

Panaudoto RBMK-1500 branduolinio kuro, palaidoto konceptualiaame kapinyne, temperatūros kitimo modeliavimas

2. Temperatūros kitimas kristalinėse uolienose įrengtame kapinyne

Arūnas Sirvydas,

Povilas Poškas

*Branduolinės inžinerijos
problemų laboratorija,
Lietuvos energetikos institutas,
Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas
El. paštas: arunas@mail.lei.lt*

Šiame straipsnyje pateikti temperatūros kitimo panaudoto RBMK-1500 branduolinio kuro konceptualiaame kapinyne, įrengtame kristalinėse uolienose (remiantis švedų siūloma koncepcija), modeliavimo rezultatai. Nestacionarus skaitinis temperatūros pasiskirstymo modeliavimas panaudoto branduolinio kuro tunelyje buvo atliekamas naudojant FLUENT 6.1 kompiuterinę programą. Modeliavimas atliktas esant vienodam atstumui tarp kanistrų, tačiau skirtingam bentonito drėgnumui. Temperatūros kitimo modeliavimui tunelyje buvo sukurtas trimatis modelis. Kadangi analizuojamas objektas yra simetriškas, tai buvo modeliuojama tik 1/4 jo dalis, siekiant paspartinti kompiuterinius skaičiavimus. Visą modelio tinklę sudarė ~400 000 aštuonmazgių elementų. Tinklelis buvo sutankintas labiausiai dominančiose vietose, t. y. varinio kanistro, bentonito ir kasimo sutrikdymo zonose.

Temperatūros modeliavimo panaudoto branduolinio kuro patalpinimo tuneliuose rezultatai rodo, kad esant 1,2 m atstumui tarp kanistrų aukščiausia kanistro paviršiaus temperatūra esant mažai drėgnam bentonitui (konservatyvus atvejis) yra 92 °C. Taigi ji yra artima, tačiau ne aukštesnė už leistiną 100 °C temperatūrą.

Palyginus duomenis su rezultatais, kai kanistras buvo palaidotas mologoje aplinkoje, galima konstatuoti, kad žemesnės temperatūros pasiekiamos laidojant varinį kanistrą kristalinėje uolienoje (netgi išlaikant 1,2 m atstumą tarp kanistrų). Taigi tai leistų tokio pat ilgio patalpinimo tuneliuose, palyginti su atveju, kai kanistras palaidotas mologoje uolienoje, palaidoti daugiau panaudoto branduolinio kuro kanistrų.

Raktažodžiai: RBMK-1500 panaudotas branduolinis kuras, konceptualus kapinynas kristalinėje uolienoje, varinis kanistras, skaitinis modeliavimas, temperatūros kitimas

1. ĮVADAS

Pirmajame šios serijos straipsnyje [1] konstatuota, kad tinkamiausia geologinė formacija, kurioje galėtų būti palaidotas panaudotas branduolinis kuras (PBK), yra kristalinės ir mologos uolienos. Todėl pirmajame serijos straipsnyje Šveicarijos atliekų laidojimo koncepcijų ekspertų grupės (EKRA) pasiūlyta koncepcija panaudotam branduoliniam kurui laidoti mologoje aplinkoje, mažaanglio plieno konteinerius kapinyne talpinant horizontaliai, buvo pasirinkta ir RBMK-1500 panaudoto branduolinio kuro temperatūros kitimo įvertinimui mologose uolienose Lietuvoje. Nestacionarus temperatūros kitimo modeliavimas laidojimo tu-

neliuose (įrengtuose 650 m gylyje po žeme) buvo atliktas esant tiek skirtingam atstumui tarp kanistrų (2 ir 3 m), tiek skirtingam bentonito drėgnumui (t. y. esant mažai drėgnam ir prisotintam vandeniui).

Žinoma, kad laidojimo kanistras turi atitikti ne tik mechaninius, cheminius, bet ir tam tikrus reikalavimus, susijusius su jo paviršiaus temperatūra. Nustatyta [2], kad maksimali kanistro paviršiaus temperatūra negali būti aukštesnė nei 100 °C, kad būtų išvengta virimo prie kanistro paviršiaus (virimo metu kanistro paviršius gali prisisotinti druskomis, kurios gali pakeisti bentonito savybes ir sukelti kitus nepageidautinus reiškinius). Modeliavimo rezultatai parodė, kad kanistro paviršiaus temperatūra esant tiek mažai drėgnam,

ties prisotintam vandeniui bentonitui bei 3 m atstumui tarp kanistrų ir esant drėgnam bentonitui bei 2 m atstumui tarp kanistrų buvo ne aukštesnė nei leistina 100 °C temperatūra. Atvejui, kai atstumas tarp kanistrų buvo 2 m, o bentonitas mažai drėgnas, temperatūra jau buvo ~7 °C aukštesnė už leistiną. Visi analizuoti atvejai parodė, kad temperatūra bentonito sluoksnyje buvo ne aukštesnė nei 85 °C. Taigi buvo konstatuota, kad atstumas tarp laidojamų plieninių kanistrų su PBK molingoje aplinkoje turi būti ne mažesnis kaip 3 m.

Antrajame šios serijos straipsnyje pateikiamas temperatūros kitimo RBMK-1500 PBK konceptualiame kapinyne, įrengtame kristalinėse uolienose, modeliavimas. Lietuvoje kapinyne kristalinėje uolienoje [3] prototipu laikoma KBS-3 H (Švedija) pasiūlyta kontroliuojamo ilgalaikio geologinio kapinyne koncepcija [4]. Kadangi Lietuvoje nepakanka informacijos apie geologinių formacijų geotechnines savybes, todėl šiame etape modeliavimui buvo naudojami Švedijoje numatomų įrengti kapinyne aplinkos ir kai kurie laidojimo kanistro parametrai [4] (skersmuo ir sienelės storis). Šiuo atveju yra naudojamas ne mažo anglio plieno kanistras (kaip analizuota [1]), o varinis. Varis yra ypač patvarus ir beveik nereaguoja su vandeniu. Manoma, kad variniai kanistrai išlieka sandarūs nepaprastai ilgą laiką, todėl PBK laidojant kristalinėje uolienoje (dėl joje esančio gruntinio vandens cheminių ypatumų) praktiškai yra naudojami tik variniai kanistrai [5].

2. TYRIMŲ METODIKA

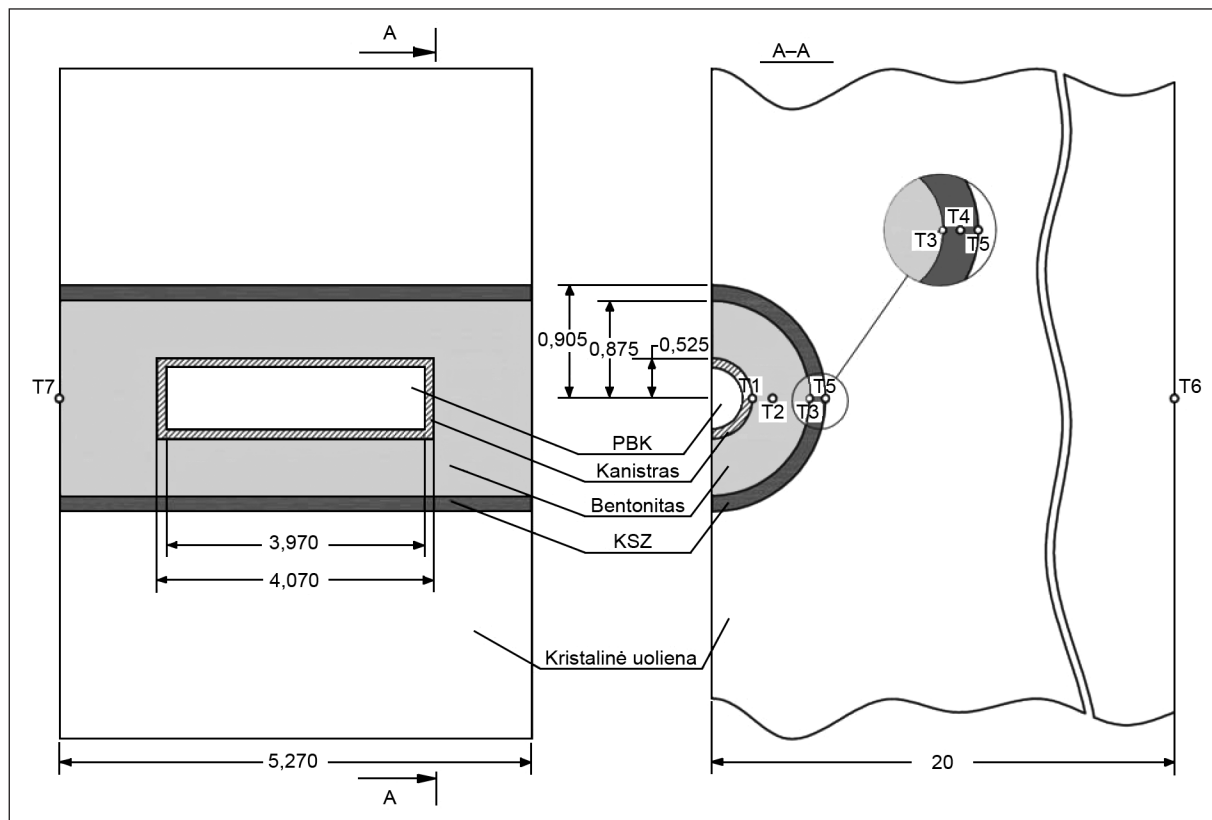
Temperatūros kitimui PBK kapinyne modeliuoti naudota kompiuterinė programa FLUENT 6.1 [6]. FLUENT – tai šiuolaikinė kompiuterinės takijų medžiagų dinamikos programa, kuri plačiai taikoma visame pasaulyje, modeliuojant takijų medžiagų judėjimą ir šilumos mainus sudėtingose dvimatėse arba trimatėse sistemose. Ši programa pagrindines lygtis sprendžia baigtinių tūrių metodu. Baigtinius tūrius sukuriame tinklelio pagalba, kuris aprašo ir modeliuojamos srities geometriją.

Šiame darbe buvo priimta, kad šiluma per PBK kanistrą, bentonitą ir supančiąsias uolienas perduodama tik laidumu, o perdavimas konvekcija yra nežymus.

Modeliavimo srities geometrija pavaizduota 1 paveiksle. Variniai panaudoto branduolinio kuro kanistrai tunelyje (atstumas tarp tunelių – 40 m) yra išdėstyti horizontaliai. Kanistro ilgis – 4,07 m, o jo spindulys siekia 0,525 m. Kanistro sienelės storis yra 0,05 m (t. y. toks, kaip ir Švedijos koncepcijoje [4]). Tuštuma aplink kanistrą ir tarp kanistrų yra užpildyta bentonitu.

Kasimo sutrikdytos zonos (KSZ) sluoksnis gaubia bentonitą, kaip parodyta 1 paveiksle. Laidojimo tunelio skersmuo yra 1,75 m, o modeliavimo metu pasirinktas atstumas tarp kanistrų buvo kaip ir Švedijos koncepcijoje – 1,2 m.

Taškai T1–T7 žymi vietas, kuriose buvo modeliuojamos temperatūros:



1 pav. Analizuojamas koncepcinio kapinyne srities dalinis vaizdas su pagrindiniais matmenimis (m), sluoksnių pavadinimais ir temperatūros nustatymo taškų vietomis (T1–T7)

- T1 – temperatūra ant išorinio kanistro paviršiaus;
- T2 – temperatūra bentonito sluoksnio centre;
- T3 – temperatūra ant išorinio bentonito paviršiaus;
- T4 – temperatūra KSZ sluoksnio centre;
- T5 – temperatūra KSZ sluoksnio išorėje;
- T6 – temperatūra kristalinėje uolienoje (viduryje tarp tunelių);
- T7 – temperatūra vidurio taške tarp kanistrų.

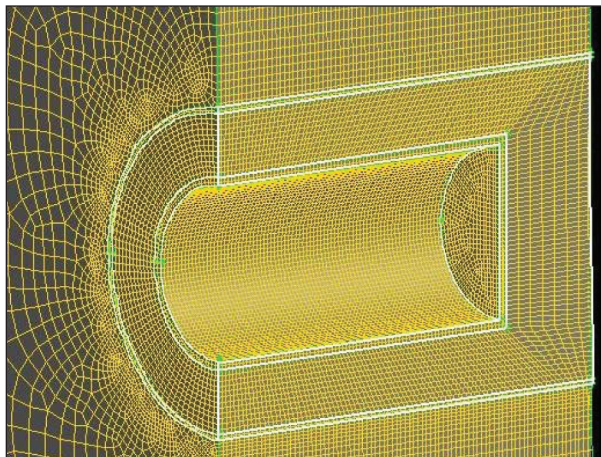
Modeliavimo metu kristalinės uolienos sluoksnio storis buvo priimtas 200 m (o pati kristalinė uoliena prasideda 300 m gylyje). PBK laidojimo tunelis yra įrengtas kristalinės uolienos sluoksnio viduryje – 400 m gylyje nuo žemės paviršiaus. Nors tikėtina, kad kristalinė uoliena prasideda arčiau žemės paviršiaus (apie 300 m gylyje) negu molinga (apie 550 m gylyje), tačiau šiuo atveju, siekiant gauti konservatyvius rezultatus, kristalinės uolienos sluoksnio temperatūra modelyje buvo tokia pati kaip ir modeliuojant su šveicarų aplinkos parametrais [1].

Kadangi analizuojama sritis yra simetriška, tai buvo modeliujama tik 1/4 jos dalis, kad paspartintume kompiuterinius skaičiavimus. Dalis trimačio tinklėlio parodyta 2 paveiksle. Visą modelio tinklėlį, kaip ir modeliavimo molingose uolienose metu, irgi sudarė apie 400 000 aštuonmazgių elementų. Tinklėlis taip pat buvo sutankintas labiausiai dominančiose vietose, t. y. kanistro, bentonito ir kasimo sutrikdymo zonose.

Šilumos srautai ant vertikalių modelio pusių (simetrijos plokštumų) buvo priimti lygūs nuliui (išskyrus PBK kanistrą).

Kanistrai yra skirti saugoti 16 (32 pluoštus) panaudoto RBMK-1500 branduolinio kuro rinklių, kurių pradinis įsodrinimas 2,8 %, o išdegimas 30 MWd/kgU. Šilumos išsiskyrimas iš PBK kanistro po 50 metų tarpinio saugojimo (palaidojimo kapinyne atskaitymo pradžia – nulis metų) buvo įvertintas naudojant programą ORIGEN-S [7] (šilumos išsiskyrimo iš kanistro kitimas laike, šiuo atveju yra toks pat, kaip ir pirmajame straipsnių serijos straipsnyje [1]).

Kadangi Lietuvoje nepakanka informacijos apie geologinių formacijų geotechnines savybes, todėl modelyje naudotų



2 pav. Dalinis trimačio tinklėlio vaizdas

medžiagų šilumos laidumai ir specifinės šilumos buvo paimtos iš [4] šaltinio. Atlikus daugiau įvairių Lietuvos grunto uolienų geologinių tyrimų pirmenybę bus galima teikti toms uolienų savybėms.

Kadangi kristalinė uoliena yra homogeniškesnė nei molinga uoliena, tai šilumos laidumas tiek vertikalia, tiek horizontalia kryptimis šiuo atveju yra vienodas.

3. TEMPERATŪROS KITIMO MODELIAVIMO REZULTATAI

Modeliavimas buvo atliktas esant vienodam atstumui tarp kanistrų, tačiau skirtingam bentonito drėgnumui (skirtingam šilumos laidumui). Iš viso analizuoti du atvejai, kurie pateikti 1 lentelėje.

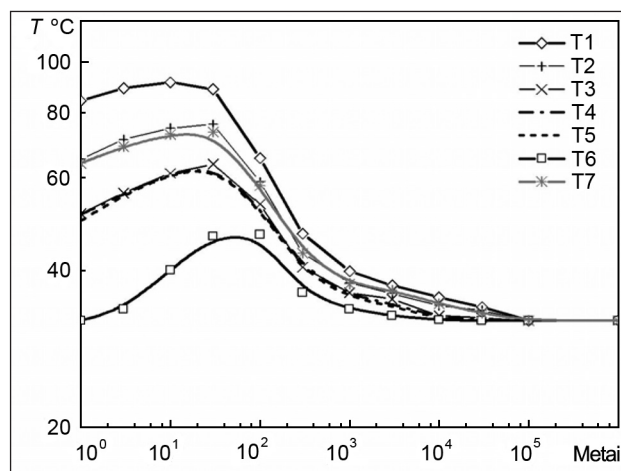
Maži šilumos laidumas ir specifinė šiluma yra tada, kai bentonitas beveik sausas (~2 % drėgmės), ir apie 3 kartus didesni, kai bentonitas prisotintas vandeniu [4].

1 atvejis

Temperatūros kitimas laike, horizontaliuose PBK patalpinimo tuneliuose, pavaizduotas 3 paveiksle. Rezultatai rodo, kad esant tikėtinų savybių (mažesniai drėgmės kiekiui ir mažesniai šilumos laidumui) bentonitui, aukščiausia (≈ 92 °C) varinio kanistro paviršiaus temperatūra (T1) pasiekama per keletą metų. Maždaug po 100 metų ši temperatūra nukrenta iki 66 °C. Temperatūra bentonito sluoksnio centre (T2) visą laiką išlieka žemesnė nei 76 °C. Kristalinės uolienos temperatūra (T6) viduryje tarp tunelių pasiekia pikinę 47 °C reikšmę maždaug praėjus 100 metų nuo kanistro patalpinimo į tunelį. Modeliavimo rezultatai

1 lentelė. Analizuoti atvejai

Atvejis	Atstumas tarp kanistrų m	Bentonito drėgnumas
1	1,2	Mažai drėgnas (~2 % drėgmės)
2	1,2	Prisotintas vandeniu (~6 % drėgmės)

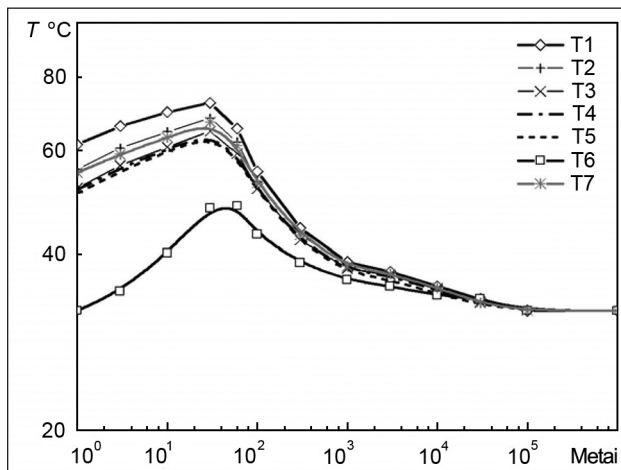


3 pav. Temperatūros kitimas laike PBK patalpinimo tunelyje, esant mažai drėgnam bentonitui (mažesniai bentonito šilumos laidumui)

taip pat rodo, jog temperatūra vidurio taške tarp kanistrų (T7) niekada nepakyla aukščiau kaip 74 °C. Tai pikinė taško T7 reikšmė, kuri pasiekama praėjus maždaug 30 metų nuo kanistro palaidojimo tunelyje.

2 atvejis

Temperatūros pasiskirstymas PBK laidojimo tunelyje buvo modeliuotas ir esant drėgnesniam bentonitui (t. y. didesniam šilumos laidumui). Šio modeliavimo rezultatai parodyti 4 paveiksle. Matyti, kad šiuo atveju temperatūros yra daug žemesnės nei 1-uoju atveju. Maksimali kanistro paviršiaus temperatūra T1 ≈ 72 °C čia irgi pasiekama praėjus maždaug 30 metų po kanistro patalpavimo į tunelį (4 pav.). Po 100 metų temperatūra nukrenta iki 55 °C. Bentonito sluoksnio vidurio temperatūra (T2) visada išlieka žemesnė nei 69 °C. Aukščiausia kristalinės uolienos temperatūra viduryje tarp laidojimo tunelių (T6) išsilaiko 48–38 °C ribose keletą šimtų metų. Modeliavimo rezultatai taip pat rodo, kad temperatūra vidurio taške tarp kanistrų (T7) niekada nepakyla aukščiau nei 67 °C.



4 pav. Temperatūros kitimas laike PBK patalpavimo tunelyje, esant prisotintam vandeniu bentonitui (didesniam bentonito šilumos laidumui)

4. REZULTATŲ ANALIZĖ

Būdingos didžiausios kanistro paviršiaus (T1), bentonito sluoksnio vidurio (T2) ir bentonito išorinio paviršiaus (T3) temperatūros, esant skirtingam bentonito drėgnumui (skirtingam bentonito šilumos laidumui), tačiau vienodam atstumui tarp kanistrų, pateiktos 2 lentelėje.

Matyti, kad kanistro paviršiaus temperatūra abiem atvejais yra ne aukštesnė už 92 °C, taigi ir už leistiną 100 °C tem-

peratūrą. Visi analizuoti atvejai rodo, kad temperatūra bentonito sluoksnyje nepasiekia net 80 °C.

Akivaizdu, kad ir šiuo atveju, kai kanistras palaidotas kristalinėse uolienose, žemesnės temperatūros pasiekiamos tada, kai bentonito sluoksnis prisotintas vandeniu, o aukštesnės – kai bentonitas yra mažai drėgnas.

5. REZULTATŲ PALYGINIMAS SU TEMPERATŪROS KITIMU KAPINYNE, ĮRENGTAME MOLINGOSE UOLIENOSE

Pirmajame serijos straipsnyje [1] buvo pateikti temperatūros kitimo panaudoto branduolinio kuro laidojimo tunelyje, įrengtame molingoje aplinkoje, modeliavimo rezultatai.

Paveiksle (5 pav.) parodytos trimačių analizuotų uždavinių geometrijos, kurios panaudotos temperatūros plitimui modeliuoti molingoje [1] bei kristalinėje uolienoje. Kaip matyti, geometriškai modeliavimo sritys gana panašios, t. y. vienodi atstumai tarp tunelių (40 m), tokie pat molingos ir kristalinės uolienos sluoksnių storiai (200 m).

Tačiau modeliai turi ir keletą skirtumų:

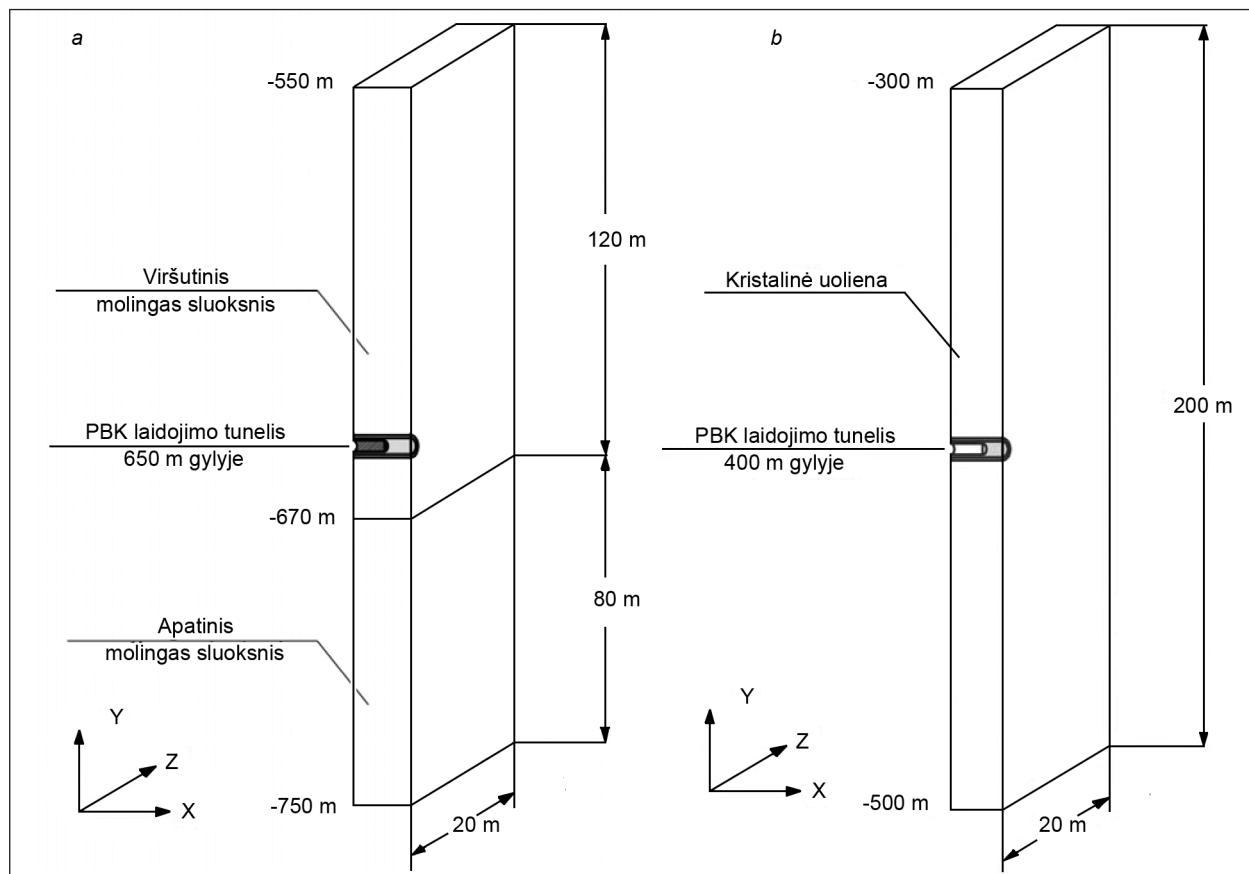
- molingos uolienos sluoksnis dėl skirtingo kvarco kiekio yra padalytas į dvi dalis, kurių kiekviena turi (nežymiai) skirtingus tankius, specifines šilumas bei skirtingus šilumos laidumo koeficientus horizontalia ir vertikalia kryptimis;
- kristalinės uolienos sluoksnis homogeniškesnis ir todėl vientisas, turintis vienodus šilumos laidumo koeficientus horizontalia ir vertikalia kryptimis;
- bentonito ir KSZ sluoksniai molingoje uolienoje šiek tiek storesni nei kristalinėje uolienoje;
- atstumas tarp kanistrų molingoje uolienoje didesnis nei kristalinėje uolienoje.

Aiškiai matyti, kad šie skirtumai turi įtakos temperatūros kitimo modeliavimui (3 lentelė). Šioje lentelėje pateiktos kelios aukščiausios kanistro paviršiaus (T1), bentonito sluoksnio vidurio (T2) ir bentonito išorinio paviršiaus (T3) temperatūros esant skirtingam bentonito drėgnumui (skirtingam bentonito šilumos laidumui bei šilumos talpumui), kai PBK kanistras palaidotas molingoje [1] ir kristalinėje uolienoje.

Kai kanistras palaidotas kristalinėje uolienoje, jo paviršiaus temperatūra maždaug 16 °C mažesnė, nei tuo atveju, kai jis palaidotas molingoje aplinkoje esant tam pačiam bentonito drėgnumui, tačiau 2 m atstumui tarp kanistrų. Modeliavimas taip pat rodo panašų temperatūrų skirtumą (~7–10 °C) bentonito sluoksnio centre bei ant jo išorinio paviršiaus. Ir šiuose taškuose aukštesnės temperatūros gaunamos, kai kanistras

2 lentelė. Būdingos aukščiausios temperatūros įvairiais atvejais

Atvejis	T1 °C	T2 °C	T3 °C
1 (mažai drėgnas bentonitas; atstumas tarp kanistrų 1,2 m)	91,6	76,2	63,6
2 (prisotintas vandeniu bentonitas; atstumas tarp kanistrų 1,2 m)	72,3	68	64,6



5 pav. Trimačiai mologoje (a) ir kristalinėje (b) uolienoje analizuotų uždavinių geometrijos vaizdai

3 lentelė. Aukščiausios kanistro paviršiaus (T1), bentonito sluoksnio vidurio (T2) ir bentonito išorinio paviršiaus (T3) temperatūros, kai kanistras patalpintas mologoje ir kristalinėje uolienoje

Atvejis	T1 °C	T2 °C	T3 °C
Kristalinė uoliena (dabartinis 1 atvejis) Mažai drėgnas bentonitas; atstumas tarp kanistrų 1,2 m	91,6	76,2	63,6
Kristalinė uoliena (dabartinis 2 atvejis) Prisotintas vandeniu bentonitas; atstumas tarp kanistrų 1,2 m	72,3	68	64,6
Molinga uoliena [1] Mažai drėgnas bentonitas; atstumas tarp kanistrų 2 m	106,8	83	73,5
Molinga uoliena [1] Prisotintas vandeniu bentonitas; atstumas tarp kanistrų 2 m	71,3	65,6	62
Molinga uoliena [1] Mažai drėgnas bentonitas; atstumas tarp kanistrų 3 m	96,7	73,5	58,6
Molinga uoliena [1] Prisotintas vandeniu bentonitas; atstumas tarp kanistrų 3 m	68,4	63	59,6

palaidotas mologoje uolienoje (net ir esant 2 m atstumui tarp kanistrų).

Kai bentonito sluoksnis prisotintas vandeniu, modeliavimo rezultatai kristalinėje uolienoje rodo, kad temperatūros tik nežymiai (~1–3 °C) didesnės ant kanistro paviršiaus (T1), bentonito sluoksnio viduryje (T2) ir bentonito išoriniame paviršiuje (T3), palyginti su atveju, kai kanistras palaidotas mologoje uolienoje (kai atstumas tarp kanistrų 2 m).

Lyginant rezultatus, kai kanistras palaidotas mologoje aplinkoje ir esant 3 m atstumui tarp kanistrų bei mažai drėgnam bentonitui, matyti, kad temperatūra vis tiek ≈3–5 °C yra

aukštesnė, kai kanistras palaidotas mologoje uolienoje. O kai bentonito sluoksnis prisotintas vandeniu, modeliavimas tiek kristalinėje uolienoje, tiek mologoje uolienoje (esant 3 m atstumui tarp kanistrų) rodo, kad nežymiai aukštesnės temperatūros (~4–5 °C) taip pat išlieka kanistro laidavimo kristalinėje uolienoje atveju.

Tačiau reikia nepamiršti, kad modeliuojant buvo priimti Šveicarijos (mologoje aplinkoje) [8] ir Švedijos (kristalinėje uolienoje) [4] siūlomo PBK laidavimo kapinyno aplinkos parametrai, t. y. tam tikri supančiųjų uolienu parametrai ir kanistro palaidavimo gylis. Tikėtina, kad Lietuvoje PBK

kanistrus bus galima laidoti ~300–350 m gylyje [5], o tai reikšia, kad natūrali supančios uolienos temperatūra čia bus šiek tiek žemesnė, nei nagrinėtais atvejais. Tikėtinas uolienų sluoksnio storis Lietuvoje gali būti toks pat arba net mažesnis [5]. Šie teiginiai leidžia daryti išvadą, kad tokiu atveju temperatūros tiek ant kanistro paviršiaus, tiek bentonite turėtų būti dar žemesnės.

6. IŠVADOS

Atlikus skaitinius šilumos plitimo PBK tunelyje, įrengtame kristalinėse uolienose, tyrimus, galima padaryti šias išvadas.

1. Temperatūros modeliavimo PBK patalpinimo tuneliuose rezultatai rodo atstumo tarp kanistrų ir bentonito šilumos laidumo (drėgnumo) svarbą nustatant varinio kanistro paviršiaus, bentonito ir kristalinės uolienos temperatūras.

2. Nustatyta, kad esant 1,2 m atstumui tarp kanistrų aukščiausia varinio kanistro paviršiaus temperatūra, esant mažai drėgnam bentonitui (konservatyvus atvejis), yra 92 °C. Taigi ji yra artima leistinai 100 °C temperatūrai, tačiau ne aukštesnė už ją.

3. Palyginę gautus duomenis su rezultatais, kai kanistras buvo palaidotas molingoje aplinkoje, galima konstatuoti, kad žemesnės temperatūros pasiekiamos laidojant varinį kanistrą kristalinėje uolienoje ir netgi išlaikant gerokai mažesnę (1,2 m) atstumą tarp kanistrų. Tai leistų tokio pat ilgio patalpinimo tuneliuose (palyginus su atveju, kai kanistrai laidojami molingoje uolienoje) palaidoti daugiau PBK kanistrų.

Gauta 2009 06 14
Priimta 2010 08 10

Literatūra

1. Sirvydas A., Poškas P. Panaudoto RBMK-1500 branduolinio kuro, palaidoto konceptualiame kapinyne, temperatūros kitimo modeliavimas. 1. Temperatūros kitimas molingose uolienose įrengtame kapinyne. *Energetika*. 2009. T. 55. Nr. 1. P. 1–5.
2. *What Requirements Does the KBS-3 Repository Make on the Host Rock?* SKB Technical Report TR-00-12. 2000. 143 p.
3. Poskas P., Brazauskaite A., Narkunas E., Smaizys A., Sirvydas A. Generic repository concept for RBMK-1500 spent nuclear fuel disposal in crystalline rocks in Lithuania. *ENS Conference TopSeal 2006 Transaction*. 17–20 September 2006. Olkiluoto, Finland.
4. *Deep Repository for Spent Nuclear Fuel: SR97-Post-closure Safety*. SKB Technical Report TR-99-06. Sweden, 1999.
5. Poškas P., Šmaizys A. et al. *Generic Repository Concept for the Deep Geological Disposal of the Spent Nuclear Fuel in Lithuania* (Second Stage Report S/14-374.3.3-18-G-V:02). Lithuanian Energy Institute, 2003.
6. *Fluent User's Guide*. Fluent Inc., 2005.
7. Hermann O. W., Westfall R. M. *ORIGEN-S: SCALE System Module to Calculate Fuel Depletion, Actinide Transmutation, Fission Product Build-up Decay and Associated Radiation*

Source Terms. Rev. 5. Oak Ridge National Laboratory, 1997.

8. *Project Opalinus Clay: Safety Report. Demonstration of Disposal Feasibility for Spent Fuel, Vitrified High-level Waste and Long-lived Intermediate-level Waste (Entsorgungsnachweis)*. Nagra Technical Report NTB 01-04. Wettingen, 2002.

Arūnas Sirvydas, Povilas Poškas

MODELLING OF TEMPERATURE VARIATION IN THE REFERENCE GEOLOGICAL REPOSITORY OF THE RBMK-1500 SPENT NUCLEAR FUEL

2. TEMPERATURE VARIATION IN THE REPOSITORY IN CRYSTALLINE ROCKS

Summary

In this paper, results of the modelling of temperature variation in the reference repository for the RBMK-1500 spent nuclear fuel in crystalline rocks are presented. For time-dependent temperature evolution modelling, the FLUENT 6.1 code was used. The modelling was performed for the same distance between the canisters, but for the different bentonite moisture content. A 3-dimensional model of the repository was developed in order to evaluate temperature variation. Since the domain is symmetric, only 1/4 of this domain was modelled in order to make computer modelling faster. All the mesh contained about 400 000 8-noded elements. The mesh was refined in the areas of interest. i. e. in the copper canister, bentonite and excavation disturbed zones.

The results of temperature modelling in the spent nuclear fuel emplacement tunnels show that when the canisters are separated by a 1.2 m distance and even in the case of the low moisture containing bentonite (conservative case), the canister surface temperature was 92 °C and did not exceed the permissible level of 100 °C.

The current modelling results were compared with the results obtained when the canister had been disposed of in clay formations. It can be concluded that lower temperatures are achieved in case the copper canister is disposed of in crystalline rocks, even keeping the 1.2 m distance among the canisters; this allows disposing of much more canisters in the emplacement tunnel of the same length in comparison with the case when a canister is disposed of in clay formations.

Key words: RBMK-1500 spent nuclear fuel, reference repository in crystalline rocks, numerical modeling, temperature variation

Арунас Сирвидас, Повилас Пошкас

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В КОНЦЕПТУАЛЬНОМ МОГИЛЬНИКЕ ДЛЯ ЗАХОРОНЕНИЯ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА РБМК-1500

2. ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В МОГИЛЬНИКЕ, ОБОРУДОВАННОМ В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАССИВАХ

Резюме

В настоящей статье представлены результаты моделирования изменения температуры в модельном могильнике для отработанного ядерного топлива РБМК-1500, захороненного в кристаллических массивах. Нестационарное моделирование было выполнено с использованием компьютерной программы FLUENT 6.1. Моделирование было выполнено для одинакового расстояния между контейнерами, но для разного содержания влаги (разной теплопроводности) бентонита. Для оценки изменения температуры была создана трехмерная модель могильника. Поскольку объект является симметрическим, то лишь 1/4 его часть была моделирована для того, чтобы ускорить компьютерные вычисления. Около 400 000

элементов составляли сетку задачи. Сетка была утонченной в зонах медного контейнера, бентонита и в зоне, нарушенной при землерое.

Результаты моделирования температуры в могильнике захоронения отработанного ядерного топлива показывают, что при расстоянии 1,2 м между контейнерами наивысшая температура на поверхности контейнера даже при маловлажном бентоните (консервативный случай) была 92 °С и не превышала допустимое значение – 100 °С.

Настоящие результаты моделирования были сравнены с результатами, полученными во время моделирования, когда стальной контейнер был захоронен в глинистых массивах. Можно делать вывод, что более низкие температуры достигаются в случае захоронения медного контейнера в кристаллических массивах (порode), даже при расстоянии 1,2 м между контейнерами, что позволяет размещать большее количество контейнеров в тоннеле захоронения такой же длины по сравнению со случаем захоронения стального контейнера в глинистых массивах.

Ключевые слова: отработанное ядерное топливо РБМК-1500, модельный могильник в кристаллических массивах, численное моделирование, изменение температуры