

Radon i danske jordarter I

Indledende redegørelse om de
geologiske forhold på under-
søgelseslokaliteterne

Af Peter Gravesen



Radon i danske jordarter I

Indledende redegørelse om de
geologiske forhold på under-
søgelseslokaliteterne

Af Peter Gravesen

Med bidrag af Mark Krasnik,
Gentofte amtssygehus

Indhold

1. Indledning	3
2. Sundhedsmæssig betydning af Mark Krasnik	4
3. Geologisk baggrund	5
4. Tidligere undersøgelser	9
5. Undersøgelsens metodik	11
6. Kriterier for udvælgelse af de fem områder	13
7. Thisted	19
7.1 Regional geologi	19
7.2 Undersøgelsesområdets geologi	21
7.3 Bjergarternes egenskaber	21
8. Viby	23
8.1 Regional geologi	23
8.2 Undersøgelsesområdets geologi	23
8.3 Bjergarternes egenskaber	24
9. Nordbornholm	26
9.1 Regional geologi	26
9.2 Undersøgelsesområdernes geologi	27
9.3 Bjergarternes egenskaber	28
10. Lundeberg	29
10.1 Regional geologi	29
10.2 Undersøgelsesområdets geologi	30
10.3 Bjergarternes sammensætning	31
11. Andrup	32
11.1 Regional geologi	32
11.2 Undersøgelsesområdets geologi	33
11.3 Bjergarternes sammensætning	33
12. Afsluttende bemærkninger	34
13. Referencer	35
14. Bilag	40

1. Indledning

Det antages, at 10 % af alle lungecancertilfælde i Danmark skyldes radonpåvirkning (Sundhedsstyrelsen, 1987a), mens en undersøgelse i Sverige viser, at 15 % af tilfældene skyldes radon (Pershagen et al., 1993). Høje radonniveauer er derfor et klart samfundsmæssigt problem, som der endnu ikke er givet en løsning på, bl.a. fordi hidtidige undersøgelser ikke har givet et mere præcist svar på radons naturlige geografiske variation og styrke i Danmark (Hansen, Krasnik & Gravesen, 1993).

Radonforholdene er således ikke tidligere undersøgt ud fra en opfattelse af, at de geografiske og geologiske forhold i landet er styrende for den lokale og regionale fordeling af radonniveauerne. De geologiske lag er af særdeles varierende sammensætning og har forskellig alder både i overfladen og i de dybere lag. Deres lejringsforhold vil derfor have stor betydning for radonniveauerne.

Undersøgelser af radonniveauer i danske jordarter samt viden om transport af radon gennem jordlagenes porer til bygninger er af stor betydning for en bedømmelse af risikoen for høje værdier i bygningerne i forskellige dele af Danmark. Undersøgelse af de danske jordarters aldre og oprindelse indenfor mindre områder vil kunne gøre det muligt at bedømme de naturlige radonforhold for hele landet.

Denne undersøgelse, som er finansieret af Sundhedsministeriet, har derfor til formål at afprøve metoder til at bestemme relationerne mellem jordarternes oprindelse, alder, indhold af radon i jordluften, mineralogi og transportforhold (Gravesen & Krasnik, 1994). Dette sker ved:

- at beskrive forholdene omkring radons oprindelse i danske jordarter bl.a. ved af sammenholde jordarterens oprindelse og alder med deres sammensætning samt vurdere radon/oprindelses-materialets afhængighed af redoxforhold i jordlagene.
- at beskrive radons mulige transportveje i jordlagenes porer i luft og vand, herunder at studere den umættede zones betydning for radons henfald, transport og bindinger. Resultater fra igangværende projekter, der belyser transportforhold i moræneler, vil blive inddraget.

Resultaterne fra undersøgelsen vil have betydning for vurdering af lokale, naturlige radonforekomster i Danmark, og der afprøves metoder og metodik, til anvendelse på andre lokaliteter med andre jordarter.

Nærværende undersøgelse, der betragtes som fase 1, skal lægge op til en senere fase 2, der vil være en mere omfattende undersøgelse af radon i jordlagene, som lægger op til vurdering af forholdene på landsplan. Endelig vil det være naturligt undersøge radon forholdene i grundvandet i en fase 3.

Afrapportering af fase 1 sker i 2 rapporter. Denne rapport beskriver udvælgelsen af undersøgelsesområderne, mens undersøgelsens øvrige resultater vil blive offentliggjort i en senere rapport.

2. Sundhedsmæssig betydning af Mark Krasnik

Radon og dets nedbrydningsprodukter (radons datterprodukter) introduceres i kroppen enten via drikkevandet eller via lungerne. Det kan spredes både via lungerne og mave-tarmkanalen, hvorfra det transporteres til andre af kroppens organer (Hursh et al., 1965, Soumela & Kahlos, 1972, Cross et al., 1985, Harley & Harley, 1990).

Risikoen fra radon stammer dog hovedsagelig fra indånding af de radioaktive nedbrydningsprodukter polonium, bly og vismut. De fleste af disse radioaktive stoffer binder sig til partikler i atmosfæren.

Inhaleres disse partikler eller den frie andel af radon og dets nedbrydningsprodukter, aflejres de i luftvejenes slimhinder og i lungevævet, hvor de kan være bundet i flere dage. Energien, der frigøres i denne periode, specielt i form af alfa-stråling, medfører skade i slimhindernes celler (Harley & Harley, 1990), som på længere sigt medfører udvikling af lungekræft.

Omkring 30%-50% af radon og dets nedbrydningsprodukter krydser membranerne i lungerne, efter det er blevet indåndet. Herfra føres det blandt andet til knoglemarven, hvor det opløses i knoglemarvens fedt, og derved påføres knoglemarven en betydelig stråledosis.

I de senere år har der været tiltagende opmærksomhed omkring radonforekomsterne i drikkevand, idet det er blevet påvist, at der normalt forekommer lave koncentrationer af radioaktive produkter i grundvandet i moræneaflejringer og i områder med granit, kalksten, sandsten og skifre. Ved indtag af ubehandlet vand (ikke kogt, rensat eller lignende) vil mave-tarmkanalen dog kunne modtage en større stråledosis fra radon-222. Da radon som anført er en radioaktiv luftart, vil denne og nedbrydningsprodukterne også kunne frigøres til indendørsluften ved tapning af vandet (Pershagen et al., 1993). Radon indtaget med drikkevand udskilles kun relativt langsomt og forbliver i kroppen i over 12 timer afhængig af den fysiske aktivitet.

Strålebetaget lungekræft er den ældste kendte form for strålingsinduceret kræft, og de mange undersøgelser om radon, der er udført igennem de sidste 20 år, har påvist og bekræftet sammenhængen mellem radon i boliger og lungekræft, senest med en stor svensk undersøgelse (Pershagen et al., 1993). Statens Institut for Strålehygiejne har anslået, at ca. 10 % af alle lungekræfttilfælde i Danmark skyldes udsættelse for radon (Sundhedsstyrelsen, 1987a). Der er iøvrigt i de enkelte undersøgelser påvist sammenhæng mellem radonkoncentrationen og kræft i bugspytkirtlen, leukemi (Edling & Axelson, 1983) og blærekræft (Bean et al., 1982).

3. Geologisk baggrund

Den radioaktive luftart radon (radon-222) med en halveringstid på 3,8 dage, bliver dannet ved naturligt henfald fra radium-226 (halveringstid 1600 år), der bliver dannet ud fra uran-238 (halveringstid 4,5 milliarder år) (Nazaroff, 1992). Radon er en kemisk inaktiv ædelgas, som kan opløses i vand. Radon henfalder yderligere til fire radioaktive stoffer, som kaldes radondatterprodukter (Polonium, Po-218; Bly, Pb-214; Vismut, Bi-214 og Polonium, Po-214) med meget korte halveringstider (Fig.1). Endelig henfalder Po-214 til fire andre stoffer (Pb-210, Bly, Bi-210, Vismut, Po-210, Polonium, Pb-206, Bly), hvoraf Pb-206 er stabilt bly.

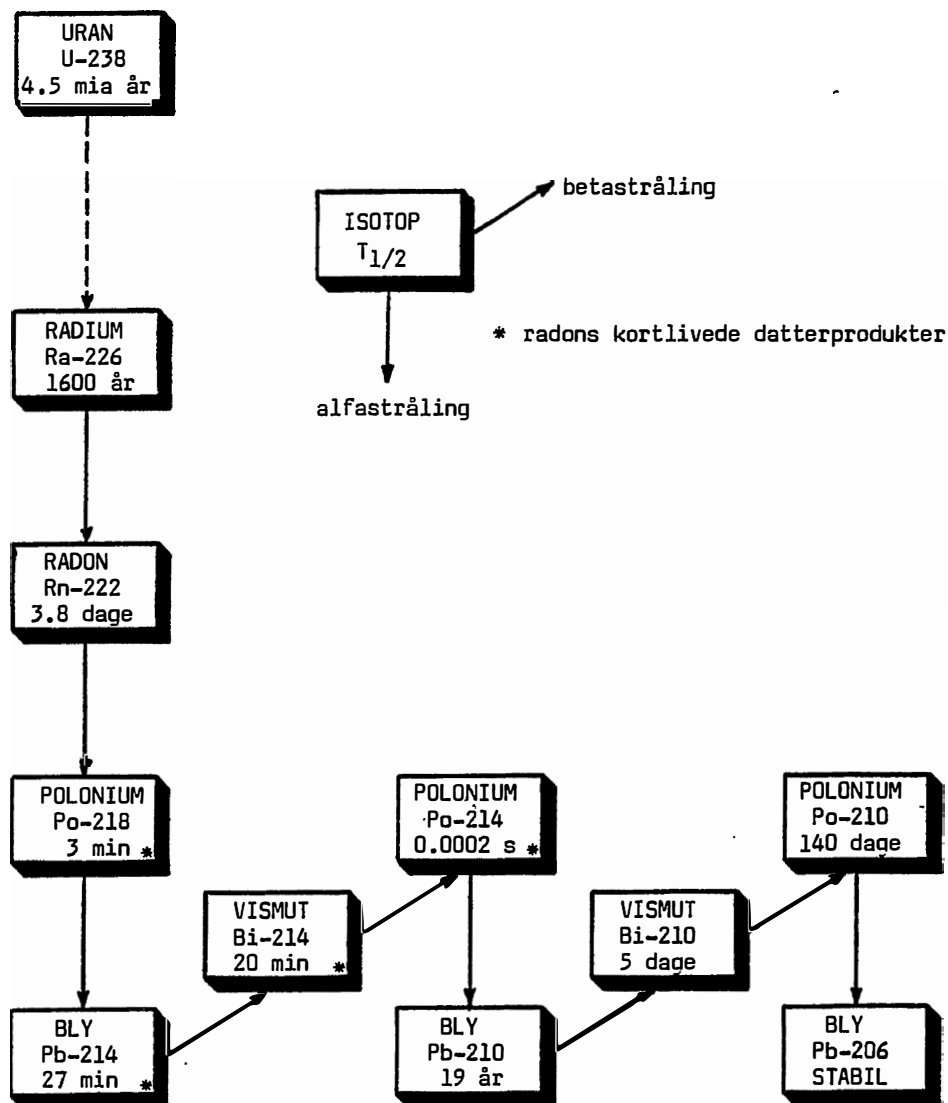


Fig.1. Oversigt over den naturlige uran-henfaldsserie (Fra Sundhedsstyrelsen, 1987b).

Uran indgår i forskellige mineraler, som dannes i forbindelse med grundfjeldsbjergarter som gnejser og graniter samt forskellige bjergartstyper dannet sammen med dem (pegmatitter). Nedbrydning af uranmineralerne kan ske in situ i grundfjeldsbjergarterne eller i eroderet og transporteret materiale dannet ud fra bjergarterne, f.eks. fra berigede sedimentforekomster, beriget med uranholdige mineraler.

I Danmark findes grundfjeldsbjergarterne kun i overfladen på Bornholm, mens de i den øvrige del af landet ligger meget dybt. De ligger højest under den Jysk-fynske ryg og ved Skagen (ca. 1 km), mens der andre steder er over 5 km ned til grundfjeldsbjergarterne. Der findes desuden tykke lagfølger af sand, sandsten, ler og skifer over grundfjeldsbjergarterne.

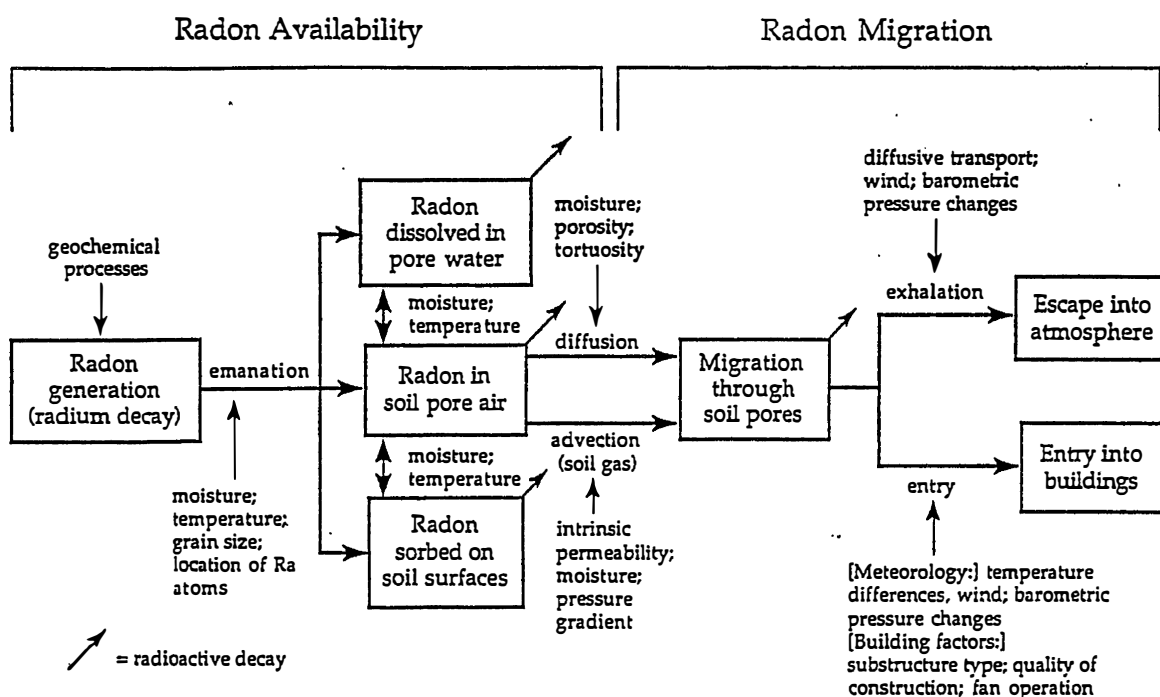
Udenfor Bornholm er det derfor ikke fra grundfjeldsbjergarterne, men fra sedimentaflejringer der kan forekomme høje radonniveauer. Hidtidige undersøgelser viser, at det især er radon i morænelersaflejringer, som har betydning for radonforholdene inde i husene (Sundhedstilsynet, 1987b, Majborn et al., 1988), hvilket har særlig betydning på grund af disse jordarters store geografiske udbredelse (Pedersen et al., 1989). Det har desuden ud fra et geoteknisk synspunkt har været en attråværdig jordart at bygge huse på. Høje radoniveauer måles, som omtalt, også fra grundfjeldsbjergarterne, hvor uranholdige mineraler kan iagttages direkte i graniter i stenbrud (Sørensen, 1967), samt fra palæozoiske alunskifre på Bornholm (Damkjær & Korsbech, 1985), hvilket iøvrigt også kendes fra Skåne (Åkerblom, 1987, 1995). I det øvrige land træffes desuden også høje værdier i marine tertiære lere og kalkaflejringer (Korsbech, 1985, Damkjær & Korsbech, 1985, 1988). De højeste værdier er dog konstateret i tungsand fra recent strandsand med en høj koncentration af mineraler som er radioaktive, og sådanne høje værdier kan også forventes i andre aflejrings typer, hvor koncentrationer af tungmineraler forekommer.

Det relativt høje radonniveauer i moræner skyldes, at der findes omlejrrede mineraler i leret, som indeholder uran-238 og radium-226. Disse mineraler stammer fra områder med grundfjeld, som gletschere har passeret hen over under kvartærtidens istider. Isen har brudt de hårde bjergarter op og har transporteret materialet frem til Danmark, hvor det er blevet aflejret. Smeltevandssand- og grus kan også indeholde omlejrrede uran-radiumholdige mineraler, men ofte vil disse højpermeable jordarter have afgivet radon til grundvandet eller til atmosfæren, hvis der er direkte adgang til denne. Imidlertid er det vist indirekte ved målinger foretaget i 70 huse på Midsjælland (Majborn, 1992), at også glaciofluvialt smeltevandssand- og grus stedvis må forventes at kunne give høje radonværdier. Dette er f.eks. også påvist i Finland (Castren, 1987, Hutri & Makelainen, 1993).

Der er i Danmark konstateret aflejringer fra mindst fire forskellige istider med mange gletscherfremstød fra nordlige, nordøstlige og sydøstlige retninger. Disse gletscherfremstød har været med til at forme landet og aflejre de overfladenære lag. Dette betyder, at moræner kan have meget forskellig sammensætning og struktur alt efter dannelses tidspunkt og oprindelse. Det har f.eks. betydning om gletscherne har bevæget over Norge eller Sverige eller er kommet fra Finland syd om Sverige og dermed hvilke grundfjeldsbjergarter materialet, som er indarbejdet i moræneleret, stammer fra. Det er også vigtigt, om der er tale om aflejringer fra sidste istid, som præger det Østdanske landskab, eller om det er leraflejringer fra tidligere istider som i Vestdanmark. Det har også betydning, hvor meget lokalt materiale fra tiderne før Kvartær tiden, der er indlejret i moræneleret. Undersøgelser har imidlertid som nævnt ofte vist, at bestandelene i moræner stammer fra andre steder, end hvor det nu findes, hvilket kan forklare de forholdsvis lave værdier, der blev fundet i boliger på Bornholm i 1987 (Sundhedstilsynet, 1987b). Dette bekræftes også af svenske undersøgelser (Engquist, 1982).

De vigtigste kilder til høje radon niveauer i Danmark synes således at være kvartært moræneler, tertiært marint ler, kalk fra Tertiær og Kridt, palæozoiske alunskifre, grundfjeldsbjergarter fra Prækambrium og aflejringer med tungsandsforekomster af forskellig alder samt stedvis kvartært smeltevandssand- og grus. Set i relation til radonforhold i bygninger er det især jordarter i de øverste lag nær jordoverfladen, der har betydning (skønsmæssigt 0-5 m). Moræneler træffes meget ofte indenfor dette interval, men selv om tertiære lere almindeligvis træffes på større dybde, kan de også findes i niveauer tæt ved overfladen bl.a. bragt derop ved tektonisk virksomhed fra istidens gletschere eller ved tektonik omkring salthorste. Dette gælder også kalkaflejringer, der findes som opsprækkede lag i en del områder af Danmark.

Radon som genereres (emanation) fra radium i mineraler og nedknust bjergartsmateriale bevæger sig ud i aflejringeres porer og sprækker enten opløst i porevandet eller i jordluften. Desuden adsorberes radon på sedimentpartiklernes overflader (Fig.2). Det er derfor en række geologiske faktorer og egenskaber ved jordlagene, som har betydning for den videre transport af radon ved diffusion eller advektion til atmosfæren, grundvandet eller husene (Nazaroff, 1992, Lindmark & Rosen, 1984). Jordluftens transport ind i husene gennem revner og sprækker i fundamenter og murværk er beskrevet i mange undersøgelser, som også har dokumenteret problemets betydning (Andersen, 1992).



Schematic representation of radon generation and migration in soil and its entry into the atmosphere and into buildings. The boxes represent the major steps by which radium in soil contributes to airborne radon. Horizontal arrows are

labeled with names of the processes by which transition occurs. Labels on vertical arrows indicate parameters that significantly influence the rate of progress from one state to another. The diagonal arrows denote radon loss by radioactive decay.

Fig.2. Skematisk oversigt over generering af radon og luftartens migration igennem jordlagene og ind i bygninger. (Fra Nazaroff, 1992).

Hvor langt radon kan bevæge sig ved diffusion i danske jordarter er undersøgt ved laboratorieforsøg af Søgaard-Hansen & Damkjær (1987). Den naturlige radioaktive baggrundsstråling i jordarterne er på landsplan i Danmark ikke detaljeret kendt, mens der f.eks. i Holland er foretaget målinger af radioaktiv stråling på 1000 lokaliteter, som er sammenholdt med de geologiske forhold (Dongen & Stoute, 1985).

4. Tidligere undersøgelser

Gennem danske og udenlandske undersøgelser er det blevet påvist, at radonindholdet i jordlagene og de geologiske forhold iøvrigt har den største betydning for de radonniveauer, som kan måles inden i boliger og andre bygninger (Sundhedstyrelsen, 1987b, 1994, Ulbak et al., 1988, Nazaroff, 1992, Gundersen et al., 1992).

De naturlige radonniveauer i en række danske jordarter er blevet undersøgt af Korsbech, 1985, Damkjær & Korsbech (1985) og Majborn, Sørensen, Nielsen & B-Jensen (1988). Desuden er vurderinger af forholdene foretaget ved en større undersøgelse udført af Sundhedstyrelsen (1987), af Majborn (1992) ved en undersøgelse på Midsjælland og af Damkjær & Korsbech (1988) i kalken på Mors. Der er også udført undersøgelser af radons transportforhold fra jordlagene der omgiver husene og videre ind i husene (Andersen, 1992, Andersen et al., 1992, 1994) og af diffusionstransporten i jordprøver i laboratoriet (Søgaard-Hansen & Damkjær, 1987). Radons geologiske optræden er derudover undersøgt i en række andre lande (f.eks. Ball & Miles, 1993, Ball et al., 1991, Gundersen & Wanty, 1991, Gundersen et al., 1992, Schumann, 1998, Åkerblom, 1987, 1995). En del af disse resultater kan overføres på danske forhold, f.eks. når der er tale om jordarter, der er dannet på samme måde (ensartet dannelsesmekanisme) og som har samme type strukturer (dannet ved samme fysiske processer), mens jordarternes sammensætning med hensyn til mineralogi og kemi er mere betinget af materialets oprindelse og af de lokale forhold. Derudover vil især jordarter dannet under kvartærtidens istider kunne have mere sammensatte radonmønstre, da de ofte består af materialer fra forskellige kilder (Hansen, Krasnik & Gravesen, 1993, Gates, Malizzi & Driscoll III, 1992, Schumann, 1993).

Det danske "Radon-95"-projekt: "En undersøgelse af effektiviteten af foranstaltninger til reduktion af radonkoncentrationen i en række danske enfamiliehuse" har til formål at tilvejebringe et forbedret videngrundlag for myndighedernes rådgivning vedrørende metoder til reduktion af radonkoncentrationen i danske boliger. (Risø, 1994). Projektet tager sigte på, at opnå konkrete erfaringer med reduktion af radonkoncentrationen i et begrænset antal danske enfamiliehuse.

Projektets resultat vil være 10 veldokumenterede forløb, hvor radonkoncentrationen er målt før og efter gennemførelsen af reduktionsforanstaltningerne. Den opnåede viden vil omfatte måleresultater for de væsentligste af de parametre, som indgår i en beskrivelse af årsagen til forhøjede radonniveauer i husene. Endelig vil projektet bidrage til en udbygning af den statistiske viden om radonkoncentrationen i danske boliger. I danske boliger har de målte radonkoncentrationer vist sig at være logaritmisk normalt fordelt med værdier fra ca. 5 Bq/m³ til ca. 500 Bq/m³ og med en gennemsnitsværdi på 50 Bq/m³.

Erfaringerne fra udlandet peger på, at huse med radonkoncentrationer, som er 5 til 10 gange højere end landets middelværdi, med relativt enkle midler vil kunne sænkes til niveauer som er 2 til 4 gange middelværdien eller endnu mindre. Projektet gennemføres derfor ved at udvælge et antal huse med et relativt højt radonniveau og i disse huse at undersøge effektiviteten af foranstaltninger til reduktion af radonkoncentrationen.

Derfor er der blevet udpeget tre geografiske områder, hvor der kunne forventes forhøjede radonniveauer. Ved hjælp af Bygnings- og Bolig Registret (BBR) kunne der derefter ud-

peges 100 enfamilieshuse i hvert område til nærmere undersøgelse af radonniveauer og for endelig at udtage ca. 10 huse, hvor der kunne foretages afhjælpende foranstaltninger (Risø, 1994). De foreløbige resultater fra projektet viser, at de tre områder lever op til forventningerne om relativt høje radonniveauer i jordlagene og i husene (Damkjær et al., 1995a,b).

Erfaringerne fra "Radon-95"- projektet er indraget i nærværende projekt, og de tre lokaliteter ved Thisted, Ramsø og Nordbornholm er anvendt igen, men er blevet suppleret med to andre lokaliteter.

5. Undersøgelsens metodik

Undersøgelsen er delt op i følgende elementer:

a. Udvælgelse af områder

Udvælgelsen er nærmere omtalt i denne rapport. Indenfor hvert område er valgt en ejendom (areal), d.v.s. 5 ialt, hvor de nærmere undersøgelser er foregået. Disse undersøgelser har bestået af feltarbejde og laboratoriearbejde.

b. Feltarbejde

Feltarbejdet har bestået af en række aktiviteter i husene og på de nære områder omkring dem:

- Den geologiske jordartsfordeling på området er kortlagt.
- Der er udført 6 korte borer pr. område (max 5 meters dybde i gennemsnit) til udtagning af jordprøver og til understøttelse af kortlægningen af de geologiske forhold. En boring er logget ved spektral gamma log.
- Morænejordarternes strukturer (d.v.s makroporer, sprækker, rodsystemer, ormehuller, sandlegemer m.v. og matrix) er beskrevet i små udgravninger (max 2 meters dybde), og der er udtaget prøver. Beskrivelser er også foretaget af de andre jordartstyper, der er truffet ved undersøgelsen. Beskrivelsen har dannet udgangspunkt for tolkning af vand-luft egenskaberne i jorden.
- Radonniveauer i ejendomme ved Thisted, Ramsø og Nordbornholm, der er målt ved projektet "Radon-95" er anvendt som baggrundsmateriale i denne undersøgelse, ligesom målinger af radon i jordgas i jordlagene udenom husene er det (Damkjær et al, 1995 a,b).
- Meteorologiske forhold i områderne er registreret.

c. Laboratoriearbejde

Laboratoriearbejdet har omfattet bearbejdning af boreprøver og graveprøver for at bedømme de mineralogiske og kemiske forhold i jordarterne, der er blevet sammenholdt med radonværdierne. Radonværdier og mineralogi/kemi skal sammenholdes med formodet alder og oprindelse. Følgende er udført:

- Jordarterne er beskrevet og der er udført kornstørrelsesanalyser.
- Fugtighed i de optagne jordprøver er målt.
- Mineralogi af både de grovkornede og finkornede komponenter er bestemt med henblik på at bestemme mineraler, der kan være oprindelsesmateriale for radon.
- Kemiske analyser af jordarterne er foretaget (Især Uran (U) og Thorium (Th)).

- Radiumindhold i jordprøverne er målt.
- Radonemanationer i jordprøverne er målt.

d. Rapportering.

Rapporteringen har bestået af 1) Nærværende rapport, og 2) En afsluttende rapport til Sundhedsministeriet. Desuden er arbejdet med videnskabelige artikler påbegyndt. Rapporteringen har haft følgende elementer:

- Bearbejdning af indsamlet materiale.
- Beskrivelse af sediment/radonforhold med hensyn til oprindelse og transport af radon for hvert område.
- Vurdering af metodik.
- Sammenholdning af resultaterne med kendskabet til jordarternes regionale udbredelse ud fra Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelses kortlægninger og geologisk litteratur.
- Konklusioner og oplæg til fase 2.

6. Kriterier for udvælgelse af de fem områder

På baggrund af viden om radonforholdene i Danmark er der udpeget fem områder med forskellige moræneaflejringer over ældre aflejringer af forskellig alder og oprindelse. Samtidig er der en passende tyk umættet zone i de øvre jordlag over grundvandet. Indenfor områderne er aflejringerens alder og oprindelse kendt (ud fra publiceret litteratur). Følgende fem områder er udvalgt således, at geologiske kriterier er blevet lagt til grund for udvælgelsen:

1. Et område ved Thisted i Nordjylland med højtliggende opsprækket kalk, som stedvis kun har et tyndt dække af kvartære sedimenter, heriblandt moræneler. Mange huse i området er bygget direkte på kalken. Området blev udvalgt til "Radon-95"-projektet (Fig.3). Grundvandsspejlet ligger mere end 5 m under terræn. Området er også anvendt ved dette projekt, men detaillokaliteten er placeret efter, hvor der er moræneaflejringer over kalken (Damkjær et al., 1995a).
2. Et område med moræneler over grundvandsspejlet ved Viby syd for Roskilde blev udvalgt til "Radon-95"-projektet (Fig.4), og det er også anvendt i denne undersøgelse. I området overlejrer moræneler palæocæne grønsandsaflejringer (ler og kalk) (Damkjær et al., 1995a).
3. Et område med granit til "Radon-95"-projektet kunne kun findes på Bornholm. Det er karakteriseret ved kun at have få meter eller ingen sedimenter over graniten. Graniten er opsprækket, og der findes huse liggende direkte på granitoverfladen. Grundvandsspejlet ligger passende langt under terræn, hvilket også er det almindelige i grundfjeldsområdet på Bornholm. Der blev udvalgt tre mindre delområder, der ligger tæt ved hinanden på Nordbornholm: Allinge-Sandvig, Sandkås-Tejn og Gudhjem (Fig.5)(Damkjær et al., 1995a), og i nærværende projekt er detaillokaliteter placeret indenfor Allinge-Sandvig og Sandkås-Tejn områderne.
4. Et område med ældre moræneler ovenpå højtliggende interglaciale sand- og leraflejringer findes på Østfyn fra Nyborg og sydpå til Svendborg og delvis videre mod Fåborg. Til de detaljerede undersøgelser i dette projekt blev valgt et område sydvest for Lundeberg, hvor grundvandsspejlet ligger 8-10 m under terræn (Fig.6).

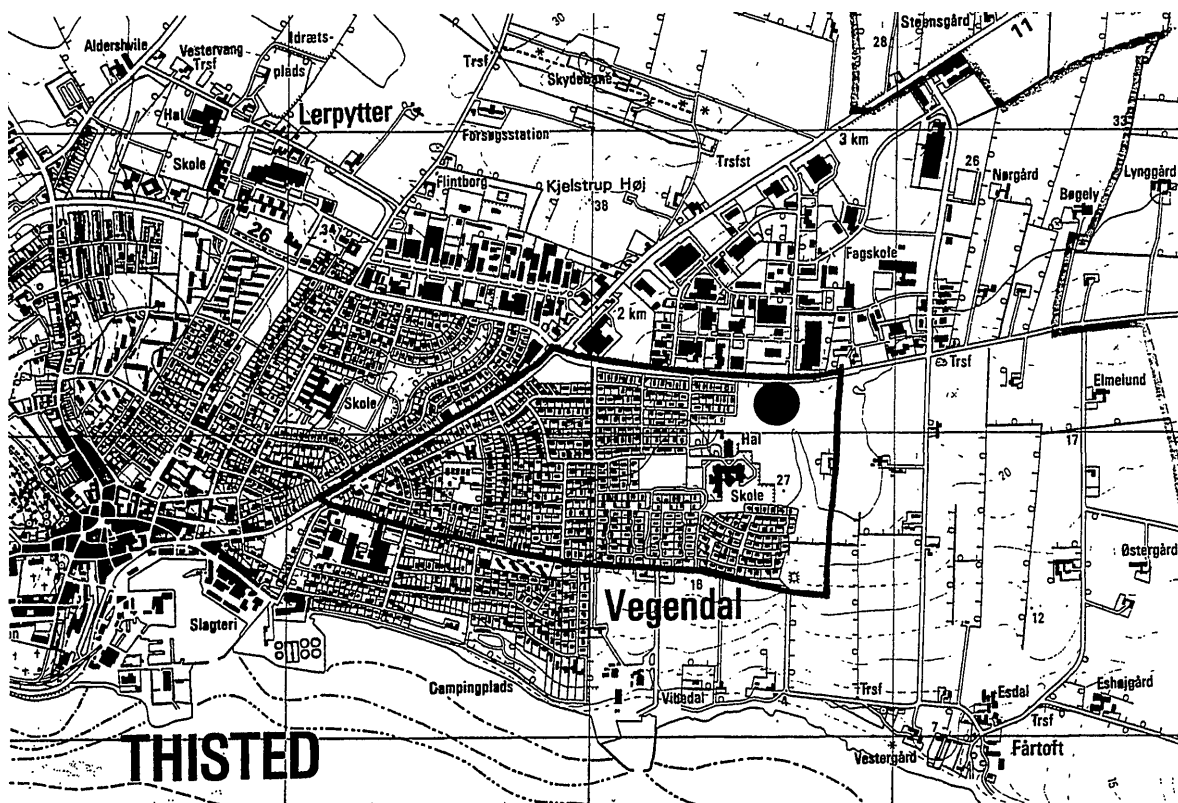


Fig.3. Undersøgelsesområdet ved Thisted. Del af 1116 I Thisted. 1:25.000 (Med tilladelse fra Kort- og Matrikelstyrelsen).

5. Et område med ældre moræneler over smeltevandssand/ interglacialt sand/miocæne aflejringer træffes nordøst for Esbjerg ved Andrup, hvor der er valgt en detaillokalitet i nærheden af den nyere bebyggelse (Fig.7). Grundvandsspejlet ligger mere end 10 m under terræn.

De geologiske forhold i de fem områder gennemgås herefter i de næste afsnit, som er udarbejdet på basis af arkivdata, geologiske kort og litteratur. Et landdækkende, simplificeret, Kvartærgeologisk kort ses på fig.8, hvor de fem lokaliteter er indtegnet. Geologiske basisdatakort for de fire af områderne kan ses i bilag B1, B2, B3 og B4.

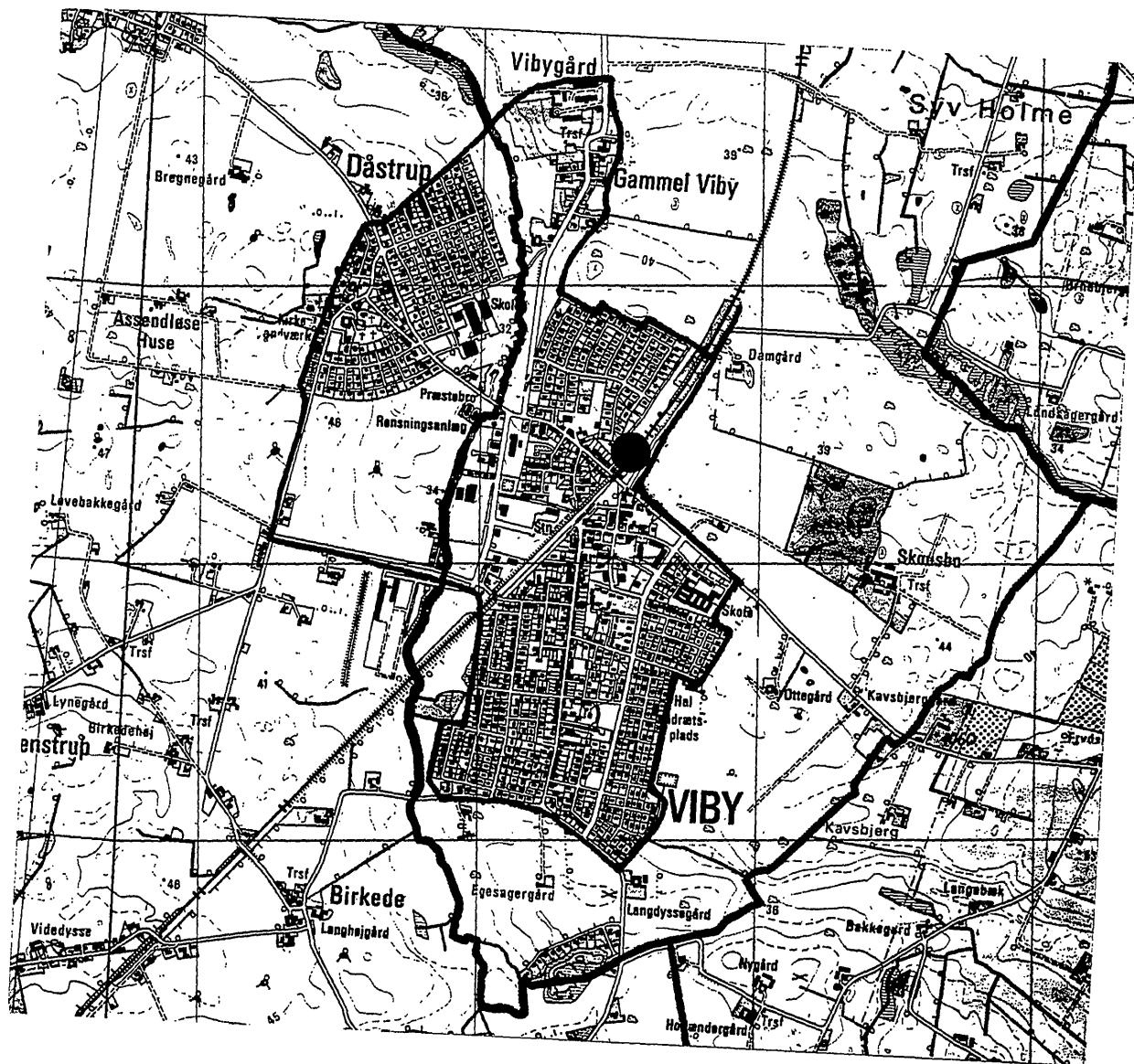


Fig.4. Undersøgelsesområdet ved Viby på Sjælland. Udsnit af 1513 III Havdrup i 1:25.000 (Med tilladelse fra Kort- og Matrikelstyrelsen).

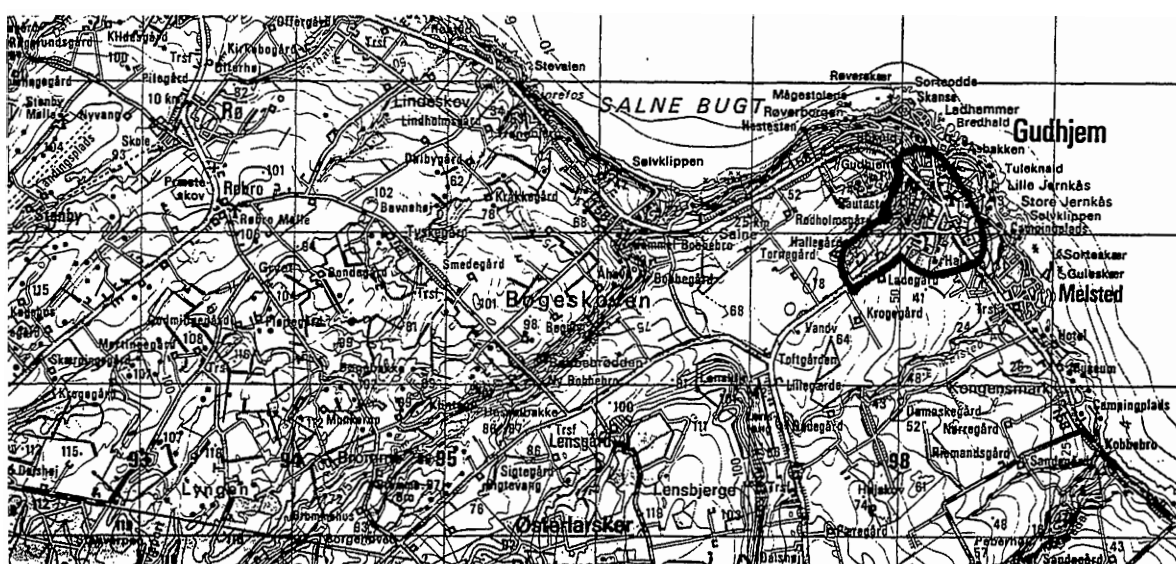
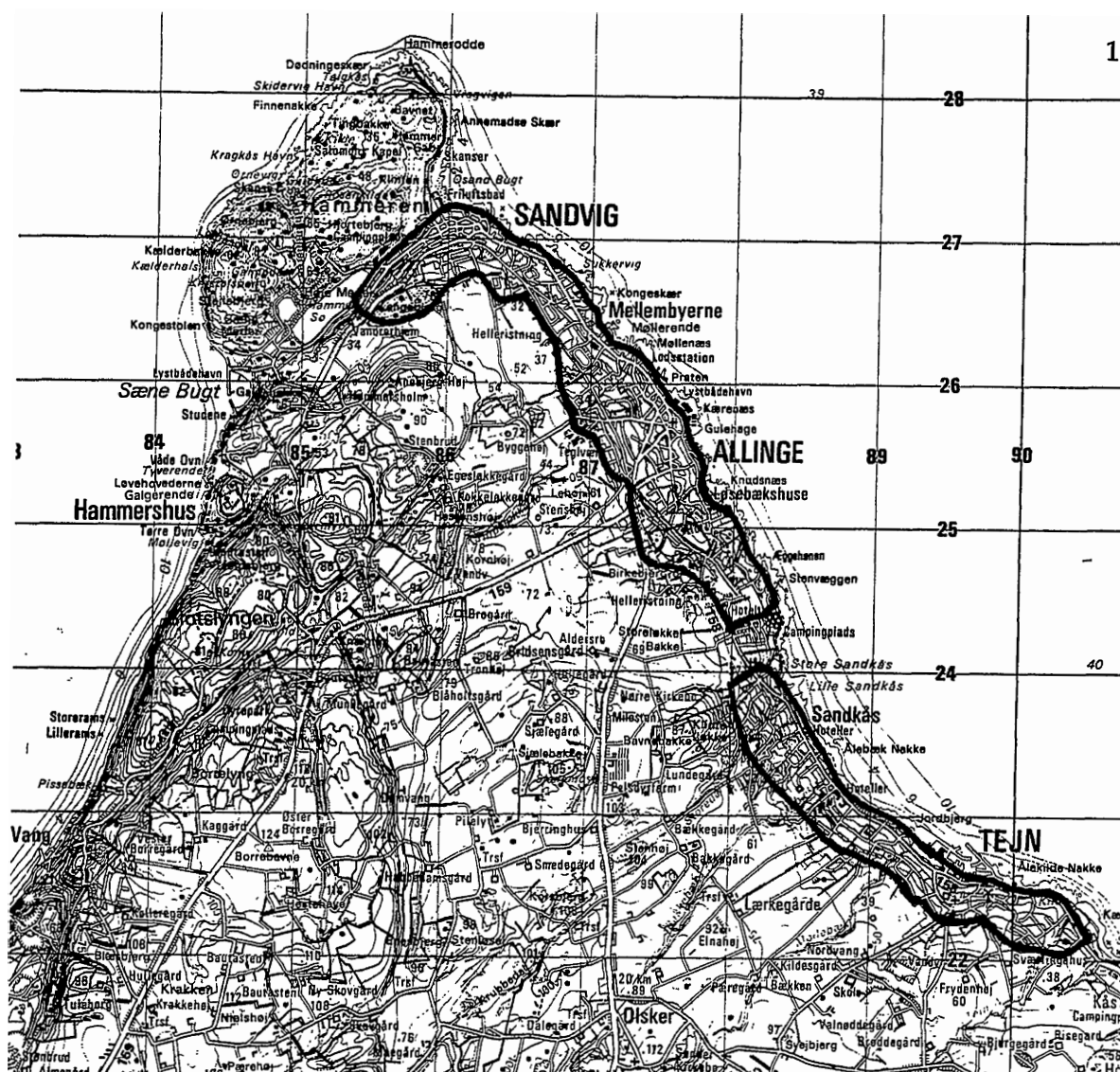


Fig.5. Undersøgelsesområderne på Nordbornholm: Allinge-Sandvig, Sandkås-Tejn og Gudhjem i 1:50.000. (Med tilladelse fra Kort- og Matrikelstyrelsen).

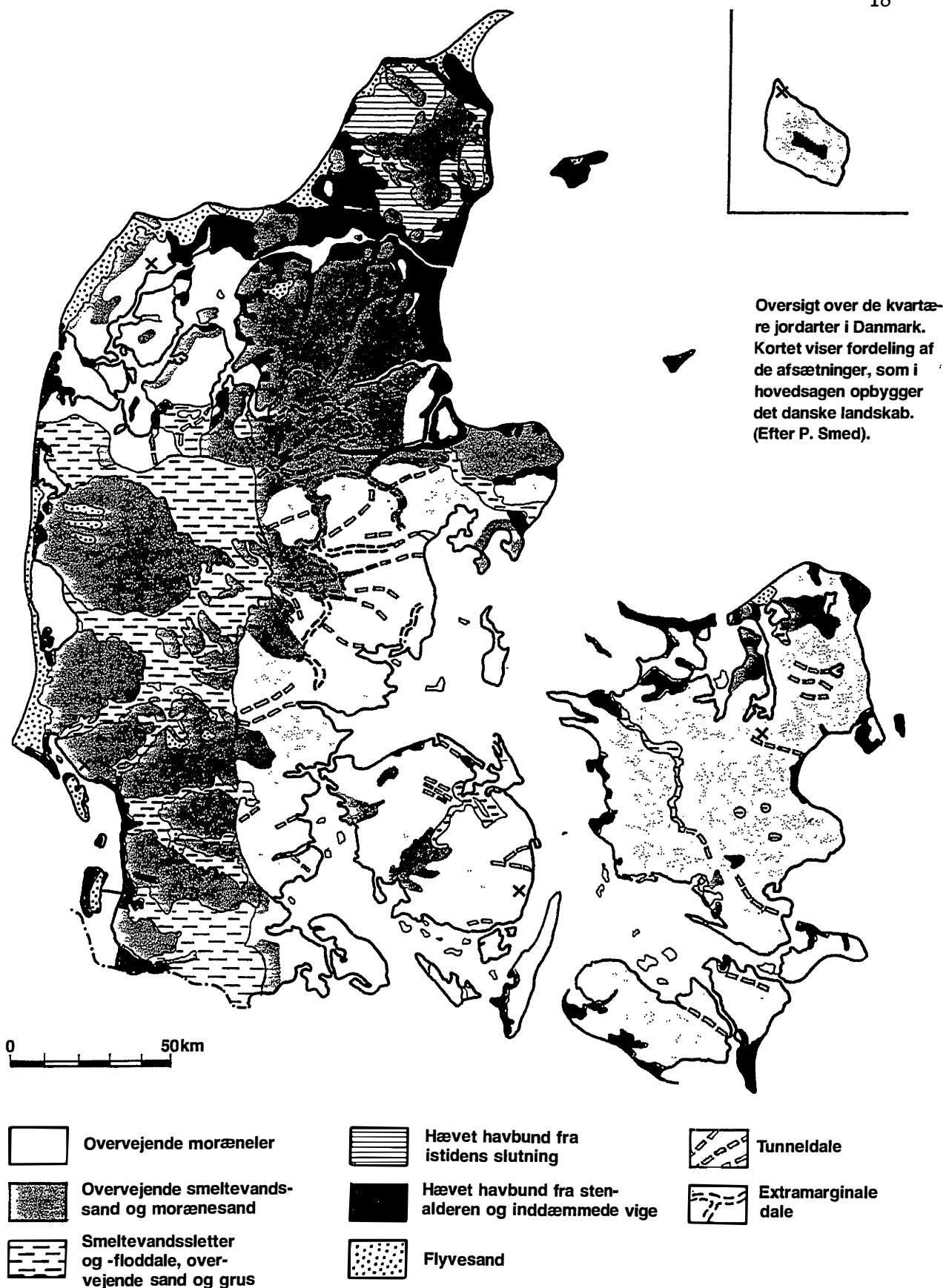


Fig.8. Oversigt over de kvartære jordarter i Danmark (Efter Villumsen, 1991). De fem lokaliteter er markeret med kryds.

7. Thisted

Thisted i den nordvestlige del af Jylland ligger indenfor Thisted kommune, som er en del af Viborg Amt (fig.3).

7.1 Regional geologi

Thisted ligger på den østlige del af Thisted strukturen, som er en cirkelformet struktur i prækvarter aflejringer. Den strækker sig i en bue fra Hanstholm over Hjørdemål til Thisted og videre mod vest ud mod Klitmøller (Hansen & Haakonsson, 1980). Prækvarteroverfladen består af senon (Maastrichtien) skrivkridt, danien kalksten og palæocæne aflejringer i cirkelstrukturen (se fig.9). I den domelignende struktur danner danienlagene den ydre højtliggende rand med det ældre skrivkridt i midten (fig.10), og aflejringerne hælder væk fra strukturens midte. Danien bjergarterne består af slamkalk, som undertiden overlejrer bryozokalk. Kalkbjergarterne kan også findes på daglokaliteterne nord for Thisted og ved Ny Kløv. Selve strukturen er dannet på grund af bevægelser i saltaflejringerne fra Zechstein. De opadgående bevægelser i saltet har skubbet til de overliggende lag. Disse bevægelser startede allerede i Zechstein tidsafsnittet og er fortsat helt frem til nutiden (Hansen & Haakonsson, 1980). Strukturen er gennemsat af forkastninger og brudlinier, som bevægelserne bl.a. er foregået langs med. De mere hærdnede kalkbjergarter må forventes at være opknuste i forkastningszonerne og i et vist omfang også i de øverste lag og på overfladen, som istidernes gletschere har bevæget sig henover og har påvirket.

Over de senone lag findes indenfor den højtliggende rand af kalk fra danien især postglacialt marint sand og grus og flyvesand, men også tynde lag af smeltevandssand- og grus og moræneler kan træffes. Over danienlagene veksler de kvartære lag, der især består af moræneler, fra at være helt fraværende til at have tykkelser på op til 15 meter (Gravesen, 1990a).

De palæocæne lag mod syd og øst er overlejret af kvartære aflejringer, hvis tykkelser er endnu mere varierende og ofte tykkere, ligesom der er en vekslen mellem lag af smeltevand-saflejringer og moræneaflejringer.

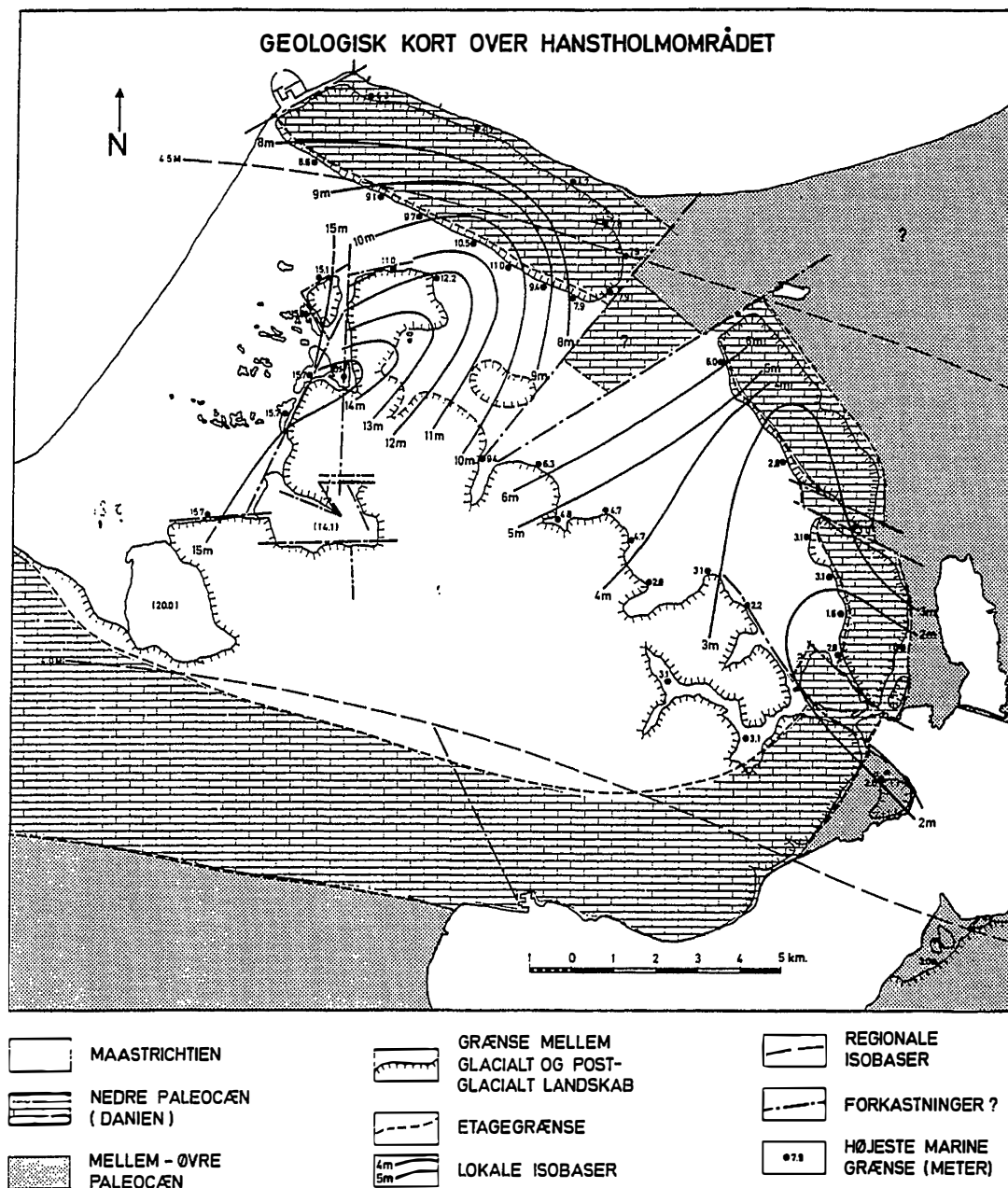


Fig.9. Geologisk kort over Hanstholm området visende fordeling af bjergarterne fra Maastrichtien (Senon), Danien og Mellem-Øvre Palæocæn (Selandien). Efter Hansen og Håkansson (1980).

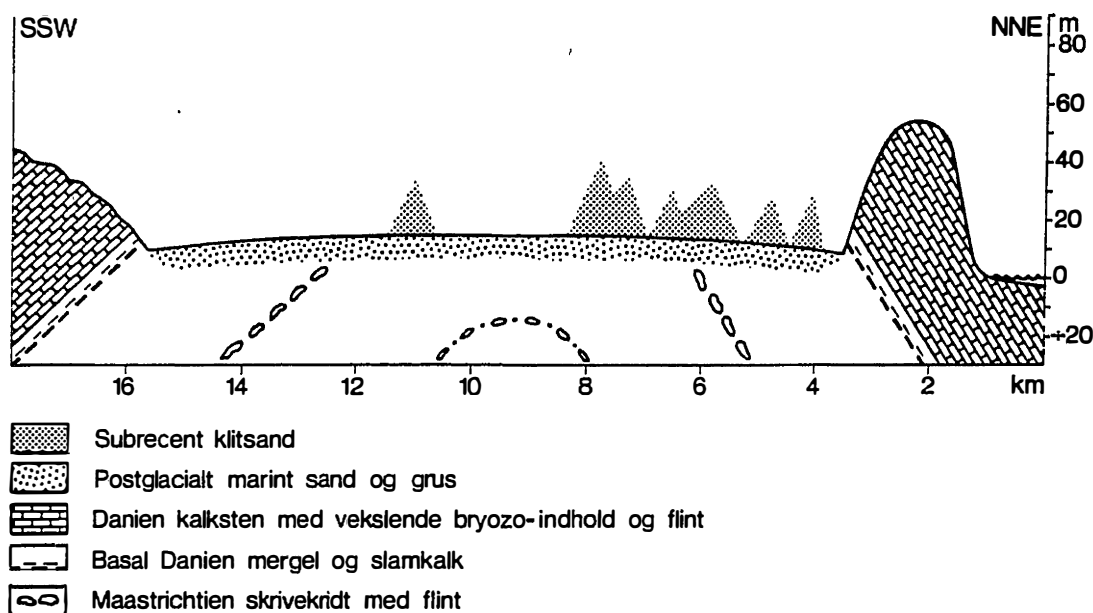


Fig.10. Fortolket profil af geologien fra Klitmøller til Hanstholm. Efter Hansen og Håkansson (1980).

7.2 Undersøgelsesområdets geologi

Området, som er beliggende i den østlige del af Thisted, har en terrænoverflade, hvis kote ligger mellem + 22 m og + 30 m. Terrænet skråner mod syd ned mod limfjorden. Der kendes ingen boringer udført indenfor selve området, men lige i kanten findes flere, hvorfra der kan hentes oplysninger (Bilag B1), (Gravesen, 1990a). Kalkbjergarterne i området består ned til ca. kote - 20 m af danien slamkalk. Slamkalken er en hvid kalkbjergart med kornstørrelser i ler- og siltfraktionerne. Den indeholder både mikroskopiske dyrerester og små kalkpartikler. Lag med forskellig hærtningsgrad veksler med hinanden, og desuden indeholder kalken også hårde flintlag.

De kvartære aflejringer er meget tynde eller helt fraværende i området, og ofte er der kun tale om et muldrag. Moræneleraflejringerne i kanten af området er op til 2,5 m tykke. De er ret kalkholdige og indeholder desuden flint. De er af Mellem Weichsel alder, formodentlig dannet i forbindelse med hovedfremstødet (Sjørring, 1983).

Grundvandspejlet er beliggenhed i kote + 3 m til + 5 m, hvilket giver en umættet zone på ca. 15-20 meter. Grundvandsstrømmen er mod syd ud mod havet.

7.3 Bjergarternes egenskaber

Kalkbjergarter har typisk en porøsitet på mellem 10 % og 50 %. De er dobbelt porøse bjergarter med to typer porer: porer mellem kornene (matrixporøsitet) og porer betinget af sprækker. Der er således tale om en primær permeabilitet gennem hvilken transport af vand og luft er der langsom, og en sekundær permeabilitet i form af sprækker og andre makroporer, hvor transporten kan ske hurtigt. Dette gælder også for radontransport, men det må forventes, at der er relativt få kilder i kalken til generering af radon. Det er især

fosforitforbindelser i komplekser og mineralovertræk i form af jernoxider samt apatit, der kan tænkes at have et højt indhold af uran/radium, som kan generere radon. Forhøjede koncentrationer kan desuden forekomme i sprækker og forkastningszoner. Der kendes desuden også eksempler på, at selv om kalkbjergarterne har et ringe indhold af uran-radium, kan jordarter (soil) dannet ud fra kalkbjergarterne have et koncentreret indhold f.eks bundet i organisk materiale.

Moræneler er også et dobbelt porøst medie, hvor transport af radon især vil følge makroporer og sprækker. I moræneler er det især tungminerale og grundfjeldsbergartspartikler, som kan indeholde oprindelsesmateriale for radon.

8. Viby

Området indbefatter tre mindre landsbyer: Dåstrup, Viby og Gl. Viby liggende indenfor Ramsø kommune i Roskilde amt (Fig.4).

8.1 Regional geologi

På det midterste Sjælland tilhører de øverste og yngste prækvartære aflejringer to forskellige tidsafsnit: Danien og Selandien begge hørende til Palæocæn. Danien kalken består overvejende af delvis hærdnet bryozokalk med flintlag, mens selandien aflejringerne består af både løst grønsand, delvis hærdnet grønsandskalk og sandet og ret fedt ler fra Lellinge Grønsand Formationen (Gry, 1935, Salinas, 1992). Aflejringerne er gennemsat af forkastninger, hvor de er blevet bevæget i opad- eller nedadgående retninger. Derudover må bjergarterne forventes at være opknust i disse zoner.

De kvartære aflejringer er op til 100 m tykke, men i mange områder væsentlig tyndere. De øverste lag stammer fra Weichsel tidsafsnittet, der er den sidste istid. Moræneler er den dominerende aflejring, men tynde lag og linser af morænesand og smeltevandssand forekommer i leret (Rørdam, 1889). Desuden træffes større legemer af smeltevandssand- og grus, dannet som hedesletter, i kanaler og som issødelt-aflejringer. Et område indenfor Langvad å's opland og Syv bæks opland blev undersøgt under NPo-projekterne (Gravesen, 1990b, Ernstsén, Gravesen, Nilsson, Brüsch, Fredericia & Genders, 1990), og disse undersøgelser giver bidrag til forståelsen af geologien i Viby området, da Syv-bæk området grænser op til dette område (fig.11).

8.2 Undersøgelsesområdets geologi

Indenfor området ligger terrænoverfladen fra kote + 35 m til + 40 m. Der foreligger en række vandforsyningsboringer, som giver oplysninger om den mere detaljerede geologi (Salinas, 1992), (Bilag B2). Grænsen mellem danien bryozokalk og selandien aflejringer findes i ca. kote - 25 m til - 30 m. Selandien aflejringerne er domineret af ret fedt, siltet eller sandet grønsandsler, der kan nå tykkelser på ca. 30 m. Imidlertid viser enkelte boringer tilstedeværelse af svagt hærdnet til hærdnet, leret eller sandet grønsandskalk på ligeledes 30 m's tykkelse, og der træffes også lag med løse grønsandsaflejringer. Dette tyder på, at aflejringstyperne i en del af området veksler med hinanden.

Grænsen mellem Palæocæn og Kvartær ligger omkring kote 0 til + 5 m. Moræneler er den helt dominerende kvartære jordart med tykkelser på op til 35 m. De øverste 1-2 meter består af gulbrunt, oxideret, svagt kalkholdigt, sandet moræneler, mens der derunder følger reduceret, olivengråt, siltet og sandet moræneler. Moræneleret indeholder altid grus, sten og blokke, og inde i moræneler enhederne findes også tynde lag af smeltevandssand med grus og sten på 3-5 meters tykkelse. Det øverste moræneler er af Mellem Weichsel alder dannet i forbindelse med det Ungbaltiske isfremstød (Houmark-Nielsen, 1987).

Grundvandsmagasinet er artesisk, og grundvandspotentialet ligger i kote + 25 m til + 30 m. d.v.s ca. 5-10 m under terræn, hvilket giver en umættet zone på tilsvarende tykkelse.

8.3 Bjergarternes egenskaber

De øverste jordlag, der kan have betydning for radon transport består her af moræneler. Moræneler er en dobbelt porøs jordart, der indeholder porer i en finkornet lermatrix og makroporer i sprækker og ormehuller (Fredericia, 1990). De vigtigste transport veje er således makroporerne. Af betydning er også redoxforholdene i moræneleret, som har indflydelse på mobilisering eller fiksering af uran og radium og tilstedeværelse af radon. Desuden er jordbundsudviklingen indenfor de øverste 1-2 m ofte en faktor, der har indflydelse på disse forhold. Tilstedeværelse af tynde lag af smeltevandssand- og grus, der har en relativ høj porøsitet og høj permeabilitet, giver yderligere muligheder for transport, hvis de ligger i den umættede zone.

Selandienbjergarterne indeholder calcit, glaukonit, og pyrit som de fremtrædende mineraler blandet med ler- og siltslam. Selandien lerarterne har en relativ høj matrix porøsitet, men en lav permeabilitet. Derimod er grønsandskalken ofte stærkt opsprækket, og denne sekundære porøsitet og permeabilitet kan fungere som transportvej for radon.

Kilder til radon findes både i moræneler og selandien ler og kalk bl.a. i form af binding af radium til lermineraler samt som indhold af uran og radium i tungmineraler og i grundfjeldsbjergarter.

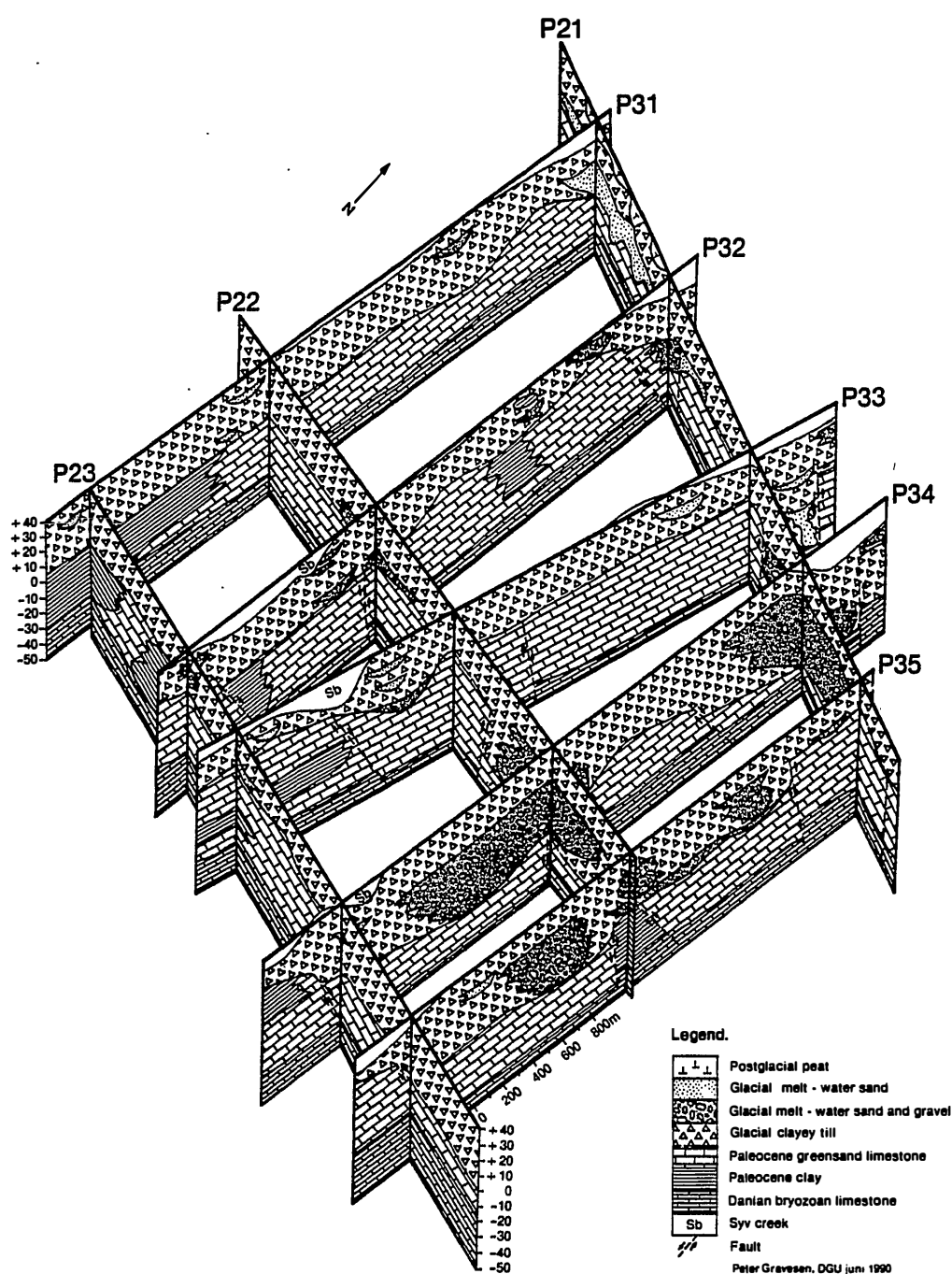


Fig.11. Fence-diagram som viser den geologiske opbygning i Syv bæk området (Fra Ernstsen et al., 1990).

9. Nordbornholm

De tre delområder ligger på Nordbornholm indenfor Allinge-Gudhjem kommune, Bornholms amt (fig.5).

9.1 Regional geologi

På det nordlige Bornholm består prækvartæret af hårde grundfjeldsbjergarter : Gnejs, granit, pegmatit, aplit og diabas (Callisen, 1934, Micheelsen, 1961). Den bornholmske gnejs er den ældste prækambriske bjergart. Den er afgrænset af yngre graniter, hvor Hammer Graniten findes længst mod nord, mens Vang graniten findes som et bælte mellem Hammer Granit og gnejs. Desuden findes legemer af Hammer Granit indenfor Vang Granitens udbredelsesområde (fig.12).

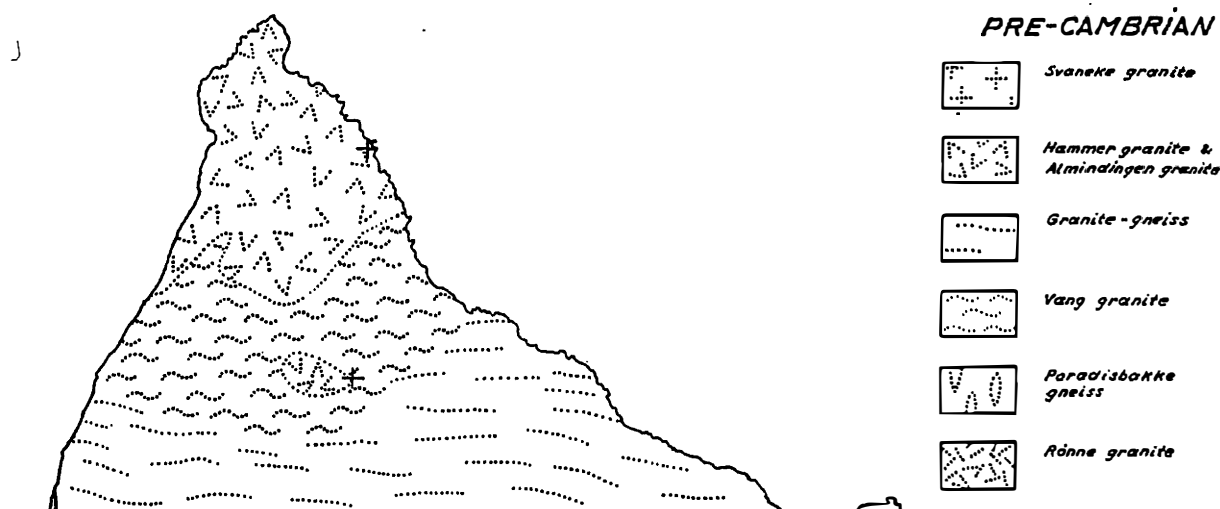


Fig.12. Udbredelse af grundfjeldsbjergarterne på Nordbornholm. Fra Gry (1960)

Alle tre bjergartstyper er i en sen fase af deres dannelse desuden også blevet skåret og replaceret af grovkornede pegmatiter og finkornede apliter med næsten samme sammensætning som graniterne. Endelig er disse bjergarter tilsidst blevet skåret af sorte diabasgange. Efter at alle gnejser og graniter er størknet er grundfjeldet blevet gennemsat af forkastninger, der har flyttet bjergartene i forhold til hinanden. Et markant udtryk for disse forkastninger er de store sprækkedale, der er forkastningszoner med opknust gnejs og granit, som senere er blevet uderoderet af kvartærtidens gletschere. Diabasgangene er i

mange tilfælde lokaliseret i sprækkezonerne. Desuden gennemsættes grundfjeldet af mange store og små sprækker, der har samme orienteringer som sprækkedalene: Nordvest-sydøst og nordnordvest-sydsydvest.

Over grundfjeldet findes kvartære aflejringer (Grönwall & Milthers, 1916). Deres tykkelser varierer fra 0 m på den højtliggende overflade til ca. 80 m nede i sprækkedalene. Det vil sige, at grundfjeldet mange steder stikker igennem det kvartære dække som geologiske vinduer. Sprækkedalene kan indeholde både moræneler, smeltevandssler, -sand og -grus samt postglaciale ler og tørvelag (Gravesen, 1990c). De dominerende jordarter over det meste af området er imidlertid moræneler og morænegrus på op til 10 m's tykkelse.

9.2 Undersøgelsesområdernes geologi

Allinge-Sandvig

Området ved Allinge-Sandvig omfatter byarealet fra byens grænse ind mod midten af øen (mod vest) og ud til Strandvejen, samt hvor Strandvejen drejer mod vest og forsætter i Langebjergvej. Det vil sige, at den yderste del af byen ud mod havet ikke er medtaget. Terrænet ligger mellem kote + 10 m og + 30 m, og det hælder ud mod havet mod øst.

Den prækambriske Hammer Granit udgør de prækvartære bjergarter i området. Graniten er fin-mellemkornet, rødgrålig med en karakteristisk rødprækning, som skyldes jernoxider udfældet på og i korngrænserne mellem kvarts- og feldspatkorn. Pegmatiter forekommer hyppig, og de er altid mere grovkornede end graniten samt indeholder undertiden andre mineraler (Sørensen, 1967).

Graniten er gennemsat af store og små sprækker, og enkelte større sprækker (sprækkedale) findes omkring Møllerende (Mellelbyerne) og ved Knudebæk (Bækgård & Gravesen, 1979).

Der ikke foretaget boringer indenfor selve området, og derfor er det ikke muligt at give flere detaljer om de Kvartære lag.

De kvartære aflejringer ved Kajbjerg-Højvang vest for området er mellem 0 m og 14 m tykke, og består af moræneler, morænesand og smeltevandssand og grus alt sammen aflejret indenfor Weichsel tidsafsnittet (Gravesen & Rasmussen, 1988).

Sandkås-Tejn

Området ved Sandkås og Tejn omfatter det meste af byarealet fra Tejnvej og ind mod øens midte (mod vest). Det yderste areal ud mod havet ikke medtaget. Terrænet ligger mellem kote + 10 m og + 30 m, og det hælder ud mod havet mod nordøst.

Vang Graniten fra Prækambrium er den prækvartære bjergart i det meste af området. Graniten er mellem til grovkornet, rødgrå til brungrå og med de mørke mineraler samlet i hobe, hvilket giver bjergarten et plettet udseende. Pegmatiter forekommer i dette område. Syd for Tejn havn findes den Bornholmske gnejs. (se nedenfor). Store sprækkedale munder ud mellem de to byer ligesom de også gør det nord for og syd for (Bækgård & Gravesen, 1979). Desuden gennemsætter talrige sprækkesystemer graniten.

De kvartære aflejringer består af siltet og sandet moræner i 0 til 10 meters tykkelse udenfor dalene, mens der i dalene kan være væsentlig større tykkelser. Moræneleret er fra Weichsel tidsafsnittet.

Gudhjem

Området ved Gudhjem omfatter den centrale del af byen ned mod Melsted. De kystnære dele af byen er ikke medtaget. Den højeste del af terrænet ligger ca. i kote + 70 m i den vestlige del af byen. Mod nord, øst og sydøst er der en kraftig terræn hældning ud mod havet.

Den Bornholmske gnejs fra Prækambrium er den prækvartære bjergart i området. Det er en fin-mellemkornet, grålig, stribet bjergart. En del sprækkesystemer gennemsetter gnejsen.

De kvartære aflejringer af Weichsel moræner er fra 0 meter til 10 meter tykke, og desuden findes sand og gruslag.

9.3 Bjergarternes egenskaber

De prækambriske bjergarter er ret ensartede med hensyn til den mineralogiske sammensætning, der er domineret af kvarts, feldspat og mørke mineraler (biotit og amfiboler), mens tungminerale findes i helt underordnet mængde. Her er især det radioaktive tungmineral allanit (tidligere orthit) af betydning, da det findes i en række af grundfjeldsbjergarterne (Callisen, 1934, Jørgart, 1982). I enkelte pegmatiter er registreret andre mineraler såsom muskovit, apatit og gadolinit; det sidstnævnte er et radioaktivt mineral. Bjergarterne har en beskeden primær porøsitet, mens den sprækkebetingede sekundære porøsitet kan være væsentlig større. Bjergarterne har ringe magasinegenskaber, og da samtidig megen nedbør løber direkte ud i havet, ligger grundvandspejlet langt under terræn, hvilket giver en tyk umættet zone de fleste steder. I forkastningszoner og sprækker kan bjergarterne ofte være forvitrede og dermed omdannede. På forkastnings- og sprækkeflader kan der derfor findes leret granitmateriale eller egentlige lerlag, som er opstået ved en kaoliniseringsproces på grund af gennemsivende vand.

De kvartære jordarter indeholder oparbejdet, lokalt materiale fra Bornholm og indlejret langtransporteret materiale fra f.eks. Sverige (f.eks. Alunskifer). Dette betyder, at kilder til radon i de kvartære aflejringer, kan forventes at stamme fra et større område. Dette gør også, at mange forskellige mineraler er mulige i de Kvartære lag. Derudover ligger de kvartære lag i store dele af områderne over grundvandszonen.

10. Lundeborg

Området ved Lundeborg ligger på Østfyn nord for Svendborg, Gudme kommune, Fyns amt (Fig.6).

10.1 Regional geologi

Den dominerende jordart i de overfladenære lag på Østfyn er moræner fra sidste istid, Weichsel, hvilket kan ses af de kvartærgeologiske kort (Madsen, 1902, Milthers, 1959), men også mange borer dokumenterer dette forhold (Gravesen, 1991, Gravesen et al., 1988). De store moræneflade brydes stedvis af forkomsten af sand- og grus aflejringer, der mindst består af to typer sand. Smeltevandssand- og grus kan træffes som sammenhængende lag under moræneret, og ofte over den anden type sand, der kaldes for Svendborg Formationen. Dette sand består næsten udelukkende af kvarts og tungminerale, og det tænkes dannet i starten af sidste istid, men i en periode hvor isen var smeltet væk fra Danmark (Interstadial). Sandet har en større udbredelse fra Hesselager og sydpå mod Svendborg, og findes derudover som isolerede forkomster helt til Fåborg (Gravesen, 1990c, 1991)(Fig.-13). Mellem og under sandlagene findes lerlag og lag med planterester. Under Svendborg Formationen ("Det hvide sand") findes yderligere smeltevandssand og grus samt moræner formodentlig fra tidligere istider som f.eks. Saale.

De prækvartære lag udgøres nederst af delvis hærdnet bryozokalk med flintlag fra Dani-en, og øverst af leraflejringer (Kerteminde Mergel) fra Selandien tidsafsnittet (begge Palæocæn).

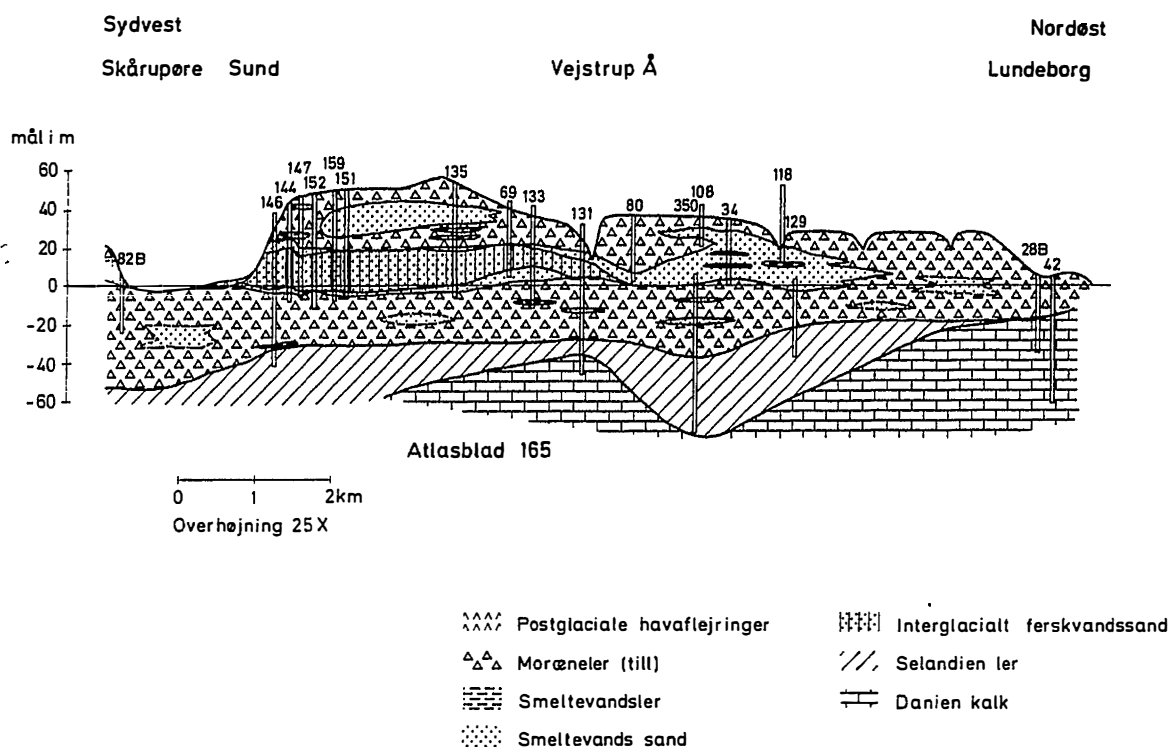


Fig. 13. Profil fra Lundeborg til Skårupøre Sund, Østfyn, der viser relationerne mellem Svendborg Formationen (interglaciale ferskvandssand) og det overliggende moræneler (Fra Danmarks Geologiske Undersøgelse, Fyns amtskommune & Cowiconsult, 1979).

10.2 Undersøgelsesområdets geologi

Undersøgelsesområdet ligger 2 km sydvest for Lundeborg ved Bolsmose. Terrænet ligger mellem kote + 25 m og + 35 m. En del undersøgelser både i råstofgrave og ved borerer viser områdets opbygning (Petersen, Rasmussen & Hamberg, 1988, Gravesen, 1991, Fyns amt, 1992) (Bilag B3). I dette område udgør moræneler den øverste kvartære aflejring med tykkelser op til et par meter. Morænelerslagene består formodentlig af flere enheder fra forskellige isfremstød i Weichsel tidsafsnittet. Undersøgelser ved Grønnebæk viser, at den øverste morænelersaflejring er fra hovedfremstødet i Mellem Weichsel fra NØ, mens den nederste er fra det Gammel Baltiske fremstød fra nederste Mellem Weichsel (Petersen, Rasmussen & Hamberg, 1988). Under morænelerslagene findes fint og mellemkornet, hvidt kvartssand, Svendborg Formationen fra Tidlig Weichsel (Gravesen & Nyegaard, 1990), som er dannet i floder, søer eller som flyvesand (Fig. 14).

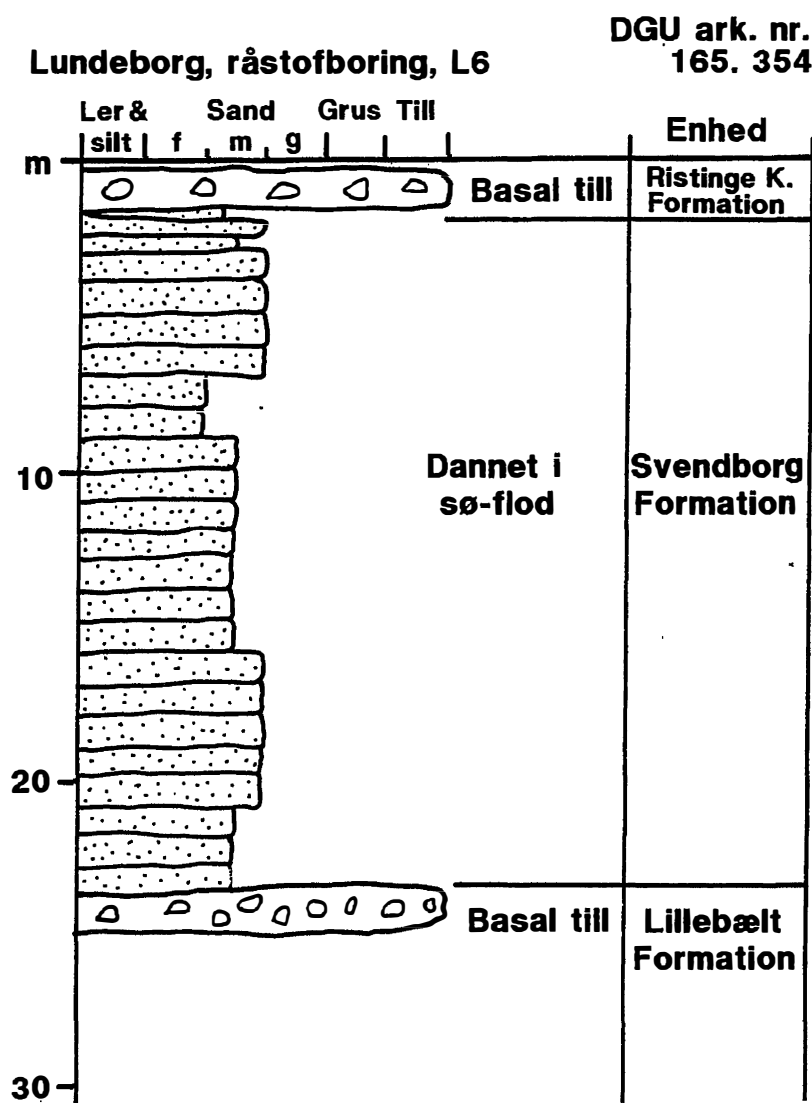


Fig.14. Boreprofil (DGU ark. nr. 165.354, L6) der viser den geologiske opbygning i undersøgelsesområdet.

Området har været emne i både hydrogeologiske undersøgelser og kortlægninger (Gravesen & Nyegaard, 1990) og råstofundersøgelser (Fyns amt, 1992), da kvartssandets egenskaber som grundvandsmagasin og råstof er særdeles fremragende (Fig.15). Grundvandspejlet ligger 7-10 meter under terræn. Magasinet har frit vandspejl under morænelerslagene.

De prækvartære aflejringer består af et tyndt lag af Kerteminde Mergel fra Selandien og daniens bryozokalk.

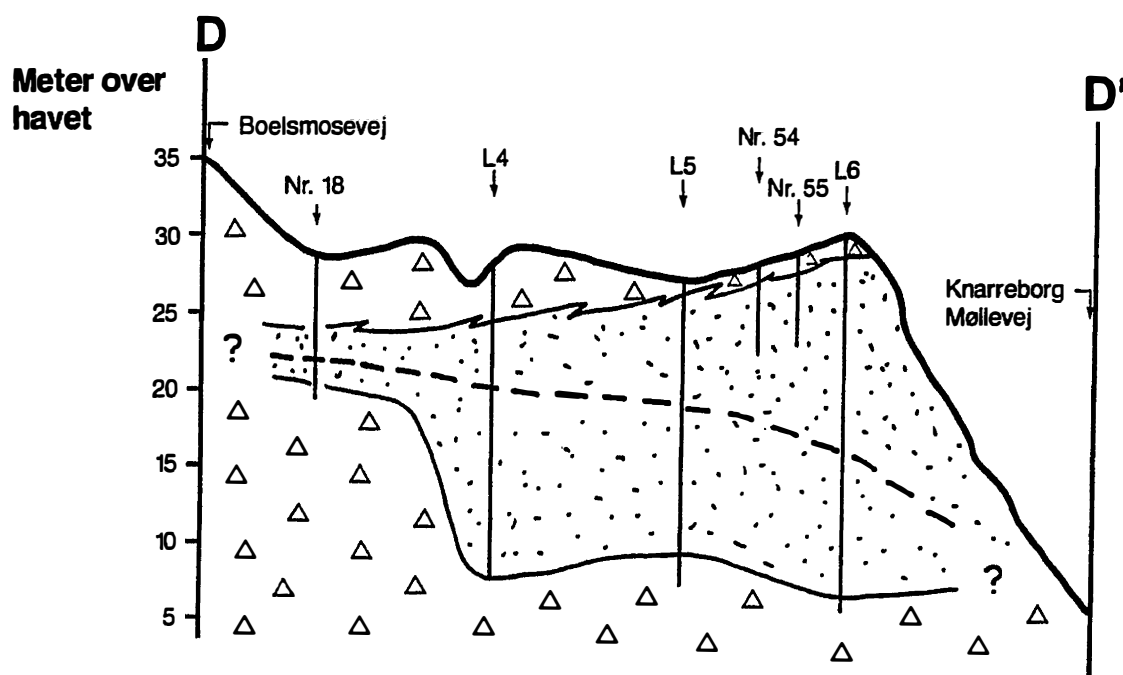


Fig 15. Vest-øst profil gennem undersøgelsesområdet, der viser udbredelsen af moræneler (Δ) og Svendborg Formationens (::) (Fra Fyns Amt, 1992).

10.3 Bjergarternes sammensætning

Sandaflejringerne fra Tidlig Weichsel udgør en særdeles ren kvartssandsforekomst med spredte planterester. Kornstørrelsen er fin til mellem, men undertiden træffes også groft sand. Sandet består næsten udelukkende af kvarts og en mindre mængde tungminerale (Friis & Larsen, 1975). Sandet har en relativ høj porøsitet og en hydraulisk ledningsevne på $2,8 \times 10^{-2}$ m² pr. sekund. I den umættede del af magasinet vil jordluften have gode muligheder for at transportere et eventuelt radonindhold, som kan være generet ud fra sandets tungminerale.

Moræneleret er op til 2-5 m tykt, og er siltet og sandet med en del grus og sten. Det dobbelt porøse ler indeholder tungminerale og bjergartsmateriale fra det sydlige Skandinavien og Østersøområdet.

11. Andrup

Andrup er beliggende 6 km nordøst for Esbjerg i Esbjerg kommune, Ribe Amtskommune.

11.1 Regional geologi

Esbjerg og Andrup er beliggende på Esbjerg bakkeø, som er en af en række bakkeøer, der ligger i Vestjylland udenfor hovedopholdslinien for det store isfremstød i sidste istid, Weichsel. Bakkeøerne er omgivet af hedesletter, der indeholder smeltevandssand og grus, hvor de overfladenære lag blev aflejret ved afsmeltningen fra hovedopholdslinien (Fig. 16). Bakkeøerne og hedesletterne formodes ikke at have været overskredet af isen under Weichsel istiden, og de overfladenære lag på bakkeøerne er således ældre end Weichsel. De består typisk af moræneler, morænesand og smeltevandssand (Jessen, 1922). Undersøgelser af moræneaflejringerne har da også vist, at de kan jævnføres aldersmæssigt med aflejringer fra næstsidste istid, Saale (Sjørring og Frederiksen, 1980).

På større dybder under de glaciale aflejringer findes marine interglaciale ler- og sandaflejringer, som dog ved Esbjerg by næsten kommer frem i terræn. Disse aflejringer er fra Holstein interglacialsiden, og træffes ved Esbjerg i en dyb dal, som strækker nordpå mod Varde (Gravesen & Bruun-Petersen, 1983, Bruun-Petersen, 1987).

De prækvarter aflejringer består af miocæne formationer, domineret øverst af de lerede Gram og Hodde Formationer, men på større dybde træffes ler, silt, sand og brunkul fra Odderup og Arnum Formationerne (Rasmussen, 1961, Gravesen & Bruun-Petersen, 1983, Bruun-Petersen, 1987).

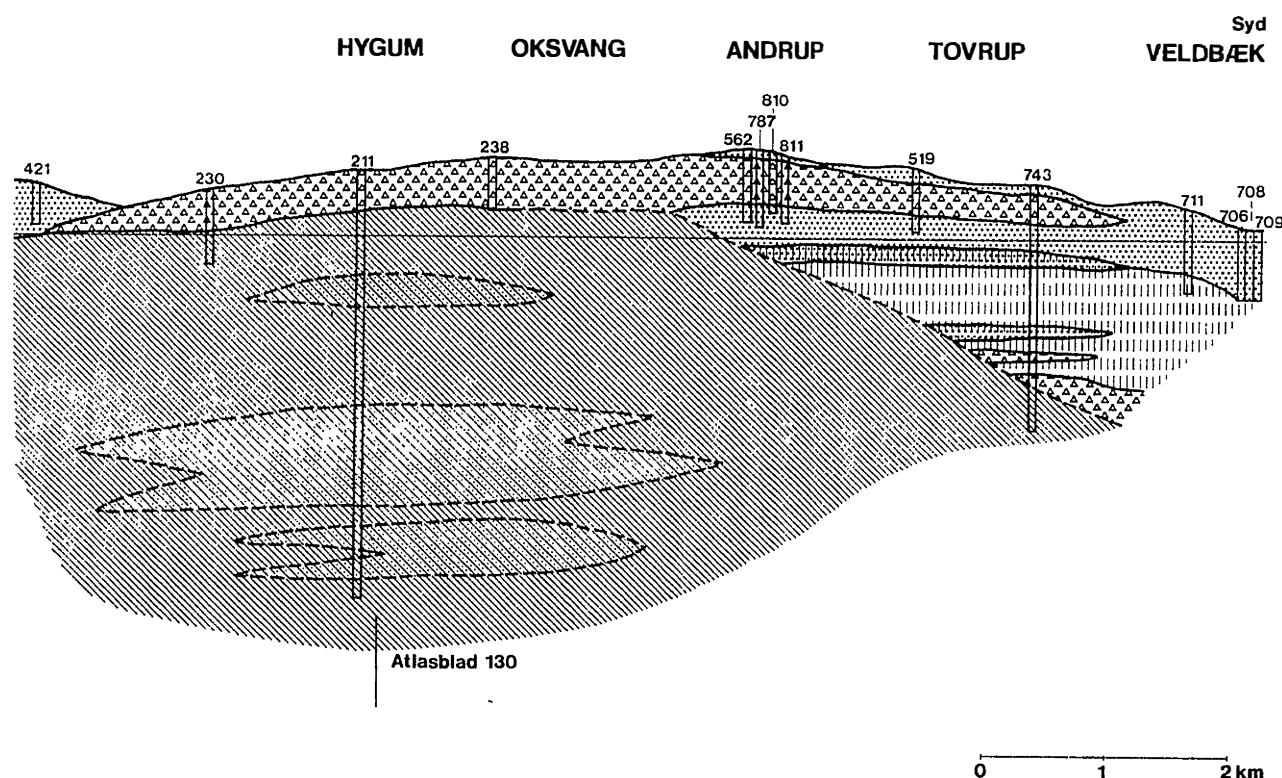


Fig.16. Profil fra Hygum til Veldbæk (nord-syd) gennem Andrup området (Fra Ribe amtskommune, 1984).

11.2 Undersøgelsesområdets geologi

Terrænet omkring området ved Andrup-by ligger i kote + 25 m til + 30 m over havniveau. Ifølge den Kvartærgeologiske kortlægning består de øverste jordlag ved Andrup by af moræneler og morænesand samt lidt smeltevandssand (Jessen, 1922). I området findes imidlertid en række boringer, som belyser de lokale forhold mere detaljeret (Gravesen & Bruun-Petersen, 1983, Ribe amtskommune, 1984) (Bilag B4).

Det allerøverste lag i området består af sandet eller stærkt siltet, moræneler eller morænesand, ofte gulbrunt og kalkfrit, men nedad kan der være op til 15-17 m olivengråt, siltet, kalkholdigt moræneler. Begge aflejringer formodes at være af Saale alder. Under disse lag følger smeltevandssand- og grus med polerede gruspartikler, og undertiden findes mere finkornede lag, der kan indeholde omlejret interglacialt materiale (fig.16).

11.3 Bjergarternes sammensætning

Saale morænelersaflejringerne sammensætning er ikke i særlig grad præget af de lokale tertiære aflejringer, der består af brunt og sort glimmerler. Derimod kan delmateriale stamme fra den ældre Holstein interglacial, hvilket undersøgelser af boreprøver også tyder på. Det dobbeltporøse moræneler svarer til Klåby Gård morænen fra Warthe tidsafsnittet (Sjørring & Frederiksen, 1980). Transport af radon vil kunne ske i jordluften gennem sprækker og andre makroporer i moræneleret. Oprindelsesmateriale er især tungmineraler og bjergartsfragmenter fra grundfjeldet i Skandinavien.

12. Afsluttende bemærkninger

Rapporten beskriver de fem områder, der er udvalgt til at indgå i fase 1 undersøgelsen finansieret af Sundhedsstyrelsen. Selve undersøgelsens resultater er afrapporteret i "Radon i danske jordarter II". Det er hensigten at fase 1 skal lægge op til en mere omfattende fase 2 om radon i jord og en fase 3 om radon i grundvand.

Udvalget af de fem områder er sket ud fra geologiske og hydrogeologiske kriterier samt kendskabet til radon optræder i danske jordarter. Områderne repræsenterer forskellige geologiske situationer i Danmark, som dog ikke er dækkende for de mange sammensatte og komplicerede forhold, der findes. De øverste jordlag over grundvandsspejlet kan fremvise mange forskellige bjergartstyper og strukturer, og de er udvalgt efter deres forskellige aldre og oprindelse. Undersøgelsen er imidlertid baseret på den eksisterende viden om geologi og mulige radonforhold indenfor områderne kombineret med de mange nye målinger i husene fra "Radon-95"-projektet.

Undersøgelsen skal vurdere radons optræden i danske morænejordarter og forsøge at udvikle en metodik, hvorfra det er muligt med en større indsats, at kunne løse og afdække problemer samt generalisere relationerne mellem de naturlige geologiske forhold og radons mulige optræden i huse.

13. Referencer

- Andersen, C.E., 1992: Entry of Soil Gas and Radon into Houses.- Risø National Laboratory, Risø-R-623 (EN), 85 pp.
- Andersen, C.E., Søgaard-Hansen & Majborn, B., 1992: Radon entry into a simple test structure.- Radiat. Prot. Dosim., vol. 45, pp. 407-410.
- Andersen, C.E., Søgaard-Hansen, J & Majborn, B., 1994: Soil gas and radon entry into a simple test structure: Comparison of experimental and modelling results.- Radiat. Prot. Dosim., vol 56, pp. 151-155.
- Ball, T.K. & Miles, J.C.H., 1993: Geological and geochemical factors affecting the radon concentrations in homes in Cornwall and Devon, UK.- Environmental Geochemistry and Health, 15, pp. 27-36.
- Ball, T.K., Cameron, D.G., Colman, T.B. & Roberts, P.D., 1991: Behaviour of radon in the geological environment: a review.- Quarterly Journal of Engineering Geology, 24, pp. 169-182.
- Bean, J.A., Isacson, P. & Kohler, J., 1982: Drinking water and cancer incidence in Iowa.- Am. J. Epidemiol., 116, pp. 924-932.
- Bruun-Petersen, J., 1987: Prækvartæroverfladen i Ribe amt, dens højdeforhold og dannelse, samt indflydelse på vandindvindingsmulighederne.- Dansk Geol. Foren., Årsskrift for 1986, pp. 35-40.
- Bækgård, A. & Gravesen, P., 1979: Bornholm. Vandindvindingsmuligheder vurderet ud fra de hydrogeologiske forhold. 1:50.000.- Udarbejdet af DGU for Bornholm amtskommune.
- Callisen, K, 1934: Das Grundgebirge von Bornholm.- Danm. Geol. Unders., II rk., 50, 266 pp.
- Castren, O., 1987: Dealing with radon in dwellings: The Finnish Experience.- Indoor Radon II, Proceedings of the second APCA International Speciality Conf. 1987, pp. 45-56.
- Cross, F.T., Harley, N.H. & Hoffman, W., 1985: Health effects and the risk from Rn-222 in drinking water.- Health Phys., 48, pp. 649-670.
- Damkjær, A. & Korsbech, U., 1985: Measurement of the Emanation of Radon-222 from Danish Soils.- The Science of the Total Environment, 45, pp. 343-350.
- Damkjær, A. & Korsbech, U., 1988: A Search for Correlation Between Local Geology and Indoor Radon Concentration.- Radiat. Prot. Dosim., Vol. 24, No. 1/4, pp. 51-54.

- Damkjær, A., Andersen, C.E., Bredstrup, J. Bergsøe, N.C. & Gravesen, P., 1995a: Radon-95. En undersøgelse af effektiviteten af foranstaltninger til reduktion af radonkoncentrationen i en række danske enfamiliehuse. Delrapport for perioden 30/8 1994 til 29/8 1995.- Risø, 29 august 1995.
- Damkjær, A., Andersen, C.E., Majborn, B., Ulbak, K. & Gravesen, P., 1995b: A Search for Dwellings with elevated Radon Levels.- Paper to the Sixth International Symposium on the Natural Radiation Environment, NRE VI, June 5-9 1995, Montreal Quebec, Canada, 12 pp.
- Danmarks Geologiske Undersøgelse, Fyns Amtskommune & Cowiconsult, 1979: Fyns Amtskommune. Vandforsyningsplanlægning, delrapport 3. Hydrogeologisk kortlægning.- Danm. Geol. Unders. 72 pp.
- Dongen, R van & Stoute, J.R.D., 1985: Outdoor Natural Background Radiation in the Netherlands.- The Science of the Total Environment, 45, pp. 381-388.
- Edling, C. & Axelsson, O., 1983: Qualitative aspects of radon daughters exposure and lung cancer in underground miners.- Br. J. Ind. Med., 40, pp. 182-187.
- Engquist, P., 1982: Radon i grundvatten.- Information från Bruunsarkivet, SGU, 2, pp. 4-8.
- Ernstsen, V., Gravesen, P., Nilsson, B., Brusch, W., Fredericia, J. & Genders, S., 1990: Transport og omsætning af N og P i Langvad Å opland.I.- NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, Nr. B6, 62 pp.
- Fredericia, J., 1990: Saturated Hydraulic Conductivity of Clayey Tills and the Role of Fractures.- Nordic Hydrology, 21, pp. 119-132.
- Friis, H. & Larsen, G., 1975: Tungmineralanalytisk bidrag til forståelsen af dannelsesforholdene for det sydfynske hvide sand (Kvartær).- Dansk geol. Foren. Årsskrift for 1974, pp. 25-31.
- Fyns Amt, 1992: Råstofkortlægning Fase 2., Kvartssand, sand, grus, og sten. Et område i Gudme kommune, Lundeberg.- Fyns Amt, Landskabsafdelingen, juni 1992, 57 pp.
- Gates, A.E., Malizzi, L. & Driscoll III, J., 1992: Soil radon distribution in glaciated areas: An example from the New Jersey Highlands.- Geol. Soc. Am., Sp. Paper, 271, pp. 45-51.
- Gravesen, P., 1990a: Geologisk kort over Danmark. 1:50.000. Kortbladet 1116 I Thisted. Geologisk basisdatakort.- Danm. Geol. Unders. Kortserie nr. 13.
- Gravesen, P., 1990b: Geologiske forhold i oplande til Langvad å og Syv bæk, Sjælland. NPo-projekt 2.2.- Danm. Geol. Unders., Int. rap. nr, 32., 46 pp.
- Gravesen, P., 1990c: Quaternary Groundwater Reservoirs in Denmark.- Stria, vol. 29, pp. 43-46.
- Gravesen, P., 1991: Geologisk Basisdatakort 1312 II Svendborg og del af 1412 III Lohals i 1:50.000.- Udarbejdet af Danmarks Geologiske Undersøgelse for Fyns Amt.

- Gravesen, P. & Bruun-Petersen, J., 1983: Geologisk basisdatakort 1113 III Esbjerg i 1:50.000.- Udarbejdet af Danmarks Geologiske Undersøgelse for Ribe amt.
- Gravesen, P. & Rasmussen, L. Aa., 1988: Geologisk kort over Danmark. 1:50.000. Kortbladet 1812 III og IV Bornholm. Geologisk basisdatakort.- Danm Geol. Unders. Kortserie, nr. 4.
- Gravesen, P. & Nyegaard, P., 1990: Vandmiljøplanens overvågningsprogram. Landovervågningsoplande. LOOP 4. Hydrogeologisk kortlægning. Lillebæk (1312 II NØ).- Danm. Geol. Unders. Int. Rep., nr. 26, 21 pp.
- Gravesen, P. & Krasnik, M., 1994: Radon i danske jordarter.- Projektbeskrivelse til Sundhedsministeriet, 14 pp.
- Gravesen, P., Petersen, K.S., Binzer, K. & Rasmussen, L.Aa., 1988: Geologisk kort over Danmark. 1:50.000. Kortblad 1312 II Svendborg. Geologisk basisdatakort.- Danm. Geol. Unders. Kortserie, nr. 6.
- Gry, H., 1935: Petrology of the Paleocene Sedimentary Rocks of Denmark.- Danm. Geol. Unders., II rk., 61, 171 pp.
- Gry, H., 1960: Geology of Bornholm. Guide to excursions nos A 45 and C 40.- Int. geol. Congress. Norden 1960, 16 pp.
- Grönwall, K.A. & Milthers, V., 1916: Kortbladet Bornholm.- Danm. Geol. Unders., I Rk. 13, 281 pp.
- Gundersen, L.C. & Wanty, R.B. (eds.), 1991: Field Studies of Radon in Rocks, Soils, and Water.- U.S. Geological Survey Bull. 1971, 334 pp.
- Gundersen, L.C., Schumann, R.R., Otton, J.K., Dubiel, R.F., Owen, D.E. & Dickinson, K.A., 1992: Geology of radon in the United States.- Geol. Soc. Am. Sp. Paper 271, pp. 1-16.
- Hansen, J.M. & Håkansson, E., 1980: Thistedstrukturens geologi, et "neotektonisk" skoleeksempel.- Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1979, pp. 1-9.
- Hansen, T.O, Krasnik, M. & Gravesen, P., 1993: Radon.- VVS danvak, 10, 29 årg., aug 199, pp. 59-62.
- Harley, N. & Harley, J.H., 1990: Potential Lung Cancer Risk from Indoor Radon exposure.- CA-Cancer J. Clin., 40, pp. 265-275.
- Houmark-Nielsen, M., 1987: Pleistocene stratigraphy and glacial history of the central part of Denmark.- Bull. geol. Soc. Denmark, vol 36, pp. 1-189.
- Hursh, J.B., Marken, D.A., Davis, T.P. & Lovaas, A., 1965: The fate of radon ingested by man.- Health Phys., 11, pp. 465-468.
- Hutri, K.-L. & Makelainen, I., 1993: Indoor radon in houses built on gravel and sand deposits in southern Finland.- Bull. Geol. Soc. Finland, 65, Part 1., pp. 49-58

- Jessen, A., 1922: Geologisk kort over Danmark (I målestok 1:100.000). Kortbladet Varde.- Danm. Geol. Unders., I rk, nr. 14, 105 pp.
- Jørgart, T., 1982: Hallegård-graniten. Dens mineralogi, petrologi og sammenhæng med de andre bornholmske graniter og gnejser.- RUC, Inst. f. geografi, samfundsanalyse og datalogi, forskningsrapport nr. 27, 186 pp.
- Korsbech, U., 1985: Radon exhalation from samples of Danish soils, subsoils and sedimentary rocks. Department of Electrophysics, The Technical University of Denmark, 22 pp.
- Lindmark, A. & Rosen, B., 1984: Radon i jord.- Statens Geotekniska Institut, Rapport no. 24, 64 pp.
- Madsen, V., 1902: Geologisk kort over Danmark. Målestoksforhold 1:100.000. Kortbladet Nyborg.- Danm. Geol. Unders., I rk, nr. 9, 182 pp.
- Majborn, B., 1992: Seasonal variations of radon concentrations in single-family houses with different sub-structures.- Radiat. Prot. Dosim., vol. 45, no.1/4, pp. 443-447.
- Majborn, B., Sørensen, A., Nielsen, S.P. & Bøtter-Jensen, L., 1988: An Investigation of Factors Influencing Indoor Radon Concentrations.- Risø National Laboratory. Risø-M-2689, 56 pp.
- Micheelsen, H.I., 1961: Bornholms grundfjæld.- Medd. Dansk geol. Foren., 14 (4), pp. 308-349.
- Milthers, K., 1959: Geologisk kort over Danmark. Målestoksforhold 1:100.000. Kortbladene Fåborg, Svendborg og Gulstav.- Danm. Geol. Unders., I rk, nr. 21 A, 112 pp.
- Nazaroff, W.W., 1992: Radon Transport From Soil to Air.- Reviews of Geophysics, 30, pp. 137-160.
- Pershagen, G., Axelson, O., Clavensjö, B., Damberg, L., Desai, G., Enflo, A., Lagarde, F., Mellender, H., Svartengren, M., Swedjemark, G.A. & Åkerblom, G., 1993: Radon i bostäder och lungcancer. En landsomfattande epidemiologisk undersökning.- IMM-Rapport 2/93. Stockholm, 26 pp. + tabeller.
- Pedersen, S.A.S., Petersen, K.S., Salinas, I. & Rasmussen, L.Aa., 1989: Jordartskort over Danmark. 1:200.000.- Danm. Geol. Unders. Særudgivelse, 4 kort.
- Petersen, K.S., Rasmussen, L. Aa. & Hamberg, L., 1988: Vandmiljøplanens overvågningsprogram. Landovervågningsopland (LOOP 4). Geologisk jordartskort Lillebæk (1312 II NØ).- Danm. Geol. Unders. Int. Rap., nr. 26, 33 pp.
- Rasmussen, L.B., 1961: De miocæne Formationer i Danmark.- Danm. Geol. Unders., IV rk, bd. 4, nr. 5, 45 pp.
- Ribe amtskommune, 1984: Vandindvindingsplanlægning. Hydrogeologisk kortlægning.- Ribe amtsråd, juli 1984, 167 pp.

- Risø, 1994: RADON-95. En undersøgelse af effekten af foranstaltninger til reduktion af radonkoncentrationen i en række danske enfamiliehuse.- Projektforslag til Bygge- og Boligstyrelsen, sept, 1994, 7 pp.
- Rørdam, K., 1889: Geologisk kort over Danmark. Kortbladene København og Roskilde.- Danm. Geol. Unders. I rk, nr. 6., 107 pp.
- Salinas, I., 1992: Geologisk kort over Danmark. 1:50.000. Kortbladet 1513 III Ringsted & 1513 II Køge. Geologisk basisdatakort.- Danm. Geol. Unders. Kortserie, nr. 23.
- Schumann, R.R., 1993: Geological Radon Potential of the glaciated Upper Midwest.- I: Proceedings: The 1992 International Symposium on Radon and Radon Reduction Technology, vol. 2. Symposium Oral Papers, Technical Sessions VII-XII, pp. 8-33 - 8-49.
- Sjørring, S., 1983: The glacial history of Denmark.- I: Ehlers, J. (ed.): Glacial Deposits in North-West Europe. A.A.Balkema/Rotterdam, pp. 163-179.
- Sjørring, S. & Frederiksen, J., 1980: Glacialstratigrafiske observationer i de vestjyske bakkeøer.- Dansk Geol. Foren., Årsskrift for 1979, pp. 63-77.
- Soumela, M. & Kahlos, H., 1972: Studies on the elimination rate and radiation exposure after ingestion of Rn-222 rich water.- Health Phys., 23, pp. 641-643.
- Sundhedstyrelsen, 1987a: Radon-Boliger-Strålingsdosis-Lungekræftisiko.-SIS-RISØ.
- Sundhedstyrelsen, 1987b: Naturlig stråling i danske boliger.- Sundhedstyrelsen, okt 1987, 122 pp.
- Sundhedstyrelsen, 1994: Radon i nyere, naturligt ventilerede enfamiliehuse.- Statens Institut for Strålehygiejne, 34 pp.
- Søgaard-Hansen, J. & Damkjær, A., 1987: Determining Rn-222 Diffusion Lengths in Soils and Sediments.- Health Physics, Vol 53, no. 5, pp. 455-459.
- Sørensen, H., 1967: Grundfjeldets dannelse.- Danmarks natur, bd. 1, Landskabernes opståen, pp. 33-48.
- Ulbak, K., Stenum, B., Sørensen, A., Majborn, B., Bøtter-Jensen, L. & Nielsen, S.P., 1988: Results from the Danish indoor radiation survey.- Radiat. Prot. Dosim., vol. 24, pp. 401-405.
- Villumsen, A., 1991: Det danske vand- vandet i jorden.- Geografiske Temahæfter, Gyldendal, 62 pp.
- Åkerblom, G., 1987: Investigations and mapping of radon risk areas.- NGU Special Publication 2, pp. 96- 106.
- Åkerblom, G., 1995: The use of airborne radiometric and exploration survey data and techniques in radon risk mapping in Sweden.- Proceedings of a Technical Committee meeting held in Vienna 1993, IAEA, pp. 159-180.

14. Bilag

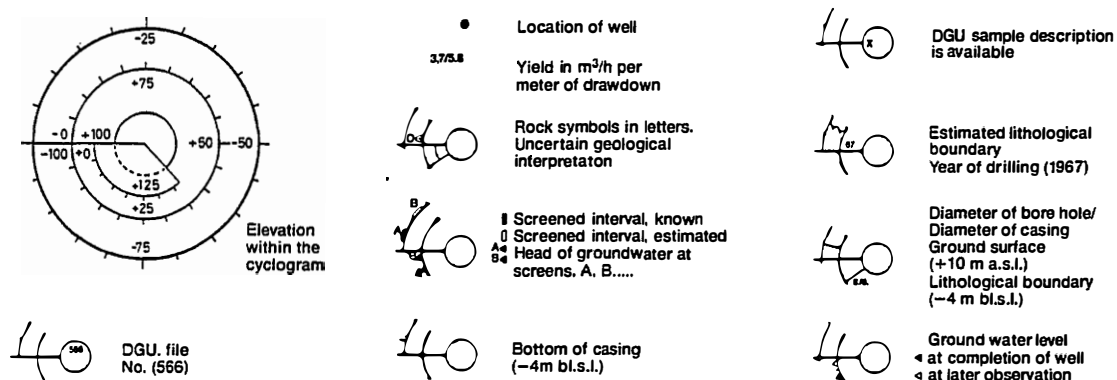
B1. Thisted. Geologisk basisdatakort

B2. Viby. Geologisk basisdatakort

B3. Lundborg. Geologisk basisdatakort

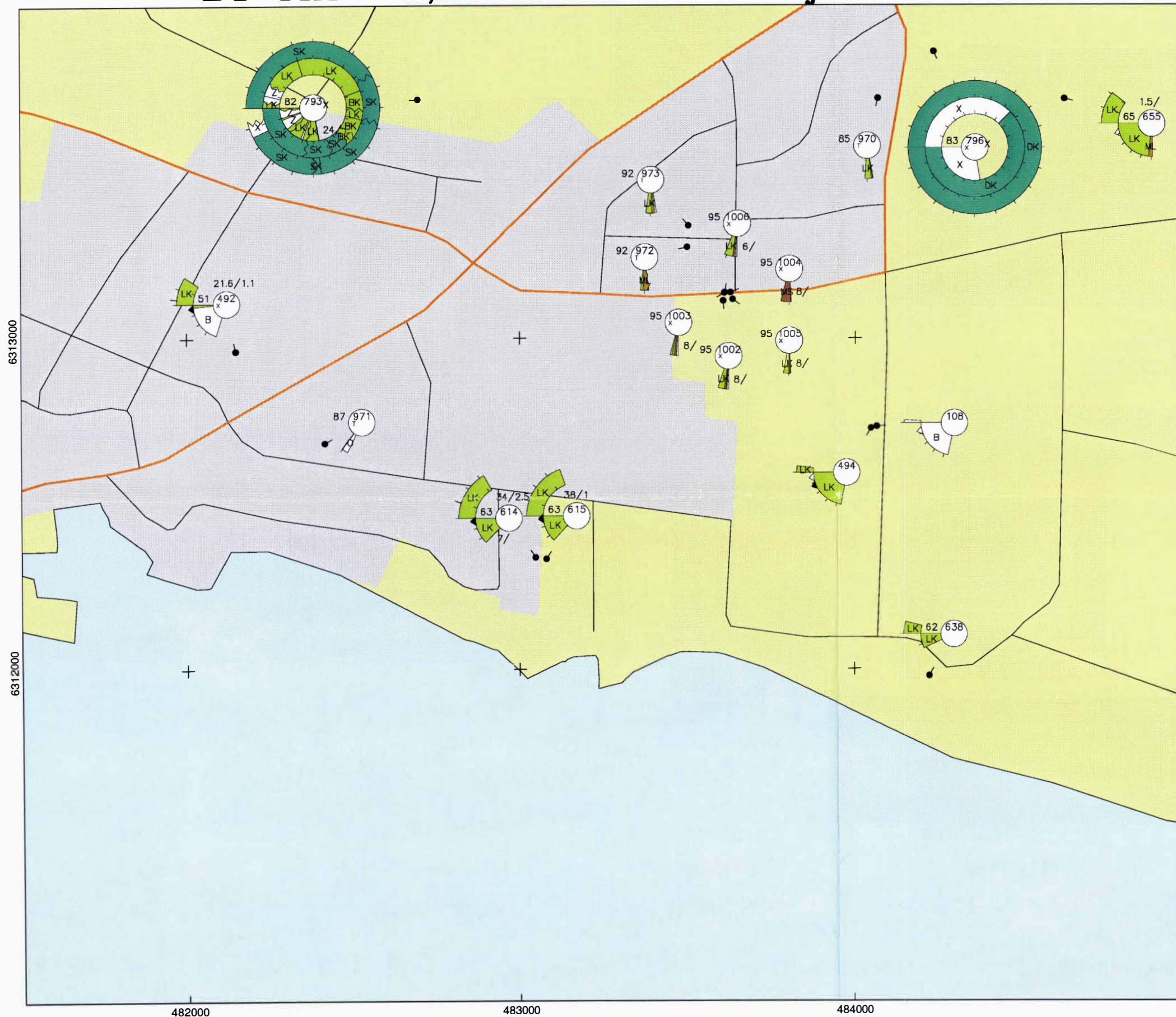
B4. Andrup. Geologisk basisdatakort

Legende til cyclogrammerne på de geologiske basisdatakort (på engelsk):



En beskrivelse af korttypen findes i Danm. Geol. Unders. Kortserie: Gravesen, 1990a.

B1 Thisted, radon i danske jordarter.



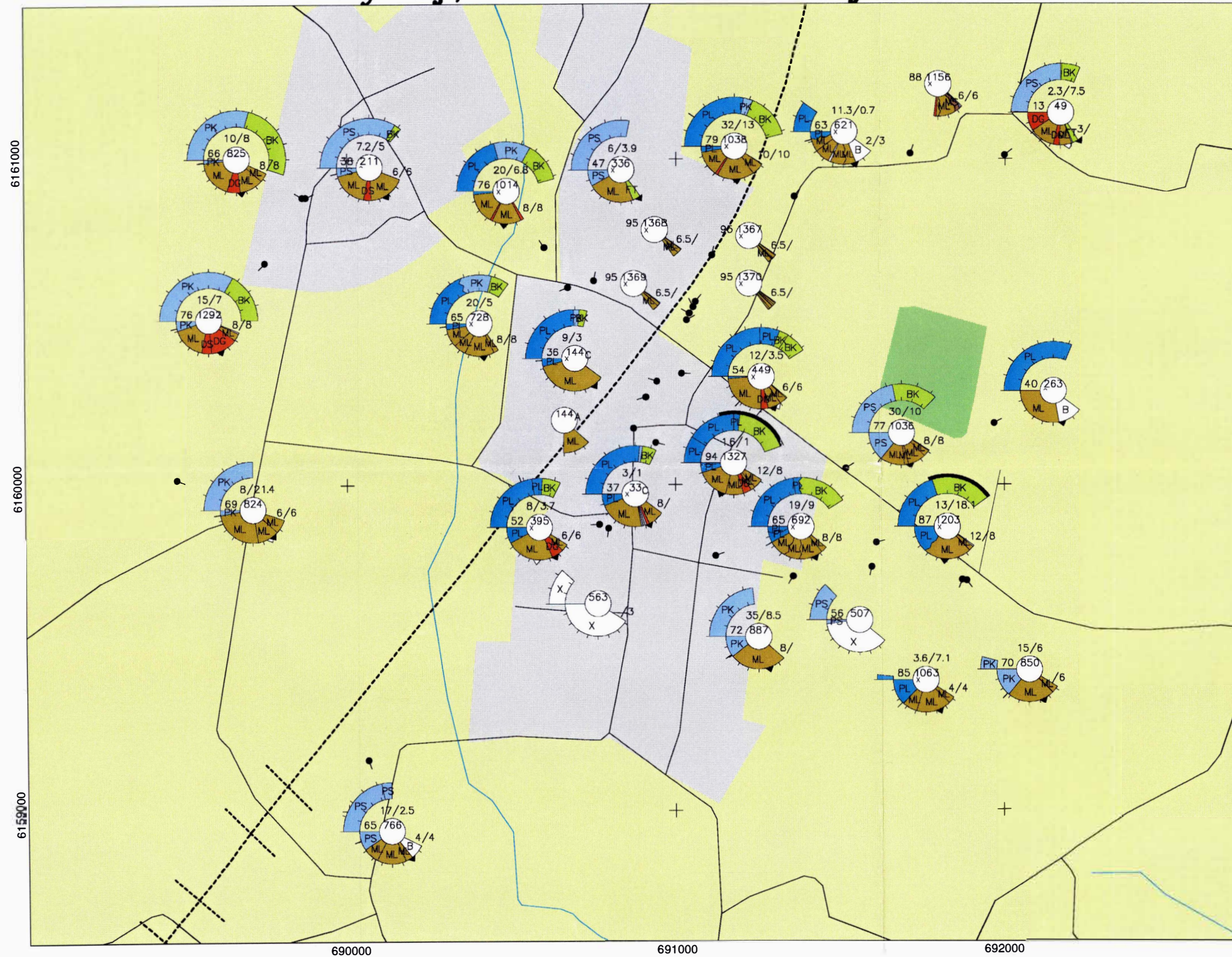
FORENKLET JORDLAGSINDELING

- Flyvesand
- Ferskvandssand, -grus
- Ferskvandsler, -silt, -gytje, -kalk, -tørve, vekslende lag
- Saltvandssand, -grus
- Saltvandsler, -silt, -gytje, -kalk, -tørve, vekslende lag
- Ferskvandssand, -grus
- Ferskvandsler, -silt, -gytje, -tørve, vekslende lag
- Saltvandssand, -grus
- Saltvandsler, -silt, -gytje, -tørve, vekslende lag
- Smeltevandssand, -grus, -sten
- Smeltevandssilt
- Smeltevandssler
- Morænesand, -grus, -sten (sandet, gruset, stenet till)
- Morænesilt (siltet till)
- Moræneler (leret till)
- Ferskvandssand, -grus
- Ferskvandsler, -silt, -gytje, -tørve, vekslende lag
- Saltvandssand, -grus
- Saltvandsler, -silt, -gytje, -tørve, vekslende lag
- Oligocæn-miocæn-pliocæn sand, grus, sandsten
- Oligocæn-miocæn-pliocæn ler, silt, brunkul, vekslende lag
- Selandien-eocæn kalk, sand, sandsten, skifer
- Selandien-eocæn ler, silt, moler, vulkansk aske, vekslende lag
- Danien kalk
- Campanien-maastrichtien kalk
- Coniacien-santonien kalk
- Sand, ler, sandsten, vekslende lag, Bavnodde grønsand
- Ler, kalk, konglomerat, vekslende lag, Arnager kalk
- Sand, ler, kalk, konglomerat, Arnager grønsand
- Sand, silt, ler, lerjærnst, kul, vekslende lag, Jydegård formationen
- Nedre kridt, ler, silt, sand

DGW

DANMARKS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE
Kortproduktion : BAP
Geologisk tolkning: PG. Dec.1995.

B2 Viby Sj., radon i danske jordarter.



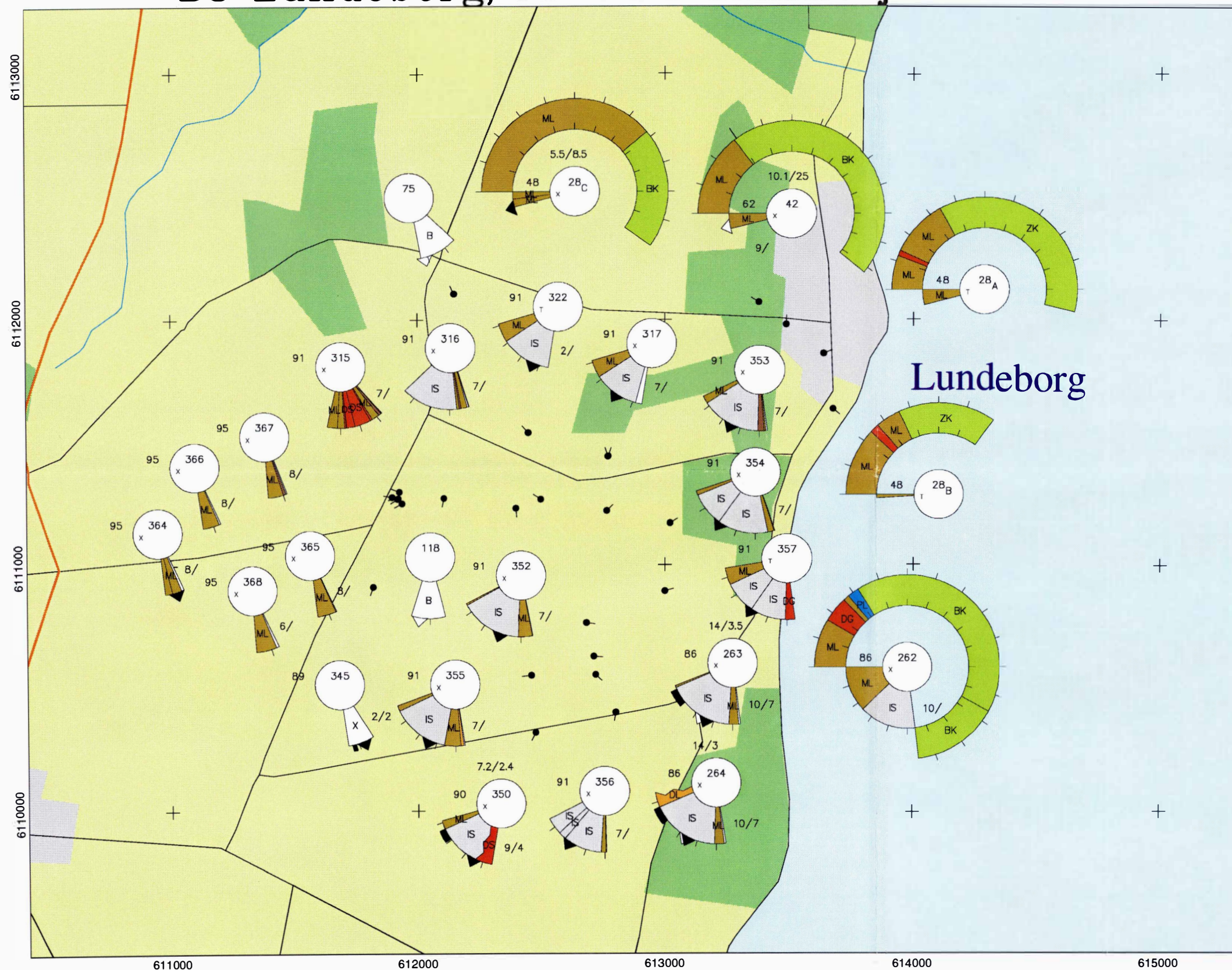
FORENKLET JORDLAGSINDELING

- Flyvesand
- Ferskvandssand,-grus
- Ferskvandsler,-silt,-gytje,-kalk,-tørv,vekslende lag
- Saltvandssand,-grus
- Saltvandsler,-silt,-gytje,-kalk,-tørv,vekslende lag
- Ferskvandssand,-grus
- Ferskvandsler,-silt,-gytje,-tørv,vekslende lag
- Saltvandssand,-grus
- Saltvandsler,-silt,-gytje,-tørv,vekslende lag
- Smeltevandssand,-grus,-sten
- Smeltevandssilt
- Smeltevandsler
- Morænesand,-grus,-sten(sandet,gruset,stenet till)
- Morænesilt(siltet till)
- Moræneler(leret till)
- Ferskvandssand,-grus
- Ferskvandsler,-silt,-gytje,-tørv,-vekslende lag
- Saltvandssand,-grus
- Saltvandsler,-silt,-gytje,-tørv,vekslende lag
- Oligocæn-miocæn-pliocæn sand,grus,sandsten
- Oligocæn-miocæn-pliocæn ler,silt,brunkul,vekslende lag
- Selandien-eocæn kalk,sand,sandsten,skifer
- Selandien-eocæn ler,silt,moler,vulkansk aske,vekslende lag
- Danien kalk
- Campanien-maastrichtien kalk
- Coniacien-santonien kalk
- Sand,ler,sandsten,vekslende lag,Bavnodde grønsand
- Ler,kalk,konglomerat,vekslende lag,Arnager kalk
- Sand,ler,kalk,konglomerat,Arnager grønsand
- Sand,silt,ler,lerjærnsten,kul,vekslende lag,Jydegård formationen
- Nedre kridt,ler,silt,sand

DGW

DANMARKS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE
Kortproduktion: BAP
Geologisk tolkning: PG. Dec.1995.

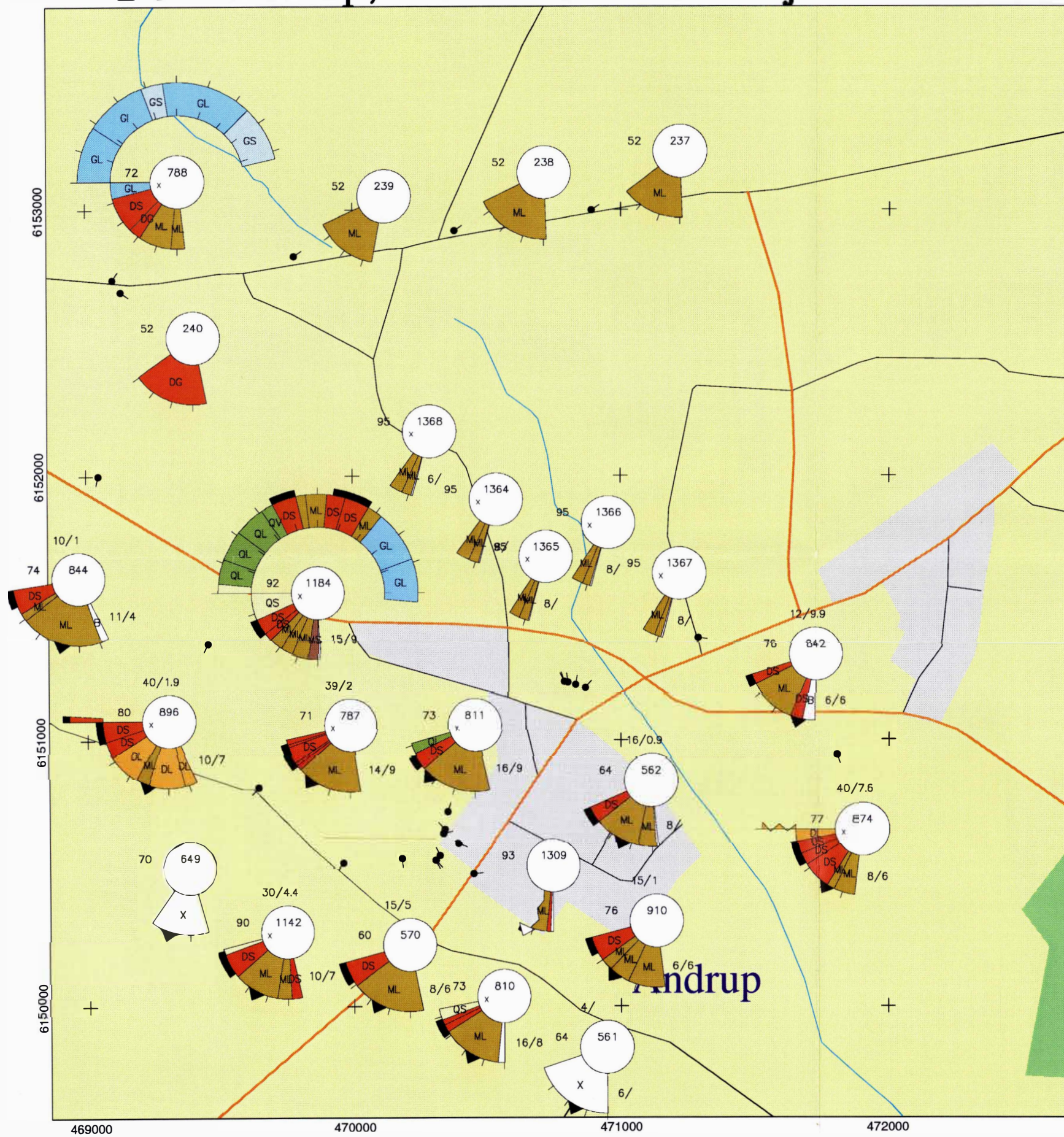
B3 Lundeborg, radon i danske jordarter.



DGW

DANMARKS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE
Kortproduktion: BAP
Geologisk tolkning: PG. Dec.1995.

B4 Andrup, radon i danske jordarter.



FORENKLET JORDLAGSINDDELING

- | | |
|---|--|
|  | Flyvesand |
|  | Ferskvandssand,-grus |
|  | Ferskvandsler,-silt,-gytje,-kalk,-tørv,vekslende lag |
|  | Saltvandssand,-grus |
|  | Saltvandsler,-silt,-gytje,-kalk,-tørv,vekslende lag |
|  | Ferskvandssand,-grus |
|  | Ferskvandsler,-silt,-gytje,-tørv,vekslende lag |
|  | Saltvandssand,-grus |
|  | Saltvandsler,-silt,-gytje,-tørv,vekslende lag |
|  | Smeltevandssand,-grus,-sten |
|  | Smeltevandssilt |
|  | Smeltevandsler |
|  | Morænesand,-grus,-sten(sandet,gruset,stenet till) |
|  | Morænesilt(siltet till) |
|  | Moræneler(leret till) |
|  | Ferskvandssand,-grus |
|  | Ferskvandsler,-silt,-gytje,-tørv,-vekslende lag |
|  | Saltvandssand,-grus |
|  | Saltvandsler,-silt,-gytje,-tørv,vekslende lag |
|  | Oligocæn-miocæn-pliocæn sand,grus,sandsten |
|  | Oligocæn-miocæn-pliocæn ler,silt,brunkul,vekslende lag |
|  | Selandien-eocæn kalk,sand,sandsten,skifer |
|  | Selandien-eocæn ler,silt,moler,vulkansk aske,vekslende lag |
|  | Danien kalk |
|  | Campanien-maastrichtien kalk |
|  | Coniacien-santonien kalk |
|  | Sand,ler,sandsten,vekslende lag,Bavnodde grønsand |
|  | Ler,kalk,konglomerat,vekslende lag,Arnager kalk |
|  | Sand,ler,kalk,konglomerat,Arnager grønsand |
|  | Sand,silt,ler,lerjernsten,kul,vekslende lag,Jydegård formationen |
|  | Nedre kridt,ler,silt,sand |

DEW

DANMARKS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE
Kortproduktion: BAP
Geologisk tolkning: PG. Dec.1995.