

NOTAT

Projekt **Vurdering af Risø-områdets egnethed som placering for et mellemlager for radioaktivt affald**
Kunde **Roskilde Kommune**
Notat nr. **1**
Dato **2015-11-27**
Til **Roskilde Kommune, att. Maria Ammentorp Sørensen**
Fra **Rambøll, Niels Richardt**
Kopi til

1. Indledning

Dato 2015-11-27

Roskilde Kommune har bedt Rambøll om at udarbejde en vurdering af Risø-områdets egnethed som placering for et mellemlager for mellem- og lavradioaktivt affald. Vurderingen skal tage udgangspunkt i geologi, seismisk aktivitet og grundvand.

T
F

I dette notat opridses i kapitel 2 baggrunden for et eventuelt fremtidigt mellemlager for mellem- og lavradioaktivt affald. Herefter følger i kapitel 3 til 6 vurderinger af Risø-områdets egnethed som lokalitet i forhold til terrænoverflade, klima og havstigninger, overfladegeologi, jordskælv og forkastninger samt overfladevand og grundvand. Endelig følger opsummerende konklusioner i kapitel 7 og referencer i kapitel 8.

Ref. 1100018055

Udarbejdet af NLR
Kontrolleret af MBMJ
Godkendt af NLR

2. Baggrund

Forskningscenter Risø har, siden oprettelsen, fungeret som central opsamlingsstation for alt radioaktivt affald i Danmark. Affaldet stammer fra forskningsaktiviteter på Risø, sundhedssektoren og industrien.

Den 13. marts 2003 besluttede Folketinget, at afviklingen af de nukleare anlæg på Forskningscenter Risø skulle fremmes hurtigst muligt. Samme dato besluttede Folketinget ligeledes, at regeringen skulle påbegynde udarbejdelsen af et beslutningsgrundlag for et dansk slutdepot for lav- og mellemaktivt affald.

2.1 Mulighed for et slutdepot

Det var hensigten med beslutningen i 2003, at der sideløbende med afviklingen af de nukleare anlæg etableres et slutdepot, der kan

rumme affaldet fra afviklingen, det oplagrede radioaktive affald på Risø samt det affald, samfundet producerer i en årrække frem.

Der er gennemført et omfattende arbejde med at identificere mulige egnede lokaliteter for et slutdepot for radioaktivt affald. Arbejdet omfatter blandt andet forstudier, der førte til udvælgelse af seks ud af 22 undersøgte lokaliteter, som kan anvendes til et potentielt slutdepot /1/. Risø-området var blandt de 22 undersøgte lokaliteter, men blev ikke udvalgt blandt de seks potentielt egnede lokaliteter /1/.

Det centrale udvælgelseskriterium for potentielle lokaliteter for et slutdepot var, at der inden for området fandtes finkornede uforstyrrede aflejringer/bjergarter med ringe vandgennemstrømning. De skulle samtidig være mere end 50 m tykke og have stor horisontal udbredelse. De finkornede aflejringer/bjergarter skal kunne omslutte eller underligge et slutdepot og dermed medvirke til at tilbageholde eventuelle lækager. Ved udpegningen af de 6 af de 22 områder blev der også lagt vægt på en række andre geologiske og grundvandsmæssige karakteristika, som blev vurderet nærmere /1/.

I forhold til de anvendte karakteristika ved udpegningen placerede Risø-området sig blandt de mindst egnede områder ud af de 22 områder /2/.

2.2 Mulighed for et mellemlager

I november 2012 blev bestræbelserne på at finde en langsigtet løsning for det radioaktive affald, efter aftale mellem Ministeren for Sundhed og Forebyggelse og Folketingets politiske partier, udvidet til at foregå med undersøgelser i tre spor:

- muligheden for et slutdepot
- muligheden for et mellemlager
- muligheden for at eksportere alt affaldet til et andet land

I marts 2015 blev der indgået aftale mellem Ministeren for Sundhed og Forebyggelse og Folketingets politiske partier om, at der ikke arbejdes videre med planerne for et slutdepot, men at der i stedet for arbejdes med muligheden for et mellemlager og muligheden for at eksportere affaldet til et andet land.

I februar 2015 har GEUS og Dansk Dekommissionering for en Tværministeriel arbejdsgruppe under Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse udarbejdet et beslutningsgrundlag for et dansk mellemlager for lav- og mellemaktivt affald /3/. I beslutningsgrundlaget opstilles blandt andet en række krav og anbefalinger til naturgivne forhold i forbindelse med valg af placering af et mellemlager. Blandt de naturgivne forhold, der skal vurderes, er:

- Terrænoverflade, klima og havstigninger
- Overfladegeologi
- Jordskælv
- Overfladevand
- Grundvand

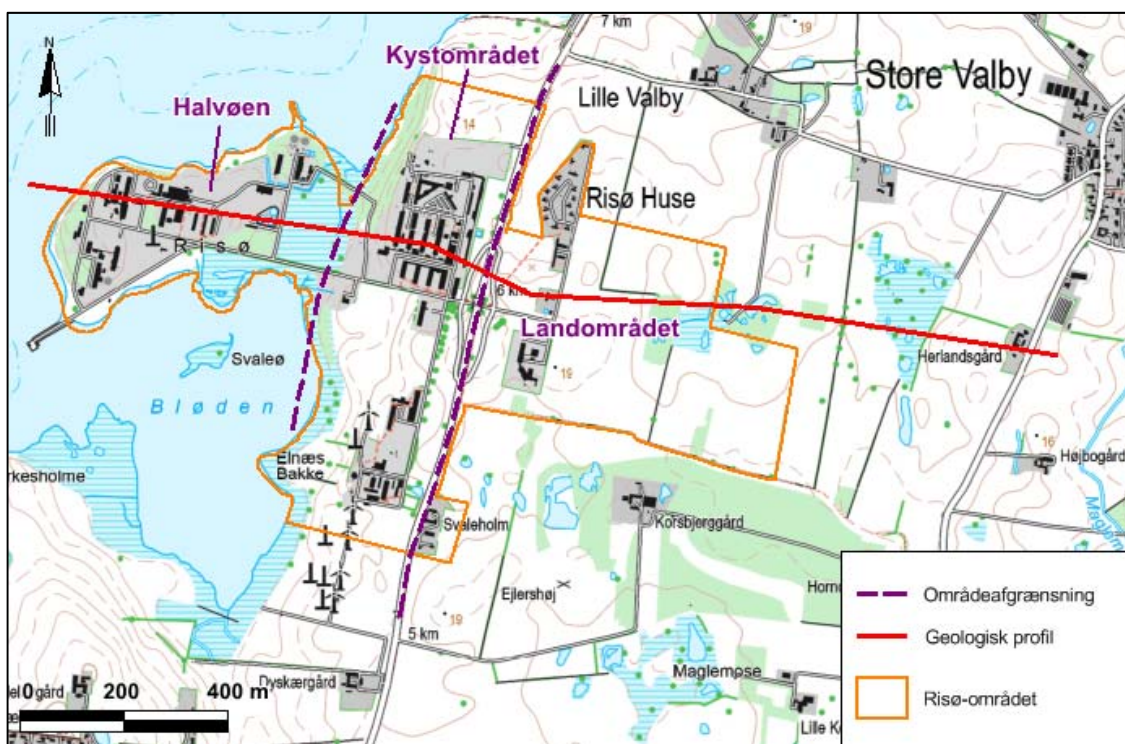
Dette notat indeholder en beskrivelse af disse forhold i Risøområdet og en vurdering i forhold til beslutningsgrundlagets krav og retningslinjer.

2.3 Risø-området

Risø-området er i dette notat defineret som det med orange afgrænsede areal i Figur 2.1. Området er i kommuneplanrammen benævnt Risø (område til offentligt formål) vest for Frederiksborgvej og Forsknings og erhvervsområde (erhvervsområde) øst for Frederiksborgvej.

Risø-området kan opdeles i tre delområder: Halvøen, kystområdet og landområdet. Som det fremgår af Figur 2.1, er Frederiksborgvej defineret som grænse mellem kystområdet og landområdet, mens afgrænsningen af halvøen giver sig selv.

I notatet vurderes de i ovenstående afsnit nævnte naturgivne forhold for Risø-områdets forskellige delområder.



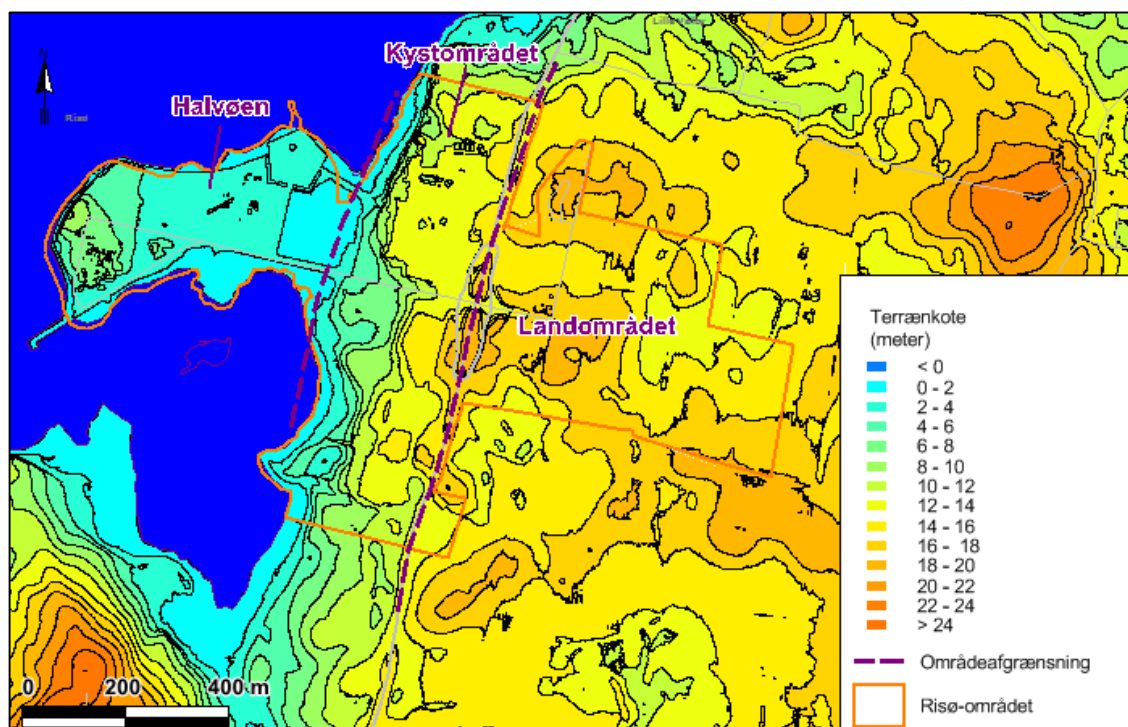
Figur 2.1 Risø-området med opdeling i de tre delområder: Halvøen, kystområdet og landområdet. Kortet viser desuden placeringen af det geologiske profil, der ses i Figur 4.1.

3. Terrænoverflade, klima og havstigninger

Jf. beslutningsgrundlaget for et dansk mellemlager for lav- og mellemaktivt affald /3/ bør følgende væsentlige forhold inden for terrænoverflade, klima og havstigninger vurderes ved udpegnig af en lokalitet til mellemlager:

- Det valgte terræn skal være stabilt uden væsentlige overfladehældninger, og der skal være tale om naturligt veldrænede områder, hvor topografiske og hydrologiske forhold sikrer, at risikoen for oversvømmelse er meget lille.
- Risikoen for ekstreme klimahændelser skal vurderes på en lokalitet for at afgøre, hvilken betydning de vil have. Scenarier for fremtidige klimaændringer skal tages i betragtning og inddrages i den samlede vurdering af en lokalisering, herunder at overfladehøjden over havniveau bør relateres til fremtidige havstigninger.

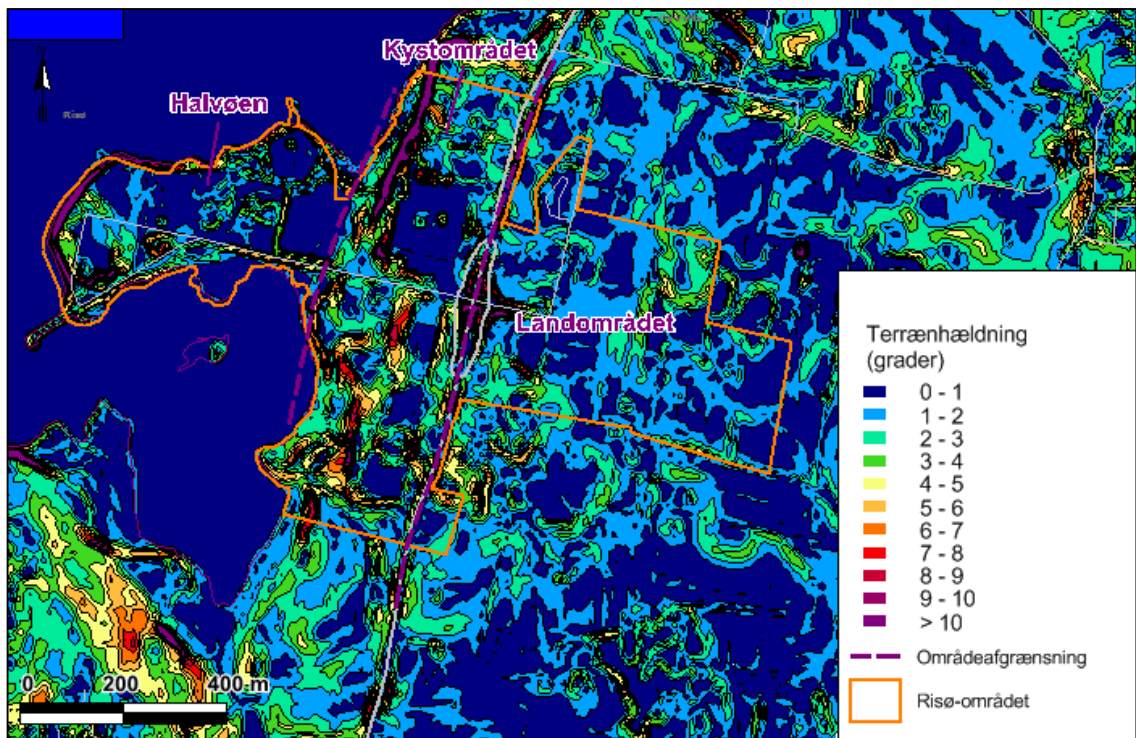
Terrænoverfladen illustreres af kort over Risø-områdets højdeforhold i Figur 3.1, kort over terrænhældninger i Figur 3.2 og geologisk jordartskort i Figur 3.3.



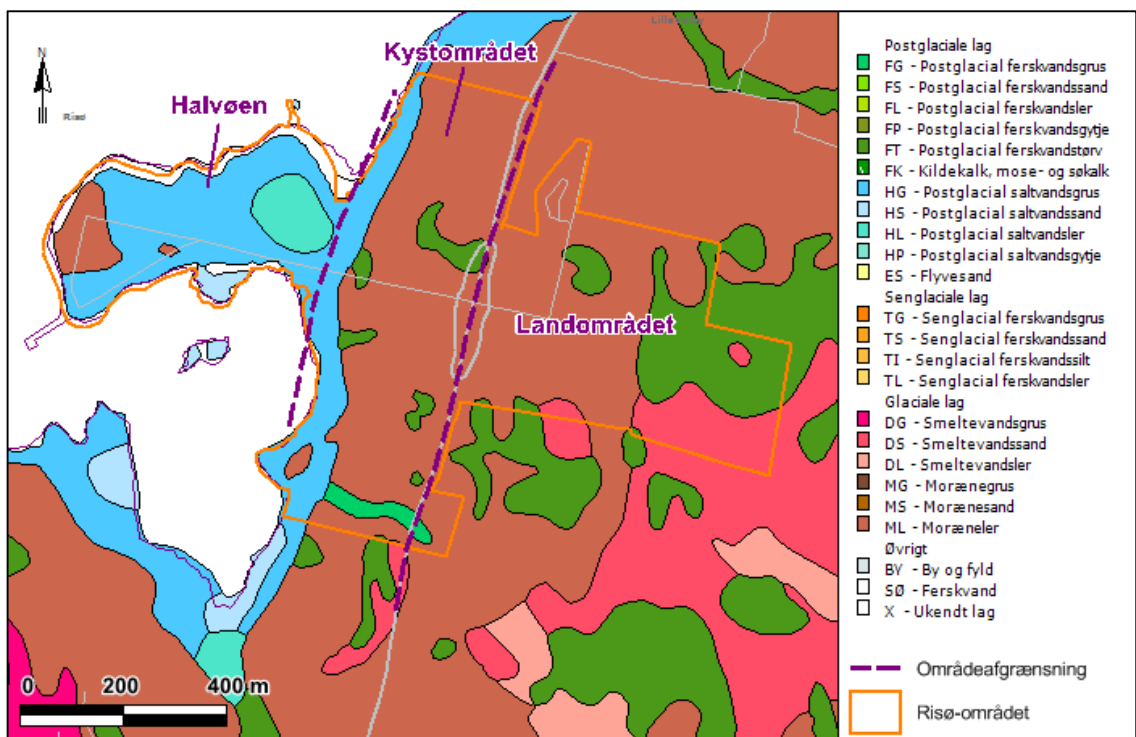
Figur 3.1 Risø-områdets højdeforhold. Kilde: Danmarks Højdemodel, DHM-2007/Overflade (1,6 m grid) /4/.

3.1 Halvøen

Hovedparten af halvøen er lavtliggende, mellem kote 0 m og +3,5 m. Disse arealer har lav terrænhældning (Figur 3.2), og overfladelagene udgøres af postglaciale marine aflejringer af henholdsvis saltvandsgrus og saltvandsgytje (Figur 3.3). De marine aflejringer er ikke stabile i forhold til fundering, men der vil kunne funderes i underliggende stabile lag af moræneler.



Figur 3.2 Terrænhældning i Risø-området. Danmarks Højdemodel, DHM-2007/Overflade (10 m grid) /5/.



Figur 3.3 Geologisk jordartskort /6/.

Længst mod vest på halvøen er der et område, der når op til kote ca. +8,5 m, og et meget lille område øst herfor, der når op til kote +5,5 m. Disse områder, der udgøres af tidligere øer, har overfladelag bestående af moræneler og har relativt stejle afgrænsninger mod det tilgrænsende lavtliggende område. Længst mod vest afgrænses det største af de højere områder af en aktiv kystklint.

Risikoen for ekstreme klimahændelser, der kan føre til oversvømmelser, kan eksemplificeres med passagen af stormen "Bodil" den 5. december 2013. Den højeste vandstand, der blev registreret i Roskilde Havn var 2,06 m over dagligt vande, hvilket jf. Figur 3.1 førte til, at kystnære dele af halvøen var oversvømmet. Dansk Dekommissionerings nuværende faciliteter på halvøen var dog ikke oversvømmet, omend der var vandindtrængning i et kedelrum på Behandlingsstationen /7/.

Scenarierne for fremtidige havniveauændringer er usikre, men stigninger på op til 1,5 m frem mod år 2100 er mulige /8/. Samtidig forventes en øget hyppighed af ekstreme klimahændelser, herunder storme, der kan føre til opstuvning af vand i Roskilde Fjord på linje med situationen ved "Bodils" passage. Ved en havniveaustigning på 1 m og en stormflodshændelse af samme skala som ved "Bodils" passage (samlet et havniveau på 3,06 m over det nuværende), vil store dele af de lavtliggende områder på halvøen blive oversvømmet.

De to højere områder vil ikke blive oversvømmet ved sådanne fremtidige højvandehændelser, men både en generel havniveaustigning og en øget hyppighed af ekstreme storme vil føre til en øget erosion af de højere områders skrænter og skrånninger, i første omgang den nutidige aktive kystklint.

Vurdering

På baggrund af det ovenstående konkluderes det, at halvøen ikke opfylder beslutningsgrundlagets kriterier vedr. terrænoverflade, klima og havstigninger for egnede lokaliteter til et mellemlager.

3.2 Kystområdet

I kystområdet rejser terrænet sig fra kote 0 m til kote ca. +13 m ved Frederiksborgvej. Området er karakteriseret ved forekomst af relativt stejle skrånninger, men i den nordøstlige del af kystområdet er der dog et mindre areal, der er relativt plant. Dette areal er afgrænset mod vest af en gammel, "fossil" kystklint, hvis "fod" ligger mellem kote +2 m og +4 m. I de lavtliggende, mest kystnære dele af området udgøres overfladelagene af marine aflejringer i form af saltvandgrus, mens overfladelagene i de resterende dele af kystområdet overvejende udgøres af moræneler, dog med mindre områder med postglacial ferskvandstørv og ferskvandssand.

Størstedelen af kystområdet er ikke egnet som placering af et mellemlager på grund af for stejle terrænhældninger. Der vil dog muligvis kunne afgrænses et anvendeligt, mindre område i den nordøstlige del af kystområdet.

Det nordøstlige delområde ligger så højt, at det ikke direkte berøres af fremtidige havniveaustigninger eller højvande i forbindelse med stormhændelser. En generel havniveaustigning såvel som øget hyppighed af storme vil føre til en øget erosiv påvirkning af kystområ-

dets kyststrækning. Den fossile kystklint, der afgrænser det eventuelt egnede område mod vest, vil med sin beliggenhed med klintefod mellem kote +2 m og kote +4 m i første omgang ikke blive berørt af erosion på grund af havniveaustigninger. Det kan imidlertid ikke udelukkes, at erosion i det marine forland foran klinten med tiden vil føre til en genaktivering af klinten.

Vurdering

Det vurderes, at det er tvivlsomt, om dette delområde er egnet som placering af et mellemlager i forhold til kriterierne vedrørende terrænoverflade, klima og havstigninger.

3.3 Landområdet

Hele landområdet ligger højere end kote +12 m (Figur 3.1) og har et let bølget terræn, der i størstedelen af området har relativt beskedne terrænhældninger (Figur 3.2). Overfladelagene udgøres af moræneler, af smeltevandssand længst mod sydøst samt af ferskvandstørv i en række lavninger, hvor der også ses vandhuller (Figur 3.3).

Lavningerne med ferskvandstørv og vandhuller fremtræder ikke naturligt veldrænede og er derfor ikke egnede til placering af et mellemlager. I de lidt højere liggende områder med moræneler forventes det imidlertid at være muligt at afgrænse områder, der opfylder kravene til stabilitet, lav terrænhældning og naturlig dræning. Disse områder vurderes ikke at blive berørt af havniveaustigninger og fremtidige højvandehændelser.

Vurdering

Det vurderes at være muligt inden for landområdet at finde lokaliteter, der i forhold til kriterierne vedrørende terrænoverflade, klima og havstigninger er egnede som placering af et mellemlager for lav- og mellemlageret.

4. Overfladegeologi

Jf. beslutningsgrundlaget for et dansk mellemlager for lav- og mellemaktivt affald /3/ bør følgende væsentlige overfladegeologiske forhold vurderes ved udpegning af en lokalitet til mellemlager:

- Placering på/i stabile, ensartede, lav-permeable geologiske lag, som kan medvirke til at beskytte mennesker og miljø, herunder vandmiljø, mod påvirkning fra utilsigtet stråling fra lageret.
- De geologiske forhold skal bidrage til mellemlagerets stabilitet, altså til den konstruktion, der skal udføres. Det betyder, at der ikke må kunne ske bevægelser eller udskridning af jordlagene.

Som beskrevet i beslutningsgrundlaget er de geologiske forhold fra terræn ned til øverste grundvandsmagasin med til at beskytte grundvandet mod forurening, og de geologiske lag har betydning for stabiliteten af en bygning. Derfor er ensartede forhold det optimale. Geologiske lag, der har været belastet af gletscheris under istiderne (f.eks. moræneler) anses for at være stabile, mens lag, som ikke har været dækket af gletscheris (f.eks. postglaciale marine aflejringer og postglaciale ferskvandsaflejringer) kan være problematiske med hen-

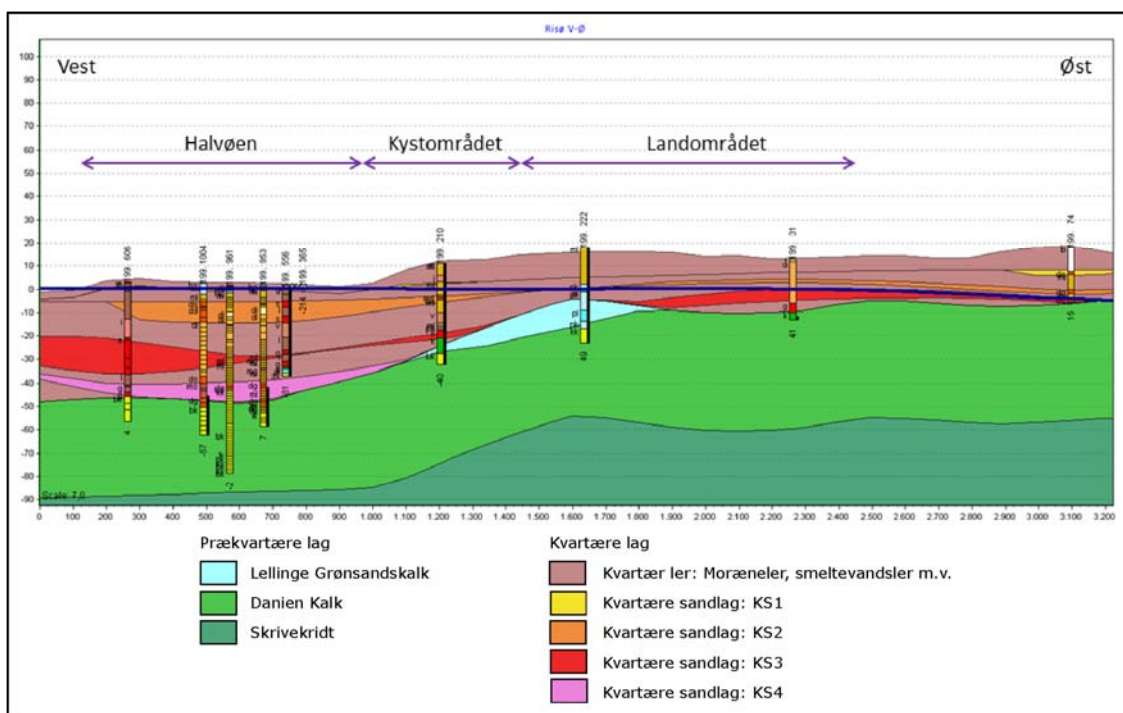
syn til stabilitet /3/. Overfladegeologien har desuden betydning i forhold til risikoen for transport af forurenede vand til overfladerecipienter.

4.1 Overordnede geologiske forhold

De geologiske forhold i Risø-området er blevet beskrevet og vurderet af GEUS /2/, og forholdene er desuden blevet beskrevet og en geologisk model opstillet i forbindelse med den statslige grundvandskortlægning /9/.

Overfladegeologien i Risø-området illustreres med det geologiske jordartskort, der viser de geologiske lag i 1 meters dybde under terrænen (Figur 3.3), et geologisk profilsnit, der viser den overordnede geologiske opbygning i de øverste ca. 100 m under terrænen (Figur 4.1) og et kort over den samlede tykkelse af lerlag over områdets kalklag (Figur 4.2).

De overordnede geologiske forhold fremgår af det geologiske profil i Figur 4.1. Overfladegeologien kan opdeles i kvartære lag (aflejret under istider og tiden efter sidste istid) og prækvartære (ældre) lag. I Figur 4.1, der er udtrukket fra Naturstyrelsens geologiske model for Lejre Vest, Osted og Roskilde kortlægningsområder /9/, er de kvartære lag fra istiderne vist med brun, gul, orange, rød og violet, mens prækvartære lag, der primært består af kalk, er vist med blå, grøn og mørkegrøn.



Figur 4.1 Geologisk profil gennem Risø-området. Brune lag er kvartære lerlag, primært moræneler. Lellinge Grønsandskalk, Danien Kalk og Skrivekridt udgør tilsammen områdets primære grundvandsmagasin. De kvartære sandlag udgør sekundære grundvandsmagasin. KS1-KS4 er navne på sandmagasin i Naturstyrelsens geologiske model for Lejre Vest, Osted og Roskilde kortlægningsområder. Placeringen af det geologiske profil fremgår af Figur 2.1. Kilde: Naturstyrelsens geologiske model for Lejre Vest, Osted og Roskilde kortlægningsområder /9/.

Kvartære lag

I den geologiske model er lag aflejret efter sidste istid ikke modelleret, men som det fremgår af det geologiske jordartskort i Figur 3.3 og af beskrivelserne i afsnit 3, er der ret udbredte forekomster af både postglaciale marine aflejringer i form af saltvandsgrus, -sand og -gytje og postglaciale ferskvandsaflejringer i form af ferskvandstørv og -sand.

Aflejringerne fra istiderne er, som det ses på Figur 4.1, domineret af lerlag, især moræneler, men der forekommer også lag af smeltevandssand og -grus af varierende tykkelse og i varierende dybder. Istidsaflejringerne har, eventuelt på nær de allerøverste lag, været dækket af gletscheris og kan derfor anses for at være stabile.

Prækvartære lag

De prækvartære lag består som ovenfor nævnt primært af kalk. Lagene stammer fra tidsafsnittene Selandien, Danien og Kridt. Kridttidslagene, der består af Skrivekridt, ligger så dybt, at de ikke har grundvandsmæssig interesse i området, og de vil ikke blive behandlet nærmere.

De øverste prækvartære lag tilhører Lellinge Grønsandskalk fra Selandien og består af veksellende lag af fed ler, mergel, kalk og kalksand. Lagene har varierende hærtningsgrad og varierende grad af opsprækkethed. Som følge af opsprækningen har Lellinge Grønsandskalk ofte en særdeles god vandføringsevne, og bjergarten er primært magasin for en række store vandforsyninger og kildepladser på Sjælland. Risø Vandværks tre indvindingsboringer, der er placeret nær grænsen mellem kystområdet og landområdet, er imidlertid filtersat i den underliggende Danien Kalk, selv om de også gennemborer ca. 20 m Lellinge Grønsandskalk. Dette kunne indikere, at grønsandskalken lokalt har en mindre god vandføringsevne.

Danien Kalk består af forskellige kalkaflejringer, bryozokalk, kalksandskalk og slamkalk med underordnede lag af flint. På grund af opsprækning har Danien Kalk en god vandføringsevne og udgør det vigtigste primære magasin på store dele af Sjælland. De nærmeste store kildepladser i forhold til Risø-området, Brokilde Kildeplads og Marbjerg Kildeplads, indvinder begge fra Danien Kalk.

Beskyttende lerlag

I forhold til at beskytte grundvandet mod nedrivende forurenede vand og i forhold til at beskytte overfladerecipienter mod strømning af forurenede vand via de geologiske lag er det lerlagene i den kvartære lagpakke og i Lellinge Grønsandskalk, der kan have betydning.

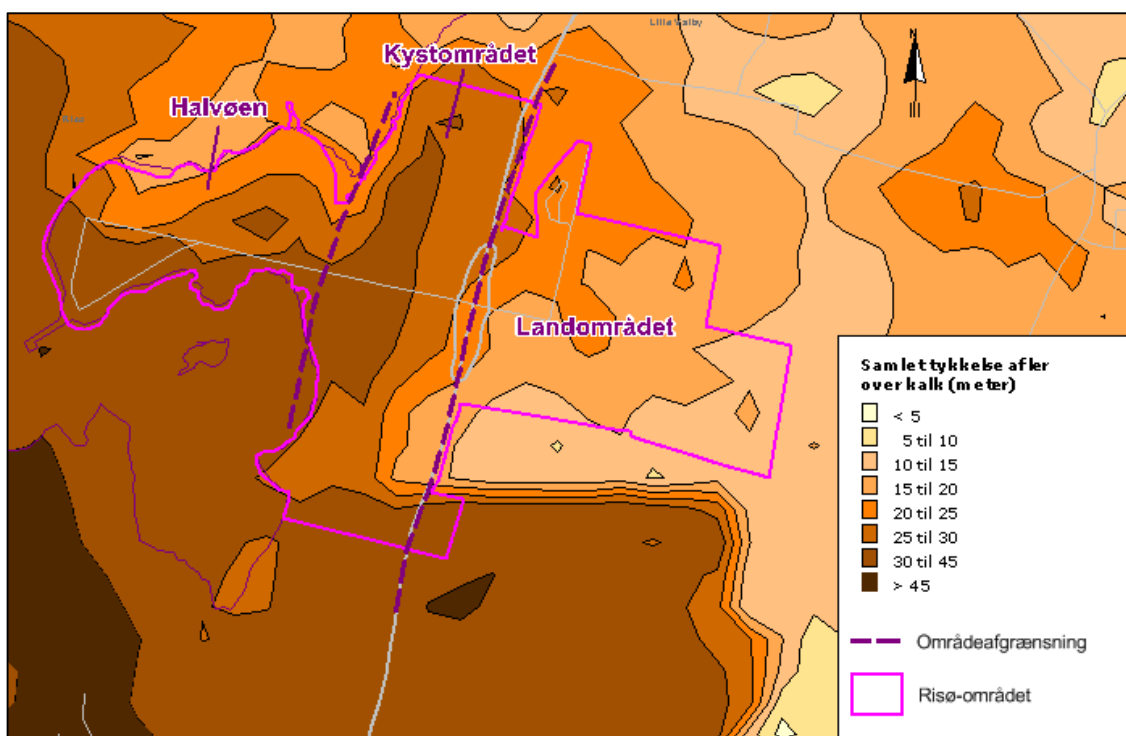
Lerlagene i Lellinge Grønsandskalk består af fed ler, og lagene virker derfor stærkt vandbremsende. Lerlagene veksler imidlertid med blandt andet vandførende, opsprækkede kalklag, hvilket betyder, at der må forventes en god eller relativt god horisontal gennemstrømmelighed i lagpakken af Lellinge Grønsandskalk, der som ovenfor nævnt udgør et godt primært magasin mange steder på Sjælland. Da lagene samtidig ikke er kontinuerte i Risø-området, men mangler under hovedparten af halvøen og store dele af landområdet, bevirker det, at de i praksis ikke har en beskyttende effekt i forhold til det underliggende grundvandsmagasin i Danien Kalk. I den statslige grundvandskortlægning medregnes lerlag i Lel-

linge Grønsandskalk da heller ikke i de beskyttende lerlag over grundvandsmagasiner i Dagnien Kalk (f.eks. /10/).

Lerlagene i den kvartære lagpakke består af moræneler og smeltevandsler. Moræneler er ofte opsprækket i de øverste terrænnære dele, der dermed i mindre grad virker vandbremsende, og kan indeholde andre geologiske heterogeniteter i form af blandt andet sandlinser og –slirer. GEUS beskriver, at den øverste moræneler, der ses i den 200 m lange kystklint på halvøen, fremtræder ensartet gennem hele klintens længde, men at der ses en del vertikale sprækker og rødder, hvoraf de største strækker sig helt igennem profilet. En lignende situation kan forventes i den øverste moræneler i de øvrige delområder.

Smeltevandler er ofte federe end moræneler, er sjældnere opsprækket og vil i mange tilfælde være mere vandbremsende end moræneler i forhold til vertikal strømning. Smeltevandsler kan imidlertid være mellemljret af tynde eller tykkere lag af smeltevandssand, der kan medføre, at en samlet ler-sandpakke har en relativt god horisontal gennemstrømmelighed og derfor i mindre grad virker beskyttende i forhold til terrænnær strømning mod en overfladereipient.

I Figur 4.2 ses en modelleret, samlet tykkelse af lerlag over kalkmagasinet i Risø-området. Lerlagene i Lellinge Grønsandskalk er ikke medregnet i den samlede lertykkelse af de ovenfor nævnte grunde. Til gengæld er al kvartær ler medregnet, også eventuelle lag af opsprækket moræneler og ler med andre heterogeniteter. Den samlede tykkelse af reelt beskyttende lerlag vil derfor i mange tilfælde være mindre, end kortet viser.



Figur 4.2 Samlet tykkelse af lerlag over kalkmagasinet. Lerlagene, der primært består af moræneler, bidrager til at beskytte grundvandsmagasinet (kalken) mod påvirkninger fra overfladen. Kilde: Naturstyrelsens geologiske model for Lejre Vest, Osted og Roskilde kortlægningsområder /9/.

4.2 Halvøen

De postglaciale marine aflejringer, der jf. Figur 3.3 dækker store dele af halvøen, er i boringer op til ca. 4 m tykke eller tyndere. Det kan dog ikke udelukkes, at der på halvøen lokalt findes områder med tykkere postglaciale lag. De postglaciale lag regnes som nævnt ikke som stabile.

De glacielle aflejringer under halvøen er op til ca. 50 m tykke og starter generelt med en øvre moræneler, som er blottet i kystklinten. Under denne moræneler følger en pakke af smeltevandsaflejringer, som i de fleste boringer er domineret af smeltevandsler og smeltevandssilt, men som også indeholder lag af smeltevandssand. Sandlagene optræder i varierende tykkelser og i forskellige dybder. Under denne lagpakke findes der i nogle boringer endnu et lag af moræneler og yderligere smeltevandsaflejringer.

De prækvartære aflejringer består næsten udelukkende af Danien Kalk. I en enkelt boring er der dog beskrevet 1,9 m prækvartær ler.

Beskyttelse af grundvandet

Som det fremgår af Figur 4.2, er den samlede tykkelse af lerlag over kalkmagasinet større end 20 m i størstedelen af området. Der er dog et mindre område med 15-20 m ler over kalkmagasinet. Der er flere delområder med mere end 30 m samlet lerdække.

Der findes ingen grundvandskemiske analyser fra halvøen. De nærmeste analyser er udtaget i Risø Vandværks tre indvindingsboringer, der er placeret nær grænsen mellem kystområdet og landområdet. Boringerne indvinder fra kalkmagasinet, og analyserne giver således et billede af den kemiske tilstand i dette magasin og dermed også af eventuelle påvirkninger fra terræn. Oplandet til vandværket er primært beliggende i landområdet, og det kemiske fingeraftryk må derfor forventes at være mere repræsentativt for landområdet, hvor lerdækket generelt er noget tyndere, end for halvøen og kystområdet. De kemiske data viser en tydelig påvirkning af grundvandet fra overfladen (se afsnit 4.4), hvilket viser, at lerdækket i landområdet giver en utilstrækkelig beskyttelse af grundvandet.

Vurdering

Hvorvidt lerdækket over kalkmagasinet giver en tilstrækkelig beskyttelse af grundvandet under halvøen vurderes at være meget usikkert. Fraværet af egentlige fede lerlag gør under alle omstændigheder, at området ikke er ideelt på dette punkt.

Beskyttelse af overfladevand

De relativt mange sandlag i den øvre og midterste del af den glacielle lagpakke vurderes sammen med den recipientnære beliggenhed at medføre en ikke ubetydelig risiko for spredning af forurenede vand til overfladerecipienter, i dette tilfælde Roskilde Fjord. Postglaciale marine sandlag kan bidrage til denne risiko i størstedelen af området.

Vurdering

På baggrund af det ovenstående konkluderes det, at halvøen ikke opfylder beslutningsgrundlagets kriterier vedr. overfladegeologiens beskyttelse af overfladevand.

4.3 Kystområdet

I den mest kystnære del af kystområdet, op til kote ca. +3,5 m, består de øverste jordlag, som det fremgår af Figur 3.3, af postglaciale marine aflejringer. Lige som på halvøen viser boredata en tykkelse af disse aflejringer på op til 4 m, men det kan ikke udelukkes, at lagene lokalt er tykkere.

Tykkelsen af glaciale lag er noget tyndere end under halvøen. I borerer varierer tykkelsen mellem ca. 15 m og ca. 30 m. Der ses omtrent den samme glaciale lagpakke som under halvøen, men andelen af smeltevandsler er mindre i borerer i kystområdet, hvor de glaciale lag er domineret af moræneler med underordnede sandlag.

Tykkelsen af Lellinge Grønsandskalk varierer inden for kystområdet mellem 0 m og ca. 30 m. Andelen af lerede lag i grønsandskalken varierer mellem ca. 30 % og tæt på 100 % i borerbeskrivelserne.

Beskyttelse af grundvandet

Den samlede tykkelse af lerlag over kalkmagasinet har omtrent den samme fordeling som under halvøen.

Vurdering

Vurderingen er den samme som for halvøen, nemlig at det er meget usikkert, om lerdækket over kalkmagasinet giver en tilstrækkelig beskyttelse af grundvandet, og at fraværet af egentlige, sammenhængende, fede lerlag bevirker, at området ikke er ideelt på dette punkt.

Beskyttelse af overfladevand

Lige som på halvøen bevirker de relativt mange sandlag i den øvre og midterste del af den glaciale lagpakke, at der er en betydelig risiko for forureningsspredning gennem mere eller mindre sammenhængende, sekundære grundvandsmagasiner. Fra den lavtliggende, mest kystnære del af kystområdet kan der ske en spredning til Roskilde Fjord, mens der fra de øvrige dele af området kan ske en spredning til de mange kildevæld, der findes nær kysten, eller til Roskilde Fjord.

Vurdering

På baggrund af det ovenstående konkluderes det, at kystområdet ikke opfylder beslutningsgrundlagets kriterier vedr. overfladegeologiens beskyttelse af overfladevand.

4.4 Landområdet

I landområdet er der ingen postglaciale marine aflejringer. Til gengæld er der, som det fremgår af Figur 3.3, en række områder med postglaciale ferskvandsaflejringer, især ferskvandstørv. Tykkelsen af disse aflejringer kendes ikke fra borerer i området.

Tykkelsen af glaciale lag er omtrent som i kystområdet eller noget tyndere. I borerer varierer tykkelsen mellem ca. 12 m og ca. 30 m. Bedømt ud fra de forholdsvis få borerer består den glaciale lagpakke af moræneler med et enkelt relativt udbredt, sekundært sandmagasin, men det kan ikke udelukkes, at der i større eller mindre områder findes en lidt mere kompleks glacial lagpakke lige som under halvøen og kystområdet.

Tykkelsen af Lellinge Grønsandskalk varierer inden for landområdet mellem 0 m og ca. 30 m. Andelen af lerede lag i grønsandskalken varierer mellem mindre end 30 % og tæt på 100 % i boringsbeskrivelserne.

Beskyttelse af grundvandet

Som det fremgår af Figur 4.2, varierer den samlede tykkelse af lerlag over kalkmagasinet mellem mindre end 15 m og mere end 25 m inden for landområdet. Lerdækket er dermed tyndere end i de to øvrige delområder.

Som ovenfor beskrevet er Risø Vandværks tre indvindingsboringer, der indvinder fra kalkmagasinet, placeret nær grænsen mellem kystområdet og landområdet. Oplandet til vandværket er primært beliggende i landområdet, og det kemiske fingeraftryk, som grundvandskemiske analyser af vandprøver fra de tre boringer giver, må derfor forventes primært at være repræsentativt for landområdet. I alle tre boringer ses der en svagt reduceret vandtype, men i to af boringerne (DGU-nr. 199.222 og DGU-nr. 199.236) ses et stærkt forhøjet og stigende indhold af sulfat /11/, hvilket giver en klar indikation af påvirkning fra overfladen og en indikation af sårbare forhold. I alle tre indvindingsboringer er desuden påvist pesticidnedbrydningsproduktet BAM (2,6-Dichlorbenzamid). Dette stof er mobilt og svært nedbrydeligt, men fundene viser, at grundvandet er sårbart over for nogle typer af miljøfremmede stoffer. I en boring umiddelbart syd for landområdet (DGU-nr. 199.996) er der desuden gjort fund af pesticidet MCPA /11/.

Samlet set indikerer de grundvandskemiske data, at kalkmagasinet i landområdet er sårbart over for nedsivning af (nogle typer af) miljøfremmede stoffer.

Vurdering

Det konkluderes, at lerlagene i dette område giver en utilstrækkelig beskyttelse af grundvandet, og at området derfor ikke opfylder beslutningsgrundlagets kriterier vedr. overfladegeologiens beskyttelse af grundvandet.

Beskyttelse af overfladevand

Lige som i de højere liggende dele af kystområdet kan der ske en forureningsspredning gennem landområdets sekundære sandmagasin(er). Der kan ske en spredning til lokale vådområder, til kildevældene i kystområdet eller til Roskilde Fjord.

Vurdering

På baggrund af det ovenstående konkluderes det, at landområdet ikke opfylder beslutningsgrundlagets kriterier vedr. overfladegeologiens beskyttelse af overfladevand.

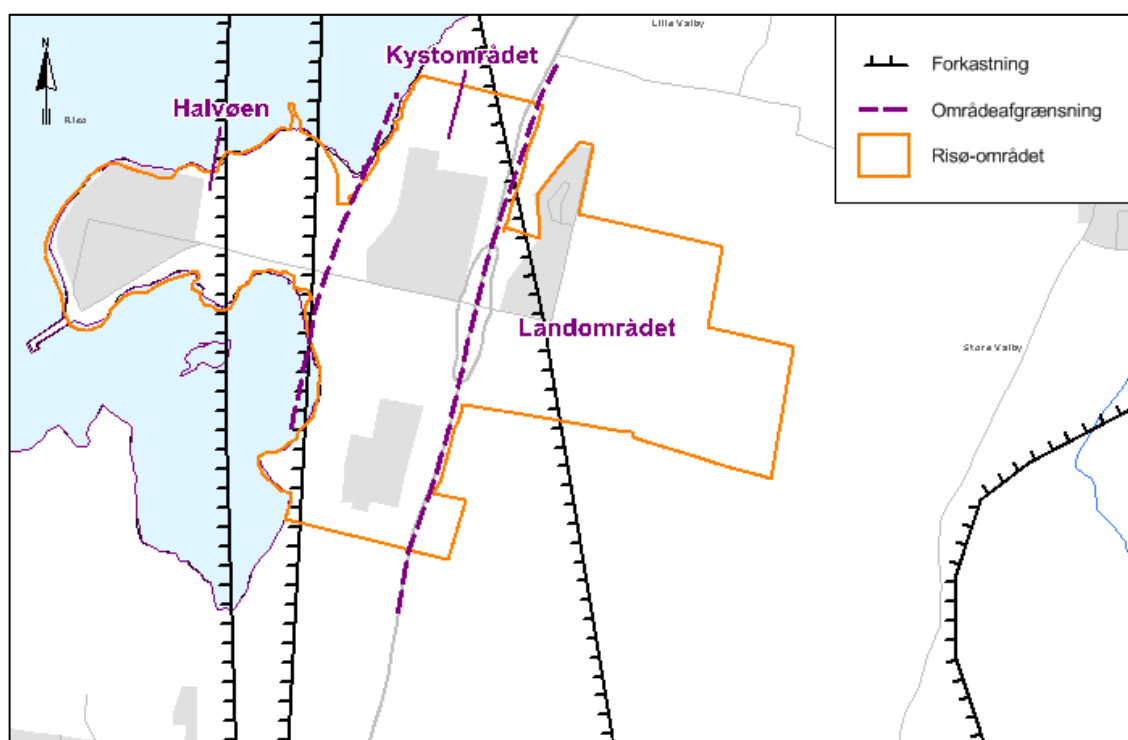
5. Jordskælv og forkastninger

Jf. beslutningsgrundlaget for et dansk mellemlager for lav- og mellemaktivt affald /3/ bør følgende forhold omkring jordskælv og forkastninger vurderes ved udpegning af en lokalitet til mellemlager:

- Seismisk aktivitet og jordskælvsfare skal vurderes i forhold til etablering af et mellemlager i et givet område. Mellemlageret bør placeres i et jordskælmæssigt stabilt område uden brudlinjer/forkastninger i de geologiske lag.

Jordskælvsaktiviteten i området omkring Risø er lav, lige som den er i hele Danmark. Et kort over jordskælv registreret i perioden 1929-2001 kan ses i /2/.

GEUS har kortlagt forkastninger i undergrunden i området omkring Risø og Roskilde /2/. De tolkede forkastninger i Risø-området fremgår af Figur 5.1.



Figur 5.1 Kendte forkastninger i Risø-området. De to forkastninger under halvøen benævnes til sammen Risø Forkastningen, mens forkastningen under landområdet benævnes Roskilde Forkastningen. Forkastningernes placering er omtrentlig. Kilde: GEUS /2/.

Som det ses på Figur 5.1, findes der flere forkastninger under selve Risø-området: Dels Roskilde Forkastningen, der løber under landområdet, dels Risø Forkastningen, der mere har karakter af en forkastningszone, som løber under halvøen.

Roskilde Forkastningen er et kendt, regionalt strukturelt element, der er rapporteret i en række arbejder, blandt andet /12/. Ved udarbejdelsen af Naturstyrelsens geologiske model for Lejre Vest, Osted og Roskilde kortlægningsområder er forkastningen erkendt gennem modelområdet fra Roskilde Fjord til Køge Bugt. Forkastningen påvirker tydeligt alle kalklagene i den geologiske model: Lellinge Grønsandskalk, Danien Kalk og Skrivekridt /9/.

Vurdering

Selv om Danmark er et område med lav jordskælvsaktivitet, bevirker forekomsten af forkastninger direkte under området, at hele Risø-området jf. beslutningsgrundlagets kriterium

om jordskælv og forkastninger må vurderes at være uegnet som lokalitet for et mellemlager.

6. Overfladevand og grundvand

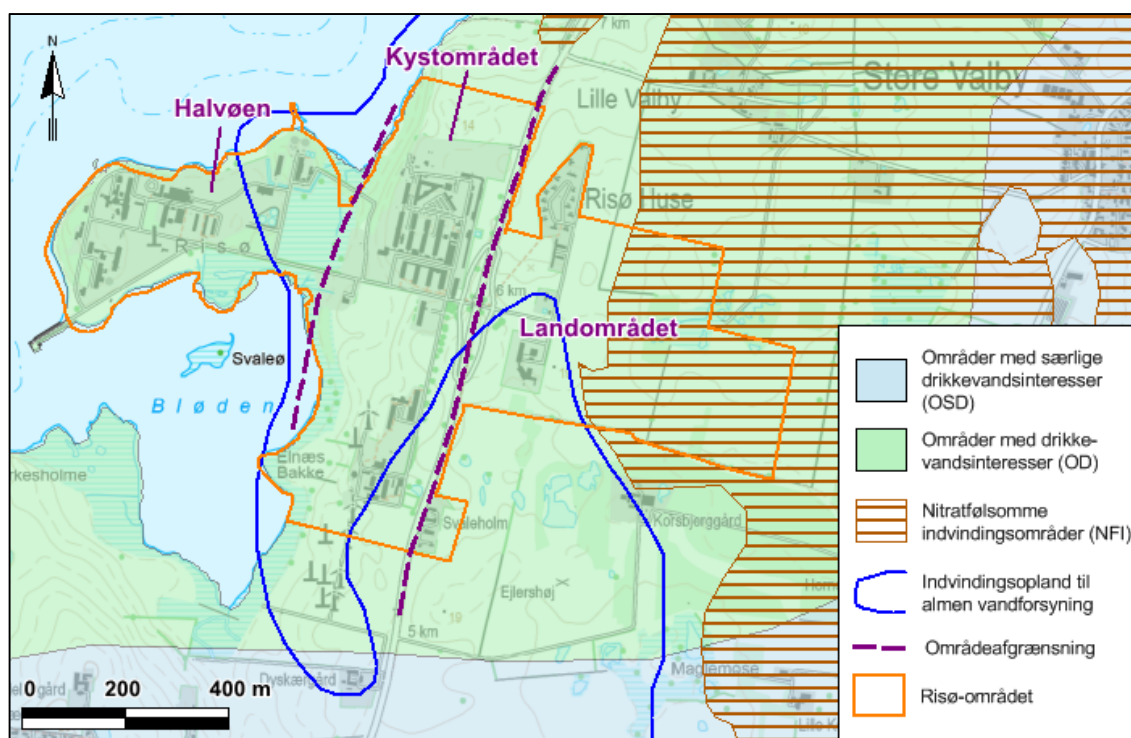
Jf. beslutningsgrundlag for et dansk mellemlager for lav- og mellemaktivt affald /3/ bør følgende væsentlige kriterier omkring overfladevand og grundvand vurderes ved udpegning af en lokalitet til mellemlager:

- Ved placering af mellemlageret skal det sikres, at der ikke kan ske forurening af drikkevandsressourcer. Det er dansk politik, at forurening af grundvand, der bruges til drikkevand til befolkningen mv., ikke må forekomme. Det vil som udgangspunkt være nødvendigt at tage hensyn til de kortlagte Områder med Særlige Drikkevandsressourcer (OSD), hvor det anbefales ikke at placere et mellemlager. Det kan ikke undgås at inddrage Områder med Drikkevandsressourcer (OD), hvor der skal tages særlig hensyn til væsentlige lokale grundvandsressourcer og vandindvindinger.
- For at begrænse vandets strømning væk fra mellemlageret vil det være hensigtsmæssigt, at det ligger på/i lavpermeable aflejringer. Ved et lavpermeabelt jordlag menes et jordlag, som vand har svært ved at strømme igennem.
- Mellemlageret bør ikke placeres i områder med artesiske grundvandsforhold af hensyn til bygningsværket.
- Jord og vandmiljøet skal kunne fremme tilbageholdelse af eventuelle udsivende radioaktive stoffer, og omvendt må miljøet ikke kunne fremme bevægelse af de radioaktive stoffer. De geokemiske forhold må ikke kunne være aggressive over for menneskeskabte konstruktioner, som er udført i forbindelse med mellemlageret.

6.1 Drikkevandsressourcer

Risø-området har status som Område med Drikkevandsinteresser (OD). Naturstyrelsen har gennemført en kortlægning af området i forbindelse med kortlægningen af Lejre Vest, Osted og Roskilde kortlægningsområder. Kortlægningen er afrapporteret i redegørelse for Roskilde /10/ samt en række til grunden liggende fagrapporter, blandt andet /9/ og /11/.

Som et led i kortlægningen er der optegnet administrative indvindingsoplande til almene vandforsyninger. Inden for administrative indvindingsoplande til almene vandforsyninger uden for Områder med Særlige Drikkevandsinteresser (OSD) gælder de samme regler for grundvandsbeskyttelse som inden for OSD. Som det fremgår af Figur 6.1, ligger hovedparten af landområdet, hovedparten af kystområdet og de østligste dele af halvøen inden for indvindingsoplande til almene vandforsyninger. Det konkrete indvindingsopland i Risø-området er indvindingsoplandet til Brokilde Kildeplads tilhørende HOFOR, der fra kildepladsen leverer vand til Hovedstadsområdet. På kildepladsen er der i perioden fra 1995 til 2014 i gennemsnit indvundet 1,8 mio. m³ årligt, i 2014 blev der indvundet 2,2 mio. m³, og HOFOR har ansøgt om tilladelse til fremover at indvinde 4 mio. m³ årligt på kildepladsen. Der er altså tale om en kildeplads af regional betydning.



Figur 6.1 Drikkevandsinteresser i Risø-området. Indvindingsoplandet, der dækker hovedparten af landområdet, hovedparten af kystområdet og de østligste dele af halvøen, er det administrative indvindingsopland til Brokilde Kildeplads tilhørende HOFOR. Kilde: Naturstyrelsens grundvandskortlægning /10/.

Som nævnt i afsnit 4 vurderes det, at lerdækket i landområdet giver en utilstrækkelig beskyttelse i forhold til nedsivning af miljøfremmede stoffer, og at det er meget usikkert, om lerdækket i kystområdet og under halvøen yder en tilstrækkelig beskyttelse mod en sådan nedsivning. I den statslige grundvandskortlægning retter sårbarhedsvurderingerne sig mod nitrat. Inden for OSD og indvindingsoplande til almene vandforsyninger uden for OSD afgrænses områder med lille, nogen og stor sårbarhed over for nitrat. Inden for områder med stor sårbarhed over for nitrat afgrænses nitratfølsomme indvindingsområder (NFI) i alle områder med nogen eller stor grundvandsdannelse, og inden for områder med nogen nitratsårbarhed afgrænses NFI i områder med nogen eller stor grundvandsdannelse efter en konkret vurdering af behovet for afgrænsning. Endelig afgrænses inden for NFI indsatsområder (IO), som er områder, hvor en særlig indsats er nødvendig for at opretholde en god grundvandskvalitet /10/. Områdeafgrænsningerne er først formelt gyldige, når de er udpeget i en bekendtgørelse med hjemmel i vandforsyningsloven.

Inden for IO skal kommunen jf. vandforsyningslovens § 13 udarbejde en indsatsplan for grundvandsbeskyttelse.

Som det fremgår af Figur 6.1, er de vestlige dele af landområdet afgrænset som NFI. De viste områder er desuden afgrænset som IO /10/, og Roskilde Kommune skal derfor udarbejde en indsatsplan for grundvandsbeskyttelse for disse områder.

Vurdering

Risiko for forurening af grundvandet i forbindelse med udslip eller spild fra et mellemlager for lav- og mellemradioaktivt affald er vurderet for de tre delområder i afsnit 4. Risikoen i landområdet underbygges af afgrænsningen af NFI og IO i de vestlige dele af området.

I forhold til drikkevandsressourcer og drikkevandsinteresser vurderes det, at landområdet, kystområdet og de østligste dele af halvøen med deres beliggenhed inden for indvindingsoplandet til en almen vandforsynings kildeplads af regional betydning ikke er egnet til placering af et mellemlager for lav- og mellemradioaktivt affald. For de resterende dele af halvøen er der ingen konflikter i forhold til drikkevandsinteresser, men også her er der risiko for forurening af en drikkevandsressource.

6.2 Lavpermeable aflejringer

Forekomst af lavpermeable aflejringer og disses evne til at begrænse strømning af forurenede vand fra et mellemlager for lav- og mellemradioaktivt affald til overfladerecipienter er beskrevet og vurderet i afsnit 4.

Vurdering

Det konkluderedes i afsnit 4, at den glaciære lagpakke med blandt andet opsprækket moræneler og forekomst af sekundære sandmagasiner for alle tre delområder giver en utilstrækkelig beskyttelse mod forureningsspredning til overfladerecipienter i form af lokale vådområder i landområdet, kildevæld i kystområdet og Roskilde Fjord.

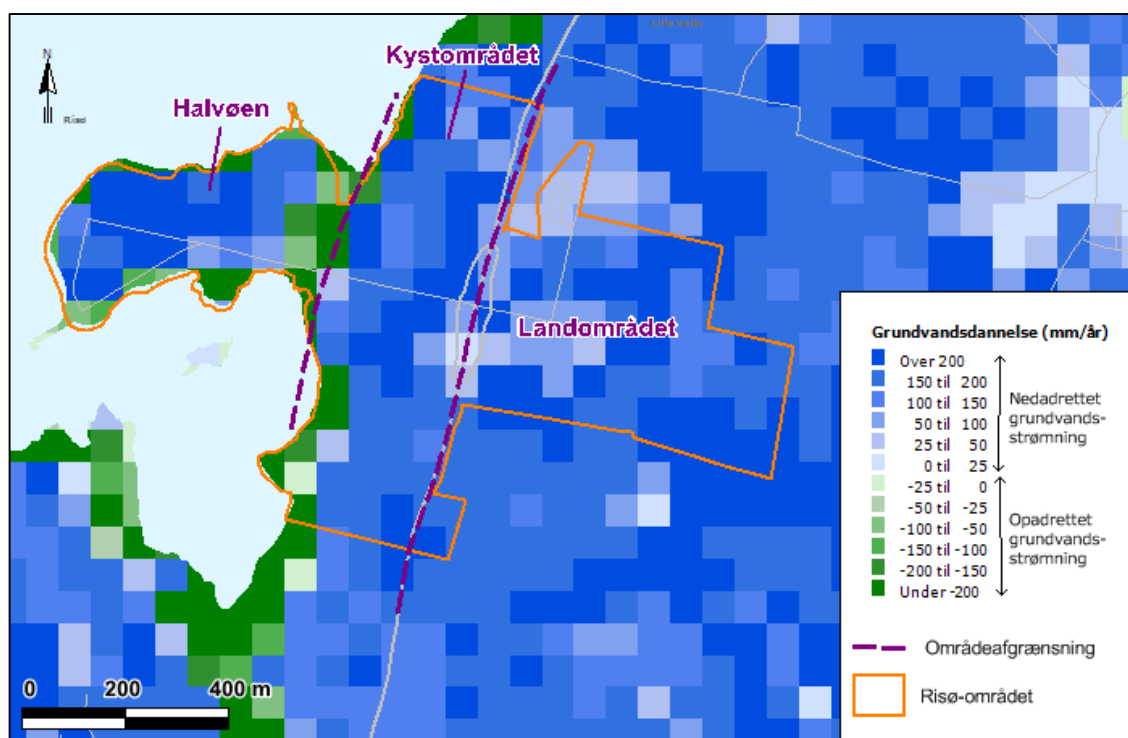
6.3 Artesiske grundvandsforhold

Der er som tidligere nævnt en række kildevæld langs kysten /2/, hvilket viser lokale artesiske forhold. Pejledata fra boringer viser, at grundvandsspejlet under halvøen og de nedre dele af kystområdet ligger terrænnært, ca. 1 til 1,5 m under terræn, mens det ligger dybere i de øvre dele af kystområdet og i landområdet.

Modelberegninger af den terrænnære grundvandsdannelse med Naturstyrelsens grundvandsmodel, der er opstillet i forbindelse med grundvandskortlægningen af Lejre Vest, Osted og Roskilde kortlægningsområder /10/, viser, at der er en nedadrettet strømning i størstedelen af Risø-området (Figur 6.2). I en smal stribe langs kysten og på halvøen er der imidlertid opadrettet strømning og mulighed for udstrømning til terræn.

Vurdering

I de mindre områder med opadrettet strømning og mulighed for udstrømning til terræn kan lageret ikke placeres jf. beslutningsgrundlagets kriterium vedrørende artesiske grundvandsforhold. I de resterende dele af halvøen og kystområdet og i hele landområdet vurderes artesiske grundvandsforhold ikke at udgøre et problem i forhold til etablering af et mellemlager for lav- og mellemradioaktivt affald.



Figur 6.2 Terrænnær grundvandsdannelse. Positive værdier (blå) angiver nedadrettet grundvandsstrømning eller grundvandsdannelse i mm/år. Negative værdier (grønne) viser opadrettet grundvandsstrømning. Kilde: Naturstyrelsens grundvandsmodel for Lejre Vest, Osted og Roskilde kortlægningsområder /10/.

6.4 Tilbageholdelse af radioaktive stoffer og geokemiske forhold i øvrigt

Jordlagenes evne til at tilbageholde radioaktive stoffer i forbindelse med lækage eller spild afhænger dels af forekomst af lavpermeable aflejringer, der begrænser strømningen, dels af jordlagenes evne til at binde de radioaktive stoffer.

Forekomst af lavpermeable aflejringer er beskrevet og vurderet i afsnit 4 og i afsnit 6.2.

Jordlagenes evne til at binde de radioaktive stoffer afhænger af jordlagenes mineralogiske og geokemiske forhold samt af hvilke radioaktive stoffer, der er tale om, idet den lange række radioaktive komponenter, der er i affaldet, kan opføre sig forskelligt i omgivende geologiske lag.

Generelt gælder det, at lermineraller, især smectit-lermineraller, har et potentiale for at binde radioaktivt materiale. De geokemiske forhold i form af blandt andet redoxtilstand og pH er også af væsentlig betydning for jordlagenes evne til at binde de radioaktive stoffer.

Lerindholdet, herunder indholdet af smectit-lermineraller, i moræneler og smeltevandsler i Risø-området er ikke kendt, og selv om der i forbindelse med kortlægningen af Lejre Vest, Osted og Roskilde kortlægningsområder er gennemført en regional kortlægning af dybden til den øverste redoxgrænse i jordlagene, er der også en begrænset viden om de detaljerede geokemiske forhold i Risø-området.

Vurdering

Det er ikke muligt på det foreliggende grundlag at foretage en pålidelig vurdering af jordlagenes evne til at binde radioaktive stoffer.

I forhold til beslutningsgrundlagets krav om, at de geokemiske forhold ikke må være aggressive overfor menneskeskabte konstruktioner, som er udført i forbindelse med mellemlageret, vurderes det, at der på grund af en mulig påvirkning af saltvand er risiko for et aggressivt geokemisk miljø relativt terrænnært i de lavest liggende områder, sammenfaldende med områderne med postglaciale marine aflejringer på halvøen og i den nedre del af kystområdet. I de øvrige områder forventes ikke et aggressivt geokemisk miljø.

7. Konklusioner

Der er gennemført en vurdering af Risø-områdets egnethed som placering for et mellemlager for lav- og mellemradioaktivt affald. Vurderingen er gennemført i forhold til en række kriterier i beslutningsgrundlaget for et dansk mellemlager for lav- og mellemaktivt affald /3/ og er gennemført inden for de tre delområder: Halvøen, kystområdet og landområdet.

For alle tre delområder gælder det, at delområderne i forhold til flere af beslutningsgrundlagets kriterier vurderes at være mindre egnede eller direkte uegnede som placering af et mellemlager. Vurderingerne opsummeres herunder.

Halvøen

Inden for halvøen vurderes området at være mindre egnet eller direkte uegnet som mellemdepot for lav- og mellemradioaktivt affald på grund af følgende forhold:

- Terrænoverflade, klima og havstigninger: Området er uegnet, blandt andet på grund af risiko for oversvømmelse forårsaget af klimaændringer og havstigninger.
- Overfladegeologi – beskyttelse af grundvand: Området er mindre egnet på grund af fravær af fede lerlag.
- Overfladegeologi – beskyttelse af overfladevand: Området er uegnet på grund af risiko for forureningstransport gennem sekundære sandmagasiner til Roskilde Fjord.
- Jordskælv og forkastninger: Området er uegnet på grund af forkastninger i undergrunden direkte under området.
- Drikkevandsressourcer: Dele af området er uegnet på grund af beliggenhed inden for indvindingsopland til almen vandforsyning af regional betydning.

Kystområdet

Inden for kystområdet vurderes området at være mindre egnet eller direkte uegnet som mellemdepot for lav- og mellemradioaktivt affald på grund af følgende forhold:

- Terrænoverflade, klima og havstigninger: Størstedelen af området er uegnet på grund af risiko for oversvømmelse forårsaget af klimaændringer og havstigninger eller på grund af store terrænhældninger.
- Overfladegeologi – beskyttelse af grundvand: Området er mindre egnet på grund af fravær af sammenhængende fede lerlag.

- Overfladegeologi – beskyttelse af overfladevand: Området er uegnet på grund af risiko for forureningstransport gennem sekundære sandmagasiner til kildevæld og Roskilde Fjord.
- Jordskælv og forkastninger: Området er uegnet på grund af forkastninger i undergrunden direkte under området.
- Drikkevandsressourcer: Området er uegnet på grund af beliggenhed inden for indvindingsopland til almen vandforsyning af regional betydning.

Landområdet

Inden for landområdet vurderes området at være mindre egnet eller direkte uegnet som mellemdepot for lav- og mellemradioaktivt affald på grund af følgende forhold:

- Overfladegeologi – beskyttelse af grundvand: Området er uegnet på grund af fravær af sammenhængende fede lerlag og en dokumenteret sårbarhed over for miljøfremmede stoffer.
- Overfladegeologi – beskyttelse af overfladevand: Området er uegnet på grund af risiko for forureningstransport gennem sekundære sandmagasiner til lokale vådområder, kildevæld og Roskilde Fjord.
- Jordskælv og forkastninger: Området er uegnet på grund af forkastninger i undergrunden direkte under området.
- Drikkevandsressourcer: Området er uegnet på grund af beliggenhed inden for indvindingsopland til almen vandforsyning af regional betydning. En del af området er endvidere afgrænset som nitratfølsomt indvindingsområde og indsatsområde.

Landområdet er vurderet egnet i forhold til kriteriet om terrænoverflade, klima og havvandsstigninger.

8. Referencer

- /1/ Gravesen, P., Nilsson, B., Pedersen, S.A.S. & Binderup, M., 2011: Low- and intermediate level radioactive waste from Risø, Denmark. Location studies for potential disposal areas. Dansk og engelsk resume. Danish and English resume. GEUS Rapport no. 2011/51, 64 sider.
- /2/ Gravesen, P., Nilsson, B., Binderup, M. & Pedersen, S.A.S., 2012: Risøområdet: Geologi og grundvand vurderet i forbindelse med slutdepotprojektet. GEUS-Notat nr. 05-VA-12-06, 18 sider.
- /3/ GEUS & Dansk Dekommissionering, 2015: Beslutningsgrundlag for et dansk mellemlager for lav- og mellemaktivt affald. Udarbejdet af GEUS og DD for en Tværministeriel arbejdsgruppe under Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse, 128 sider.
- /4/ Geodatastyrelsen: DHM-2007/Overflade (1,6 m grid). Download, 8. september 2015.
- /5/ Geodatastyrelsen: DHM-2007/Overflade (10 m grid). Download, 8. september 2015.
- /6/ GEUS Jordartskort, 1:25.000.
- /7/ Dansk Dekommissionering, 2014: Notat – Konsekvenser af en oversvømmelse af Risø-området, 18 sider.
- /8/ Edelvang, K., Ahlstrøm, A., Andresen, C.S., Andersen, S.B., Bennike, O., Hansen, J.M., Kuijpers, A., Larsen, B., Buch, E., Andersen, K.K. & Madsen, K.S., 2012: Ændringer af havniveauet i Danmark de næste 100-200 år. Notat til Klima-, Energi- og Bygningsministeriet, 11 sider.
- /9/ Naturstyrelsen, 2015: Grundvandskortlægning i Lejre Vest, Osted og Roskilde, delaftale 28, hydrostratigrafisk model. Rapport udarbejdet af Rambøll, 35 sider + bilag.
- /10/ Naturstyrelsen, 2015: Redegørelse for Roskilde, Afgiftsfinansieret grundvandskortlægning 2015 (Udkast). 215 sider + bilag.
- /11/ Naturstyrelsen, 2015: Lejre Vest, Osted og Roskilde kortlægningsområder, grundvandskemisk kortlægning. Rapport udarbejdet af Rambøll, 116 sider + bilag.
- /12/ Bidstrup, T., 1984: Sjælland. Kort over sonartider og fortolkede forkastninger for Sjælland. Magisterkonferens, Københavns Universitet.