartskort og høje målebordsblade med indlagt omruds af areal. Bemærk tørvegravning spredt i store dele af arealet. Bemærk at området er jordartsklassificeret som marint postglaciale, herunder arealer med tørvegravning. Til højre ses områdets tørvegravning som registreret på de høje målebordsblade. Det kan noteres at i arealet mod nordvest ikke er sket tørvegravning. Her er sket en relativ lav sætning (under 0,5 m) samtidig med der er foretaget en fintmasket dræning med grøfter. Efter GEUS.dk og arealinfo.dk

Ud fra den relativt ensartede sætning der er sket i den nordvestlige del af arealet samt fraværet af spor af tørvegravning kan det vurderes at der er en sætning i de organiske aflejringer på under 0,5 m. Arealet har gennem hele perioden været gennemskåret af drænkanaler, men der er ingen detaljerede opmålinger af vandspejle.

#### 4. Geotekniske parametre

De geotekniske parametre der er beskrevet her, er en tekniske gennemgang af observerede og teoretiske undersøgelser af sammentrykkelighed på materialer og hastighed for afvandning i de materialer der findes ved Kolindsund.

På baggrund af geotekniske undersøgelser for ny jernbanebro nr. 22360 i Kolind er der i 2015 af Sweco fastlagt en dekadehældning(Q) på 40 % for tørv relativt overfladenært. På større dybde er der fastlagt en dekadehældning på 32 % i tørvepræget gytje. I ældre rapporter fra Grenaa er der for den marine gytje estimeret en udrænet forskydningsstyrke Cv på 50 kN/m<sup>2</sup>. Dette er dog under et betydende sandlag, der ikke kan forventes i Kolindsund. Derfor forventes der her ikke over ca. 25 kN/m<sup>2</sup> i udrænet forskydningsstyrke, hvilket svarer til de værdier der er estimeret i Hedeselskabets rapport fra september 1983. Heri er estimeret en Q på 20 % for "stiv dyndjord" og 40 % for "blød dyndjord".

Permeabilitetskoefficienten sættes til  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s.

Ovenstående parametre benyttes til at estimere tiden for at konsolidering sker for et givent jordlag. For et jordlag på 15 m angiver Hedeselskabet en konsolideringstid på 18 år. Dette forudsætter dog dobbeltsidig dræning. Denne dobbeltsidige dræning modvirkes dog til dels af vandtryk på undersiden af gytjelaget. Derfor kan

de angivne dræntider, som konservativt estimeret, ganges med 4. Dermed regnes med en dræntid for et 15 m tykt gytjelag på 72 år.

Denne tid er gået siden den oprindelige dræning af arealet. De registrerede sætninger svarer til de ovenfor angivne værdier.

Selv ved ensidig dræning kan konsolideringssætninger i hele Kolindsund forventes at være afsluttet selv ved gytjelag over 20 m i tykkelsen, da den oprindelige hoveddræning skete for ca. 150 år siden. Det skal pointeres, at der for de meget dybtliggende lag ikke kan forventes konsolidering, da der her overvejende er tale om aflastning på grund af sænkningen af vandspejlet og dermed en reel trykaflastning.

Der kan forventes let artesisk grundvand beliggende under gytje- og tørveaflejringer, idet der forventes lav permeabilitet i gytjen og tørven. Der forventes i Kolindsund et grundvandspotentialer uden dræning på omkring kote +1 m. I 1983 er der målt en grundvandsstand mellem kote -1 og -2 m. Dette forventes at være noget sænket på grund af dræningen. Der er dog stadig tale om let artesisk tryk som angivet af Hedeselskabet i 1983.

Ved fremtidige sænkninger af vandspejlet vil der fremkomme fornyede sætninger, dog i mindre omfang, da den allerede overståede sætning, da dette har reduceret dekadehældningen for gytjen.

Det er en væsentlig pointe, at enhver terrænsætning vil føre til tilstrømning af vand nedefra, kildedannelse, og dermed forøget risiko for bundbrud i områder med højtstående sandlag.

Der har i den marine gytje udelukkende været adgang til bestemmelser af vandindhold fra Kolindsund. Der er ikke truffet målinger af permeabilitet eller konsolideringsforsøg.

Vandindholdet i gytjen varierer betragteligt, specielt med forekomsten af overliggende sand- og silt-lag, og der ses typisk et tiltagende vandindhold nedefter i gytjen, inden denne afløses af en ferskvandstørve, formodentlig af nedre postglacial alder.



#### 4.1. Deformationsparametre af organiskholdige aflejringer på baggrund af vandindhold

Dannemann Andersen, J. har i 2012 afrapporteret data for tørv, gytje og organiskholdige ler- og siltaflejringses sammentrykkelighed. 50 % fraktilen er anvendt som bedste bud på nuværende tidspunkt både for dekadehældning,  $Q$  og for den sekundære krybning,  $\epsilon_s$  (figur 12). Data er publiceret i DGF-Bulletin 27 side 303.

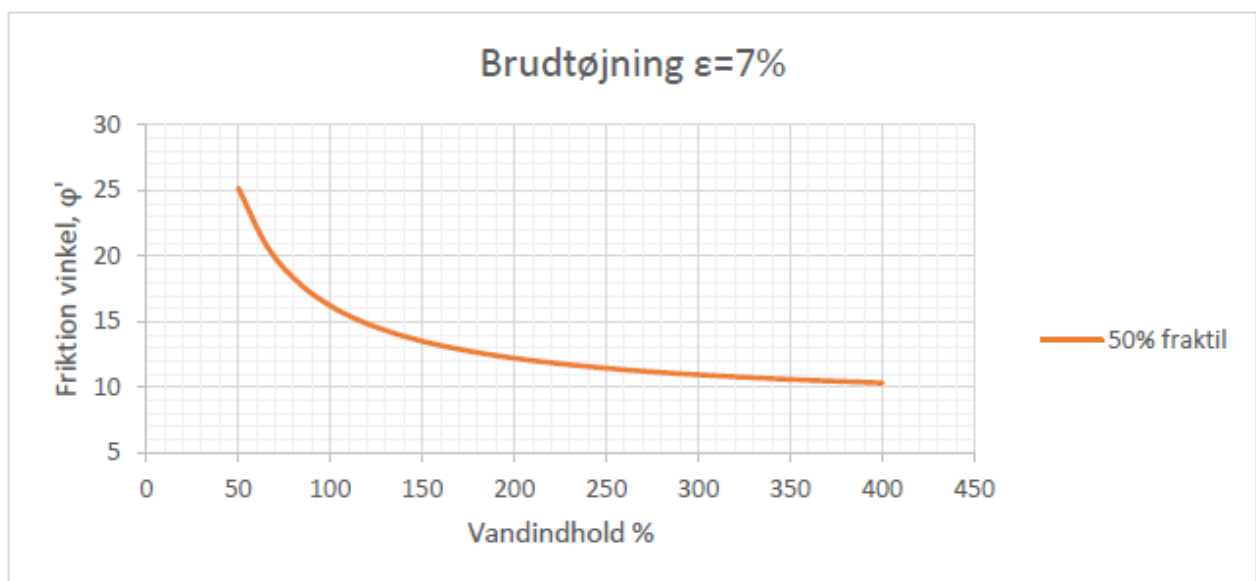
$Q = 54 \cdot (w - 9w + 75)$  hvor  $w$  er vandindhold (%)

$\epsilon_s = 2,6 \cdot \log(w - 20)$  hvor  $w$  er vandindhold (%)

Permeabilitetskoefficienten for gytje anslås til  $2E-7 \text{ m}^2/\text{s}$ .

Anvendes disse data for Kolindsund fås lidt større sætninger, end hvad der er estimeret i 1983, og de vil fremkomme langsommere. Det er dog væsentligt at dette er indenfor den forventede usikkerhed af data.

Nedenstående er gengivet Dannemanns estimat over friktionsvinklen i gytje som funktion af vandindholdet. Ud fra denne kan der estimeres en friktionsvinkel i gytjen omkring  $16^\circ$  ved et vandindhold på 100 % som i gytjen ses ved Kolind, til  $25^\circ$  ved  $W=50\%$  som bestemt ved Grenaa.



Figur 5.19: Skønnet friktionsvinkel (passivt brud,  $\epsilon=7\%$ ) for organiskholdige, normaltconsoliderede aflejringer.

Figur 12 Dannemann 2013 DGF, Skønnet friktionsvinkel for organiskholdige, normaltconsoliderede aflejringer.

## 4.2. Sætninger

Konsolidering i Kolindsundområdet er knyttet til dræningen af arealerne og der vil derfor fremkomme yderligere konsolideringssætninger ved sænkning af vandspejlet. De sætninger der er registreret igennem de sidste 140 år er primært knyttet til sænkningen af grundvandet ved tørlæggelsen af Kolindsund, hvor vandspejlet blev sænket til under kote -2,5 m. Siden da, er disse sætninger overstået og fornyede sætninger skabt ved senere sænkninger af grundvandsspejlet, for at opretholde en dyrkbar flade, er ligeledes mere eller mindre afsluttede.

Selv ved tykkelser af gytje over 20 m er sket en fuldstændig sætning siden den oprindelige sænkning af grundvandsspejlet. Undtaget herfra er dog arealer i umiddelbar nærhed af kanaler, hvor der som følge af oprensning er sket en nylig belastning af den underliggende gytje.

Sætninger i de organiske materialer i Kolindsund er derfor primært betinget af dræning og omsætning ved iltning og biologisk omsætning. Fremtidige sætninger kan derfor enten skyldes fremtidig sænkning af grundvandsspejlet og/eller nedbrydning af det organiske materiale

Iltning giver mulighed for øget biologisk aktivitet, der leder til mineralisering. Mineraliseringen er i f.eks. Nordtyskland beskrevet med en hastighed på op til ca. 1 cm/år i højmoser. (Göttlich, 1990). Der er ingen direkte data for omsætning i den lerede marine gytje eller i ferskvandsgytjen, men det er ikke urealistisk at der er tale om en omsætningshastighed i samme størrelsesorden.

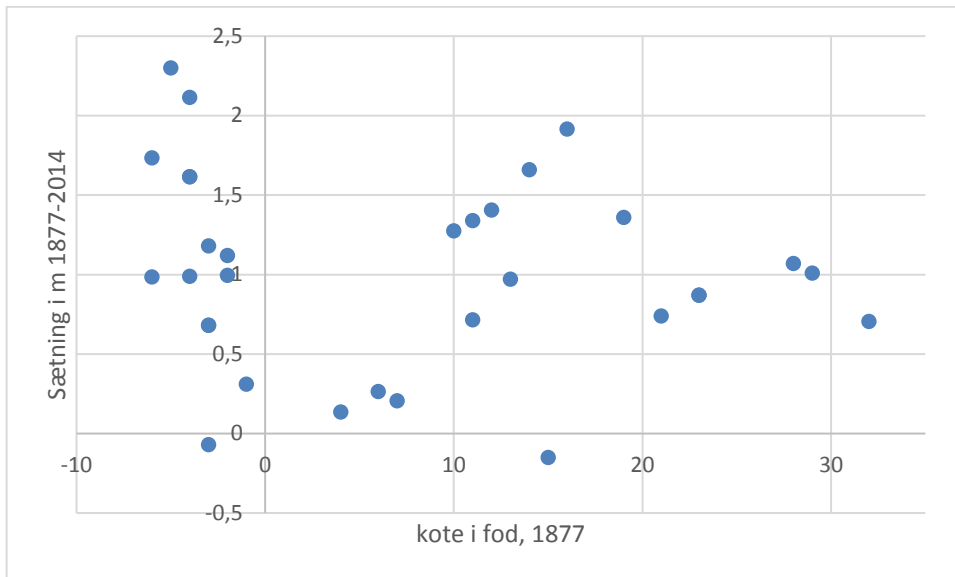
Det pointeres, at der ved dræning af tørverige lavmoseområder kan ske en nogenlunde tilsvarende proces, da fuldt udviklet lavmoser er mere eller mindre tilsvarende til højmoser i deres tekstur.

I nedenstående figur 13 er der en generel sætning i tørveområder mellem 0,7 og 2 m. Disse findes med terrænkoter over 0 m. De største sætninger er sket i områder, hvor der forventes at der er gravet tørv, hvilket forstyrrer billedet, men det synes plausibelt at postulere en generel sætning på minimum 0,7 m i tørv. Dette er sket imellem opmålingerne i 1877 og 2014/15 svarende til 5 mm pr. år i gennemsnit. Dette er på arealer der ikke har været drevet som intensivt landbrug.

I gytje under terrænkote 0 m synes sætningen at være korreleret til udgangskoten, som det fremgår af figur 13, hvilket forventeligt skyldes den nylige afvanding, og dermed mineralisering af den stærkt vandrige ferskvandsgytje fra de centrale dele af Kolindsund fra ca. 4000 før nu til år 1877.

Konsolideringen af disse aflejringer kan forventes at være afsluttet og herefter vil den overvejende sætningsgivende proces være mineralisering.

Mineraliseringen er styret af mikrobiologiske processer og kan fremmes ved gødskning og kalkning. Dette er netop disse processer der er ønskes fremmet ved drift af intensivt landbrug.



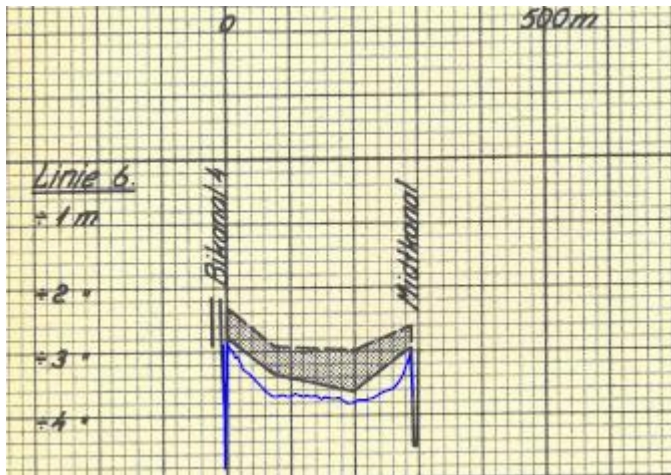
Figur 13 Sætning i m baseret på koter aflæst fra høje målebordsblade fra Kolindsund og moseområder vest for Kolindsund. Alle punkter under kote 0 er fra Kolindsund.

### 4.3. Fremtidig forventelig udvikling i de sætningsgivende materialer

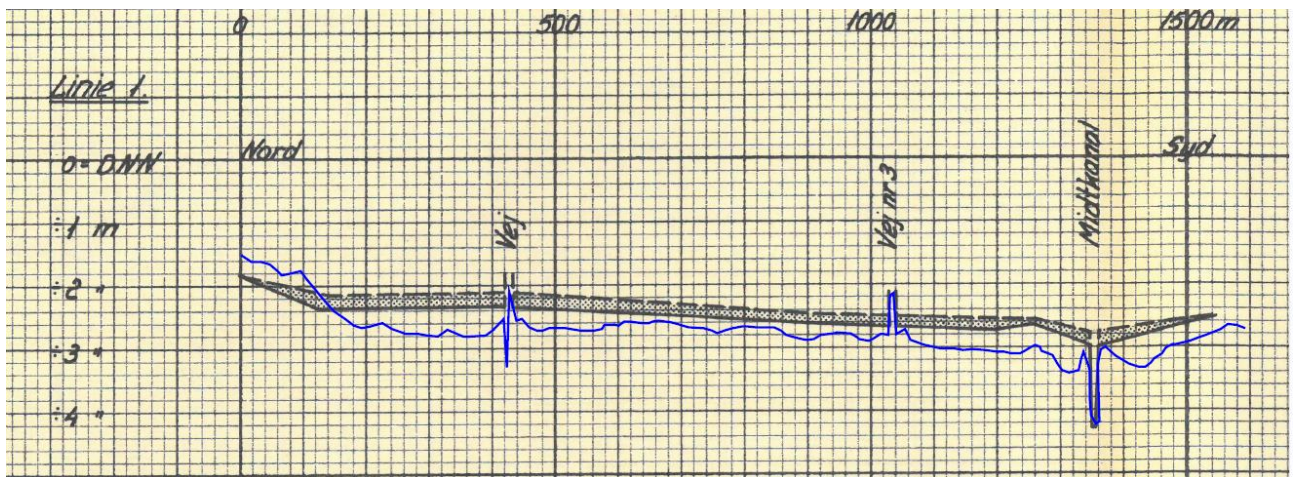
På baggrund af den lange tid der er forløbet siden den oprindelige grundvandssænkning med dertil hørende igangsætning af konsolideringssætninger er det ud fra estimerterne over drænhastigheden muligt at vise at disse sætninger nu er tilendebragt. Det pointeres ovenstående at dette er gældende for konsolideringssætningerne, og ikke mineraliseringen af de organiske aflejringer.

Øget drændybde for at fastholde afvanding genaktiverer konsolideringssætninger. Disse er forventeligt ud fra Hedeselskabets beregninger i 1983 på omkring 30 cm/m sænkning over de næste 18 år. Her er anvendt vurdering af jorden som havende en  $Q=20\%$  og en permeabilitetskoefficient på  $1E-7\text{ m}^2/\text{s}$ . Den største sætning forventes indenfor de første få år.

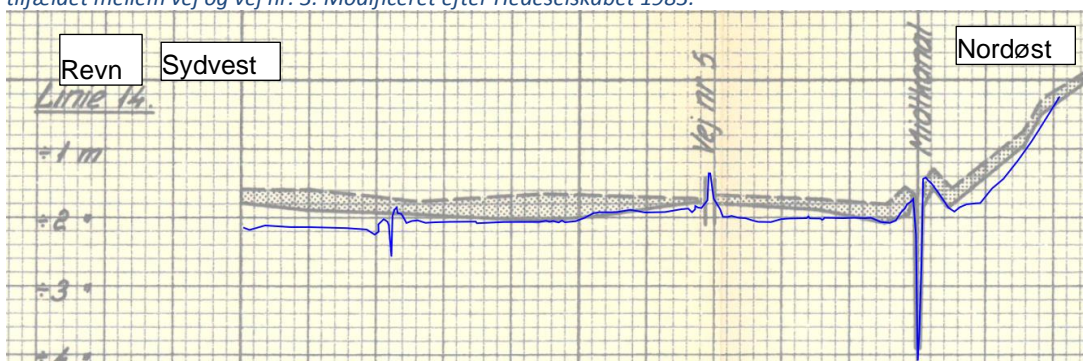
Sætninger forårsaget af omsætning grundet gødskning og kalkning er af Hedeselskabet i 1983 beskrevet til at være 2-4 mm pr år mellem 1935 og 1983. Dette kan forventes at være fortsat med forøget hastighed på grund af den forbedrede mekaniske udbringning af kunstgødning og kalk. Samlet vurderes det, at der er tale om et øget input til sætningsmængden, der får dette bidrag til at blive det primære sætningsbidrag (figur 14 og figur 15). Her er sammenstillet terrænprofiler ved to tværsnit gennem Kolindsund. Terrænprofilerne er opmålt af Hedeselskabet i 1935 og 1983 samt baseret på lidarmålinger foretaget i 2014/2015. Der er dermed hhv. 48 år og 31-32 år mellem de tre terrænprofiler. Der ses en ofte forøget sætningshastighed i fra 1983 og frem, hvilket tilskrives de forbedrede landbrugsmetoder.



Figur 14 Sammenlignede højdeprofil ved den centrale del af Kolindsund ca. 500 m øst for Ginnerup. Den stiplede linje er nivellement fra 1935, fuldt optrukket linje er nivellement fra 1983. Den blå kurve er optegning fra Lidar-scanning i 2014/2015. Der ses et tydeligt konkav sætningsmønster, hvor der er sket en tydelig sætning væk fra de to kanaler, hvor der normalt ville forventes de største sætninger på grund af både dræning og på grund af vægt at oprenset materiale. Denne sætning tolkes som forårsaget af afbrænding af det organiske stof. Modificeret efter Hedeselskabet 1983.



Figur 15 Sammenlignede højdeprofil ved den vestlige del af Kolindsund fra Sivested til Søholm. Den stiplede linje er nivellement fra 1935, fuldt optrukket linje er nivellement fra 1983. Den blå kurve er optegning fra Lidar-scanning i 2014/2015. Der ses en tydelig sætning i umiddelbar nærhed af Midtkanalen der forventeligt skyldes dræning. Mod nord ses en betragtelig sætning der tilskrives kemisk omsætning, hvilket også synes at være tilfældet mellem vej og vej nr. 3. Modificeret efter Hedeselskabet 1983.



Figur 16 Sammenlignede højdeprofil ved den østlige del af Kolindsund fra Revn mod Nordøst over Midterkanalen. Den stiplede linje er nivellement fra 1935, fuldt optrukket linje er nivellement fra 1983. Den blå kurve er optegning fra Lidar-scanning i 2014/2015. Der ses en sætning på op til 40 cm i den sydvestlige (venstre del af profilet), men der er kun sket meget begrænset sætning mod nordøst. Modificeret efter Hedeselskabet 1983.

På ovenstående baggrund forventes de fremtidige sætninger at forsætte i et omfang og med en hastighed overvejende betinget af landbrugets intensitet på arealet. Med den nuværende intensive landbrugsdrift er det ikke urealistisk skønne en sætning mellem 4 og 8 mm pr. år på grund af mineralisering. Hertil kommer yderligere konsolideringssætninger såfremt vandspejlet sænkes fra det nuværende niveau.

Den øgede observerede sænkningstakt af terrænkoten tilskrives dermed overvejende det intensive landbrug i Kolindsund.

I den østlige del af Kolindsund nær Grenå ses kun begrænsede sætninger, se Figur 16. Dette tilskrives forekomsten af overvejende marine gytjeaflejringer med sandlag.

Vest for Kolind har tørvegravning for en stor del forstyrret billedet af hvorledes sætningsforløbet har været hidtil.

Arealerne kan forventes at være i nogenlunde ligevægt med hensyn til belastningssætninger som følge af tidligere sænkninger af grundvandet. Gødsning kan føre til yderligere sætninger ved mineralisering, men da der næppe etableres intensivt landbrug på arealerne forventes en sætning som følge af mineralisering på ikke over 5 mm pr. år. Ved sænkning af grundvandet skal der forudses en betydelig sætning formodentlig stadig med  $Q = 40 \%$ .

## 5. Fremtidige undersøgelser

Til at beskrive den fremtidige udvikling af terrænforholdene i Kolindsund, anbefales det at udarbejde kort gennem flere perioder med tilhørende hastighed af sætninger. Disse kort kan baseres på arealscanninger foretaget de sidste ca. 12 år, hvorved der kan foretages detaljerede volumenberegninger baseret på et stort datasæt.

Til dette findes der i dag relativt omfattende Lidarscanninger af Danmark. Ved Kolindsund findes data fra mindst de sidste 12 år og muligvis længere tilbage. Disse er formodentlig det bedste værktøj til at fastlægge vertikale bevægelser i de organiske aflejringer i Kolindsund.

Endvidere bør det overvejes at kortlægge de anvendte metoder til dyrkning og gødskning af markerne. Såfremt arealer har været udtaget til braklægning gennem en længere periode ville dette give mulighed for at studere, om der sker en ændring af omsætningshastigheden på disse arealer.

Såfremt der ændres på vandspejlet i Kolindsund i opadgående retning, kan de miljømæssige konsekvenser formodentlig for en stor del beskrives med inspiration og sammenligning med data fremkommet på Aarhus Universitet i forbindelse med forskningsprojekter knyttet til genoversømmelsen af Gyldensteen Strand, Bogense.



*Figur 17: Sætninger af dæmning ved overførsel af cykelsti ved Thorsagervej, her set mod nord. Dæmningen er ca. 1,2 m over omgivende terræn. Der er sket en sætning på ca. 15 cm ved cykelstien. Der er ikke sporet sætninger af betydning i vejen. Cykelstien blev etableret omkring 2006. Thorsagervej var etableret i 1944.*



**C2C** Coast to Coast  
Climate Challenge



**C2C** Coast to Coast  
Climate Challenge