

Terreinverkenningen en generiek voorontwerp voor de zone te Mol/Dessel/Geel

Resultaten en verdere studies

- Inhoudstafel -

1	ALGEMEEN KADER VAN DE STUDIES	3
2	TERREINVERKENNINGEN	4
2.1	Historiek van de terreinverkenningen in het kader van laagactief en kortlevend afval	4
2.2	Bibliografische studie	6
2.3	Terreinverkenningen, belangrijke conclusies en gevolgen voor het voorontwerp van de oppervlaktebergingsinstallatie	7
2.3.1	Geologie	9
2.3.2	Hydrogeologie	11
2.3.3	Grondmechanische stabiliteit	14
2.4	Conclusies	15
3	GENERIEK VOORONTWERP VOOR EEN OPPERVLAKTE-BERGINGSINSTALLATIE	17
3.1	Inleiding	17
3.2	Het ontwerp en zijn componenten	17
3.3	Conceptuele aspecten inzake omkeerbaarheid	18
3.4	Een bergingsconcept dat definitief kan worden	18
3.5	Nodige terreinoppervlakte	19
4	VERDERE TERREINVERKENNINGEN TE MOL/DESSEL/GEEL	21
5	CONCLUSIE	22

1 ALGEMEEN KADER VAN DE STUDIES

Als instelling die verantwoordelijk is voor het beheer van radioactief afval in België, heeft NIRAS met name de opdracht de overheid veilige oplossingen voor te stellen voor het langetermijnbeheer van dit afval, dit wil zeggen oplossingen die de mens en het leefmilieu beschermen tegen de risico's die het afval vormt zolang zijn activiteit niet voldoende gedaald is.

Op 16 januari 1998 gaf de federale regering NIRAS nieuwe richtlijnen voor het langetermijnbeheer van laagactief en kortlevend afval. Ze vroeg haar methodes te ontwikkelen om een concept van bergingsinstallatie te integreren op plaatselijk vlak, en zich daarbij te beperken tot de gemeenten die belangstelling zouden tonen voor dergelijke studies en tot de vier bestaande nucleaire zones, namelijk die van Doel, Fleurus/Farciennes, Mol/Dessel/Geel en Tihange. NIRAS zal haar inspanningen dus voortaan concentreren op zones waar de gemeenten bereid zijn deze studies te begeleiden en na te gaan in welke mate in die zones bergingsoplossingen kunnen worden ontwikkeld die veilig zijn op korte én lange termijn. Ze stelde dan ook een nieuw werkprogramma op dat een actieve samenwerking nastreeft met de plaatselijke gemeenschappen, en dat drie fasen omvat:

- *fase I* (gestart in 1998):
voorbereidend bodemonderzoek en studie van de uitvoerbaarheid van het generiek voorontwerp voor een bergingsinstallatie; indien de besluiten gunstig zijn en de plaatselijke overheden ermee akkoord gaan, oprichting van een partnerschap;
- *fase II*:
aanvullend bodemonderzoek; uitwerking van een voorontwerp van berging door het partnerschap; studie van de veiligheid van het voorontwerp en van de milieu-impact;
- *fase III*:
mits de plaatselijke overheden ermee akkoord gaan, voorleggen van het voorontwerp aan de federale overheid, zodat deze kan beslissen over het gevolg dat aan het dossier moet worden gegeven.

Het werkprogramma van NIRAS bevindt zich momenteel (juli 2001) in fase II in de gemeenten Dessel en Mol, en in fase I in de zone Fleurus/Farciennes waar zopas de tweede campagne van het voorbereidend bodemonderzoek is beëindigd.

2 TERREINVERKENNINGEN

2.1 Historiek van de terreinverkenningen in het kader van laagactief en kortlevend afval

NIRAS heeft in het verleden reeds vele inspanningen gedaan in haar zoektocht naar een terrein geschikt voor berging van laagactief en kortlevend afval.

Na ondertekening door België van het moratorium op zeeberging van geconditioneerd laagactief afval (Verdrag van London, 1982), was NIRAS genoodzaakt studies aan te vatten om een veilige en technisch haalbare vervangingsoplossing te vinden voor de berging van dit type afval op nationaal grondgebied. Aanvankelijk (van 1985 tot 1987) maakte NIRAS een **bibliografische selectie** van zones die mogelijk geschikt waren voor de inplanting van een oppervlaktebergingsinstallatie¹⁾.

Van 1990 tot 1993 werd deze eerste selectie, nog steeds op bibliografische basis, uitgebreid. De zones geselecteerd in deze **bibliografische studie** beschikten over de geologische sequentie “zandformaties rustend op kleifformaties” of “schiefersubstraat met een contrasterende doorlaatbaarheid, met andere worden bestaande uit relatief doorlatende verweerde schiefers aan de oppervlakte op minder doorlatende onverweerde schiefers in de diepte”. De bibliografische studie van NIRAS leidde in 1994 tot de publicatie van het rapport NIROND 94-04 met als titel *De oppervlakteberging, op Belgisch grondgebied, van laagactief afval en afval met korte halveringstijd: synthese en aanbevelingen*. Dit rapport van 1994 ging zeker niet ongemerkt voorbij en werd unaniem verworpen door de betrokken gemeenten.

Gevolg gevend aan haar opdracht van 16 januari 1998, **ontwikkelde** NIRAS een **algemene methodologie** voor de bepaling van de werkzones²⁾ voor oppervlakteberging en voor diepe berging, beschreven in haar rapport NIROND 98-02 (herz.1). In deze methodologie wordt niet louter rekening gehouden met de technische aspecten van de werkzone keuze, maar tevens met de sociaal-economische aspecten.

Betreffende het technische luik van de werkzone-bepaling, werden er vereisten geformuleerd waaraan een werkzone moet voldoen. Voor wat betreft de *oppervlakteberging* zijn deze vereisten de volgende:

- Met betrekking tot de beschikbaarheid van terrein:
 - Een terrein met voldoende oppervlakte (± 20 à 30 ha) moet beschikbaar zijn;
 - Geen onoverkomelijke problemen van ruimtelijke ordening en eigendomsrecht.

¹⁾ In die tijd overwoog NIRAS evenwel twee alternatieven voor de oppervlakteberging van afval van laagactief en kortlevend: het gebruik van oude steenkoolmijnen of steengroeven en de diepe berging in een kleifformatie. Men besloot toen echter dat de optie oppervlakteberging de gunstigste perspectieven bood, zowel op het vlak van de technische uitvoerbaarheid als op het vlak van de veiligheid en kosten.

²⁾ Onder werkzone wordt verstaan het gedeelte van de bestudeerde zone dat na de gebiedsoverschouwingsfase (bibliografische studie en beperkte terreinverkenningen) vanuit veiligheidsoogpunt verder in aanmerking komt, om er de technische doenbaarheid, radiologische veiligheid en impact op mens en leefmilieu voor de inplanting van een bergingsinstallatie na te gaan.

- Veiligheidsgebonden indicatoren:
 - Afwezigheid van overstromingsrisico;
 - Geen seismische activiteit die schade kan toebrengen aan de bergingsinstallatie;
 - Toekomstige winning van minerale rijkdommen niet voorzien;
 - Grondmechanische stabiliteit;
 - De hydrogeologie van de zone moet zodanig zijn dat een nauwkeurige karakterisering en een overtuigende modellering ervan, uitgevoerd in het kader van een veiligheidsanalyse, mogelijk is.

Om na te gaan of een oppervlakteberging of een diepe berging op een veilige manier het afval insluit moeten we kijken naar de werking van het ganse bergingssysteem, en niet zozeer naar de afzonderlijke werking van de verschillende barrières. De globale veiligheid van een bergingsinstallatie moet echter ruimer gezien worden dan enkel de barrières. Een ganse reeks elementen dragen in meerdere of mindere mate bij tot het beoogde veiligheidsniveau :

- de keuze van een geschikte inplantingssite;
- een zorgvuldig ontwerp van de bergingsinstallatie;
- een constructie van de installatie op de beste wijze van uitvoering en volgens de regels van kwaliteitszorg;
- een correcte aanvaarding van het afval dat aan het oppervlak of diep geborgen kan worden;
- de aangepaste conditionering van dit afval;
- een juiste inschatting van de werking van de verschillende barrières op korte en op lange termijn;
- het geheel van controles, toezicht en onderhoud tijdens de fasen voor het verlaten van de site.

Het is duidelijk dat ieder element in samenhang met de andere moet beschouwd worden. Door één of enkele elementen te versterken of door beroep te doen op bestaande sterke elementen, is het mogelijk andere minder sterke elementen te compenseren.

In 1998 werd door NIRAS gestart met het studieprogramma voor de nucleaire zone Mol/Dessel/Geel³⁾, met als leidraad de criteria zoals hoger beschreven. De terreinstudie richtte zich vooral op oppervlakteberging omdat men voor deze zone wat betreft diepe berging, over voldoende informatie beschikt via onderzoeksprogramma's voor hoogactief en langlevend afval.

In een eerste stap werd een **bibliografische studie** uitgevoerd, gebaseerd op wetenschappelijke en technische literatuur beschikbaar voor de regio en die als doel had om algemene informatie omtrent de lokale geologie te bekomen. Uit deze literatuurstudie bleek dat bijkomend veldonderzoek en studies nodig waren om de grondmechanische en hydrogeologische geschiktheid van de zone te beoordelen. In een tweede stap werd dit bijkomend veldonderzoek uitgevoerd.

³⁾ De terreinonderzoeken werden beperkt tot het grondgebied van de gemeenten Mol en Dessel.

Omdat de selectie van de werkzones gebaseerd is op bibliografische informatie en op een beperkte hoeveelheid metingen en **verkenningen** ter plaatse vormt ze geen garantie dat de zone effectief geschikt is voor de inplanting van een bergingsinstallatie. De bepaling van de werkzones moet bijgevolg gezien worden als een toelatingsexamen, dat geenszins garandeert dat het eindexamen (technische doenbaarheid, veiligheidsevaluaties, milieu-effecten beoordeling) succesvol afgelegd wordt. In dit rapport worden de resultaten van beide studies summier weergegeven en wordt nagegaan in hoeverre de nucleaire zone Mol/Dessel/Geel in zijn geheel of gedeeltes ervan voldoet aan het toelatingsexamen voor wat betreft oppervlakteberging.

2.2 Bibliografische studie

In september 1999 werden de resultaten van de bibliografische studie [1] gepubliceerd. Deze studie is een eerste evaluatie om na te gaan in welke mate één of meerdere werkzones binnen de nucleaire zone Mol/Dessel/Geel voldoen aan de vereisten “beschikbaarheid van terrein” en “veiligheidsgebonden indicatoren”. In Tabel 1, zijn de conclusies van de bibliografische studie hernomen. Uit deze studie bleek dat bijkomende terreinverkenningen en studies nodig waren om de grondmechanische en hydrogeologische geschiktheid van de zone te beoordelen. Men voorzag eveneens de eventuele nood aan studies die toelaten het voorontwerp van de bergingsinstallatie aan te passen aan de specifieke eigenschappen van de werkzone zodanig dat het uitgewerkte voorontwerp intrinsiek veilig is.

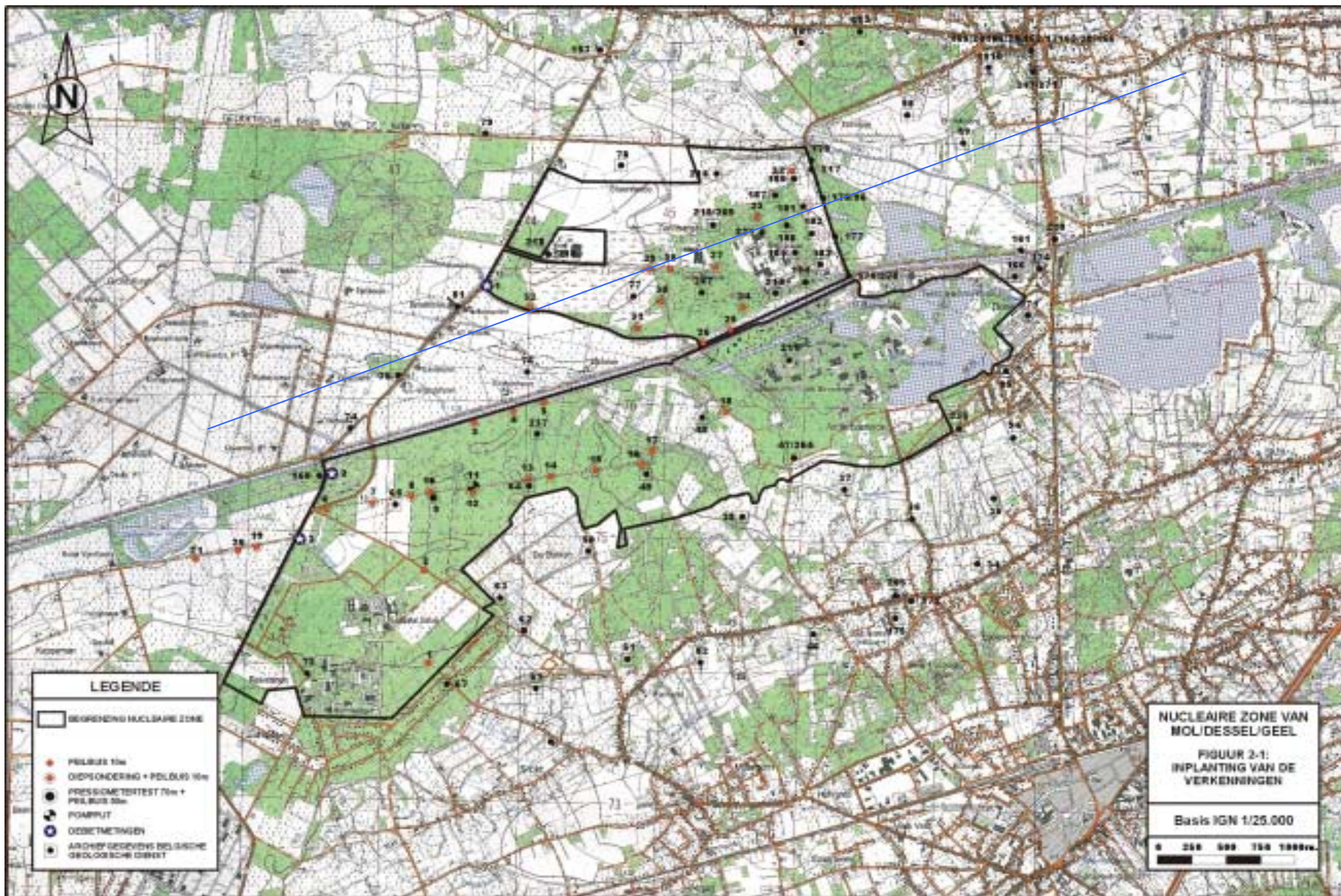
Tabel 1: Beoordeling geschiktheid voor berging (bron: bibliografische studie BELGATOM [1])

Indicator	Mate waarin aan de vereisten wordt voldaan	Opmerkingen
Beschikbaarheid van terrein	****	Diverse onbebouwde gebieden van tientallen hectares beschikbaar.
<u>Veiligheidsgebonden indicatoren</u>		
<i>Risico van overstroming</i>	***	Op laaggelegen locaties matig geschikt; geschiktheid kan relatief eenvoudig worden verbeterd.
<i>Grondmechanische stabiliteit</i>	?	Verder veldonderzoek noodzakelijk voor een definitieve uitspraak. Door technische ingrepen zou aan vereisten kunnen worden voldaan.
<i>Seismische activiteit</i>	****	Intensiteit IV op MSK-schaal.
<i>Minerale rijkdommen</i>	****	Geen minerale rijkdommen aanwezig
<i>Hydrogeologisch</i>	?	Verder veldonderzoek noodzakelijk voor een definitieve uitspraak. Door technische ingrepen zou aan vereisten kunnen worden voldaan.

- * = in het geheel niet/ in zeer geringe mate
- ** = onvoldoende
- *** = ruim voldoende
- **** = volledig

2.3 Terreinverkenningen, belangrijke conclusies en gevolgen voor het voorontwerp van de oppervlaktebergingsinstallatie

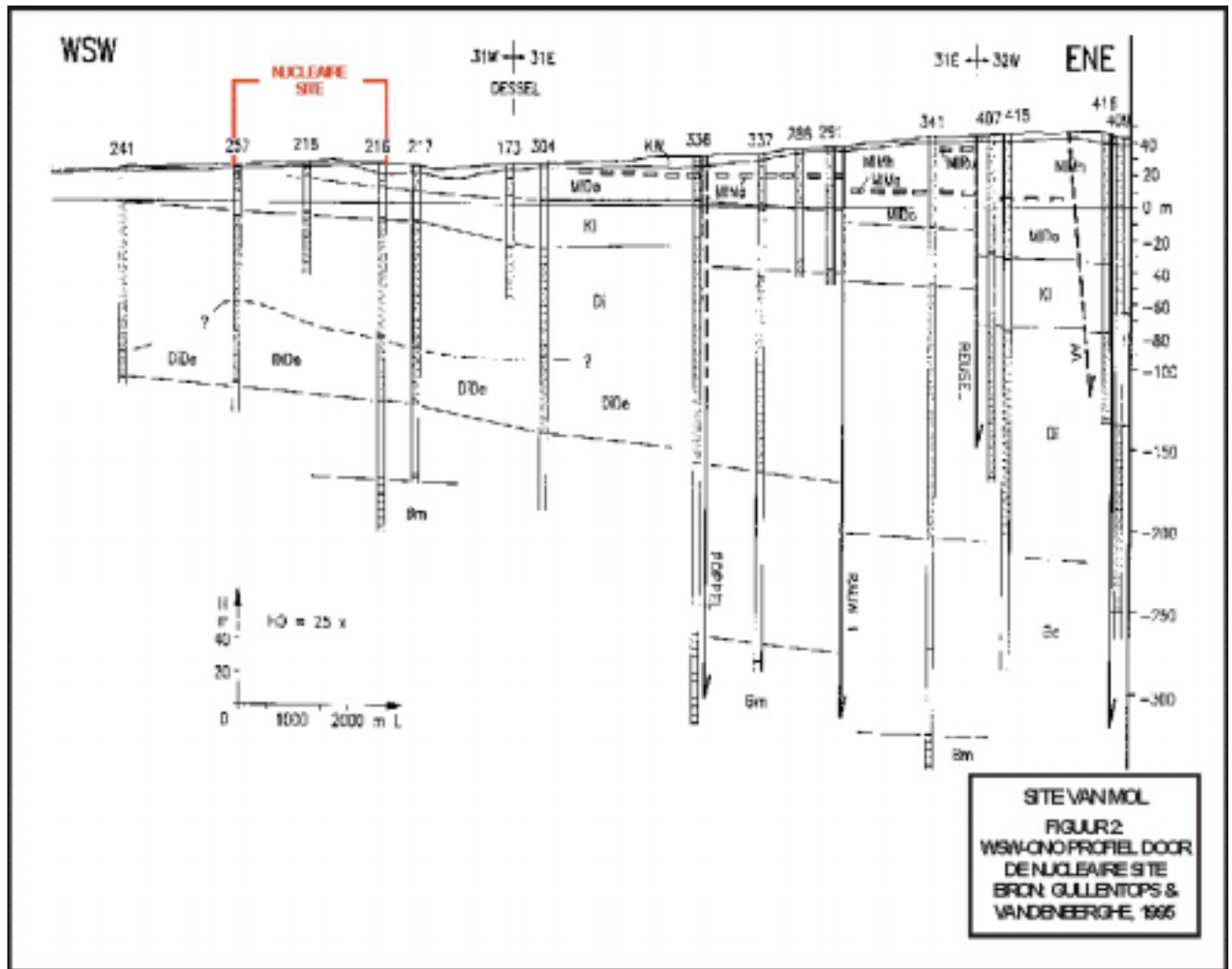
De aanvullende terreinverkenningen vonden plaats tussen april en juni 1999. Zij hadden tot doel bijkomende informatie te verwerven over de grondmechanische en hydrogeologische geschiktheid van de zone. In Figuur 1 is de inplanting van de verkenningen weergegeven.



Figuur 1: Verkenningen in de nucleaire zone Mol/Dessel/Geel. De blauwe lijn komt overeen met Profiel 1 van de Geologische Kaart van België – Kaartblad 17 – Zie ook **Figuur 2)**

2.3.1 Geologie

In Figuur 2 wordt de lithologische opbouw weergegeven voor een profiel onder de nucleaire zone [2]. De situering van dit profiel is aangeduid in Figuur 1.



Figuur 2: Geologische doorsnede onder de nucleaire zone (komt overeen met Profiel 1 van de Geologische Kaart van België – Kaartblad 17 – zie ook **Figuur 1**).

Legende bij Figuur 2

KW Kwartaire afzettingen

MI **Formatie van Mol (Pliocéen)**

MIRu Laag van Russendorp

Zwarte lignietachtige veenlaag van enkele tientallen cm dikte tot maximaal 2 m.

MIMh Lid van Maatheide

Wit half grof kwartzand (mode iets groter dan 250 μm), zeer goed gesorteerd, zeer dikwijls door humusinfiltratie zwart-bruin verkleurd.

MIMa Laag van de Maat

Zwarte sprietlaag boven een dunne kleiige horizont. De laag kan tot 3 m dik zijn.

MIDo Lid van Donk

Wit half grof kwartzand (mode iets kleiner dan 250 μm), goed gesorteerd, zonder klei en praktisch uitsluitend bestaande uit kwarts.

KI **Formatie van Kasterlee (Onder Pliocéen)**

Homogeen fijn zand (mode 150 μm), micahoudend en licht glauconiethoudend. De basis kan kleine zwarte silexgrintjes bevatten.

Di **Formatie van Diest (Boven Mioceen)**

Groene en bruine glauconietrijke half grove zanden (mode 250 μm). Zwak kleihoudend met aan de top veelvuldig violette kleilaagjes.

DiDe Lid van Dessel

Donkergroene en soms kalkhoudende fijne zanden, met mica en glauconiet.

Bc **Formatie van Berchem (Onder Mioceen)**

Zwartgroene glauconietrijke en kleirijke middelfijne zanden met mica en schelpen.

Bm **Formatie van Boom (Onder Oligoceen)**

Bleekgrijze tot donkergrijze en zwarte klei

Aan de hand van ondiepe boringen en “Cone Penetration Tests” of CPT⁴⁾ werd de lithologische opbouw van de ondiepe ondergrond en de laterale variabiliteit in kaart gebracht. Deze verkenningen hadden tot doel uitsluitsel te geven over het criterium “grondmechanische stabiliteit” dat beïnvloed wordt door de aanwezigheid van zettingsgevoelige lagen, zoals kleilagen en veen (ook wel “sprietlaag” of ligniet genoemd) die in de Formatie van Mol beschreven worden. Wat de geologie van de ondiepe ondergrond betreft werden de volgende besluiten getrokken.

- De ondiepe boringen en elektrische sonderingen (CPT) hebben aangetoond dat de nucleaire zone Mol/Dessel/Geel ten noorden van het Kanaal Herentals – Bocholt duidelijk verschillend is van de zone gelegen ten zuiden van het kanaal. De zone ten noorden van het kanaal ligt op de witte kwartzanden van Mol die zeer snel uitwiggen in westelijke richting. De zone ten zuiden van het kanaal is gelegen op fijne homogene licht glauconiethoudende zanden van Kasterlee met aan de basis een kleihoudende laag om gevolgd te worden door de Zanden van Diest. De lagen duiken geleidelijk in oostelijke richting.
- De elektrische sonderingen (CPT) uitgevoerd in het gebied ten noorden van het kanaal konden het bestaan van de kleihoudende laag tussen de Zanden van Kasterlee en de Zanden van Diest in het noordelijke deel van de nucleaire zone

⁴⁾ CPT (Cone penetration test) testen, diepsonderingen of elektrische diepsonderingen is een continue meting van de conusweerstand en de wrijvingsweerstand onder een druk van 20 Ton. De opgemeten waarden zijn een maat voor de lithografie en de grondgesteldheid.

niet aantonen, omwille van de beperkte penetratiediepte (zeer grote weerstandbiedende zandlagen). De aanwezigheid van deze laag in deze zone werd wel beschreven in boringverslagen in de archieven van de Geologische Dienst van België. Ten zuiden van het kanaal werd deze kleirijke laag, die hydrogeologisch een remmende laag vormt, wel aangetoond en kan men stellen dat deze over het ganse onderzochte gebied aanwezig is. De dikte van deze kleirijke laag bedraagt in dit gebied 6-8 m. Daar de al dan niet aanwezigheid van deze kleirijke laag de hydrogeologische modellering beïnvloedt en van belang is voor de grondmechanische stabiliteit, is bijkomend onderzoek in het gebied ten noorden van het kanaal wenselijk.

- Tenslotte dient vermeld te worden dat in geen enkele boring veen werd aangeboord. De veenlaag die in de Formatie van Mol wordt beschreven komt dus niet voor als continue formatie in de ondergrond van de nucleaire zone Mol/Dessel/Geel, maar het is niet uit te sluiten dat lokaal organisch aangerijkte lagen aanwezig zijn.

Conclusie geologie :

- **De kleihoudende laag tussen de Zanden van Diest en de Zanden van Kasterlee, waarvan de aanwezigheid ook wordt beschreven in de archieven van de Geologische Dienst van België, is heterogeen qua samenstelling en qua verbreiding. Het zal dus nodig zijn de aard van deze laag beter vast te stellen voor redenen van grondmechanische stabiliteit en hydrogeologische modellering.**
- **De aanwezigheid van een lokaal organisch aangerijkte laag in de uitgekozen werkzone moet eveneens nog worden onderzocht over de ganse omvang van de beschouwde constructie, vermits zulk een laag de grondmechanische stabiliteit van de bodem nadelig kan beïnvloeden.**

2.3.2 Hydrogeologie

De terreinverkenningen hadden ook tot doel om meer inzicht te bekomen in het criterium “nauwkeurige karakterisering en een overtuigende modellering van de hydrogeologie van de beschouwde zone”.

Peilbuizen werden geplaatst om de grondwaterstand over gans de beschouwde zone op te meten, waardoor een gedetailleerd beeld verkregen wordt van de bestaande piëzometrie⁵⁾. Deze gegevens dienen als invoer voor de hydrogeologische modelleringen.

Het feit dat de grondwaterstromingen modelleerbaar zijn is van primordiaal belang. Ten eerste omdat het beschikken over een model toelaat om de impact van een installatie op mens en milieu te evalueren (milieu- en veiligheidsevaluaties) en aldus

⁵⁾ Ten zuiden van het kanaal werd eveneens een beperkte pompproef met constant pompdebiet en een tracertest gerealiseerd ter bepaling van de hydraulische parameters (transmissiviteit, waterdoorlaatbaarheid, bergingscoëfficiënt voor de pompproef en effectieve porositeit en dispersiviteit voor de tracertest). De resultaten waren niet bevredigend.

te oordelen of de inplanting te rechtvaardigen is vanuit veiligheidsoogpunt. Voor het uitvoeren van de veiligheidsevaluaties moet de dosisimpact als gevolg van het mogelijk of onvoorzien vrijkomen van de radionucliden uit de bergingsinstallatie worden geëvalueerd. Daartoe moet het transport van de radionucliden, vanuit de installatie naar de biosfeer toe kunnen worden berekend. Om het transport te kunnen berekenen moet men kennis hebben van enerzijds de grondwaterstroming (hydrogeologisch model) en anderzijds van de mechanismen die het transport van de radionucliden beïnvloeden⁶⁾.

Ten tweede laat de kennis van de grondwaterstromingen toe controlemaatregelen te ontwerpen in de directe omgeving van de bergingsinstallatie gedurende de actieve controlefase (bv. waar moet men een controlepunt installeren opdat men zo snel mogelijk een onverwacht falen zou kunnen vaststellen en daardoor zo snel mogelijk kan ingrijpen).

De hydrogeologische modellering werd uitgevoerd door twee teams (BELGATOM en SCK•CEN), gebruik makend van twee verschillende modellen. Daarna werden de resultaten van beide teams vergeleken en werd getracht de achtergrond van de verschillen te begrijpen. BELGATOM, in samenwerking met VITO, maakte gebruik van het SIBELCO-model, opgesteld aan de hand van de NEWSAM-code⁷⁾ SCK•CEN baseert zijn model op het sub-regionaal model, ontwikkeld door Meyus (1998)[3]⁸⁾

De berekeningen van een eventuele verspreiding van de radionucliden zullen door SCK•CEN worden uitgevoerd in het kader van haar veiligheidsevaluaties op basis van haar hydrogeologisch model. BELGATOM heeft haar werk reeds gerapporteerd [4], het finaal rapport van SCK•CEN is voorzien voor oktober 2001. De resultaten van de transportstudies worden hier niet besproken, aangezien zij geen deel uitmaken van de terreinverkenningen, maar in het luik veiligheid worden besproken.

Uit de terreinverkenningen en bijhorende hydrogeologische modellering kan het volgende worden besloten.

- De uitgevoerde metingen bevestigen de hoge grondwaterstand. Bij het verder uitwerken van het voorontwerp van de oppervlakteberging moet hiermee rekening gehouden worden. De uitgevoerde metingen zullen worden verdergezet om de variatie in waterstand over meerdere volledige jaarcycli in kaart te brengen, wat onontbeerlijk is voor de ijking van het grondwatermodel.

⁶⁾ Het transport van de radionucliden wordt berekend met een transportcode, gelinkt aan een hydrogeologisch model.

⁷⁾ Het SIBELCO-model is een quasi 3D-grondwaterstromingsmodel waarbij de onderliggende stromingsvergelijkingen worden opgelost middels een techniek van eindige verschillen. Het werd ontwikkeld voor een gebied ingesloten door de Molse Nete in het zuiden, de Kleine Nete en de Desselse Nete in het noorden, en de Dommel in het oosten. Met het oog op transportsimulaties werd vanuit dit regionale model een kleiner model opgesteld, dat verder het submodel MOL/DESSEL/GEEL zal worden genoemd. Dit submodel beslaat een oppervlakte van 144 km² en het gebied wordt begrensd door de Molse Nete in het zuiden, de Kleine Nete en Desselse Nete in het noorden, de weg Dessel-Mol in het oosten en de weg Kasterlee-Geel in het westen.

⁸⁾ De stromingssimulaties werden uitgevoerd met de MODFLOW 96 code, welke eveneens een eindige verschillen methode gebruikt om de stromingsvergelijking op te lossen. Dit sub-regionaal model werd ontwikkeld voor de lange-termijn performantie studies voor de berging van hoog en langlevend radioactief materiaal. Het submodel "low-level waste local model" van dit sub-regionaal model beslaat de zone rond het nucleair domein en is gesitueerd in de buurt van Mol en Dessel.

- In grote lijnen is de grondwaterstroming ten zuiden van het kanaal van Oost naar West in de richting van de Gemeentelijke visvijvers aan de Franse Baan te Geel. In het gedeelte van de zone Mol/Dessel/Geel gelegen ten noorden van het kanaal is de stroming eerder in noordwestelijke richting. Bovenvermelde kennis is van groot belang voor een optimale werkzonekeuze en voor de veiligheid op korte en lange termijn, namelijk voor de positiebepaling van de controlepunten in de directe omgeving van de bergingsinstallatie gedurende de actieve controlefase van de oppervlakteberging.
- Tevens kan men uit de uitgevoerde metingen afleiden dat de grondwatertafel lokaal gevoed wordt vanuit het kanaal. Het is dus van belang om in de verdere veiligheidsanalyses rekening te houden met een eventuele impact op de waterstromingen als gevolg van het verdwijnen van het kanaal.
- Uit de vergelijking van de waterpeilen van het grondwater in de Zanden van Diest en de Zanden van Kasterlee, kon besloten worden dat er tussen beide een hydraulisch remmende laag aanwezig is. Hierdoor is er slechts een beperkte neerwaartse grondwaterbeweging. Naast de te beperkte kennis van de laterale verbreiding van deze kleihoudende laag is ook de kennis van de hydrogeologische eigenschappen van deze laag nog onvoldoende. Teneinde de grondwaterstromingen beter te kunnen modelleren is het dan ook in een volgende fase van het onderzoek noodzakelijk uitgebreide pompproeven en tracerproeven uit te voeren, die moeten toelaten de waterdoorlaatbaarheid van deze kleilaag te bepalen alsook de effectieve porositeit van de watervoerende lagen.

Tussen de twee gebruikte modellen (SCK•CEN en BELGATOM) blijken er enkele verschillen te bestaan voornamelijk wat betreft invoergegevens.

- Een eerste verschil situeert zich in de hoeveelheid infiltratie. Dit is de totale neerslag min de verdamping, de transpiratie (verdamping door planten) en de oppervlakkige afstroming.
- Een tweede verschil tussen beide modellen situeert zich op het vlak van de te beschouwen waarde voor de waterdoorlaatbaarheid van de kleihoudende laag tussen de Zanden van Diest en de Zanden van Kasterlee. In de studie BELGATOM werd een waarde vooropgesteld van $K = 3.2 \times 10^{-6}$ m/s terwijl SCK•CEN na kalibratie van hun model waarden vooropstelt van 1×10^{-8} tot 1.6×10^{-6} m/s. Dit aspect verdient dan ook de nodige aandacht bij de verdere studies en terreinproeven.
- Een ander verschil situeert zich op het niveau van de kleinere rivieren en de vraag hoe ze dienen te worden beschouwd in de modellering.

De berekende stromingspatronen voor het grondwater zijn gelijkaardig voor de twee modellen, behalve voor de zone ten noordoosten van Belgoprocess. Daar resulteren de hogervermelde verschillen in een ander stromingspatroon. Dit is voornamelijk toe

te schrijven aan de onzekerheid in waarden voor de hydraulische geleidbaarheid die toegekend worden aan de kleihoudende laag tussen de Zanden van Diest en de Zanden van Kasterlee.

Conclusie: hydrogeologie

- **De grondwatertafel staat zeer hoog; hiermee moet rekening gehouden worden in het ontwerp (ophoging).**
- **De grondwaterstroming is modelleerbaar, maar er zijn nog bijkomende gegevens nodig voor een overtuigende modellering. Het hydrogeologisch model vormt de basis om toekomstige scenario's in de veiligheidsevaluaties te bestuderen.**
- **De kleihoudende laag tussen de Zanden van Diest en de Zanden van Kasterlee, waarvan de aanwezigheid wordt beschreven in de archieven van de Geologische Dienst van België, is heterogeen qua samenstelling en qua verbreiding. Het zal nodig zijn de aard en verbreiding van deze laag beter vast te stellen, omdat deze gegevens belangrijke invoerdata in de hydrogeologische modellering zijn.**

2.3.3 Grondmechanische stabiliteit

De grondmechanische eigenschappen van de ondiepe ondergrond werden bepaald aan de hand van de elektrische sonderingen (CPT) en pressiometerproeven in diepe boringen. Het betreft hier o.a. de puntweerstand en wrijvingsweerstand alsook de laterale korrelspanning σ_h , glijdingsmodulus G en de inwendige wrijvingshoek ϕ van de zandige eenheden.

Op basis van deze nieuwe gegevens wordt momenteel nagegaan in hoeverre het bestaande generiek voorontwerp van de bergingsinstallatie (dimensies, funderingswerken, eventuele hydrogeologische barrières) beantwoordt aan de lokale condities van de nucleaire zone Mol/Dessel/Geel en welke aanpassingen eventueel vanuit geotechnisch oogpunt noodzakelijk zijn.

In dit verband verwijzen we naar een studie [5] uitgevoerd in opdracht van NIRAS in 2000 waarin de zettingen van de diverse structuren (modules, leidingen, controle galerijen) werden geëvalueerd op basis van de reeds besproken elektrische sonderingen en op basis van een generiek voorontwerp. Hieruit blijken maximale theoretische, absolute zettingen tot 40 cm mogelijk. Bij het ontwerp van de diverse componenten van de bergingsinstallatie (bv. vloerplaat modules, leidingen) zal terdege rekening moeten gehouden worden met de mogelijk optredende absolute en differentiële zettingen, maar de nodige technische oplossingen bestaan om deze zettingen op te vangen en om schade aan de constructies te voorkomen.

Conclusie: grondmechanische stabiliteit

- **De ondergrond (zand) is in principe zeer geschikt voor de constructie van een bergingsinstallatie. De berekende zettingen kunnen door geo- en civieltechnische aanpassingen opgevangen worden.**
- **In het geval dat er een veenlaag wordt aangetroffen in de uitgekozen werkzone, dient deze te worden verwijderd.**
- **Omwille van de aanwezigheid van een kleihoudende laag in de ondergrond, zal in het ontwerp van de bergingsinstallatie rekening moeten gehouden worden met uitgestelde vervormingen.**

2.4 Conclusies

Uit de bibliografische studies en uit de resultaten van de eerste terreinverkenningen uitgevoerd in 1999 volgen een reeks gunstige conclusies met betrekking tot de mogelijkheid van inplanting van een bergingsinstallatie voor laagactief en kortlevend afval. In onderstaande tabel worden deze conclusies samengevat:

Tabel 2: Conclusies inzake doenbaarheid na terreinverkenningen

	Bibliografische studie	Preliminare terreinverkenningen
Risico van overstroming	 criterium ruim voldaan. Op laaggelegen locaties matig geschikt; geschiktheid kan relatief eenvoudig worden verbeterd door ophoging te voorzien.	
Grondmechanische stabiliteit	Verder veldonderzoek noodzakelijk alvorens een definitieve uitspraak. Door technische ingrepen zou aan vereisten kunnen worden voldaan.	 criterium in dit stadium voldaan De zettingen werden berekend. Geen civieltechnische aanpassingen kunnen probleem van zettingen opvangen.
Seismische activiteit	 criterium volledig voldaan Intensiteit IV op MSK-schaal.	
Minerale rijkdommen	 criterium volledig voldaan Geen minerale rijkdommen aanwezig.	 criterium onder voorbehoud voldaan De invloeden van grondwaterwinning (Formatie van Diest) en zandwinning (Zanden Van Mol) op de lange termijn veiligheid van de oppervlakte berging worden opgenomen in de veiligheidsevaluaties.
Hydrogeologie	Verder veldonderzoek noodzakelijk voor een definitieve uitspraak.	 criterium voldaan maar bijkomende proeven en studies (o.a. veiligheidsevaluaties) aangewezen <ul style="list-style-type: none"> ● Grondwaterstroming is, tot op een zekere hoogte, gekend en rekenmodel laat toe toekomstige scenario's te bestuderen. ● De kleirijke laag tussen de Zanden van Kasterlee en Diest, kon in het noordelijke deel van de nucleaire zone niet worden aangetoond, alhoewel gekend uit de archieven van de Geologische Dienst van België. Gezien het belang van deze laag in de hydrogeologische modellering is bijkomend onderzoek wenselijk. ● Grondwater staat zeer hoog, hiermee moet rekening gehouden worden in het ontwerp.

Merken we op dat een zesde vereiste, namelijk voldoende beschikbare plaats, niet is opgenomen in deze tabel. De ruimte, nodig voor de installatie van de bergingsinstallatie, wordt evenwel besproken in sectie 3.5.

3 GENERIEK VOORONTWERP VOOR EEN OPPERVLAKTE-BERGINSGINSTALLATIE

3.1 Inleiding

In deze paragraaf worden in het kort een aantal belangrijke aspecten behandeld in verband met het huidig generiek voorontwerp. Het hier behandeld voorontwerp is generiek, dat wil zeggen dat het nog zal moeten aangepast worden om te voldoen aan de specifieke eisen gesteld door het terrein en door de radiologische veiligheidsstudies na bepaling van de werkzones.

3.2 Het ontwerp en zijn componenten

Het ontwerp is gebaseerd op het multi-barrière-principe. Het bestaat uit een opeenvolging van verschillende barrières. De barrières hebben als eerste functie elk contact met water te vermijden of zolang mogelijk uit te stellen, aangezien water het belangrijkste transportmiddel is van radionucliden naar de biosfeer. De tweede functie bestaat erin het vrijkomen van radionucliden, indien water toch tot het afval kan doordringen, zoveel als mogelijk te verhinderen of belemmeren.

Deze barrières zijn de volgende:

- Eerste barrière: de monolieten

De vaten in gegalvaniseerd staal welke het geconditioneerd afval (dit wil zeggen dat het afval nog een verwerking heeft ondergaan, bijvoorbeeld gereduceerd in volume en vervolgens in een cementmatrix geïmmobiliseerd) bevatten, worden in betonnen omhulsels geplaatst die op hun beurt met beton of mortel worden gevuld. Deze nieuwe verpakking vormt een nieuwe eenheid van afval namelijk de monoliet.

- Tweede barrière: bergingsinstallatie met inbegrip van de afdekking

De nieuwe eenheidsverpakkingen, monolieten, worden geplaatst in betonnen structuren, modules, genaamd. De lage waterdoorlaatbaarheid van deze modules vanaf de bovenzijde wordt bekomen door toepassing van een afdekking van de modules. Deze afdekking bestaat uit diverse natuurlijke materialen met een grote duurzaamheid zoals zand, leem, klei en uit kunstmatige materialen (geotextielen, HDPE membranen,..). De opbouw van de verschillende lagen is van die aard dat de meeste neerslag verhinderd wordt door te dringen tot de modules.

Voor een gedetailleerde beschrijving van de diverse componenten van het voorontwerp alsook de hef- en transportsystemen nodig voor het plaatsen van het afval gedurende de exploitatiefase, verwijzen we naar de NIRAS-nota 2000-3435 “Oppervlakteberging van radioactief afval van categorie “A” - Synthesenota van het concept van oppervlakteberging”.

3.3 Conceptuele aspecten inzake omkeerbaarheid

Een belangrijke eis gesteld aan de bergingsinstallatie is de omkeerbaarheid van de afvalberging. Dit betekent dat indien om welke reden dan ook beslist wordt om het afval terug te nemen dit mogelijk moet zijn zonder al te moeilijke ingrepen en zonder dat dit veiligheidsproblemen stelt. Het huidige ontwerp met monolieten als nieuwe verpakkingseenheid komt tegemoet aan de eisen inzake terugneembaarheid.

Het is mogelijk om op eenvoudige wijze de monolieten terug uit de modules te halen om volgende redenen:

- De betonnen monolieten zijn voorzien van hefogen, zijn robuuster en hebben een langere levensduur dan stalen vaten en zullen dus ook gedurende een veel langere periode manipuleerbaar blijven.
- De centrale ruimte tussen de monolieten wordt opgevuld met grind dat op eenvoudige wijze kan verwijderd worden wat bijvoorbeeld niet het geval is voor een opvulling met beton.
- De dakplaat is slechts 40 cm dik en kan eenvoudig verwijderd worden met beschikbare en beproefde technieken.

De terugneembaarheid van het afval is steeds mogelijk in het generiek voorontwerp maar hoe verder men in de tijd gaat hoe meer inspanning dit zal vergen. Tijdens de operationele fase zal het vrij eenvoudig zijn om met de bestaande hefsystemen elke monoliet terug uit de module te halen en af te voeren. Indien daarentegen de afdekking geplaatst werd blijft recuperatie mogelijk maar dit vergt meer arbeidsintensieve handelingen aangezien eerst de afdekking moet verwijderd worden, vervolgens de afdekplaat en tenslotte het grind tussen de monolieten. Tevens dienen de nodige hef- en transportsystemen ter plaatse voorzien te worden.

3.4 Een bergingsconcept dat definitief kan worden

Het generiek voorontwerp biedt de mogelijkheid dat de bergingsinstallatie na verloop van tijd een definitief karakter kan bekomen, in tegenstelling tot installaties van langdurige opslag zoals bijvoorbeeld in Nederland (COVRA-Vlissingen). Hoewel in de beginfase (operationele fase = fase van plaatsen van het afval) de bergingsinstallatie, voorgesteld in het generiek voorontwerp, veel gemeen heeft met een langdurige opslag, biedt deze de mogelijkheid om op geleidelijke wijze definitief te worden, dat wil zeggen dat na verloop van tijd minder controles en minder menselijke ingrepen nodig zijn en dat na een zekere periode (namelijk na de periode van institutionele controle⁹⁾) de site kan verlaten worden (“gebanaliseerd”) zonder dat er nog een onaanvaardbaar risico bestaat voor de mens en het milieu. Dit houdt ook het ethisch principe in dat toekomstige generaties niet zullen belast worden met onnodige lasten of bijkomende kosten voor het onderhoud en de controle van de bergingsinstallatie. Tevens biedt een dergelijke definitieve bergingsinstallatie meer intrinsieke veiligheid

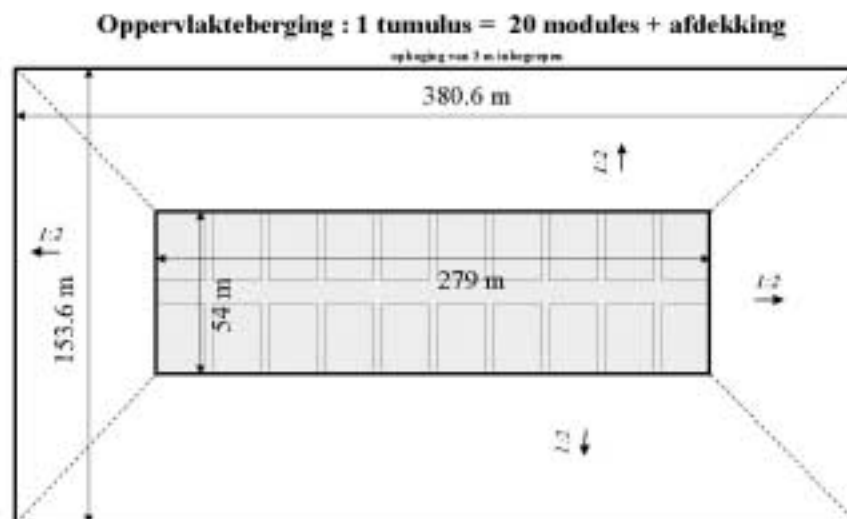
⁹⁾ Tijdens de periode van institutionele controle worden een aantal controles voorzien. Deze periode bedraagt 200 à 300 jaar. Nadien kan de site achtergelaten worden omdat het afval geïsoleerd blijft van de biosfeer door de passieve barrières en niet gemakkelijk toegankelijk is.

omwille van de robuustheid¹⁰⁾ van het bergingssysteem en de aanwezigheid van meerdere barrières (zie 3.2). Daarenboven hangt deze veiligheid niet af van handelingen welke door toekomstige generaties moeten gesteld worden.

Een bergingsinstallatie die definitief kan worden vermindert evenwel in geen geval de mogelijkheid tot het uitvoeren van controles¹¹⁾. Wegens de robuustheid en de toepassing van diverse barrières worden controles overbodig na de institutionele periode, maar, indien men dat zou wensen, kunnen ze verdergezet worden.

3.5 Nodige terreinoppervlakte

Het generiek voorontwerp gaat, voor de berging van een totale hoeveelheid laagactief en kortlevend afval van 60 000 m³, uit van 2x20 modules welke aan de oppervlakte geplaatst worden en welke aanleiding geven tot twee “tumuli¹²⁾”. Volgens het generiek ontwerp en rekening houdende met een ophoging van 3 m boven het bestaande maaiveld is er een ruimte nodig van 381 m x 154 m voor één tumulus (zie Figuur 3).



Figuur 3: Oppervlakte ingenomen door één tumulus

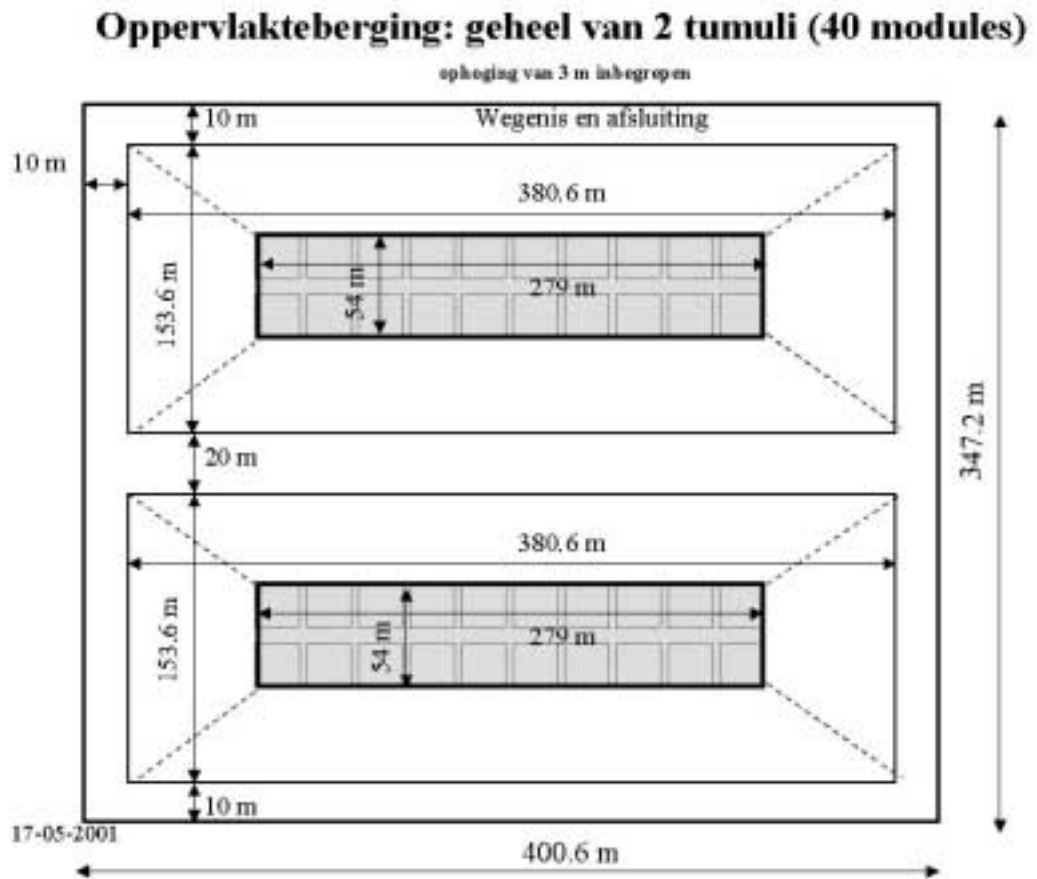
Het geheel van beide tumuli (inclusief tussenafstanden en ruimte rondom) beslaat ongeveer 350 m x 400 m of 14 ha (zie Figuur 4). Hierbij zijn evenwel nog niet inbegrepen de bijhorende nutsgebouwen (ontvangst, post-conditionering, administratie, controle,...) en de wegeninfrastructuur welke ongeveer 6 ha in beslag nemen. De totale oppervlakte tumuli + nutsgebouwen + wegeninfrastructuur bedraagt dan ook ongeveer 20 ha.

¹⁰⁾ Kenmerk van een functie, van een component of van een bergingsinstallatie dat aangeeft dat de het functioneren ervan (en dus de veiligheid) niet significant wordt beïnvloed door onzekere factoren.

¹¹⁾ Na plaatsen van de afdeklag op de modules blijft controle mogelijk maar deze zal meer indirect zijn (controle via drainering, controle grondwater, controle grond, lucht, fauna en flora in omgeving,...)

¹²⁾ Tumulus = geheel van 20 modules met inbegrip van de afdeklag boven en naast de modules

Merken we tenslotte op dat het hier gaat om een generiek voorontwerp en dat de ruimtelijke schikking van de modules alsook de ophogingshoogte kan herbekeken worden wat aanleiding zal geven tot andere oppervlaktes van de tumuli.



Figuur 4: Oppervlakte ingenomen door 2 tumuli (zonder nutsgebouwen)

4 Verdere terreinverkenningen te Mol/Dessel/Geel

De eerste reeks bibliografische en verkennende terreinstudies, uitgevoerd in de periode 1998-1999 op de zone te Mol en te Dessel, lieten toe om meer inzicht te bekomen in de samenstelling en eigenschappen van de ondergrond enerzijds en in de grondwaterstromingen ter hoogte van de zone anderzijds. Zij maakten een eerste evaluatie mogelijk van de doenbaarheid van de inplanting van een bergingsinstallatie op de nucleaire zone te Mol en Dessel.

Op basis van de bekomen informatie kon door het studiebureau BELGATOM en door SCK•CEN een hydrogeologisch model opgemaakt worden waarbij de grondwaterstroming voor verschillende scenario's kan bepaald worden. Deze hydrogeologische modellering laat toe om, gekoppeld aan een transportcode, een eerste veiligheidsevaluatie uit te voeren waarbij de radiologische impact van de bergingsinstallatie op de mens en op de omgeving zal nagegaan worden.

Uit deze eerste reeks terreinstudies blijkt dat een aantal aspecten verder onderzoek vereisen teneinde de hypothesen aangenomen bij het opstellen van de hydrogeologische modellering en bij het uitvoeren van de eerste veiligheidsevaluaties te bevestigen en teneinde ontbrekende informatie in te winnen.

Zonder te willen ingaan op de details, kan men nu reeds stellen dat bijkomende studies en terreinproeven nodig zijn om volgende objectieven te bereiken:

- Het bestaande hydrogeologisch model beter te kalibreren door uitbreiding van het peilbuizenet;
- Meer zekerheid te bekomen omtrent de aanwezigheid en de karakteristieken van een hydraulisch remmende laag tussen de Zanden van Kasterlee en de Zanden van Diest door uitvoering van een beperkt aantal bijkomende boringen, pompproeven en elektrische sonderingen (CPT) en via monsternames;
- Het bestaande generiek voorontwerp aan te passen, na keuze van de werkzones door de partnerschappen, aan de specifieke eisen gesteld door de vereisten van het terrein en de vereisten inzake veiligheid en milieu-impact.

Deze studies en terreinproeven zullen uitgevoerd worden in de loop van 2001-2002. De voorstellen tot bijkomende studies, houden rekening met de aanbevelingen van de groep van experts (Prof. Vandenberghe, K.U.Leuven; Prof. Em. De Breuck; Prof. Monjoie, Université de Liège). Zij bevestigden dat de huidige studie correct en goed was uitgevoerd, maar dat de resterende onzekerheden nog verder moesten worden bestudeerd.

De exacte timing van de bijkomende studies, alsook hun aantal en aard worden in belangrijke mate beïnvloed door de resultaten van de veiligheidsevaluaties welke in de periode 2001 zullen uitgevoerd worden en door de bevestiging van de werkzones na deze veiligheidsevaluatie.

5 Conclusie

- Uit de literatuurstudie en de bijkomende terreinverkenningen kan worden besloten dat voor de nucleaire zone Mol/Dessel/Geel aan de vijf veiligheidsgebonden criteria (risico van overstroming, grondmechanische stabiliteit, seismische activiteit, aanwezigheid van minerale rijkdommen en nauwkeurige karakterisering en een overtuigende modellering van de hydrogeologie van de beschouwde zone), op voldoende wijze voldaan is. Zoals hoger gesteld, betekent dit dat de zone geslaagd is voor het “toelatingsexamen”, maar nog niet voor het eindexamen. Het respecteren en voldoen aan deze criteria alleen is immers onvoldoende om te kunnen spreken van een veilige berging; dit moet geëvalueerd worden in de veiligheidsevaluaties, het eindexamen. Dit betekent wel dat er geen argumenten zijn om niet over te gaan naar de volgende fase, het ontwikkelen van een voorontwerp.
- De berekeningen van een verspreiding van de radionucliden, die eventueel vrijkomen uit de oppervlakteberging, zullen door SCK•CEN worden uitgevoerd in het kader van haar veiligheidsevaluaties op basis van haar hydrogeologisch model, waaraan een transportcode wordt gelinkt. Op die manier verkrijgt men een eerste idee waar de eventueel vrijgekomen radionucliden in de biosfeer zullen terechtkomen, hoe groot de afgelegde weg is, en hoe groot de verspreiding is. Het is dus aangewezen de keuze van de werkzones te herevalueren nadat de resultaten van de veiligheidsstudies en de bijkomende terreinverkenningen bekend zijn.

Referenties

- [1] Literatuurstudie van de nucleaire zone van Mol/Dessel/Geel voor het onderzoek naar berging van laagradioactief afval. Eindrapport - deel A en B. Juli 1999
- [2] Gullentops en Vandenberghe (1995). De geologische kaart van België, Vlaams Gewest. Kaart 17 Mol.
- [3] Meyus, Y. (1998). Long-term Performance studies of the Geological Disposal of Conditioned High-level and Long-lived Radioactive Waste. Subregional simulation of the ground water flow in the Neogene aquifer at the Mol site R-3251. SCK•CEN, Mol.
- [4] Preliminaire geologische, hydrogeologische en geotechnische verkenning van de nucleaire site te Mol-Dessel-Geel ten behoeve van de definitieve oppervlakteberging van laag radioactief afval. Belgatom – Augustus 2000 – Contract n° CCHO-85-028.
- [5] Sites van Mol/Dessel: Zettingen, verticale reactiecoëfficiënten, gronddruk op de modules – Technische Nota – Belgatom – 00-03-22, augustus 2000