



POSIVA 2003-04

Thermal Analyses of Spent Nuclear Fuel Repository

Kari Ikonen

June 2003

POSIVA 2003-04

Thermal Analyses of Spent Nuclear Fuel Repository

Kari Ikonen
VTT Processes

June 2003

ISBN 951-652-118-5
ISSN 1239-3096

The conclusions and viewpoints presented in the report are those of author(s) and do not necessarily coincide with those of Posiva.



Tekijä(t) – Author(s) Kari Ikonen, VTT Processes	Toimeksiantaja(t) – Commissioned by Posiva Oy
Nimeke – Title THERMAL ANALYSES OF SPENT NUCLEAR FUEL REPOSITORY	
Tiivistelmä – Abstract <p>This report contains the temperature dimensioning of the KBS-3V type 1- or 2-panel repository based on the rock properties measured from the Olkiluoto investigations.</p> <p>The report describes first the development of a calculation methodology for the thermal analysis of a repository for nuclear fuel. The disposed canisters produce residual heat due to decay (or disintegration) of radioactive products. The decay heat is conducted to surrounding rock mass. The methods were applied to determine the effect of different parameters on the highest canister temperature and to support the planning, dimensioning and operation of the repository.</p> <p>The thermal diffusivity of the rock is low and the heat released from the canisters is spread into the surrounding rock volume quite slowly causing thermal gradient in the rock close to canisters and the canister temperature is increased remarkably.</p> <p>The maximum temperature on the canister surface is limited to the design temperature of +100°C. However, due to uncertainties in thermal analysis parameters (like scattering in rock conductivity) the allowable calculated maximum canister temperature is set to 90°C causing a safety margin of 10°C. The allowable temperature is controlled by the spacing between adjacent canisters, adjacent tunnels and the distance between separate panels of the repository and the pre-cooling time affecting power of the canisters.</p> <p>Because of the fact that the disposal operation takes several decades, the moment of disposal of an individual canister in addition to the location has an influence on the maximum temperature in the canister. Also, a second disposal panel in the repository has a thermal interaction with the other panel. This interaction is expressed after a few decades at the strongest.</p> <p>It became apparent that the temperature of canister surfaces can be determined by analytic line heat source model much more efficiently than by numerical analysis, if the analytic model is first verified and calibrated by numerical analysis. Superposing single line heat sources the evolution of the temperature field of the repository can be determined efficiently.</p> <p>Efficient visualisation programmes were used for showing the results. Visualisation is an important element in assuring the reliability of the calculation process.</p>	
Avainsanat - Keywords Spent nuclear fuel, repository, decay heat, temperature dimensioning	
ISBN ISBN 951-652-118-5	ISSN ISSN 1239-3096
Sivumäärä – Number of pages 61	Kieli – Language English



Posiva-raportti – Posiva Report

Posiva Oy
FIN-27160 OLKILUOTO, FINLAND
Puh. 02-8372 (31) – Int. Tel. +358 2 8372 (31)

Reportin tunnus – Report code

POSIVA 2003-04

Julkaisuaika – Date

Kesäkuu 2003

Tekijä(t) – Author(s) Kari Ikonen, VTT Prosessit	Toimeksiantaja(t) – Commissioned by Posiva Oy
Nimeke – Title KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUSTILOJEN LÄMPÖANALYYSIT	
Tiivistelmä – Abstract <p>Raportissa kuvataan korkea-aktiivisen ydinpolttoaineen loppusijoituskallion (LS-tilan) lämpötilakenttien laskentamenetelmä. Osoittautui, että viivamaisen lämmönlähteen analyttisen ratkaisun avulla voidaan kapselin pintalämpötila määrittää paljon tehokkaammin kuin numeerisella menetelmällä. Analyttinen malli kalibroidaan numeerisen analyysin avulla. Superponoimalla äärellisiä viivamaisia lämmönlähteitä saadaan loppusijoituskallion lämpötilakenttä määritetyksi erittäin tehokkaasti ja tarkasti.</p> <p>Analyttiseen viivamallien superponointiin perustuva laskentamalli parametrisoitiin siten, että variointi-analyysejä voidaan suorittaa luotavalla laskentajärjestelmällä automaattisesti vain kyseistä suuretta ohjelmiston syötetiedostossa muuttamalla. Parametrejä ovat siten kaikki LS-tilan, tunnelien, loppusijoitusreikien ja kapselien geometriaan liittyvät mitat, eri materiaalien lämpötekniset ominaisuudet sekä kapselissa olevan polttoaineen jälkilämpötehon aikariippuvuus. Samaten kapselien sijoitustahti ja mahdollisesti eri osastojen väliset aikaerot ovat laskentamallin syötteitä.</p> <p>Analysoitiin perustapaus, jossa 1500 kapselia sijoitetaan yhteen suorakaiteen muotoiseen osastoon suunnitelman mukaisessa järjestyksessä tunneleittain tietyssä suunnassa edeten. Laskenta tehtiin erikseen OL1-2 polttoainekapseleille ja Lo1-2 polttoainekapseleille. Mitoittavana kriteerinä pidettiin kapselin pinnan korkeinta lämpötilaa ja muuttujana pidetään kapselien etäisyyttä toisistaan loppusijoitustunnelin suunnassa sekä kapselin lämpötehoa.</p> <p>Analysoitiin lisätapaus 1, jossa edellä kuvatun perustapauksen rinnalle samaan tasoon (-400 m) sijoitetaan toinen samankokoinen osasto kapseleita 50 vuotta myöhemmin. Tässä tapauksessa selvitettiin samassa tasossa eri osastoihin tapahtuvan loppusijoituksen vuorovaikutusta. Tuloksena saatiin tarvittava "suojaetäisyys" eri osastojen välillä, kun eri osastojen sijoitustoiminnan aikaero on enintään 50 vuotta.</p> <p>Analysoitiin lisätapaus 2, jossa perustapauksen alapuolelle samaan kohtaan sijoitetaan toinen samankokoinen osasto kapseleita välittömästi yläpuolisen osaston jälkeen. Tässäkin tapauksessa selvitettiin päällekkäin eri tasossa eri osastoihin tapahtuvan loppusijoituksen (2-kerrosratkaisu) vuorovaikutusta. Tuloksena saatiin tarvittava korkeusero ("suojaetäisyys") eri osastojen välillä.</p> <p>Laskentajärjestelmään kuuluvat myös visualisointiohjelmat, joilla voidaan tuottaa laskentatuloksia visualisoivia väripintapiirroksia eri ajanhetkiltä erikseen valittavissa leikkaustasoissa. Kuvasarjoista voidaan haluttaessa muodostaa tietokoneella esitettäviä animaatioita lämpötilakenttien kehittymisestä ajan kuluessa.</p>	
Avainsanat - Keywords Käytetty ydinpolttoaine, loppusijoitustila, jälkilämpö, lämpötilamitoitus	
ISBN ISBN 951-652-118-5	ISSN ISSN 1239-3096
Sivumäärä – Number of pages 61	Kieli – Language Englanti

CONTENTS

Abstract

Tiivistelmä

1	INTRODUCTION	3
2	INITIAL DATA	5
2.1	Geometry of canister area.....	5
2.2	Thermo-mechanical properties of materials.....	7
2.3	Emissivity of air gap surfaces	10
2.4	Exponential decay heat expression	11
3	CALCULATION METHODOLOGY AND ITS VERIFICATION	13
3.1	Analytical solution	13
3.2	Numerical analysis.....	14
3.2.1	About model boundary temperatures	14
3.3	Verification with a single line heat source	14
3.4	Evaluation of canister surface temperature in analytic line heat source analysis	17
3.5	Verification with an actual single BWR fuel canister	21
3.6	Verification of a BWR canister without gaps.....	28
3.7	Verification with a single PWR fuel canister	33
3.8	Conclusion from verification analyses	38
4	ANALYSIS OF SINGLE PANEL.....	39
4.1	BWR canisters	39
4.2	PWR canisters.....	52
5	ANALYSIS OF TWO INTERACTING PANELS	55
5.1	Two parallel canister panels in depth of 400 m	55
5.2	Two canister panels in depths of 400 m and 500 m	57
6	CONCLUSIONS	59
	ACKNOWLEDGEMENT	60
	REFERENCES	61

