

De geologiske forhold ved Risø

Redegørelse udarbejdet på basis
af eksisterende data

Peter Gravesen & Stig A. Schack Pedersen



De geologiske forhold ved Risø

Redegørelse udarbejdet på basis
af eksisterende data

Peter Gravesen & Stig A. Schack Pedersen

INDHOLDSFORTEGNELSE.....	2
LISTE OVER FIGURER	3
1. INDLEDNING OG FORMÅL.....	4
2. ARBEJDSFORM OG METODER.....	5
3. BESKRIVELSE AF DE GEOLOGISKE ELEMENTER	6
3.1 OMRÅDET	6
3.2 OVERFLADEGEOLOGI	6
<i>Terrænforhold</i>	6
<i>Geologisk kortlægning og jordartsfordeling</i>	6
3.3 KYSTPROFILER	7
<i>Lokalisering</i>	7
<i>Geologisk opbygning</i>	8
3.4 BORINGER	9
<i>Lokalisering</i>	9
<i>Formål og kvalitet</i>	9
3.5 BESKRIVELSE AF JORDLAGENE UD FRA BORINGERNE.....	11
<i>Gennemgang af jordlagene på grundlag af boreprøvebeskrivelser</i>	11
<i>Danien</i>	11
<i>Selandien</i>	11
<i>Aflejringer fra istiden (Weichsel)</i>	11
<i>Aflejringer afsat efter istiden</i>	13
3.6 SAMMENSTILLING AF DEN GEOLOGISKE OPBYGNING OG STRUKTURER	13
<i>Geologisk modeller</i>	13
<i>Model 1: De kvartærgeologiske forhold</i>	13
<i>Model 2: Kvartær, Selandien og Danienforholdene</i>	15
3.7 SAMMENFATTENDE BEMÆRKNINGER OM DE GEOLOGISKE FORHOLD	22
4. BEVÆGELSER I UNDERGRUNDEN	23
4.1 GEOLOGISKE INDIKATIONER.....	23
<i>Isostasi siden Weichselistiden</i>	23
<i>Strukturer ved grænselagene mellem Kvartæret og de ældre aflejringer</i>	23
<i>Undergrundstektonik - dybereliggende geologiske forhold</i>	23
<i>Nuværende registrerede bevægelser, neotektoniske bevægelser</i>	24
4.2 REGISTRERET SEISMISK AKTIVITET	25
<i>Seismisk aktivitet</i>	26
<i>Størrelsesforhold</i>	27
4.2 SAMMENFATNING AF DE STRUKTURGEOLOGISKE FORHOLD	28
5. BESKRIVELSE AF HYDROGEOLOGISKE ELEMENTER	29
5.1 GRUNDVANDSNIVEAU	29
<i>Grundvandets oprindelige niveau</i>	29
<i>Udvikling i grundvandsniveau</i>	30
5.2 GRUNDVANDETS STRØMNING	30
<i>Strømningsforhold</i>	30
<i>Nedsivning og transport</i>	31

6. EFFEKTER AF KLIMAÆNDRINGER	33
6.1 PROGNOSE FOR KLIMAÆNDRINGER	33
<i>Temperatur og nedbør, storme og ekstreme</i>	33
6.2 ÆNDRINGER I HAVNIVEAU	33
<i>Generelle forhold</i>	33
6.3 OVERSVØMMELSER OG STORMFLODER	34
<i>Ekstreme hændelser</i>	34
6.4 EROSION AF KYSTEN	34
<i>Ændringer af kystlinien</i>	34
6.5 GRUNDVANDSÆNDRINGER	35
6.6 EVENTUELLE EFFEKTER	35
7. AFSLUTTENDE BEMÆRKNINGER	36
<i>De geologiske forhold</i>	36
<i>De strukturgeologiske forhold</i>	36
<i>Grundvandsforholdene</i>	36
<i>Klimaændringer</i>	36
8. ANBEFALINGER TIL VIDERE UNDERSØGELSER	37
9. LITTERATURLISTE	39

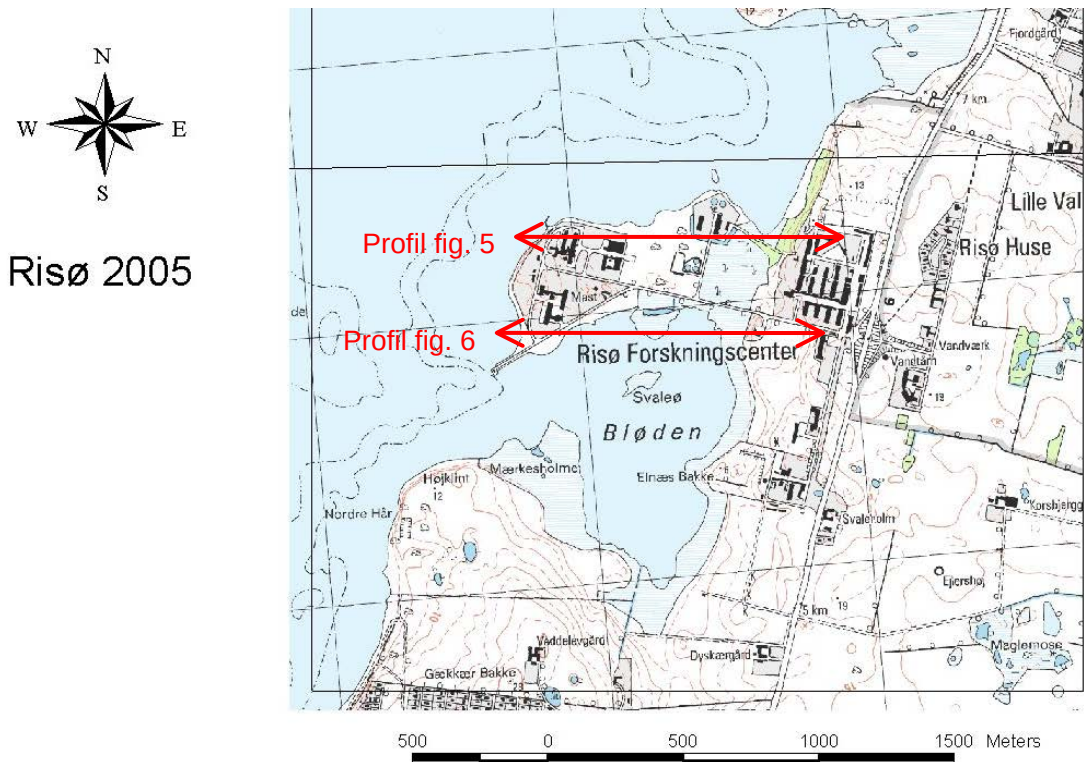
Liste over figurer

FIGUR 1. OVERSIGTSKORT OVER RISØ (KMS TOP10 DK).	4
FIGUR 2. HØJDEMODEL OVER RISØ OG OMEGN.	7
FIGUR 3. GEOLOGISK KORT OVER RISØ OG OMLIGGENDE LANDOMRÅDE.	8
FIGUR 4. KORT OVER BORINGER, SOM FINDES I GEUS BOREARKIV FOR RISØ'S OMRÅDE.	10
FIGUR 5. GEOLOGISK TVÆRPROFIL AF DEN NORDLIGE DEL AF RISØ HALVØEN.	14
FIGUR 6. GEOLOGISK TVÆRPROFIL AF DEN SYDLIGE DEL AF RISØ HALVØEN.	14
FIGUR 7. GEOLOGISK TVÆRPROFIL LANGS LINIEN RISØ N.	17
FIGUR 8. GEOLOGISK TVÆRPROFIL LANGS LINIEN RISØ S.	18
FIGUR 9. GEOLOGISK TVÆRPROFIL LANGS LINIEN VEDDELEV N.	19
FIGUR 10. GEOLOGISK TVÆRPROFIL LANGS LINIEN VEDDELEV S.	20
FIGUR 11. GEOLOGISK BLOKDIAGRAM VISE ROSKILDE OG RISØ FORKASTNINGERNE	21
FIGUR 12. OVERSIGTSKORT OVER FORKASTNINGER OG GEOLOGI PÅ PRÆKVARTÆROVERFLADEN.	24
FIGUR 13. KORT OVER BELIGGENHED AF JORDSKÆLVSEPICENTRE	25
FIGUR 14. GRUNDVANDSPOTENTIALEKORT (FRA NIRAS 2004).	31
FIGUR 15. KORT OVER EROSION OG AFLEJRING LANGS KYSTEN MELLEM 1896 OG 2001	35

1. Indledning og formål

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) har indgået en aftale med Forskningscenter Risø og Dansk Dekommisionerings selskab om at udarbejde en rapport om de geologiske forhold på Risø's grund ved Roskilde Fjord. Rapporten udarbejdes på grundlag af eksisterende materiale i en række arkiver og databaser.

Rapporten skal i konklusioner og anbefalinger pege på behovet for eventuelle yderligere undersøgelser, som skal være med til at danne grundlag for beslutninger om den fremtidige anvendelse af Risø-området.



Figur 1. Oversigtskort over Risø (KMS Top10 DK). Der ses de tre zoner: Halvøen, kystområdet (blåt område) og landområdet. Beliggenheden af de to geologiske tværprofiler, som er vist på Figurene 5 og 6, er desuden angivet med rødt.

2. Arbejdsform og metoder

Opgaven er i første omgang at anvende eksisterende oplysninger (kaldet fase 1), mens videregående undersøgelser kaldes for fase 2.

Følgende datakilder er inddraget i fase 1:

GEUS:

- a. Originale geologiske kort og dagbogsmateriale
- b. Jordartskortdatabase og digitale kort
- c. Borearkivdata og boreprøvemagasin
- d. Boringsdatabase og boringsdatakort
- e. Seismologisk database og arkiv
- f. Grundvandspejledatabase
- g. Geologisk litteratur (incl. rapporter)

RISØ:

- a. Kort over området med veje og bygninger m.m.
- b. Vandforsynings – og grundvandsdata

Der er desuden foretaget et feltbesøg på området, hvor både terrænforholdene og de geologiske forhold er blevet bedømt. På en enkelt lokalitet er foretaget en indledende undersøgelse af nogle af aflejringerne.

3. Beskrivelse af de geologiske elementer

3.1 Området

Risøs område ses på Fig. 1. Arealet er på i alt 2,4 km². Området er beliggende ud mod Roskilde Fjord ca. 2,5 km nord for Roskilde på begge sider af Frederiksborgvej 399.

3.2 Overfladegeologi

Terrænforhold

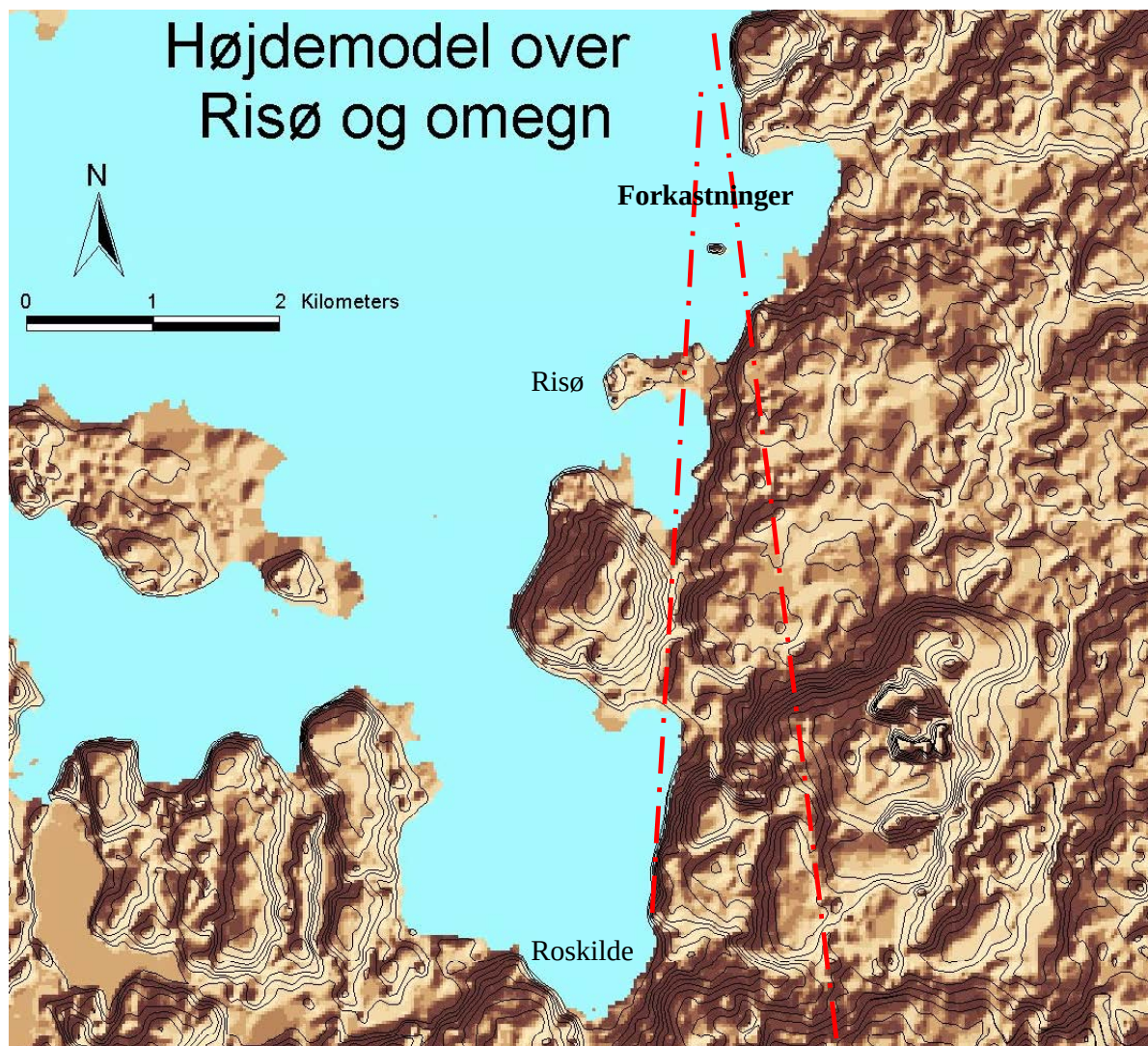
Terrænet på Risø's område kan opdeles i fire delområder: Risø halvøen, kystområdet, landområdet og Veddeliv nord (Fig. 1). Det meste af halvøen er lavtliggende fra omkring kote 0 og +1 m nær fjorden til omkring kote + 2 - 3,5 m længere inde. Der er desuden et højtliggende område yderst på halvøen mod vest, som når op i ca. kote + 8,5 m samt et mindre område øst herfor, der når op i kote + 5,5 m. På den nordlige del af Veddelev halvøen når terrænet op i kote + 15 m.

Indenfor kystområdet stiger landskabet jævnt fra vest mod øst fra kote 0 til ca. + 2,5 til + 3 m, hvor der er en naturlig grænse til et stedvis stærkt stigende terræn.

Landområdet, som er forsættelse af kystområdet når op til kote + 19 m helt mod øst, men der er flere små lavninger undervejs. En terrænhøjde model for et større område incl. Risø's område ses på Fig. 2.

Geologisk kortlægning og jordartsfordeling

Kortlægningen af de geologiske aflejringer i overfladen blev udført før år 1900 (Rørørdam, 1899). Det geologiske kort (Fig. 3) viser fordelingen af jordarter ned til ca. en meters dybde, hvor moræneler fra istiden (brun farve) og blødbundsdaner (havaflejringer vist med blå farve og ferskvandsaflejringer vist med grønne farver) fra tiden efter istiden helt dominerer. Desuden er der et mindre område med smeltevandssand og grus (rød farve). Det oprindelige korts oplysninger er blevet sammenholdt med nyere observationer fra borer og feltbesøg (se afsnit 3.5 og 3.6).



Figur 2. Højdemodel over Risø og omegn. Sporet af de to mest fremtrædende forkastninger i området er indtegnet, og som det ses falder de sammen med landskabselementer så som kystlinien og visse dalpartier.

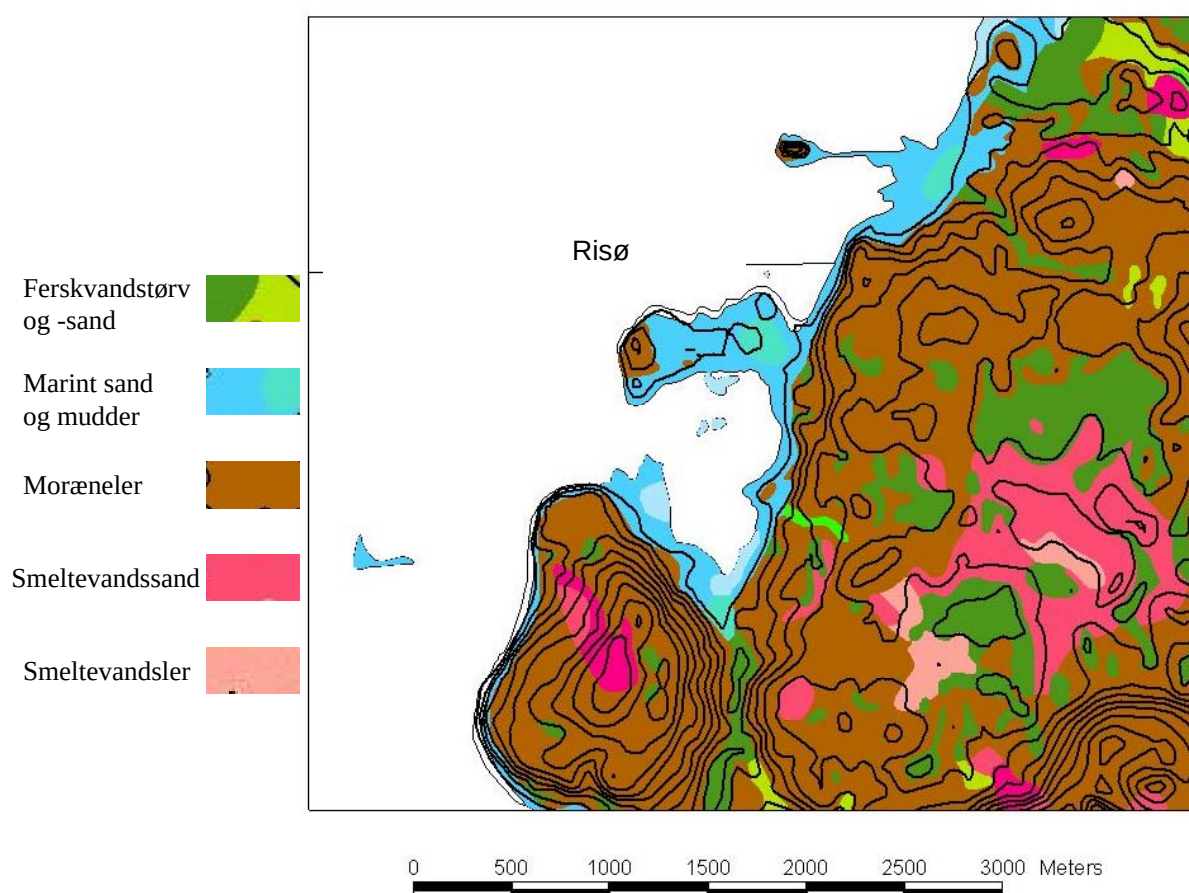
3.3 Kystprofiler

Lokalisering

På halvøen helt mod vest findes en kystklint langs det højtliggende område. Det synlige profil kan ses over en ca. 200 m lang strækning. Klinten er delvis sikret med store sten, og en del er tilgroet. Det er muligt se et 2-3 m tykt profil øverst oppe i klinten, mens de nedre dele er tilvokset og tilskredet. Desuden er der kystklinter nord og syd for Risø på henholdsvis nordvestsiden af Veddelev halvøen, på vestsiden af Bolund og sydvestsiden af Avernakke.

Geologisk opbygning

På Risø halvøen ses øverst et tyndt brunt muldlag. De øverste meter herunder består af sandet, gulbrunt moræneler med en del grus og sten. Moræneleret er iltet, men kun udvasket i mindre grad, da der stadig kan ses et kalkindhold (som korn og findelt i matrix). Der forekommer en hel del vertikale sprækker og rødder, hvoraf både de største sprækker og rødder strækker helt i gennem det ca. 2,5 m blottede geologiske profil. Moræneler synes umiddelbart meget ensartet gennem hele den ca. 200 m lange kystblotning, men detaljerede undersøgelser af lokaliteten er ikke blevet foretaget. Profilerne på halvøerne nord og syd for Risø er endnu ikke blevet undersøgt.



Figur 3. Geologisk kort over Risø og omliggende landområde. Kortet viser jordarterne i 1 meters dybde.

3.4 Boringer

Lokalisering

Borearkivet ved GEUS indeholder 150 boringer beliggende indenfor Risø's område (Fig. 4). De fleste boringer findes på Risø halvøen og området lige øst herfor, hvilket gør, at der er flest informationer om de geologiske forhold her. I resten af området er der således kun få spredte boringer, især mod øst og syd. Boringerne er nummeregivet i GEUS system under kortbladet 199. Dette efterfølges af et løbenummer, så et typisk nummer er 199.606.

De fleste er geotekniske boringer, som ikke generelt er blevet indlæst i GEUS Jupiter boringsdatabase, der især indeholder vandforsynings- og råstofboringer. Der er således kun udvalgt få geotekniske til databasen.

Boringsoplysningerne, der er anvendt til at belyse de geologiske forhold udenfor Risø's område, kan ses af det Geologiske Basisdatakort 1513 Roskilde IV (Salinas, 1993).

Formål og kvalitet

Boringerne er udført til forskellige formål, men langt de fleste er som omtalt geotekniske boringer fra årene 1950-1960, der er udført i forbindelse med opførelse af bygningerne i området. Derudover findes der tre vandforsyningsboringer samt et antal undersøgelsesboringer, som er udført i forbindelse med forskellige forskningsprojekter. De er boret indenfor perioden 1958 - 1990.

Boreddybderne varierer meget, især er der mange geotekniske boringer, som kun er 2-3-m dybe, mens vandforsyningsboringer og undersøgelsesboringer ofte går gennem de yngre kvartære lag og ned i de ældre prækvartære lag. Boringernes kvalitet set i relation til den geologiske beskrivelse er generelt god. Der er en forskel i prøvebeskrivelsesmetodik mellem de geotekniske boringer og de øvrige boringer, men i denne sammenhæng har det mindre betydning (Larsen et al. 1988).

Frants kort over boringer på A3 format

Figur 4. *Kort over boringer, som findes i GEUS Borearkiv for Risø's område.*

3.5 Beskrivelse af jordlagene ud fra boringerne

Gennemgang af jordlagene på grundlag af boreprøvebeskrivelser

Der er foretaget en manual gennemgang af alle borejournaler i Borearkivet, og de undersøgte og beskrevne boreprøver viser, at nedenstående aflejringer er tilstede i området ned til dybder af ca. 75 meter.

Jordlagenes koder angives i den korte beskrivelse, så de kan sammenholdes med det Geologiske Basisdatakort 1513 IV Roskilde fra 1989 (i Salinas, 1993). Aflejringerne er omtalt efter alder med de ældste først: De prækvarter aflejringer fra Danien og Selandien tidsafsnittene og derefter de kvartære aflejringer.

Danien

De ældste lag fra tidsafsnittet Danien er fra 65 til 61 mio. år gamle.

Danien lagene er alle aflejret i havet og består af forskellige typer hvide og lysegrå kalkaflejringer med flintindhold. Kalksandkalk (KK, ZK) er en oftest hård, tæt bjergart, der kan være rig på grå og brungrå flint. Flint er en siliciumrig tæt bjergart. Slamkalk (LK) er blød og består af finkornet kalkslam med grå flint. Bryozokalk er en løs og blød bjergart, der indeholder fint kalkslam og mange bryozoa (kolonidannende dyr) samt grå flint. Kalklagene er gode grundvandsmagasiner, der ofte kan yde store vandmængder.

Selandien

Danien kalken overlejres stedvis af lag fra Selandien, som tidsmæssigt ligger i intervallet mellem 61 til 58 mio. år siden. Aflejringerne fra Selandien består af to hovedtyper af jordarter, der er aflejret i havet. Olivengråt fedt til ret fedt ler (Palæocænt ler, PL) med siltstriber og højt kalkindhold er den ene type, som ofte indeholder opbrudte kalkpartikler. Den anden type er ret hård, leret kalk (Grønsandskalk, PK) med fossiler (overvejende rester af skalbærende dyr). Begge typer indeholder det grønne mineral glaukonit, ofte i store mængder, og dette mineral anses for at blive dannet i havet. De to typer kan både træffes som relativt tykke lag, men også som tynde lag, der veksler med hinanden. Lagene udgør et godt grundvandsmagasin, der kan yde store vandmængder.

Aflejringer fra istiden (Weichsel)

De kvartære lags tykkelse er væsentlig forskellig i henholdsvis de vestlige og østlige del af Risø området. Mod vest på Risø halvøen når lagenes tykkelse op på omkring 45 meter, mens de mod øst og syd ligger på omkring 10 og 25 meter. Opbygningen af lagfølgen (som beskrives nærmere i afsnit 3.6) er således også forskellig. Derfor gennemgås lagenes sammensætning oversigtligt opdelt i

vest, syd og øst. Istidslagene anses alle for at være fra sidste istid, Weichsel, som fandt sted fra ca. 117.000 til 11.500 år siden.

Mod vest (halvøen)

Øvre moræneler

De øverste istidslag består af siltet, sandet, brungråt og olivengråt moræneler (ML) med vekslende indhold af grus og sten. Stedvis kan der allerøverst være moræneler med gul eller brunt farve på grund af iltning. Moræneleret er næsten altid kalkholdigt d.v.s., der er ikke sket en større kalkudvaskning efter istiderne. Lagtykkelser er på 5 – 10 meter.

Smeltevandsaflejringer

Under det øvre moræneler træffes smeltevandsaflejringer. Der er forholdsvis tykke lag af siltet eller ret fedt, olivengråt smeltevandsler (DL), som undertiden veksler med smeltevandssilt (DI) og finkornet smeltevandssand (DS) i tynde lag. Lagene er alle kalkholdige. Tykkelserne er på op til omkring 20 meter.

De mere grovkornede smeltevandsaflejringer består af brungråt sand, grus og sten i forskellige kornstørrelser (DS, DG, DV). Lagene er kalkholdige. Lagtykkelser er op til 8 meter.

Nedre Moræneler

Nederst i lagfølgen træffes siltet, sandet, olivengråt moræneler (ML) med indhold af grus og sten samt stedvis tynde lag af morænesand og grus. Alle lag er kalkholdige, og lagtykkelser er på 10-15 meter.

Stedvis er der desuden smeltevandsaflejringer under nedre moræneler, bl.a. sand og grus lag.

Mod syd i kystområdet

I dette område langs kysten kan de kvartære lag nå en tykkelse på omkring 20 meter, men de kan opdeles i de samme tre enheder som for halvøen. Jordartsbeskrivelsen er i store træk den samme, bortset fra at moræneleret nederst indeholder store mængder kalk (kalkmoræne), mens tykkelserne er : Øvre moræneler er 5-8 meter, smeltevandsaflejringer er 2-7 meter og nedre moræneler er 5-8 meter.

Mod øst i landområdet

I området fra kysten og ind i land dominerer "øvre" moræneler med tykkelser på 10-20 meter, mens der findes tynde indslag af smeltevandsaflejringer især nederst i moræneleret ved grænsen til prækvartæret. Det er de samme jordartstyper som i de andre områder.

Aflejringer afsat efter istiden

De øverste lag på halvøen og langs kysten i øvrigt er fra tiden efter den sidste istid, nærmere bestemt Postglacial tiden, som startede for 11.500 år siden. De dybeste boreriger viser, at der på halvøen stedvis er op til 4 meter tykke ferskvandslag mellem kote – 4 og –7 m, som er aflejret i lavninger i morænelerster-rænet. Ferskvandslagene er aflejret i søer og sumpe og består af tørv, gytje, planterester (ved og trærester), sand samt kalkgytje i flere tilfælde med skalrester (FP, FT, FS). Herover følger havaflejringer i form af gytje, ler, sand og grus (HP, HL, HS, HG) ofte med indhold af skalrester, alt i tynde lag på op til ca. 7 meter. De fleste steder er de marine aflejringer dog kun få meter tykke, men kan findes helt op til omkring kote + 3,5 m (se også Mertz, 1924). Der desuden i de marine lag fundet køkkenmøddinger ved foden af den stejle skrænt ind mod landområdet (Milthers, 1935).

I og lige under jordoverfladen findes der et tyndt, brunt muldlag (M).

Eksisterende boreprøver

Der er opbevaret antal boreprøver fra nogle af borerigerne i GEUS prøvemagasin, som kan undersøges på ny, hvis det viser sig nødvendigt at bekræfte en foreliggende jordartsbeskrivelse.

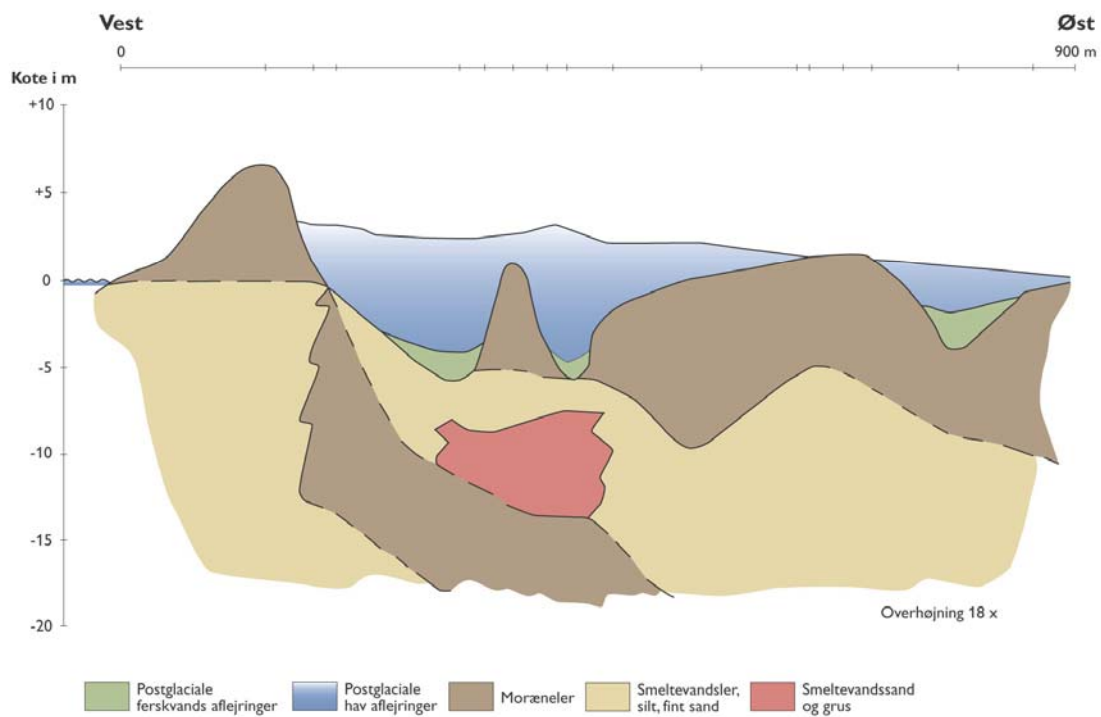
3.6 Sammenstilling af den geologiske opbygning og strukturer

Geologisk modeller

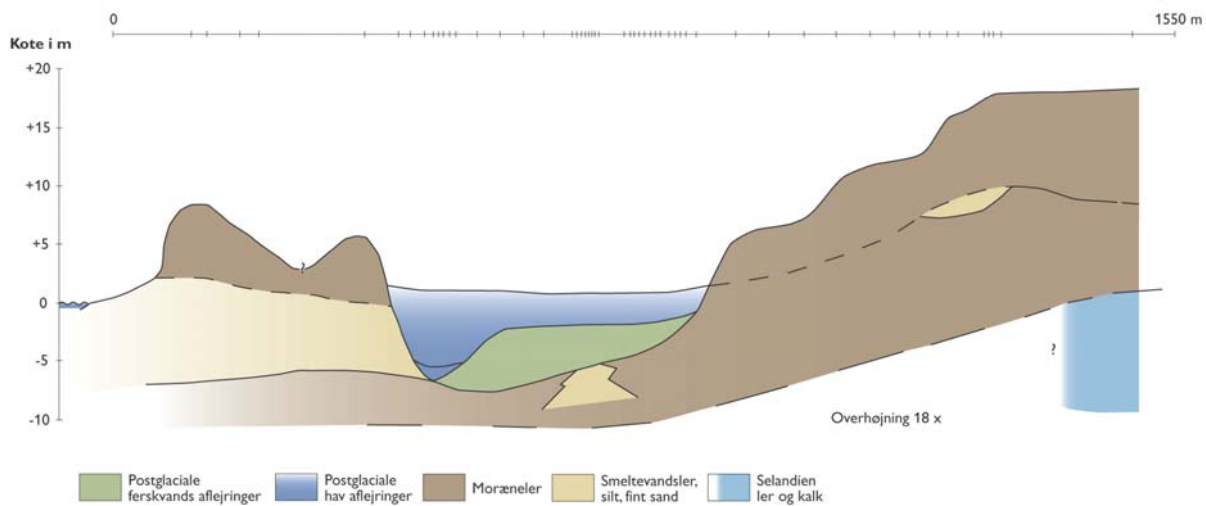
For at illustrere de geologiske forhold i området er der beskrevet to modeller i to forskellige målestoksforhold: (1) En lokal model indenfor Risø's område, som kun omfatter de kvartære aflejringer til ca. 20-30 meters dybde, er vist ved to geologiske profiler. (2) En regional model, som inkluderer de geologiske lag ned til ca. 75 m under jordoverfladen, viser de strukturelle forhold indenfor et større område. Modellen er illustreret ved fem geologiske tværprofiler.

Model 1: De kvartærgeologiske forhold

Model 1 viser detaljer om de øverste jordlags sammensætning og strukturer, og den er demonstreret ved to tværprofiler: Et nordligt V-Ø profil 1 (Fig. 5) og et sydligt V-Ø profil 2 (Fig.6). De to profilens beliggenhed ses på Fig.4. Profilerne viser således de geologiske forhold på halvøen og landområdet ud for halvøen, hvor det er muligt på grundlag af datagrundlaget. De er således ikke nødvendigvis dækkende for resten af Risø's område, men profilerne viser dog også mere generelle forhold indenfor hele området.



Figur 5. Geologisk tværprofil af den nordlige del af Risø halvøen.



Figur 6. Geologisk tværprofil af den sydlige del af Risø halvøen.

Over kote + 3,5 m er det øvre moræneler den helt dominerende jordart, både fra jordoverfladen og helt ned til 15 meters dybde. Moræneler er næsten alle vegne også underlag for de postglaciale lag. Under det øvre moræneler er det smeltevandsler, silt og fint sand, ofte i tynde vekslende lag, som er fremtrædende, men der er også inkluderet isolerede lag af mere grovkornet smeltevands-sand og grus. Herunder følger nedre moræneler, som dog også kan findes direkte under øvre moræneler. Både moræne –og smeltevandsaflejringerne fra Weichselistiden er aflejrede fra gletscheris eller er aflejret af smeltevand og formodes at have været isbelastede på et tidspunkt i dannelsesprocessen og dermed konsoliderede. Opbygningen svarer godt til den generelle lagfølge, der i øvrigt kendes fra Roskildeegnen (Jacobsen, 1984).

På halvøen viser udbredelsen af de postglaciale lag dannet i både ferskvand og havvand, hvordan der efter istiden var eller blev dannet et betydeligt relief i terrænoverfladen, som bestod af moræneler eller smeltevandslag. Både profilerne og det nuværende landskab viser, hvordan istidslandskabet har stået med stejle skrænter ud mod havet. Der blev dog først aflejret ferskvandslag i lavningerne og derefter marine lag i et kystsystem, hvor der kun lå enkelte øer tilbage, der ikke blev havdækket. De postglaciale blødbundslag, som indeholder en del organisk materiale, er normalt ukonsoliderede.

På halvøen består tre områder af moræneler fra terræn (Fig. 5), mens der i kystområdet er et tyndt lag havaflejringer over moræneleret. På landområdet er der ligeledes moræneler til større dybde med kun få andre lagtyper (Fig. 6) (Majborn et al., 1988). De prækvartære lag nås i en boring lidt under kote 0 m. I sidstnævnte område er der dog kun få data.

Model 2: Kvartær, Selandien og Danienforholdene

Model 2 er baseret på relativt få boringer fra Risø, men som til gengæld viser vigtige træk af den strukturelle opbygning, som også kan dokumenteres udenfor området. Dette er vist på fire profiler, hvis beliggenhed også ses på figurerne (figs. 7, 8, 9, 10).

Hovedelementerne er to forkastningszoner (normalforkastninger), som passerer N-S gennem området (Fig. 2). En forkastning er en forskydning i jordlagene i vertikal eller horisontal retning. Her kan registreres vertikale forskydninger i lagene fra Danien og Selandien.

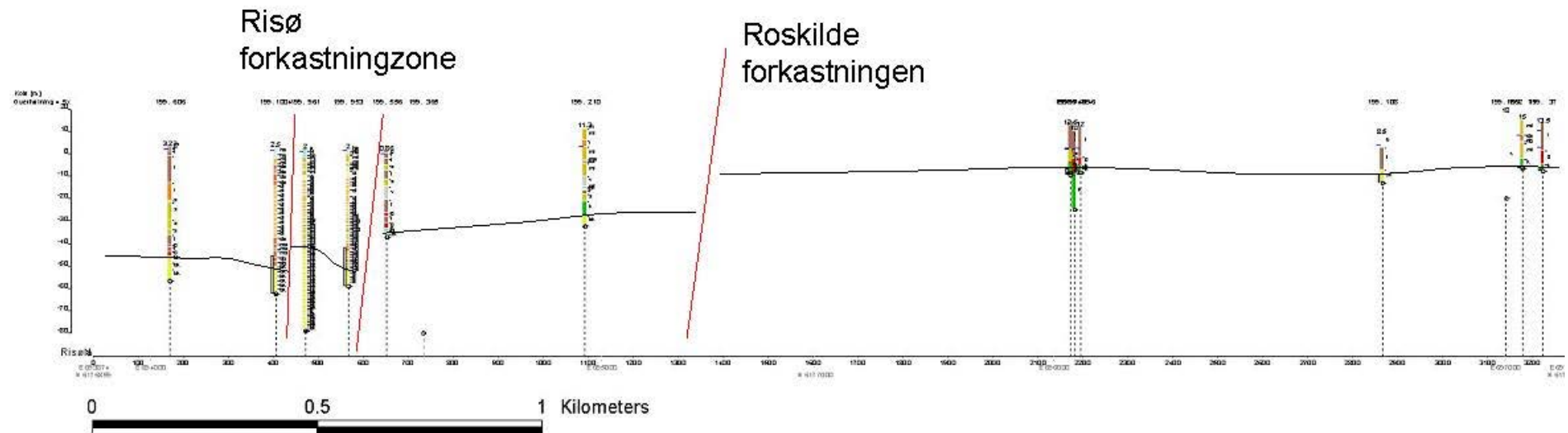
Roskilde forkastningen har været kendt som et hovedelement i den strukturelle opbygning af lagene på Sjælland (Hovedstadsrådet, 1982, Bondesen, 1984) og kan følges nord og syd for Risø's område. Roskilde forkastningen ligger længst mod øst omkring østgrænsen for Risø's område. Lagene vest for forkastningen er forsat nedad, og Selandien lagene kan træffes her. Lagene øst for forkastningen er forsat opad, og der træffes kun Danien lag. Der er en forskel på omkring 10 meter (kaldes springet) mellem lagene på de to sider.

Mod vest er påvist to tætliggende forkastninger, kaldet Risø forkastningen, som er forskydninger i Danien lagene. De ligger under Risø halvøen og skærer under syddelen af Risø's område (Figs. 2 og 11). Begge forkastninger kan genfindes på de fire profiler (Figs. 7, 8, 9, 10) samt yderligere mod nord og syd.

Forkastningerne kan ikke følges op i de kvartære lag ud fra de eksisterende oplysninger, og det kan derfor ikke bestemmes om der sker nutidige bevægelser af betydning i lagene (neotektonik) (men se afsnit 6).

De kvartære aflejringer ligger som en 50 til 60 meter tyk lagpakke over de ældre lag og deres forkastninger. De mest fremtrædende enheder er to moræneler-senheder med få mellemliggende finkornede smeltevandsaflejringer (kan være svære at adskille) samt yderligere en underliggende ca. 40 m tyk lagserie med finkornede smeltevandsaflejringer over lagene fra Selandien og Danien. Mod øst tynder kvartæret ud med moræneler liggende ovenpå grovkornede smeltevandsaflejringer. Mod Roskilde Fjord ses de overliggende postglaciale lag. Det er ud fra de foreliggende oplysninger ikke muligt at udtale noget præcist om de strukturelle forhold i de kvartære lag, men strukturer i profil 1 fra den lokale model kan antyde forstyrrelser af lagene på grund af oppresninger fra gletscheris (glaciale tektoniske påvirkninger).

Profil RisøN

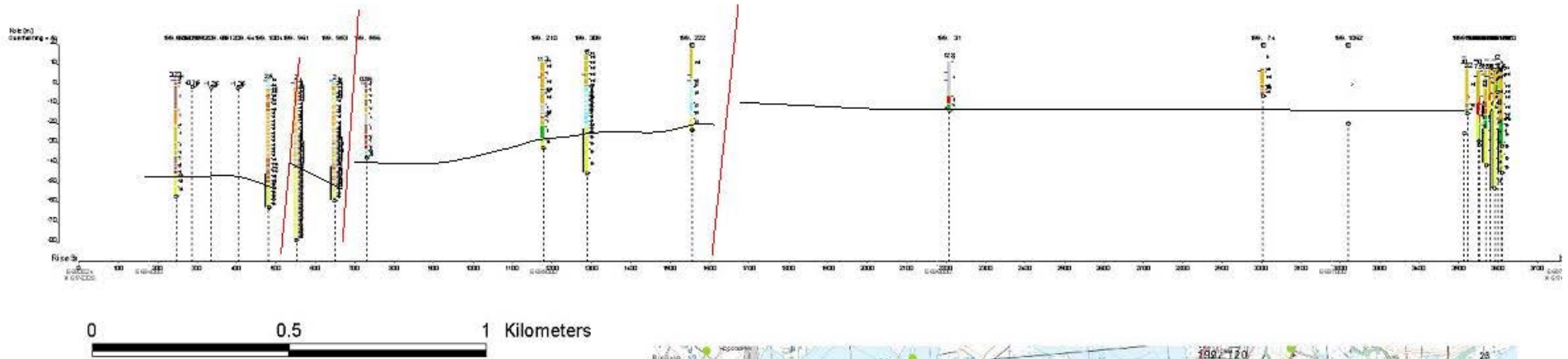


Figur 7. Geologisk tværprofil langs linien Risø N.

Profil RisøS

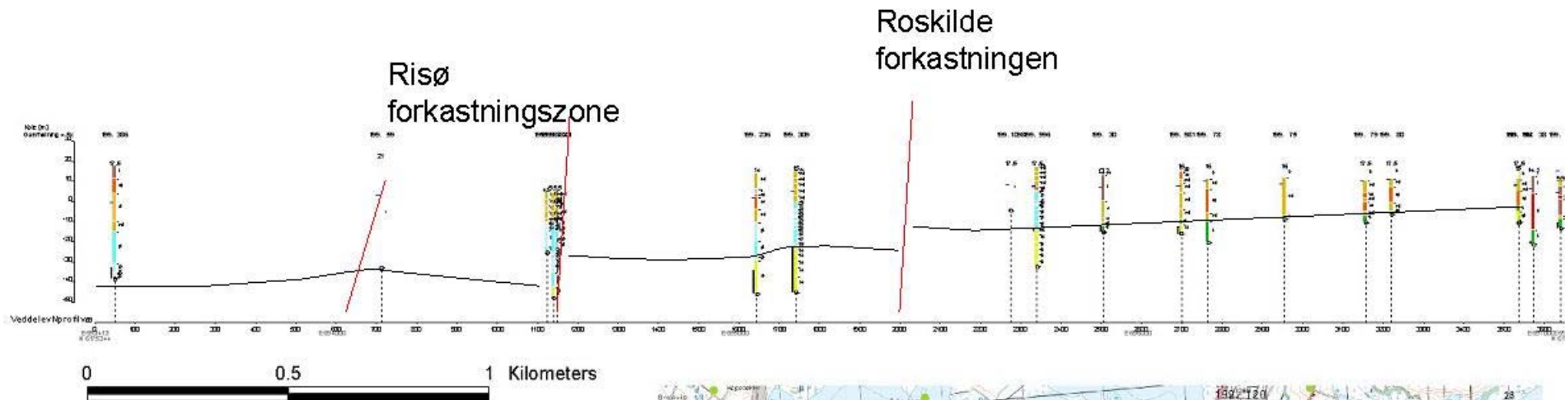
Risø
forkastningszone

Roskilde
forkastningen



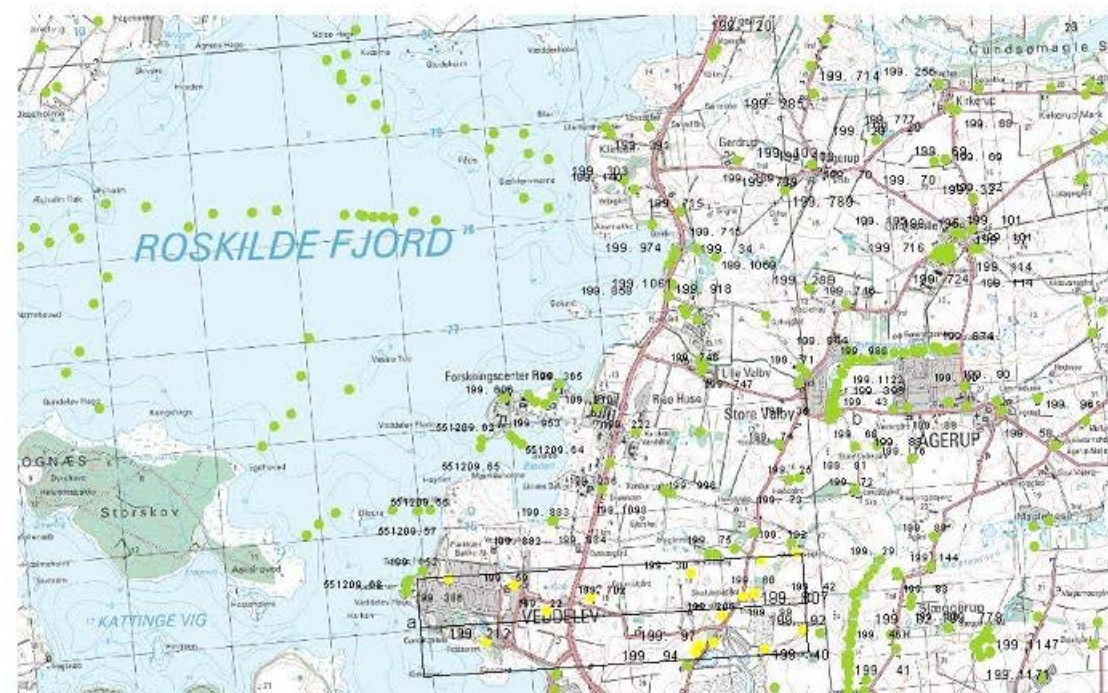
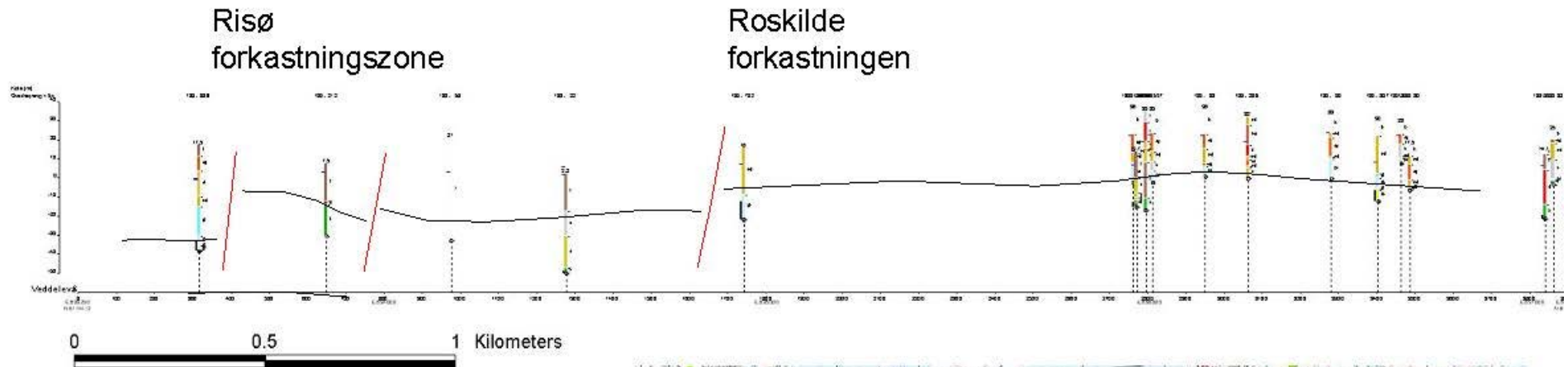
Figur 8. Geologisk tværprofil langs linien Risø S.

Profil VeddelevN

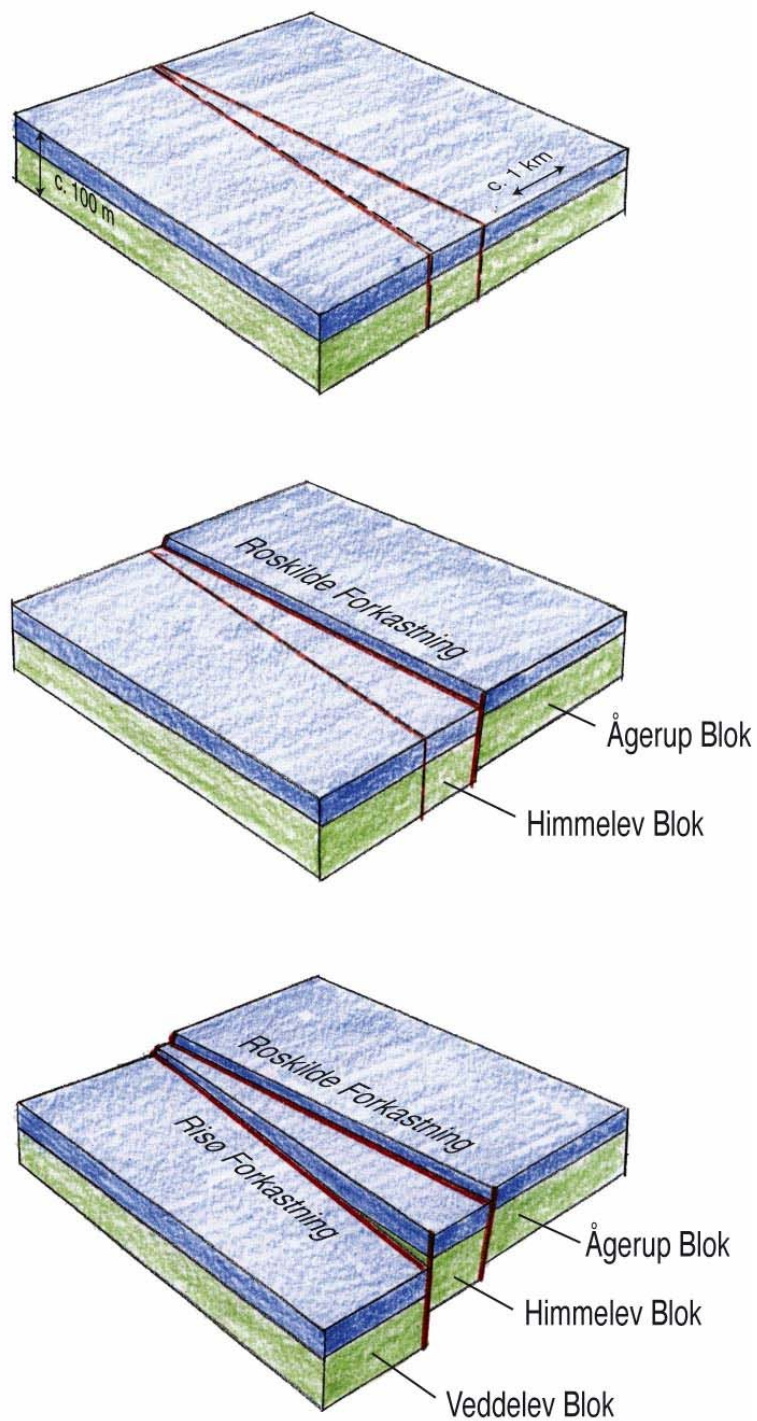


Figur 9. Geologisk tværprofil langs linien Veddelev N.

Profil Veddelev S



Figur 10. Geologisk tværprofil langs linien Veddelev S.



Figur 11. Geologisk blokdiagram, der viser udviklingen af Roskilde og Risø forkastningerne. Den grønne enhed er Danienkalk og den blå er Paleocæn ler og kalk.

3.7 Sammenfattende bemærkninger om de geologiske forhold

De vigtigste forhold, der kan uddrages af ovenstående gennemgang, er følgende:

- På halvøen dominerer blødbundsaflejringer (ferskvand og hav) ovenpå moræneler stedvis ned til 8 meter under terræn, men oftest i en til to meters tykkelse. Morænelerslag ligger forholdsvis højt i tre områder på halvøen: Op til + 8,0 m mod vest, til + 5,5 m øst herfor og i +1,0 m mod nord. Under de ca. 5-10 meter tykke morænelerslag træffes overvejende finkornede smeltvandslag (ler, silt, fint sand).
- På halvøen er det påvist, at de underliggende prækvartære aflejringer gennemskæres af en regional forkastningzone med to forkastninger med næsten N-S orientering indenfor området. De kaldes for Risø forkastningen.
- På landområdet, som ligger op til kote + 19 m, dominerer moræneler ned til ca. 25 meters dybde og herunder følger prækvartære aflejringer.
- I de prækvartære lag ligger endnu en regional forkastning (Roskilde forkastningen), som findes tæt på Risø områdets østlige grænse.
- Der er relativt få oplysninger om de dybereliggende kvartære aflejringer og de prækvartære aflejringer.

4. Bevægelser i Undergrunden

4.1 Geologiske indikationer

Isostasi siden Weichselistiden

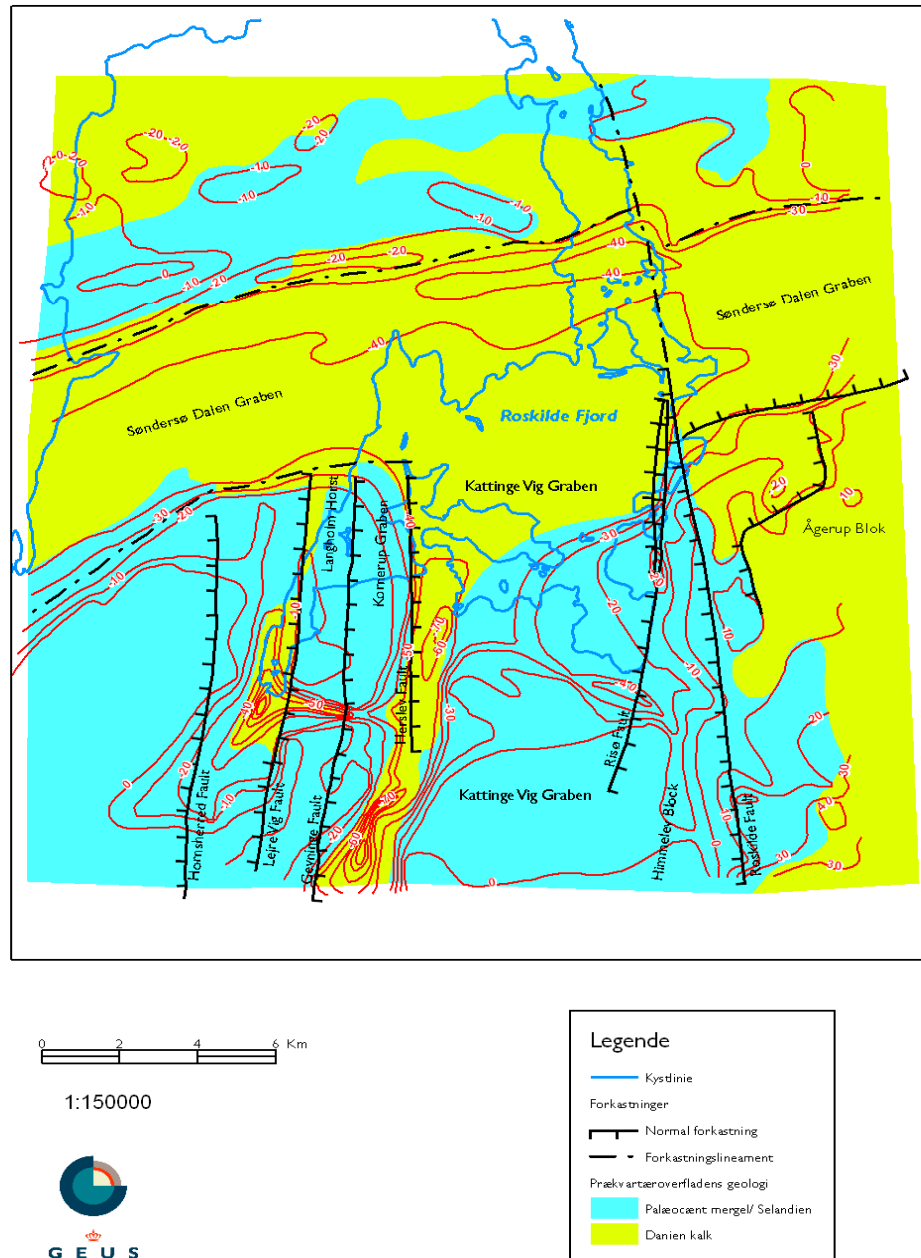
Da den store gletscher smeltede væk ved slutningen af sidste istid, Weichsel, sket en voldsom trykaflastning på det danske område. Dette medførte en isostatisk hævnning af landet, som var kraftigst i det nordlige Danmark. I løbet af de forløbne ca. 14.000 år siden hævnningen startede, er der sket en vekselvirkning mellem denne og havstigninger (eustatiske stigninger), som har resulteret i den nuværende konstellation mellem hav og land. Dette har også været bestemmende for de aflejringstyper, som er blevet dannet i tidsrummet. Det er nu påvist, at den isostatiske landhævning er klinget ud i Nordjylland og dermed ikke mere indvirker på land-havbevægelser (Petersen, 1991), og dette kan også formodes at være tilfældet for resten af Danmark.

Strukturer ved grænselagene mellem Kvartæret og de ældre aflejringer

Grænsefladen mellem de kvartære aflejringer og de ældre prækvartære lag kaldes prækvartæroverfladen. Set i forhold til gennemgangen af forholdet mellem disse aflejringer ovenfor (afsnit 3.6) viser kortet fremstillet af Håkansson og Pedersen (1992), at forkastningslinien (Roskilde forkastningen) ikke er en mindre lokal struktur, men en regional struktur, som løber næsten N-S. Et nyt kort over prækvartær overfladen og forkastningerne omkring den sydlige del af Roskilde Fjord kan ses på Fig. 12.

Undergrundstektonik - dybereliggende geologiske forhold

De dybereliggende geologiske lag er beskrevet ud fra geofysiske undersøgelser og forholdsvis få boringer, som er sammenstillet og tolket. Oplysningerne er overvejende frembragt i forbindelse med olie- gas efterforskning. Kortlægning af de dybereliggende strukturer viser en forkastningszone N-S fra det sydlige Sjælland og til Risø beliggende samme sted som (Roskilde) forkastningen (Vejbæk, 1997).



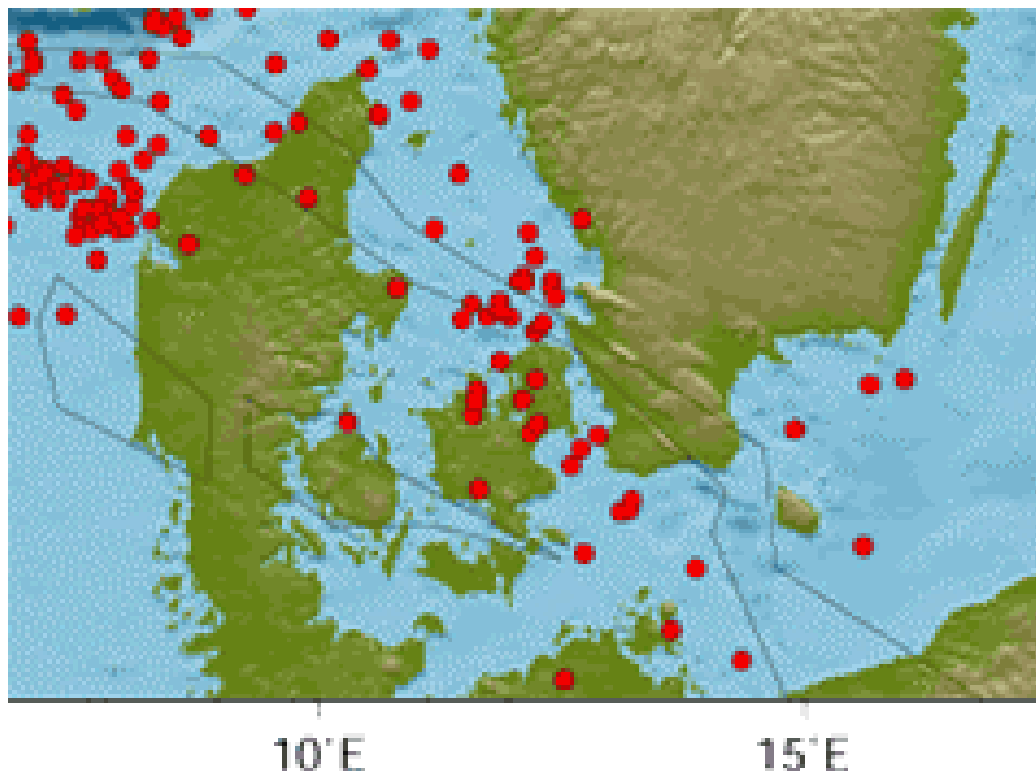
Figur 12. Oversigtskort over forkastninger og jordarter på prækvartæroverfladen for den sydlige del af Roskilde Fjord.

Nuværende registrerede bevægelser, neotektoniske bevægelser

Kort og Matrikelstyrelsen's opmålinger af landniveauændringer viser, at der i området omkring Risø sker en landhævning på mellem 0,35 og 0,40 mm pr. år (Duun-Christensen, 1992). Disse små bevægelser kan antagelig tilskrives mindre og langsomme bevægelser langs brudzoner i undergrunden, og de sker i en kompliceret og uforudsigeligt samspil i relationen mellem de danske aflejrings-

bassiner og den Fennoskandiske randzone. Der kan være tale om både vertikale og horisontale bevægelser.

De bevægelser, som stadig foregår i det danske område, kaldes neotektoniske. Forstyrrelserne i kvartære lag er imidlertid vanskelige at påvise. I det nordjyske område er der omkring Thisted og Fjerritslev tidligere blevet registreret neotektoniske bevægelser baseret på præcisions nivellementer og tolkning af de kvartære aflejrings forhold (Hansen og Håkansson, 1980, Madirazza, 1980). Disse neotektoniske bevægelser er sat i forbindelse med stadige bevægelser i de underliggende salthorste. De landsdækkende landniveauændringer, som KMS registrerer (Dunn-Christensen, 1992), kan godt anses for at høre under neotektoniske, men det er vanskeligt udenfor områder med salthorste at umiddelbart pege på præcise årsager.



Figur 13. Kort over beliggenhed af jordskælvsepicentre i Danmark (fra GEUS hjemmeside: www.geus.dk).

4.2 Registreret seismisk aktivitet

Større bevægelser i undergrunden kan desuden også foregå langs nye og gamle brudzoner, og disse bevægelser kan registreres på seismiske stationer.

Seismisk aktivitet

Det seismiske stationsnet i Danmark, der varetages af GEUS (tidligere var det på KMS), består af 5 stationer, hvoraf de tre er på Sjælland: Gilleleje museum, Vestvolden ved København og Lille Linde på Stevns (GEUS hjemmeside: www.geus.dk). Jordskælvsaktiviteten måles på stationerne med hensyn til lokalisering, tidspunkt og størrelse. Jordskælvsaktiviteten i Danmark er lille i forhold til andre steder i verden, og i perioden 1929-2001 er kun registreret få jordskælv, som kan sættes i relation til Risø områdets geologiske strukturer.

På Fig. 13 ses registrerede jordskælv i Danmark siden 1929. Det kan vises, at der har været seismisk uro i omegnen af Risø, og tre-fire jordskælv kan antagelig henregnes til forkastningskomplekset Roskilde – Risø og forsættelserne mod nord og syd.

År	E ° østlig længde	N ° nordlig bredde	Epicenter dybde (km)	Størrelsesor- den på skala	Geografisk stednavn
2003	55 ° 48'	11 ° 44'	26	2,7	Isefjorden
2001	56 ° 00'	11 ° 52'	13	2,8	Lammefjorden
1999	55 ° 47'	11 ° 44'	6,9	2,6	Liseleje
1997	55 ° 50'	11 ° 38'	4,3	3,0	Isefjord
1995	55 ° 39'	12 ° 16'	25	2,5	Roskilde
1989	55 ° 16'	12 ° 10'	31	2,5	Tystrup
1984	55 ° 35'	11 ° 44'	40	1,9	Roskilde
1982	55 ° 42'	11 ° 36'	0	1,5	Holbæk
1982	55 ° 54'	12 ° 15'	3,4	2	Frederiksværk
1930	55 ° 30'	12 ° 42'		4,5	Køge Bugt
1869				c. 4	Jyllinge

Tabel 1. Skema over registrerede jordskælv i Nordsjælland mellem 1869 og 2003.

Mercalli værdi	Effekt	Ms værdi (Richter skala)
1	Kan ikke skelnes fra en forbi kørende lastbil	
2	Ophængte lamper og penduler svinger	2,5
3	Vandstrålen fra et brusebad svinger, rystelsen mærkes på bare tæ- er	3,0
4	Folk vækkes, biler røkkes og vinduer rasler	3,5
5	Føles af alle	ca. 4,0
6	Puds revner, møbler vælter	5,5
7	Puds falder af væggene, rystelser mærkes i kørende biler	6,0
8	Frie vægge vælter, vandspejl i brønde ændres	ca. 6,5
9	Bygninger ødelægges, jordledninger brækker, sprækker i jordover- fladen	7,0
10	Fundamenter beskadiges, jernbaneskiner bøjes	ca. 7,5
11	Kun få bygninger tilbage, forkastninger i overfladen	8,0
12	Total ødelæggelse, jorden bølger, ting kastes rundt i luften	8,8

Tabel 2. Oversigt over Richter skalaen og effekter af jordskælv

Om jordskælvsstyrker:

Den italienske seismolog G. Mercalli opstillede i 1902 en empirisk skala til bedømmelse af jordskælvsstyrker.

Den amerikanske seismolog C.F. Richter opstillede i 1935 Richter skalaen baseret på følgende formel: jordskælvsstyrken $M = \log A/T + f(d, h)$, hvor A er jordskælvsbølgens største amplitude, T dens periode, d er den epicentrale vinkel og h dybden til epicenteret. Den svenske seismolog M. Båth modificerede formelen i 1967, således at overfladebølgernes styrke $M_s = \log A/T + 1.66 \log d + 33$, der i dag er den almen brugte (Pedersen 1985).

Størrelsesforhold

De registrerede jordskælvs størrelse kan ses i skemaet på Tabel 1. Der er også en oversigt over er Richter skalaen samt en forklaring på effekterne af jordskælvsbevægelserne (Tabel 2). De jordskælv, der er målt i Risø's omegn, ligger mellem 1,9 og ca. 4 på Richter skalaen, altså i den lave ende, men dog mærkbare.

Betydning for de nuværende geologiske bevægelser

Den seismiske uro på større dybde er vanskelig at relatere direkte til mere overfladenære lag. Den påviste landhævning er formodentlig en mere langsom bevægelse, mens jordskælvene er kortvarige bevægelser. De påviste forkastninger i de prækvartære lag ser ud til at kunne spores til større dybde, men altså ikke opad til jordoverfladen.

4.2 Sammenfatning af de strukturegeologiske forhold

- En forkastningszone med to forkastninger er påvist i de prækvartære lag under Risø (Risø forkastningen).
- En forkastningszone med en forkastning er påvist i de prækvartære lag ved den østlige grænse af Risø (Roskilde forkastningen).
- Det er ikke påvist, at forkastningerne strækker sig op i overliggende kvartære aflejringer.
- Der er registreret nutidig seismisk uro i tæt relation til forkastningszonerne syd for Roskilde.

5. Beskrivelse af hydrogeologiske elementer

5.1 Grundvandsniveau

Grundvandets oprindelige niveau

Ud fra målinger af grundvandsspejlets beliggenhed, der blev foretaget ved boringernes udførelse (på forskellige tidspunkter), tegner der sig følgende billede:

På halvøen, hvor terrænet er lavtliggende, lå grundvandspejlet meget tæt ved overfladen:

Boring 199.961 (fra 1984). Terræn i kote + 2,0 m og vandspejl i kote + 0,65 m.

Boring 199.409 (1960). Terræn i kote + 2,2 m og vandspejl i kote + 0,8 m.

Boring 199. 412 (1960). Terræn i kote + 2,22 m og vandspejl i kote + 1,1 m.

Boring 199. 953 (1984). Terræn i kote + 2,0 m og vandspejl i kote + 1,7 m.

Boring 199.1004 (1991). Terræn i kote + 2,5 m og vandspejl kote + 1,5 m.

I landområdet er der følgende data:

Boring 199.210 (1956). Terræn i kote + 11,28 m og vandspejl i kote + 3,7 m.

Boring 199.222 (bor 4) (1956). Terræn i kote + 18,0 m og vandspejl i kote + 4,6 m.

Boring 199. 236 (bor 5) (1958). Terræn i kote + 15,0 m og vandspejl i kote + 2,8 m.

Boring 199. 299 (.309) (bor 6)(1960). Terræn i kote + 15,0 m og vandspejl i kote + 4,82 m

Mod syd indenfor kystområdet (DGU, 1979):

Boring 199. 882 (bor 1) (1978). Terræn i kote + 2,5 m og vandspejl i kote + 1,9 m.

Boring 199. 883 (bor 2) (1978). Terræn i kote + 2,5 m og vandspejl i kote + 1,6 m.

Boring 199. 884 (bor 3) (1978). Terræn i kote + 2,5 m og vandspejl i kote + 0,9 m.

Udvikling i grundvandsniveau

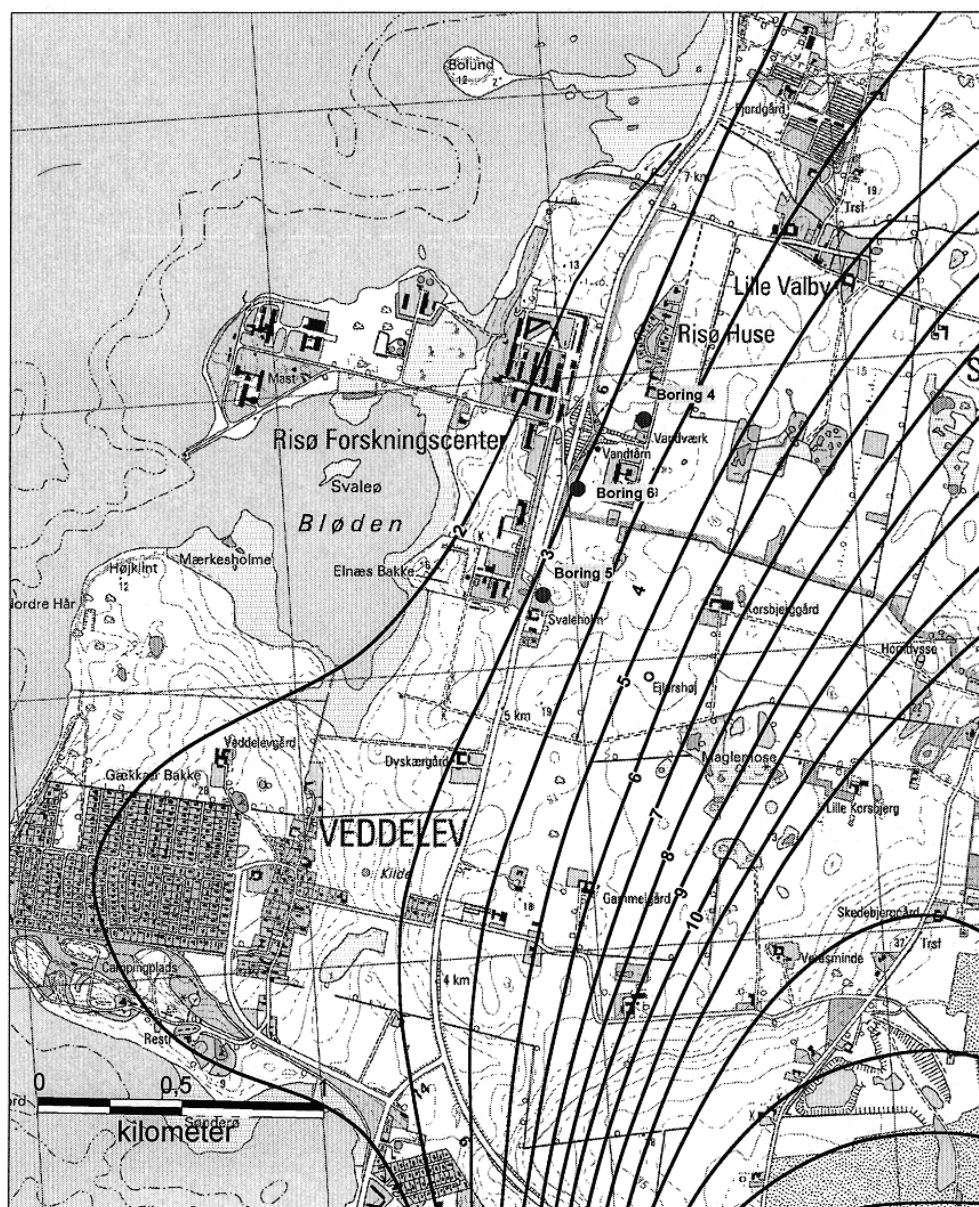
Risø's eget vandværk indvinder vand fra Selandien og Danien aflejringerne, og der foreligger oplysninger om pejlinger fra de tre vandforsyningsboringer 199.222, .236 og .299 (.309), som ligger i den østlige del af Risø's areal omkring vandværket. Der er et par enkelte målinger fra 1978 og derefter mere regelmæssige målinger fra 1979 til 2001 (Niras, 2004). Pejlingerne har generelt ligget mellem kote + 3 m og + 6 m, men med udsving (pumpningsbetingede).

Der synes at have været beskedne ændringer i vandspejlets udvikling siden boringernes etablering. Der tale om et artesisk grundvandsmagasin d.v.s at grundvandets trykniveau befinder oppe i morænelersdækket. En variation i niveauerne med årstidens nedbør er forventelig. Et kort over grundvandspotentialet i det primære magasin (Selandien og Danien lagene) er fremstillet i Niras (2004), og det viser at potentialet generelt ligger i + 2 og + 4 m i Risø's østlige område (Fig. 14). Dette viser, at der i der i landområdet kan være en umættet zone på op til mindst 10 meter, men mod syd (ant. i boring 199.882) er konstateret vandspejl over terræn (d.v.s. over ca. kote + 2,5 m).

5.2 Grundvandets strømning

Strømningsforhold

Grundvandets strømning er stort set fra øst mod vest indenfor hele Risø's område, og det vil sige ud mod Roskilde Fjord set ud fra grundvandspotentialekortet i Niras (2004), hvor grundvandet strømningsretning er vinkelret på potentialelinierne. Der er ikke tegnet linier for den vestligste del af området, men de kendte (ældre) værdier for grundvandets beliggenhed peger på, at der også på halvøen er strømning mod fjorden.



- Indvindingsboringer
- Potentialelinier, Roskilde Amt, 1999

Figur 14. Grundvandspotentialekort (fra Niras 2004).

Nedsivning og transport

Området er dækket af moræneler over grundvandsmagasinet i den østlige del, mens forholdene på halvøen, som mest består af postglaciale aflejringer, er lidt mere uklare med sekundære magasinforhold, da der er kun få sandlag (ofte finkornede sandlag vekslende med ler og silt).

Tykke lag af moræneler har tidligere været betragtet som tætte og beskyttende for underliggende grundvandsmagasiner, men denne opfattelse er nu delvis ændret. Moræneler er et dobbeltporøst medie med små porer mellem de enkelte korn i matrix og store porer i form af sprækker, som kan strække sig 8-10 meter under jordoverfladen. Transport af vand og stoffer gennem morænelers matrix er en relativt langsom proces, mens transport i sprækkerne i moræneler kan være hurtig. Sprækker i moræneler består både af lodrette og vandrette sprækker, som har betydning for nedsivningen af overfladevand (regnvand) og transport i begge retninger. Forbindelsen mellem de to transportretninger afhænger af, hvor mange sprækker der krydser hinanden (Klint og Gravesen, 1999, Klint, 2001).

Under moræneleret træffes smeltevandsaflejringer bestående af ler, silt og fint sand i vekslende (tynde) lag. I disse lag vil der formentlig være en langsom vertikal nedsivning og transport i de lerede og siltede lag, men en vis transport kan ske i de tynde sandlag.

Opløste og ikke-opløste stoffer i grundvandet vil blive transporteret med strømmingen og forventeligt mod Roskilde Fjord. I finkornede aflejringer, hvor en vigtig del foregår som sprække-transport, er dette ikke entydigt.

5.3 Sammenfatning af grundvandsforholdene

Det primære grundvandsmagasin, hvorfra der indvindes grundvand, er Danien og Selandien aflejringerne.

- De overliggende finkornede aflejringer (moræneler og finkornede smeltevandsaflejringer) er med til at danne et artesisk grundvandsmagasin med grundvandets trykniveau i de øverste morænelerslag.
- Grundvandstrømmen er mod vest mod Roskilde Fjord. En transport af opløst stof vil antagelig være i samme retning.
- De kvartære aflejringer er alle gennemtrængelige for vand og stof, men i forskelligt omfang og i forskellige retninger.

6. Effekter af klimaændringer

6.1 Prognoser for klimaændringer

Temperatur og nedbør, storme og ekstreme

Modelberegninger og prognoser for ændringer af det globale klima de næste 100 år peger på stigninger i temperatur og nedbør. For det danske område peger DMI's modeller på stigninger på ca. 3-5 grader C, højest om natten. Desuden vil der være mindre nedbør om sommeren (75-90 %) og mere nedbør om vinteren (110-140%). Desuden vil der forekomme flere ekstremhændelser i form af øget stormhyppighed, øger vandstand i havet og dermed øget stormflodshyppighed.

6.2 Ændringer i havniveau

Generelle forhold

For det globale havområde regnes der med en havstigning på grund af smeltning af de store gletschere ved polerne samt ved varmeudvidelse af havvandet. Der findes en række forskellige modeller (IPCC's modeller) som giver forskellige forudsigelser: Mellem 11 og 65 cm's stigning, mellem 16 og 75 cm's stigning og mellem 10 og 90 cm's stigning. De forholdsvis store forskelle i model forudsigelserne skyldes modelusikkerheder.

DMI's regionale klimamodel (A2-modellen) giver for den fremtidige vandstandstigning omkring Danmark en stigning på mellem 45 og 105 cm ved Danmarks Vestkyst i løbet af 100 år.

Dele af Risø's areal på halvøen ligger lige over nuværende havniveau mellem kote 0 m til kote + 3,5 m heraf en del lige under kote +1 m, mens resten af arealet ligger væsentligt højere op til kote + 19 m.

Selv om der anvendes en stigning på 45–105 cm i det danske havområde, er det vanskeligt at forudsige, hvordan en sådan stigning vil slå igennem i Roskilde Fjord. Ved en eventuel stigning på mellem 45–105 cm vil mindre dele af halvøen oversvømmes, og landskabet ændres. Den vertikale landhævning i området er som nævnt vurderet til at være på mellem +0,35 og + 0,40 mm pr. år, og hvis den forsætter fremover vil den medvirke til at modvirke havstigningen.

Det skal desuden bemærkes , at der indenfor de sidste 100 år er sket en en beskeden havniveau-stigning målt på stationer ved de ydre kyster, hvor Risø og Roskilde fjord ligger (teoretisk) med stigninger på mellem + 0,1 og 0,3 mm pr. år (Duun-Christensen, 1992, Fenger et. al, 2001).

6.3 Oversvømmelser og stormfloder

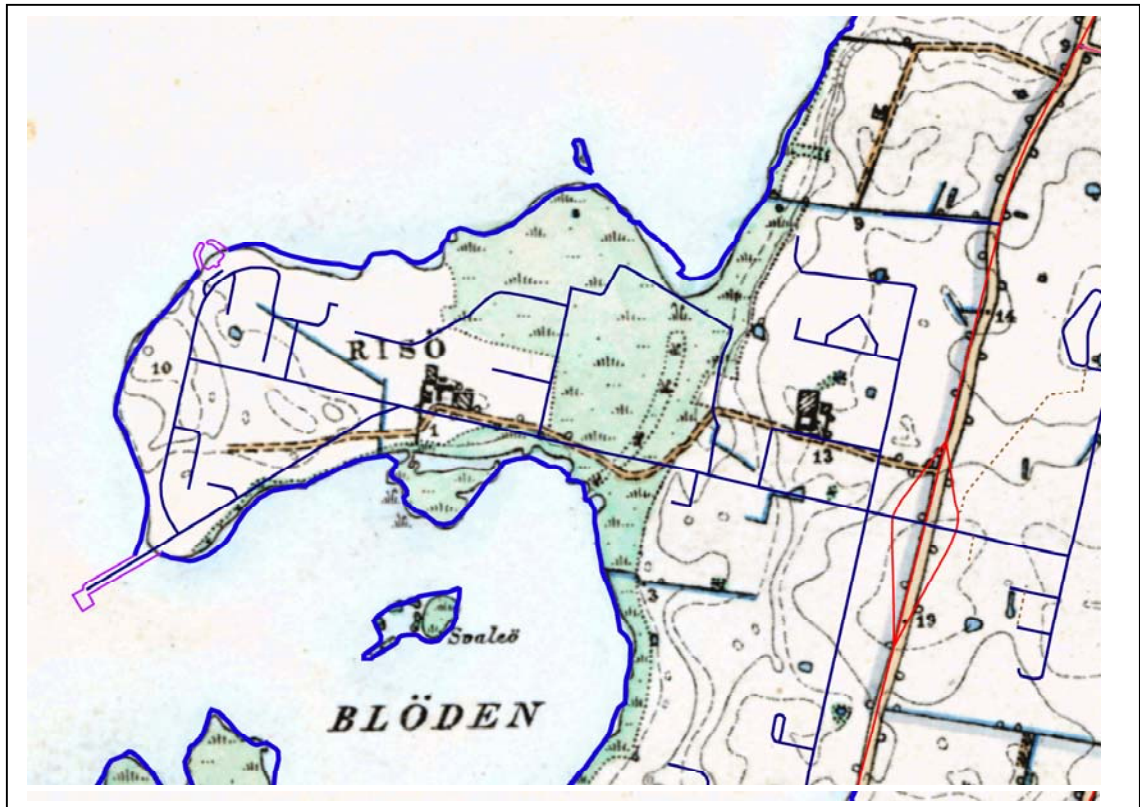
Ekstreme hændelser

Roskildeområdet er ikke specielt eksponeret for stormfloder og oversvømmelser på grund af den geografiske placering inderst i fjorden, også selv om der er tale om en vestvendt kyst, hvor de væsentligste påvirkninger almindeligvis sker. Ved en havstigning og hyppigere storme vil området dog være udsat for større aktivitet.

6.4 Erosion af kysten

Ændringer af kystlinien

En vurdering af ændringen af kystlinien mellem 1896 og 2001 er vist på Fig. 15. Der har kun været en meget beskeden erosion af morænelersklinten mod vest samt en omfordeling af sedimentmaterialet i små indbugtninger og inde ved kystlinien i øvrigt. Dette er i overensstemmelse med de registrerede erosionsrater på 0-0,1 m pr. år ved mindre eksponerede indre kyster i Danmark (Fenger et al., 2001). Fremtidige havstigninger samt hyppigere storme kan ændre på disse forhold.



Figur 15. Kort over erosion og aflejring langs kysten mellem 1896 og 2001 baseret på Geodætisk Instituts kort fra 1896 og KMS kort fra 2001. Det topografiske kort er fra 1896, hvorimod den nuværende (2001) kystlinie er angivet med blå linieføring. Derudover er moderne mole- og havneanlæg påført med violet streg, og den moderne forlægning af hovedvejen er markeret med rød streg.

6.5 Grundvandsændringer

Øget nedbør vil give en større grundvandsdannelse og dermed et højereliggende grundvandsspejl. Højere lufttemperatur vil også give grundvandet højere temperatur og dermed ændrede egenskaber i relation til korrosion m.v.

6.6 Eventuelle effekter

- Et stigende havniveau vil overskylle mindre dele af Risø's område, hvilket der dog kan fortages foranstaltninger imod.
- Et stigende havniveau vil ændre på balancen mellem ferskvand og havvand i kystzonen og ændre på afstrømning af grundvandet til havet.
- Et stigende havniveau kan ændre på erosion af kysten og betydningen af storme og oversvømmelser.

7. Afsluttende bemærkninger

Under hvert af afsnittene 3, 4, 5, og 6 er de vigtigste konklusioner trukket frem under sammenfatningerne. Herudover skal der særlig fremhæves:

De geologiske forhold

Moræneler danner jordoverfladen på størstedelen af Risø's areal (bortset hvor det er postglaciale lag). Denne jordart vil derfor være "nøglejordarten" i forhold der fleste aktiviteter og tiltag. De underliggende smeltevandsaflejringer kan dog også være kritiske. Endelig er der begrænsede oplysninger om de prækvarter lag.

De strukturgeologiske forhold

Der er påvist to forkastningszoner i de prækvarter aflejringer: Risø og Roskilde forkastningerne, som også erkendes udenfor Risø's areal. De har derfor regional geologisk betydning, men hvilken nutidig betydning, de har, kan ikke p.t. bestemmes præcist.

Grundvandsforholdene

Det primære velydende grundvandsmagasin findes i de prækvarter lag, mens grundvandet står under tryk i moræneleret og stedvis over terræn.

Klimaændringer

Fremtidige klimaændringer vil også påvirke forholdene omkring Risø, men omfanget kan ikke bestemmes p.t.

8. Anbefalinger til videre undersøgelser

Efter en gennemgang og diskussion af de forskellige områders egenskaber på Risø, bør der udpeges et antal arealer for nærmere undersøgelse (fase 2).

Alt efter behovet for informationer anbefales følgende undersøgelser:

a. De kvartære aflejrings udbredelse og tykkelse.

Gennem borer med udtagning af boreprøver indhentes punktinformationer om udbredelse og tykkelse. Boringerne skal føres gennem moræneleret og ned i smeltevandsaflejringerne.

Udbredelsen, hvor punktobservationer skal sammenkædes, må bestemmes gennem geofysiske undersøgelser med en metode, som kan kortlægge lertykkelser. I dette tilfælde bør anvendes slæbegeoelektrisk måling (PACES) eller geoelektrisk kortlægning (MEP) alt efter forholdene. Metoderne har måledybder på op til 20 meter.

- Det anbefales, at der på udvalgte områder udføres et antal borer gennem moræneleret og smeltevandsaflejringerne, og at der udtages tætliggende boreprøver. Den valgte boremetode skal give prøver af høj kvalitet.
- Det anbefales, at der udføres overfladegeofysiske undersøgelser i de samme områder.

b. Morænelerets og smeltevandsaflejringerne sammensætning.

Moræneler er en heterogen jordart, der varierer i sammensætning fra sted til sted indenfor samme enhed. Smeltevandsaflejringerne består af tynde vekslende lag.

- Det anbefales, at der foretages jordartsbeskrivelser og analyser på de udtagne jordprøver bl.a. kornstørrelsesanalyser m.v.
- Det anbefales, at der foretages en nærmere undersøgelse af kystprofilen på Risø halvøen, samt halvøerne nord og syd herfor, hvor det er muligt at se strukturer i den øvre del af moræneleret. Alternativt skal der foretages en udgravning til bedømme sprække- og strukturforholdene.

b. De prækvartære aflejrings udbredelse og sammensætning

De prækvartære lag kendes fra få borer indefor Risø's område.

- Det anbefales, at der udføres en antal boringer, der når ned i de prækvartære lag. Der udtages boreprøver som beskrives og analyseres.

b. Forkastningszonernes beliggenhed

Beliggenheden af de to forkastningszoner er bedømt ud fra boringsdata, og forstyrrelser i de kvartære lag kan ikke bedømmes. Begge dele kan eventuelt ske ud fra geofysiske målinger.

- Det anbefales, at der udføres mindst et seismisk profil på landområdet (Evt. mod syd ved vindmøllerne). Nord og syd for halvøen Risø kan forkastninger påvises ved refraktionseismik udført på vandområdet.

b. Grundvandsforhold

Grundvandsmagasinet er artesisk med en generel strømreretning mod fjorden. Eventuelle opløste stoffer i grundvandet forventes også at blive ført mod fjorden.

- Det anbefales, at grundvandsspejlet pejles i alle tilgængelige boringer (nye som gamle).
- Det anbefales, at der foretages en vurdering af strømning af grundvand og stof gennem moræneler og smeltevandsaflejringerne ved hjælp af hydrogeologisk modellering.

b. Klimaændringer

De væsentligste effekter af klimaændringer kan ske i relation til eventuelle havniveauændringer og grundvandsforhold.

- Det anbefales, at havniveau og grundvandsniveau løbende følges gennem målinger, når og hvis dette skønnes relevant.

9. Litteraturliste

Bondesen, E., 1984: Roskilde, by og landskab – geologi og samfund. Roskilde Museums Jubilæumsskrift.

DGU, Danmarks Geologiske Undersøgelse, 1979: Report on activities. Well construction, well logging geology and pumping tests at the test site at Risø National Laboratory. Geological Survey of Denmark, jan. 1979, 11 sider + bilag.

Duun-Christensen, J.T., 1992: Vandstandsændringer i Danmark.- I : Miljøministeriet, 1992: Drivhuseffekt og klimaændringer – hvad kan det betyde for Danmark, side 3.

Fenger, Jes, Buch, E. & Jakobsen, P.R., 2001: Monitoring and Impacts of Sea Level Rise at Danish Coasts and Near Shore Infrastructures.- I: Jørgensen, A.M.K., Fenger, J. og Halsnæs, K. (Red.): Climate Change Research, DMI, side 237-254.

Hansen, J.M. & Håkansson, E., 1980: Thistedstrukturens geologi – et ”neotektonisk” skoleeksempel. – Dansk geologisk Forening, Årsskrift for 1979, side 1-9.

Hovedstadsrådet, 1982: Teknisk baggrundsnotat. 1. Hydrogeologisk kortlægning. Udarbejdet af Danmarks Geologiske Undersøgelse, 56 sider + bilag.

Håkansson, E. & Pedersen, S.A.S., 1992: Geologisk kort over den danske undergrund, VARV, 1992.

Jacobsen, E.M., 1984: En råstofgeologisk kortlægning omkring Roskilde. – Dansk geologisk Forenings Årsskrift for 1984, side 65-78.

Klint, K.E.S, 2001: Fractures in Glacigene Diamict Deposits; origin and distribution.- Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2001/129. Ph.d thesis 2001.

Klint, K.E.S. & Gravesen, P., 1999: Fractures and Biopores in Weichselian Clayey Till Aquitards at Flakkebjerg, Denmark. Nordic Hydrology, 30, 4/5, side 267-284.

Larsen, G. Frederiksen, J., Villumsen, A., Fredericia, J. Gravesen, P., Foged, N., Knudsen, B. & Baumann, J. 1988: Vejledning i Ingeniørgeologisk prøvebeskrivelse. Bulletin Dansk Geoteknisk Forening, nr. 1, 144 sider.

Madirazza, I., 1980: Postglaciale bevægelser i området ved Fjerritslev saltstruktur. – Dansk geologisk Forening, Årsskrift for 1979, side 11-14.

Majborn, B., Sørensen, A., Nielsen, S.P. & Bøtter-Jensen, L., 1988: An Investigation of Factors Influencing Indoor Radon Concentrations. Risø- M-2689, 56 sider.

Mertz, E.L., 1924: Oversigt over De sen- og postglaciale Niveauforandringer i Danmark.- Danmarks geologiske Undersøgelse II Række , Nr. 41, 49 sider.

Milthers, V., 1935: Nordøstsjælland's Geologi. – Danmarks geologiske Undersøgelse, V Række, Nr. 3, 191 sider + kortbilag (Anden udgave).

Niras, 2004: Forskningscenter RISØ. Planlægning af den fremtidige vandforsyning. Handlingsplan (uddrag fra Risø), april 2005.

Pedersen, S.A.S., 1985: Forudsigelse af jordskælv.- Varv nr. 3, 1985, side 85-93.

Petersen, K.S., 1991: Holocene coastal and faunal development of the Skagen Odde, Northern Jutland, Denmark.- Quaternary International 9, side 53-60.

Rørørdam, K., 1899: Beskrivelse til Geologisk kort over Danmark (i Maalestok 1:100,000). Kortbladene København og Roskilde. Danmarks geologiske Undersøgelse, I Række, Nr. 6, 107 sider + bilag.

Salinas, I, 1993: Geologisk kort over Danmark. 1:50.000. Kortbladet 1513 IV Roskilde. Geologisk basisdatakort. Danmarks Geologiske Undersøgelse Kortserie nr. 20, 3 sider + kort.

Vejbæk, O. V., 1997: Dybe strukturer i danske sedimentære bassiner.- Dansk Geologisk Forenings Nyheds og informationskrift, hæfte 4, side 1- 31.