



## Deep borehole disposal of intermediate-level waste

Dirk Mallants<sup>1</sup>, John Phalen<sup>2</sup>, and Hef Griffiths<sup>3</sup>

<sup>1</sup>CSIRO, Adelaide, SA, 5064, Australia

<sup>2</sup>CSIRO, Brisbane, QLD, 4102, Australia

<sup>3</sup>ANSTO, Lucas Heights, NSW, 2234, Australia

**Correspondence:** Dirk Mallants (dirk.mallants@csiro.au)

Published: 10 November 2021

**Abstract.** Around the world, deep borehole disposal is being evaluated for intermediate-level waste (ILW), high-level waste (HLW), spent nuclear fuel (SNF), separated plutonium waste and some very high specific activity fission product waste. In Australia, long-lived ILW from research reactors and radiopharmaceutical production represents the principal waste stream that requires deep geologic disposal. Whilst the Australian government has not yet made a decision on its preferred strategy for ILW disposal, deep borehole disposal of small volumes of ILW would be a more cost-effective and modular solution compared to a conventional geologic disposal facility (GDF). CSIRO, ANSTO and SANDIA have created an international partnership to execute a full-scale borehole research, development and demonstration (RD&D) project in Australia. The project will demonstrate the technical feasibility of the long-term safety of borehole disposal in deep geological formations. The execution of this project could also demonstrate options for nuclear waste disposal that would reduce proliferation risks, potentially up to the termination of compliance with international safeguards requirements. The RD&D includes demonstration of surface handling and waste/seal emplacement capabilities, basic research on foundational science areas, and full-scale field testing in both a deep characterization borehole and a larger-diameter (0.7 m or 27.5 inch) 2000 m deep demonstration borehole. The multi-barrier system designed for such a deep disposal borehole concept places much less reliance on engineered barriers at the disposal zone to achieve safety as compared to a conventional GDF. It rather relies on geological features for waste containment. The concept being explored uses disposal containers with primary waste packages, such as vitrified waste canisters, inside; to be both cost effective and fit for purpose, such a container could have a mild steel-based structural component with copper coating. A critical review of six coating technologies showed that cold spray has the greatest advantages, such as minimal porosity and compressive residual stress. The RD&D has delivered novel enabling tools that assist with site screening, borehole design and post-closure safety assessments. For instance, an automated geological fault mapping and meshing tool was developed that assists with ranking the suitability of potential disposal sites based on proximity to faults. New codes were developed for better representation of fault zones in 2D/3D numerical flow and transport models, while also being more efficient to execute. Post-closure safety assessments tested the sensitivity of long-term safety with respect to disposal depth, rock permeability and sorption. Heat transport calculations explored the sensitivity of temperature evolution within the borehole to parameters such as heat load, borehole depth, geothermal gradients and rock thermal conductivity. For verification of host rock tightness while also demonstrating the absence of recent groundwater, a new noble gas analytical facility has been established for measuring rare noble gases in mineral fluid inclusions as indicators of very old pore fluids.

**Kurzfassung.** Weltweit werden Tiefbohrungen für die Entsorgung mittelaktiver Abfälle (ILW), hochaktiver Abfälle (HLW), abgebrannter Brennelemente (SNF), gesonderter Plutoniumabfälle und einiger Spaltprodukt-abfälle mit sehr hoher spezifischer Aktivität bewertet. In Australien sind langlebige ILW aus Forschungsreaktoren und der radiopharmazeutischen Produktion die bedeutendsten Abfallströme, die in tiefen geologischen Formationen entsorgt werden müssen. Die australische Regierung hat zwar noch keine Entscheidung über die von ihr favorisierte Strategie für die Entsorgung von ILW getroffen, doch wäre die Entsorgung kleiner Mengen

von ILW in tiefen Bohrlöchern eine kostengünstige – und modulare – Lösung im Vergleich zu einer herkömmlichen geologischen Endlagerstätte (GDF). CSIRO, ANSTO und SANDIA haben eine internationale Partnerschaft gegründet, um in Australien ein Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekt (RD&D) im großen Maßstab durchzuführen. Das Projekt wird die technische Machbarkeit der langfristigen Sicherheit der Bohrlochlagerung in tiefen geologischen Formationen demonstrieren. Mit der Durchführung dieses Projekts könnten auch Optionen für die Entsorgung nuklearer Abfälle demonstriert werden, die das Proliferationsrisiko verringern würden, möglicherweise sogar die abschließende Erfüllung internationaler Sicherheitsanforderungen. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten umfassen die Erprobung der Oberflächenbehandlung und der Möglichkeiten der Einbringung von Abfällen/Verschlüssen, wissenschaftliche Grundlagenforschung und Feldversuche in großem Maßstab sowohl in einer Tiefbohrung für die Charakterisierung als auch in einem 2000 m tiefen Demonstrationsbohrloch mit größerem Durchmesser (0,7 m oder 27,5 Zoll). Das Multibarrierensystem, das für dieses Konzept der Tiefbohrung für die Endlagerung entwickelt wurde, verlässt sich im Vergleich zu einer konventionellen GDF viel weniger auf technische Barrieren in der Endlagerzone, um Sicherheit zu erzielen. Es verlässt sich vielmehr auf die geologischen Gegebenheiten für den Einschluss der Abfälle. Das untersuchte Konzept verwendet Entsorgungsbehälter mit primären Abfallgebinden wie verglaste Abfallprodukte in Innenbehältern; um sowohl kosteneffizient als auch zweckmäßig zu sein, könnte ein solcher Behälter eine Strukturkomponente aus Baustahl mit Kupferbeschichtung haben. Eine kritische Prüfung von sechs Beschichtungstechnologien ergab, dass das Kaltgasspritzen die größten Vorteile, wie minimale Porosität und Druckeigenspannung, aufweist. Bei den Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sind neuartige Instrumente entwickelt worden, die bei der Standortsuche, der Bohrlochplanung und der Sicherheitsbewertung nach dem Verschließen helfen. So wurde beispielsweise ein automatisiertes Instrument für das Mapping und Meshing geologischer Störungen entwickelt, mit dem sich die Eignung potenzieller Endlagerstandorte anhand der Nähe zu solchen Störungen bewerten lässt. Es wurden neue Codes entwickelt, die eine bessere Darstellung von Störungszonen in numerischen 2D/3D-Strömungs- und Transportmodellen ermöglichen und gleichzeitig effizienter in der Ausführung sind. Bei der Bewertung der Sicherheit nach dem Verschließen wurde die Sensitivität der Langzeitsicherheit in Bezug auf die Endlagertiefe, die Gesteinsdurchlässigkeit und die Sorption untersucht. Mit Wärmetransportberechnungen wurden die Sensitivität der Temperaturentwicklung innerhalb des Bohrlochs gegenüber Parametern wie Wärmelast, Bohrlochtiefe, geothermische Gradienten und Wärmeleitfähigkeit des Gesteins untersucht. Um die Dichtigkeit des Wirtsgesteins zu überprüfen und gleichzeitig nachzuweisen, dass kein Grundwasser aus jüngerer Zeit vorhanden ist, wurde eine neue Edelgasanalyseanlage eingerichtet, mit der seltene Edelgase in mineralischen Flüssigkeitseinschlüssen als Indikatoren für sehr alte Porenflüssigkeiten gemessen werden können.

**Financial support.** This research has been supported by the Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (grant nos. ICH-RD1-Safe Waste Disposal and ICH-RD2-INT144-Safe Waste Disposal).