

Geologisk kortlægning med GIS: eksempler fra Miocæn i Danmark

NIELS SKYTTE CHRISTENSEN

Christensen, N.S. 2003-15-11: Geologisk kortlægning med GIS: eksempler fra Miocæn i Danmark. DGF Grundvandsmøde 18. september 2003. *Geologisk Tidsskrift* 2003 hæfte 2, pp. 9–13, København.

Interessen for nye grundvandsmagasiner, samt kortlægningen af råstoffer i form af sand, grus og tungmineralforekomster, har ført til en detaljeret undersøgelse af Miocæn i Jylland. Der mangler dog stadig en detaljeret geologisk kortlægning af de forskellige formationers udbredelse og tykkelse. Det seneste større arbejde, der er udført af denne slags, er kortlægningen af Ribe Formationen (Friborg & Thomsen 1999). En aflejningsmodel og revideret litostratigrafi for Miocæn er opstillet af Dybkjær *et al.* (1999), Rasmussen (2001) og Rasmussen *et al.* (2002).

I forbindelse med kandidatstudiet ved Geologisk Institut, Københavns Universitet, er det valgt at udarbejde en aflejningsmodel for Odderup Formationen. Dette gøres ved at kortlægge dens udbredelse og tykkelsesvariationer, samt at diskutere Odderup Formationen i forhold til sekvensstratigrafiske modeller for Miocæn. Yderligere er der udført georadarundersøgelser i to grusgrave ved Addit og Isenvad': (Fig. 2b). Kortlægningen omfatter udarbejdelsen af dybdekort over bunden af Vejle Fjord Ler Leddet i Vejle Fjord Formationen (Larsen & Dinesen 1959), som er nær den kronostratigrafiske horisont 'Basis Miocæn', top og bund af Odderup Formationen samt top og bund af Bastrup sandet. Kortet over 'Basis Miocæn' (Fig. 1c) illustrerer de væsentligste strukturelle elementer, herunder saltdiapirer, der har styret sedimentfordelingen i tidligste Miocæn, og som formentlig også har eksisteret ved aflejringen af Odderup Formationen. Når der tages højde for lokale tektoniske bevægelser, kan 'Basis Miocæn' betragtes som parallel med den palæooverflade hvorpå Odderup Formationen er aflejret.

En foreløbig kortlægning af Odderup Formationens top og bund er foretaget og der er udregnet et isochorkort (Fig. 2c). De endelige kort forventes at vise aflejningsmønstre i form af palæodepocentre/-kanaler, som vil gøre det muligt at opstille en detaljeret aflejningsmodel. Der arbejdes ud fra den hypotese at saltstrukturer har været aktive i området på aflejringstidspunktet, og kan have haft indflydelse på typen af

fluviale aflejringer der blev afsat i Odderup Formationen (Hazel 1994). Såfremt det er muligt at kortlægge regionale tykkelses- og faciesvariationer i Odderup Formationen vil disse kunne bruges i forbindelse med efterforskning af både grundvand og råstoffer.

Undersøgelsens formål er at dokumentere at GIS (Geografiske Informationssystemer) er et brugbart redskab til fremstilling af geologiske kort, samt at belyse hvilke krav metoden stiller til datagrundlaget, for at opnå et rimeligt statistisk grundlag for kortene.

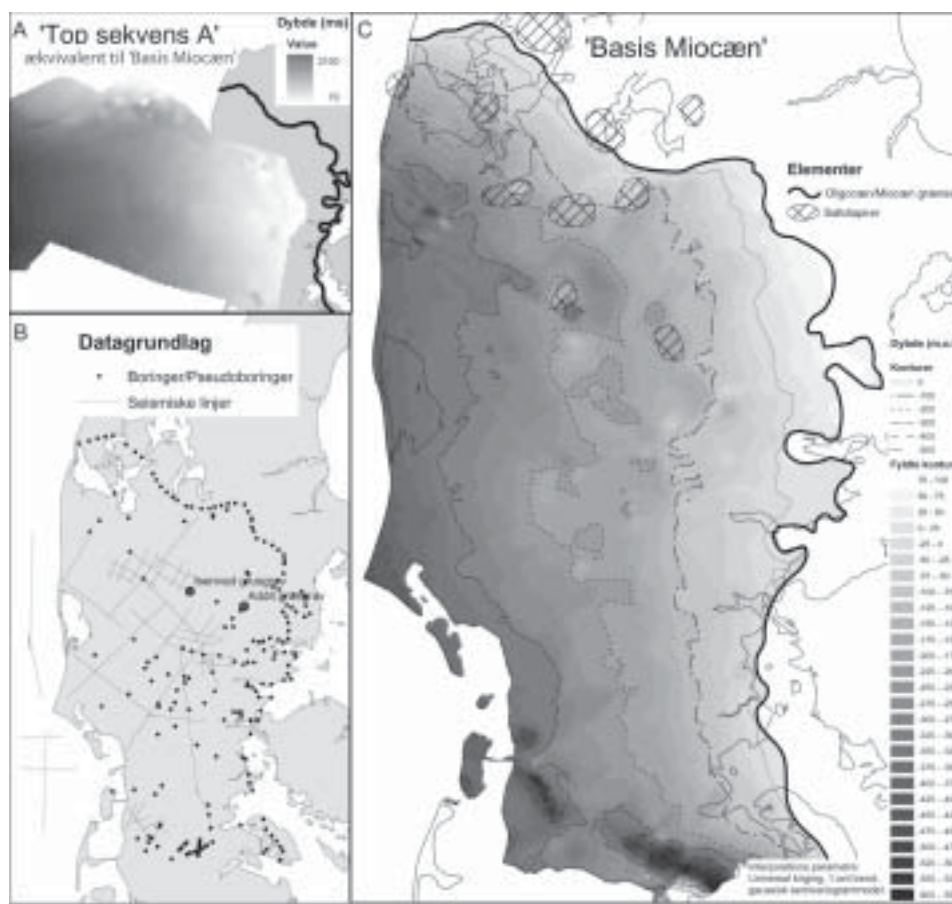
Datagrundlaget

Kortlægningen er inspireret af et igangværende arbejde med kortlægningen af miocæne aflejringer (Dybkjær *et al.* 1999; Dybkjær & Rasmussen 2000, 2001; Rasmussen 2001, 2003a, b, c; Rasmussen *et al.* 2002). Datagrundlaget for kortene er endvidere Jupiter boringsdatabasen (GEUS), seismiske data (GEUS), geologiske kort samt tidligere arbejder. Jupiter data er suppleret med nye boringsdata af høj kvalitet, samt dybe boringer i Jylland fra undergrundsarkivet, GEUS.

Der arbejdes med samme boringsdatasæt for kortene over 'Basis Miocæn' og Odderup Formationen. Der arbejdes dog med forskellige kriterier for at begrænse datamængden. Udgangspunktet er et udtræk fra Jupiterdatabasen med i alt 15.552 boringer. Datensættet begrænses hovedsageligt ved at fjerne boringer til lav dybde, således at der arbejdes med 4706 boringer på over 40 m dybde og 736 boringer som er mere end 100 m dybe.

En regional kortlægning af en litologisk grænse må nødvendigvis inddrage så mange supplerende oplysninger om palæomiljøet som muligt. Her tænkes specielt på tidligere studier af palæostrømretninger, lokaludbredelse samt eventuelle kortlægninger af over- og underliggende enheder. Yderligere bør strukturelle elementer som forkastninger og saltdiapirer indgå som grundlag for tolkningen. Endvidere er

Figur 1. 'Basis Miocæn'. A) Kort over Top Sekvens A (C.B Jakobsen & E.S. Rasmussen, upubl. to-vejs tid seismisk kort 2002). Dybden er angivet i tid. B) Kortet viser benyttede borer i interpolationen af 'Basis Miocæn' kortet, lokaliteter, samt de seismiske linjer der indgår i interpolationen. Seismikken er dybdekonverteret ud fra antagelsen at de øverste 100 ms svarer til 85m, derefter er dybden sat lig tiden (ms). C) Dybdekort til 'Basis Miocæn'. Grænsen Oligocæn/Miocæn angiver hvor de miocæne aflejringer ikke længere er til stede på grund af indsinking og senere erosion (O. Vejbæk, pers. komm., 2003). Denne grænse er benyttet i interpolationen ved at sætte 'Basis Miocæn' til terræn.



kvartær erosion en vigtig begrænsende faktor. Da alt dette materiale er geografisk orienteret er det nærliggende at foretage kortlægning i GIS. Til denne kortlægning er valgt programmet ArcGIS samt GeoEditor (DHI Water & Environment) til ArcView. I ArcGIS bruges programmet Geostatistical Analyst til kortinterpolation.

Kortlægningen

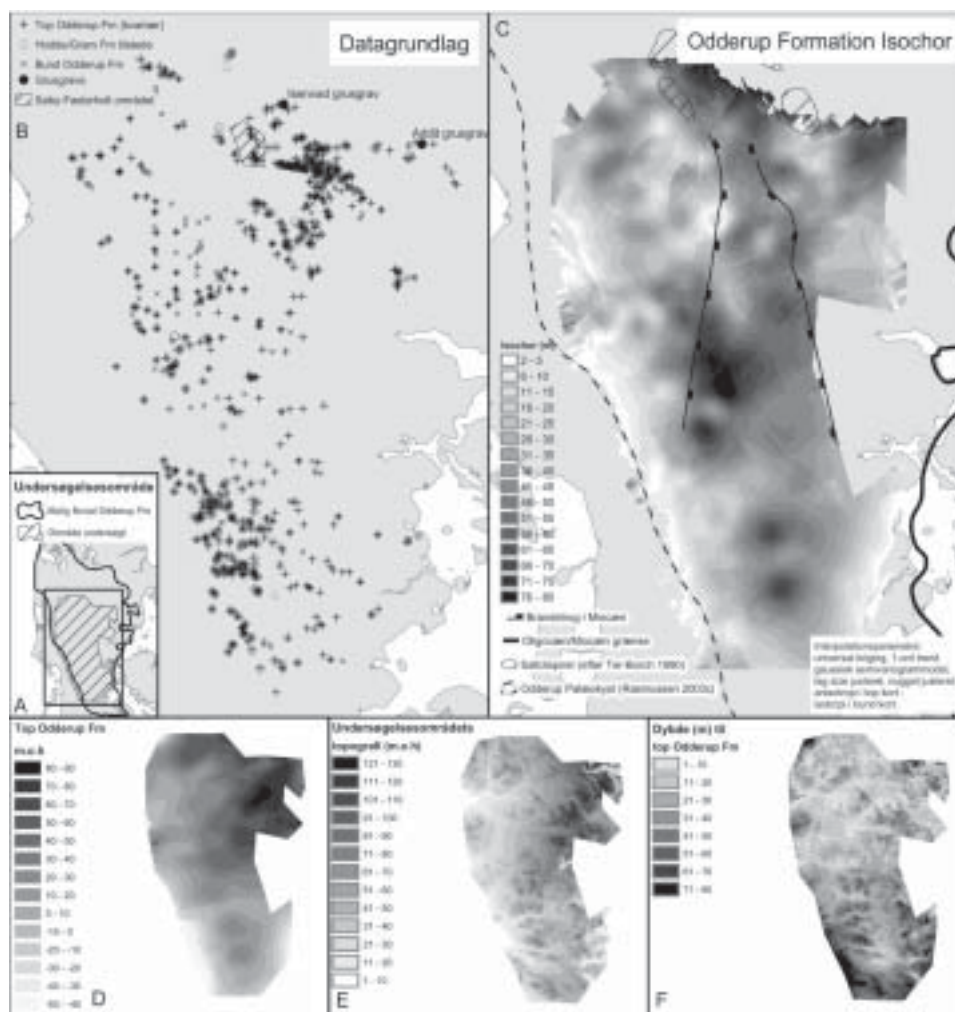
Kortene over 'Basis Miocæn', og Odderup Formationens bund og top er udarbejdet ved at fremstille et antal modeller, hvor antallet af datapunkter gradvist øges i takt med at tolkningen foregår. Selve tolkningen foregår i GeoEditor, hvor det er muligt at danne ud fra boredata. Den senest udarbejdede model bruges løbende som grundlag for den videre tolkning. Modellen for 'Basis Miocæn' mangler kun at få indført enkelte borer, mens kortlægningen af Odderup Formationen endnu ikke er afsluttet. I den viste tolkning er 37 kendte borer med en veldokumenteret Odderup Formation medtaget, samt 570 tolkede borer. Før en videre tolkning kan udføres, skal forkast-

ninger og saltstrukturer, der har indflydelse på de miocæne aflejringer, kortlægges nærmere ud fra seismiske data. Efter at disse strukturer er indført i tolkningsgrundlaget, kan tolkningen færdiggøres.

'Basis Miocæn'

Detaljerede palynologiske undersøgelser af borekerner og prøver fra daglokaliteter har vist, at basis af Vejle Fjord Formationen er beliggende tæt på grænsen Oligocæn-Miocæn (Dybkjær & Rasmussen 2000; Dybkjær *et al.* 2001). Til kortlægningen er valgt basis Vejle Fjord Ler Led. Dette led er dateret til seneste Chattien – tidlig Aquitanien (overgangen fra Oligocæn til Miocæn; Dybkjær & Rasmussen 2001).

Det endelige kort over 'Basis Miocæn' (Fig. 1c) er baseret på både borer og seismik. Modellen er interpoleret ved hjælp af 'universal kriging'. Denne interpolationsform er velegnet til data hvis gennemsnitsværdi ikke er konstant, man siger at datasættet har en 'trend'. Dette er tilfældet 'Basis Miocæn', idet indsinking har haft en stor indflydelse på fladens nuværende udseende. I selve interpoleringen af 'Ba-



Figur 2. Odderup Formationen. A) Det skraverede område indeholder de borerer der foreløbig er undersøgt. B) De tolkede borerer og lokaliteterne er vist, i alt ca. 600 borerer indgår i datagrundlaget. C) Isochor-kort. Brandetruget er kortlagt ud fra seismiske data og angiver trugets udbredelse i miocæne aflejringer. Odderup Formationen synes at være tykkere i truget, hvilket kunne tyde på at truget har haft indflydelse på aflejringer. D) Toppen af Odderup Formationen i meter over havet (m.o.h.). E) Topografisk kort over undersøgelsesområdets topografi, copyright Kort & Matrikelstyrelsen G 15-99. F) Dybdekort til Odderup Formationen.

sis Miocæn' skal effekten af indsynkningen ikke medregnes. Denne fjernes, hvorefter der udføres en regulær kriging interpolation på residualværdierne. Efterfølgende lægges den fjernede trend tilbage. Semivariogrammet i kriging modellen er modelleret med en gaussisk model, hvilket har vist sig at være fordelagtigt for data med en 'trend' eller ved visse typer seismiske data (Hohn 1999).

Såfremt 'Basis Miocæn' overfladen er korrekt modelleret Figur 2. Odderup Formationen. A) Det skraverede område indeholder de borerer der foreløbig er undersøgt. B) De tolkede borerer og lokaliteterne er vist, i alt ca. 600 borerer indgår i datagrundlaget. C) Isochor-kort. Brandetruget er kortlagt ud fra seismiske data og angiver trugets udbredelse i miocæne aflejringer. Odderup Formationen synes at være tykkere i truget, hvilket kunne tyde på at truget har haft indflydelse på aflejringer. D) Toppen af Odderup Formationen i meter over havet (m.o.h.). E) Topografisk kort over undersøgelsesområdets topografi,

copyright Kort & Matrikelstyrelsen G 15-99. F) Dybdekort til Odderup Formationen, burde det være muligt at erkende tilstedeværelsen af saltdiapirer i den nordlige del. Der synes at være fin overensstemmelse mellem modellen og de fleste saltdiapirer kendt fra kortlægningen af 'Top Chalk Group' (Ter-Borch 1990). En yderligere kontrol er sammenligning af modellen med et kort udarbejdet ud fra seismiske undersøgelser i Nordsøen og på land over 'Top sekvens A' (Fig. 1a), hvilket er ækvivalent med 'Basis Miocæn' (Rasmussen *et al.* 2002). Der er fin overensstemmelse mellem kortene, hvilket indikerer at de seismiske data er korrekt i modellen. Den opnåede model synes derfor, med visse forbehold, at være et godt bud på den nuværende dybde til 'Basis Miocæn'. Kortet viser tydeligt indsynkningen mod vest med dybder omkring -300 til -400 m over havet til 'Basis Miocæn', mens fladen ligger 0 til 100 m over havet mod øst.

Odderup Formationen

Odderup Formationen blev opstillet af Rasmussen (1961) og omfatter non-marine fluviale sedimenter (det miocæne kvartssand i Silkeborgområdet, Addit grusgrav), deltaike aflejringer (brunkulsforekomster ved Søby-Fasterholt) samt marginalt marine aflejringer (Isenvad grusgrav, syd for Ikast). Odderup Formationen er således velbeskrevet inden for mindre geografisk afgrænsede områder (Hansen 1995; Koch *et al.* 1998; Nielsen 1995). Toppen af Odderup Formationen udgøres i store områder af en erosionsflade overlejret af kvartære aflejringer. I andre områder, hovedsageligt mod syd, overlejres Odderup Formationen af marint ler, der ofte kan henføres til Hodde og Gram Formationerne (Rasmussen 2003a). Kortlægningen af toppen af Odderup Formationen er forholdsvis enkel i disse områder, mens tolkningen af områder med kvartær erosion er meget afhængig af kvaliteten af boringsbeskrivelserne. Bunden af Odderup Formationen er ofte vanskelig at erkende, hvilket visse steder skyldes det underliggende marint Bastrup sand (Rasmussen 2003a). Denne enhed vil derfor også blive kortlagt. I store dele af Jylland optræder Odderup Formationen ofte med lerede horisonter, lokalt med tykkelser op på 8–12 m. Disse lerede horisonter kan være svære at adskille fra den underliggende Arnum Formation. Dette skyldes oftest at boringsdybden er for ringe til at erkende om Arnum Formationen er til stede. Ligeledes giver mangelfulde boringsbeskrivelser anledningen til problemer i tolkningen, idet mange boringer blot er beskrevet som miocænt kvartssand eller glimmerler/-sand.

Til kortene over henholdsvis top og bund af Odderup Formation er ligeledes brugt universal kriging ud fra de samme overvejelser som ved 'Basis Miocæn' kortet. Indsynkningstrenden i datasættet er dog mindre markant. I kortet over top Odderup Formationen er der taget højde for anisotropi i interpolationen. Denne antagelse er væsentlig idet aflejringen af Odderup Formationen er sket i flod- og strandplan miljøer. Disse aflejringmiljøer vil have en meget klar tendens til at afleje sedimentet langs en udbredelsesretning (palæostrømretning). Anisotropien tager højde for denne tendens, idet punkter langs udbredelsesretningen vil have større vægt i interpolationen, end punkter vinkelret på udbredelsesretningen. Retningen for anisotropien, der i dette tilfælde er palæostrømretningen, er for top Odderup Formationen udregnet til 240°. Dette stemmer fint overens med palæostrømretningen gengivet i tidligere arbejder (Hansen 1995; Jesse 1995; Nielsen & Nielsen 1995). Bunden af Odderup Formationen udgøres af henholdsvis Arnum Formationen og Bastrup sandet. Der er ikke antaget nogen form for anisotropi for disse

enheders aflejring. Sidste led i interpolationsprocessen er krydsvalidering, hvor hvert datapunkt fjernes og beregnes ud fra den valgte interpolationsmodel. Dette giver forskellige statistiske parametre, 'prediction errors', der angiver brugbarheden af modellen. Kortene over top og bund Odderup Formationen har en 'root-mean-square prediction error' på henholdsvis 6,481 og 8,53 m, hvilket er et udtryk for modellens evne til at forudsige dataværdierne. Disse værdier skulle gerne være lavere, men er acceptable datasættet og modellens udbredelse taget i betragtning.

Isochorkortet for Odderup Formationen (Fig. 2C) er særlig vanskeligt at tolke i de områder, hvor formationens tykkelse er reduceret af kvartær erosion. Der er kompenseret for dette ved kun at medtage de højst beliggende punkter i top Odderup Formation kortet. Kvartære erosionsdale burde derfor ikke fremkomme på kortet. Dette er kontrolleret ved at sammenligne beliggenheden af kvartære begravede dale (Sandersen & Jørgensen 2002), med kortet over prækvartær overfladen og top Odderup Formationen. Der er ikke fundet nogen væsentlig korrelation mellem begravede dale og top Odderup Formation kortet.

I den nordøstlige del af sit udbredelsesområde er Odderup Formationen fluvial, og eventuelle depocentre kunne afspejle større kanaler. Isochorkortet (Fig. 2C) viser antydninger af depocentre, som dog ikke har en tydelig længdeakse. Der synes dog at være tegn på at Brandetruget og salt diapirer har haft indflydelse på aflejringen. Odderup Formationens dæklag er meget varierende og udgøres hovedsageligt af kvartære aflejringer. Mange steder er formationen kun overlejret af sandede sedimenter, og Odderup Formationens potentiale som grundvandsmagasin må derfor vurderes som værende begrænset, specielt mod nord og nordøst.

Diskussion og konklusion

Det står klart at GIS er meget velegnet som et redskab inden for geologisk kortlægning. Dette gør sig specielt gældende for større kortlægningsprojekter, hvor flere forskellige typer data skal sammenholdes. Specielt muligheden for at digitalisere tidligere arbejder, og importere data fra andre tolkningsplatforme (seismik), gør det muligt at tolke boringsdata med større sikkerhed. Ligeledes ligger den store styrke i GIS i muligheden for at udføre adskillige typer rumlige analyser når først tolkningsarbejdet er fuldført. Således kan der hurtigt udarbejdes kort over f.eks. dybden til toppen af en formation (Fig. 2f).

Valg af interpolationsmetode har stor betydning både for kortets endelige udseende, men også for

kvalitetssikring af modellen. En af kriging-metodens styrker er muligheden for at generere usikkerhedskort. Det er her muligt at vise forskellige kombinationer af usikkerheder eller tærskelværdier for interpolationen. På denne måde kan der hurtigt dannes et overblik over brugbarheden af modellen, således at der ikke drages konklusioner baseret på et utilstrækkeligt statistisk grundlag. Usikkerhederne på de viste kort er acceptable, specielt taget i betragtning at der ikke er taget højde for forkastninger i interpolationen. Dette skal gøres ved at lægge barrierer ind i interpolationen, hvilket skulle blive muligt i næste version af Geostatistical Analyst.

Datagrundlaget i form af boreriger med biostratigrafisk kontrol er uundværligt som udgangspunkt for kortlægningen af Odderup Formationen. Det står endnu uklart om Jupiterdata suppleret med information om strukturelle elementer er tilstrækkeligt til at udarbejde geologiske kort, hvor en sikker tolkning af palæomiljøet kan forekomme og en detaljeret geologisk model kan opstilles. De indledende undersøgelser tegner positivt.

Referencer

- Dybkjær, K., Piasecki, S. & Rasmussen, E.S. 1999: Dinoflagellat – zoner og sekvensstratigrafi i den miocæne lagpakke i Midt- og Sønderjylland. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 1999/73, 33 pp.
- Dybkjær, K. & Rasmussen, E.S. 2000: Palynological dating of the Oligocene – Miocene successions in the Lille Bælt area, Denmark. Bulletin of the Geological Society of Denmark 47, 87–103.
- Dybkjær, K., Rasmussen, E.S. & Piasecki, S. 2001: Oligocæn – Miocæn stratigrafi i Vejle Amt. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2001/104, 37 pp.
- Dybkjær, K. & Rasmussen, E.S. 2001: Oligocæn – miocæn dinoflagellat-stratigrafi i Vorbasse-boringen, Ribe Amt. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2001/120, 27 pp.
- Friberg, R., Thomsen, S. 1999: Kortlægning af Ribe Formationen. Et fællesjysk grundvandssamarbejde, 76 pp. Tønder: Sønderjyllands Amt.
- Hansen, H.C.S. 1995: Tertiary fluvial deposits of Jylland, Addit area. Danmarks Geologiske Undersøgelse Serie C 12, 39–52.
- Hazel, J.E. Jr. 1994: Sedimentary response to intrabasinal salt tectonism in the Upper Triassic Chinle Formation, Paradox Basin, Utah. U.S. Geological Survey Bulletin 2000-F, F1–F34.
- Hohn, M.E. 1999: Geostatistics and petroleum geology, 2nd edition, 235 pp. London: Kluwer Academic Publishers.
- Jesse, J. 1995: Arkitekturelementanalyse af fluvio-deltaiske aflejringer fra den mellem miocæne Odderup Formation, Midtjylland Danmark, 113 pp. Upubliceret kandidat-afhandling, Geologisk Institut, Århus Universitet, Danmark.
- Koch, B.E., Christensen, E.F. & Thomsen, E. 1989: Geology of the Søby-Fasterholt area. Danmarks Geologiske Undersøgelse Serie A 22, 167 pp.
- Larsen, G. & Dinesen, A. 1959: Vejle Fjord Formation ved Brejning: Sedimenter og foraminiferfaunaen (Oligocæn – Miocæn) Danmarks Geologiske Undersøgelse II Række 82, 114 pp.
- Nielsen, S.A.V. Nielsen, L.H. 1995: Mid Miocene progradational barrier island and back-barrier deposits, central Jutland, Denmark. Danmarks Geologiske Undersøgelse Serie C 12, 21–38.
- Rasmussen, E.S. 2001: Tertiære sandmagasiner i Jylland. Geologi – nyt fra GEUS 1, 7–9.
- Rasmussen, E. S. 2003a: Regional geologisk kortlægning af miocæne grundvandsmagasiner i Ringkøbing Amt. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2003/1, 37 pp.
- Rasmussen, E.S. 2003b: Miocæn stratigrafi i den nordøstlige del af Ribe Amt. GEUS rapport 2003/2: 48 pp.
- Rasmussen, E.S. 2003c: Korrelation af miocæne grundvandsmagasiner i Vejle Amt med speciel fokus på Give – Brædstrup området. GEUS rapport 2003/3: 33 pp.
- Rasmussen, E.S., Dybkjær, K. & Piasecki, S. 2002: Miocene depositional systems of the eastern North Sea Basin, Denmark. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2002/89, 120 pp.
- Rasmussen, L.B. 1961: De miocæne formationer i Danmark. Danmarks Geologiske Undersøgelse -Række IV 4(5) 45 pp.
- Sandersen, P. & Jørgensen, F. 2002: Kortlægning af begravede dale i Jylland og på Fyn. Opdatering 2001–2002. De jyskfynske amters grundvandssamarbejde, 157 pp. Vejle: Vejle Amt.
- Ter-Borch, N. 1990: Geologisk kort over Danmark. Kalkoverfladens struktur. Danmarks Geologiske Undersøgelse Kortserie.