

Radionuklidø sklaida ið kristalinëse uolienose árengto geologinio kapinyno RBMK-1500 panaudotam branduoliniam kurui laidoti

1. Kapinyno koncepcija

Asta Brazauskaitë,

Povilas Poðkas

*Lietuvos energetikos institutas,
Branduolinës inþinerijos problemø
laboratorija, Breslaujos g. 3,
LT-44403 Kaunas*

Vyrauja nuomonë, kad panaudotà branduolinà kurà (PBK) ir kitas ilgaaþmës didelio aktyvumo atliekas (DAA) tikslinga laidoti geologinëse formacijose naudojant inþinerinius ir natūralius barjerus. Dël panaudotame branduoliniame kure esanëiø radionuklidø sklaidþiamos intensyvios jonizuojanëios spinduliuotës keliamo pavojaus þmonëms ir aplinkai ðio kuro negalima laidoti þemës pavirðiuje.

Atliekant radionuklidø sklaidos vertinimà ið kapinyno (vienà ið kapinyno saugos vertinimo sudëtiniø daliø), reikalingas ir paëios laidojimo sistemos apraðymas. Ðiame straipsnyje kaip tik ir pateikiamas siūlomos RBMK-1500 PBK laidojimo kristalinëse uolienose sistemos apraðymas – bendrinë kapinyno koncepcija. Kituose ðios serijos straipsniuose bus pateikti sklaidos vertinimui reikðmingø radionuklidø identifikavimo rezultatai, radionuklidø sklaidos ið kapinyno vertinimo rezultatai bei rezultatø patikimumo analizë. Geologinio kapinyno kristalinëse uolienose Lietuvoje RBMK-1500 PBK laidoti prototipu pasirinkta KBS-3 koncepcija, iðvystyta PWR ir BWR panaudoto branduolinio kuro laidojimui Ðvedijoje. Pagal bendrinæ kapinyno Lietuvoje koncepcijà PBK numatoma laidoti 300–500 m gylyje lygiagreëiai iðdëstytuose horizontaliuose tuneliuose, kuriø skersmuo 1,85 m, ilgis 250 m. Remiantis ðiluminiais skaiëiavimais esant 1,2 m atstumui tarp konteineriø ir 40 m atstumui tarp tuneliø, kapinynas uþimtø apie 0,4 km² plotà. Preliminarūs siūlomo varinio RBMK-1500 PBK laidojimo konteinerio matmenys yra: skersmuo 1050 mm, aukðtis 4070 mm, jame telpa 32 RBMK-1500 PBK pluoðtai (rinklës segmentai). Ignalinos atominës elektrinës PBK laidojimo reikmëms reikëtø apie 1400 laidojimo konteineriø. Konteinerio izoliacijai siūlomas 0,35 m storio bentonito sluoksnis, pagrindiniø tuneliø, ðachtø ir rampø uþsandaritimui siūlomas smulkintos uolienos ir bentonito miðinys.

Raktaþodþiai: laidojimas kristalinëse uolienose, RBMK-1500 panaudotas branduolinis kuras, bendrinë kapinyno koncepcija, varinis konteineris, konteineriø ir tuneliø iðdëstymas

1. ÁVADAS

Europos Sàjungoje apie 35% elektros energijos pagaminama atominëse elektrinëse, taëiau jos gamybos metu susidaro tik 0,05% viso energetikos pramonëje susidaranëiø atliekø kiekio. Kaip ir kitos atliekos, radioaktyviosios atliekos turi bûti tvarkomos atsakingai. Tik labai nedaug, palyginus su visu pramonës atliekø kiekiu, radioaktyviø atliekø yra ypaë pavojingos ir reikalauja specialios prieþiūros saugiam jø sutvarkymui uþtikrinti. Nedaug radioaktyviø atliekø taip pat susidaro ir gydymo ástaigose – diagnozuojant ir gydant ávairias ligas, mokymo ástaigose – atliekant biologinius, cheminius ir inþinerinius tyrimus, bei daugelyje pramonës ðakø.

Kasdieniamë mûsø gyvenime naudojamos radioaktyviosios medþiagos yra gaunamos tiesiogiai ar netiesiogiai ið natūraliø radioaktyviø mineralø, iðgaunamø ið þemës plutoje esanëiø uolienø. Taigi gyvename natūraliai radioaktyvioje aplinkoje. Todël nuo atominës energetikos plëtros pradþios siūlomas radioaktyviø atliekø sutvarkymo būdas – grãþinti jas á þemës gilumà. Ir ðiuo metu radioaktyviø atliekø laidojimas gerai suprojektuotuose kapinynuose ávairiuose gyliuose nuo þemës pavirðiaus specialiai parinktose vietovëse ávardijamas kaip tinkamiausias radioaktyviø atliekø tvarkymo būdas [1].

Ðiuo metu ávairiose ðalyse, kaip potencialios formacijos kapinyno árengimui yra tyrinëjamos akmens druskos, granitai ir panaðios kristalinës uolienos,

molingos uolienos, vulkaninis tufas [1]. Ðiandien labiausiai iðtirtos uolienos, kurios tinkamos kapinynei árengti, yra kristalinës uolienos, pirmiausia granitai ir gneisai. Suomijos Vyriausybë ir vietiniai gyventojai neseniai pritarë siúlomai panaudoto branduolinio kuro laidojimo granite vietai (Olkiluoto) Baltijos jûros pakrantëje [2]. Ðvedijoje vykdant kapinyno vietos kristalinëse uolienose parinkimo programà toliau tyrinëjamos dvi vietovës [3]. Kitos ðalys, nagrinëjusios/nagrinëjanëios giluminio kapinyno árengimui kristalines uolienas, yra Prancûzija, Ðveicarija, Ispanija, Kanada ir kt. [1, 4]. Apibendrinta informacija apie ávairiose ðalyse pasirinktas geologines formacijas kapinynamis árengti pateikta 1 lentelëje. Ðvedija yra ðalis lyderë plëtojant PBK laidojimo kristalinëse uolienose koncepcijà, todël ja seka ir kitos ðalys, tarp jø ir Suomija, priëmusi Ðvedijoje iðvystytà PBK laidojimo koncepcijà KBS-3. Lietuvai, kuri ðiuo metu skiria labai ribotus iðteklius tyrimams PBK laidojimo srityje, taip pat tikslinga pasinaudoti Ðvedijoje atliktø tyrimø rezultatais.

Radioaktyviøjø atliekø tvarkymo strategijoje (patvirtintoje Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2002 m. vasario 6 d. nutarimu Nr. 174) numatoma analizuoti galimybes Lietuvoje árengti giluminà radioaktyviøjø atliekø kapinyrà, neatmetant ir kitø

1 lentelë. Ávairiose ðalyse tyrinëjamos geologinës formacijos kapinynei árengti

| Geologinës formacijos | Molis | Kristalinës uolienos | Druskos | Vulkaninis tufas |
|------------------------|-------|----------------------|---------|------------------|
| ðalys | | | | |
| Belgija (DAA)* | + | - | - | - |
| Kanada (PBK) | - | + | - | - |
| Suomija (PBK) | - | + | - | - |
| Prancûzija (DAA) | + | + | - | - |
| Vokietija** (PBK, DAA) | - | - | + | - |
| Ispanija (PBK, DAA) | + | + | - | - |
| Ðvedija (PBK) | - | + | - | - |
| Japonija (DAA) | + | + | - | - |
| Ðveicarija (PBK, DAA) | + | + | - | - |
| JAV (PBK) | - | - | - | + |

* DAA – didelio aktyvumo atliekos, susidaranëios PBK perdirbimo metu. Lietuvoje didelio aktyvumo atliekø nėra, nes Lietuvos Respublikos ástatymai draudþia Lietuvos Respublikos teritorijoje perdirbti panaudotà branduolinà kurà.

** Pastaruoju metu pradëti tyrimai kitose geologinëse formacijose.

alternatyvø: árengti regioninà kapinyrà kelio valstybiø pastangomis; palaidoti panaudotà branduolinà kurà (PBK) kitose valstybëse.

Kaip paþymëta darbe [5], Lietuvoje yra kelios perspektyvios geologinës aplinkos: kristalinio pamato uolienos, molio ir anhidrito bei akmens druskos (Permo evaporitai) klodai. Pastaraisiais metais atlikti moksliniai tyrimai rodo, kad bene tinkamiausios yra molio ir kristalinio pamato uolienos. Kristalinio pamato uolienos Lietuvoje slûgso 200–2300 m gylyje nuo þemës pavirðiaus. Kaip perspektyvios kapinynei árengti buvo ávardytos kristalinio pamato uolienos, slûgsanëios pietinëje Lietuvos dalyje 210–700 m gylyje, tuo tarpu didþiojoje Lietuvos dalyje pamato slûgsojimo gylis yra didesnis kaip 700 m, o vakarinëje dalyje siekia 2300 m [5].

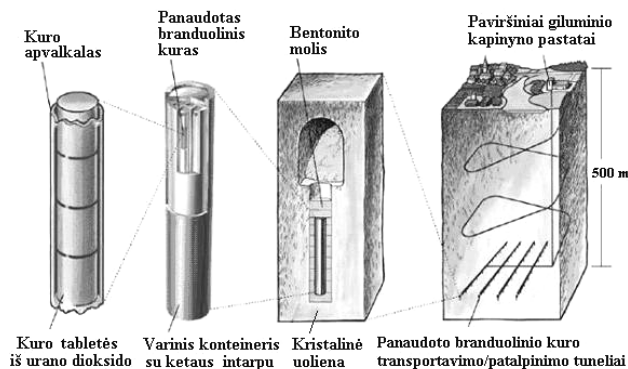
Vertinant radioaktyviøjø atliekø kapinyno saugà pirmiausia suformuluojamas saugos ávertinimo uþdavinytis ir apraðoma laidojimo sistema. Paskui sudaromi ir pagrindþiami jos evoliucijos bei radionuklidø sklaidos scenarijai. Vëliau sudaromi juos atitinkantys koncepciniai modeliai, kurie iðreiðkiami matematiniais ir kompiuteriniais modeliais. Galiausiai atliekami skaiëiavimai, gautø rezultatø analizë bei priimtino pagrindimas [6]. Taigi radionuklidø sklaidos ið kapinyno vertinimas yra sudëtinë kapinyno saugos vertinimo dalis. Kad bûtø galima ávertinti radionuklidø sklaidà, reikia laidojimo sistemos apraðymo. Ðiame straipsnyje ir pateikiamas siúlomos RBMK-1500 PBK laidojimo kristalinëse uolienose sistemos apraðymas – bendrinë kapinyno koncepcija. Kituose ðios serijos straipsniuose bus pateikti sklaidos vertinimui reikðmingø radionuklidø identifikavimo rezultatai, radionuklidø sklaidos ið kapinyno vertinimo rezultatai bei rezultatø patikimumo analizë.

2. ESAMOS INFORMACIJOS APIE PBK LAIDOJIMO KONCEPCIJAS KRISTALINËSE UOLIENOSE APÐVALGA

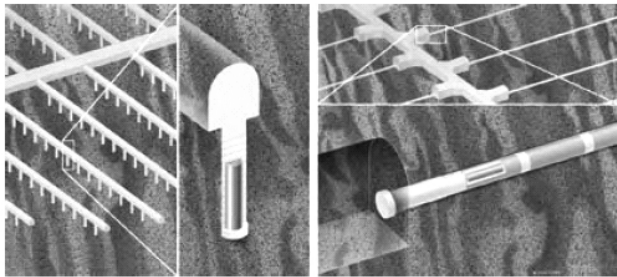
Panaudoto branduolinio kuro laidojimas giluminiuose kapinynuose yra grindþiamas stabilios geologinës aplinkos panaudojimu. Pagrindinis laidojimo geologiniuose sluoksniuose principas – radioaktyviosios atliekos apgaubiamos keletu, vienas kità sustiprinanëiø ir papildanëiø, pasyviø barjerø (daugiabarjerinës sistemos koncepcija). Laidojimo sistema turi uþtikrinti, jog þmonija bei aplinka yra apsaugotos nuo pavojingo atliekø skleidþiamos spinduliuotës poveikio. Tokiuose kapinynuose patalpintos atliekos nepasiekiamos gyventojams, nes yra toli nuo þemës pavirðiaus aplinkos. Toks kapinynas garantuoja atliekø apsaugà nuo tyëinio ir netyëinio þmogaus ásibrovimo, taip pat ir þemës pavirðiuje vykstanëiø reiðkinio, galinëiø sàlygoti radionuklidø sklaidà ið kapinyno ir gyventojø apðvità.

Panaudotam branduoliniam kurui laidoti Ðvedijoje buvo pasirinkta KBS-3 koncepcija. Remiantis ja PBK

bus talpinamas variniame laidojimo konteineryje su ketaus intarpu. Konteineris su ja supanėiu 0,35 m storio bentonito^a sluoksniu talpinamas 500 m gylje kristalinėse uolienose [7]. Šis metodas yra žinomas kaip KBS-3V (1 pav.). Pastaruoju metu nagrinėjamos dvi giluminio geologinio kapinyno alternatyvos (KBS-3V ir KBS-3H): konteinerą patalpinant vertikaliai ir horizontaliai (2 pav.) [3]. KBS-3H privalumas, palyginus su pagrindiniu patalpinimo būdu (KBS-3V), yra tai, kad nereikalingi gabenimo/patalpinimo tuneliai. Tokiu būdu iškaskamos uolienos apimtys sumažėja iki 50%. Tai lemia mažesnę poveiką aplinkai statybos metu, mažesnes kapinyno įrengimo išlaidas bei mažesnius ventiliacijos ir drenavimo poreikius statybos ir vėliau eksploatavimo metu [8]. KBS-3H alternatyva yra vystoma šiuo metu bendradarbiaujant kompanijoms SKB (Švedija) ir POSIVA (Suomija).



1 pav. KBS-3V koncepcija panaudotam branduoliniam kurui laidoti Švedijoje [7]



2 pav. KBS-3 koncepcija, vertikalus (KBS-3V) ir horizontalus patalpinimas (KBS-3H) (Švedija) [3]

Iš 2 lentelėje pateiktø duomenø matyti, kad PBK laidojimui kristalinėse uolienose kitø žaliø kapinyno koncepcijose pirmenybė teikiama variniams konteineriams. Kadangi kristalinėse uolienose tekančio vandens yra daugiau nei molingose formacijose, ypač jei uolienoje yra plyšiø, reikia atsparesnio konteinerio, kad būtų tenkinami kapinyno

^a Bentonitas – speciali molio rūšis, kurios sudėtyje daugiausia yra montmorilonitinio molio ir panašiø smektitø grupės mineralø. Bentonitas yra plačiai naudojamas kaip kapinyno inžineriniø barjerø medžiaga.

2 lentelė. Apibendrinti duomenys apie žvaariose žalyse numatomus PBK laidojimo kristalinėse uolienose konteinerius

| PBK laidojimo konteinerio charakteristikos | Švedija | Suomija | Kanada | Ispanija |
|--|---------|-----------------|--|------------------|
| Išorinės konteinerio dalies medžiaga | Varis | Varis | Varis | Anglinis plienas |
| Intarpo medžiaga | Ketus | Ketus | Anglinio plieno intarpas ir anglinio plieno kuro krepšys | –* |
| Konteinerio aukštis m | 4,835 | 3,55**, 4,75*** | 3,897 | –* |
| Išorinis skersmuo m | 1,05 | 1,052 | 1,168 | 0,9 |
| Išorinės dalies storis m | 0,05 | 0,05 | 0,025 | 0,1 |

* Nėra duomenø.

** Suslėgto vandens reaktoriaus (PWR) panaudotam branduoliniam kurui.

*** Verdančio vandens reaktoriaus (BWR) panaudotam branduoliniam kurui.

saugos reikalavimai. Esant redukciniams vandens sąlygoms, kurios paprastai vyrauja giliai kristalinėse uolienose, varis pasižymi dideliu atsparumu korozijai.

Kaip matyti 3 lentelėje, kaip PBK konteinerą supančio buferio medžiaga numatoma naudoti bentonitą ne tik Ŗvedijos, bet ir kitø žaliø kapinyno koncepcijose (Suomijoje, Kanada, Ispanija). Kaip uždildo medžiaga dažniausiai numatomas bentonito ir kristalinės uolienos mišinys. Tokia dažna bentonito pasirinkimà lemia jo sorbcinės, mechaninės savybės, plastiškumas bei savybės, dėl kuriø jis gali funkcionuoti kaip radionuklidø sklaidà mažinantis barjeras, koloidiniø daleliø bei mikrobø filtras.

Remiantis 4 lentelėje pateiktais duomenimis apie žvaariose žalyse numatomø kapinyno planà matyti, kad numatomas tiek horizontalus, tiek vertikalus laidojimo konteinerio patalpinimo būdas. Atstumai tarp patalpinimo tuneliø bei tarp konteineriø priklauso nuo konteineriø skleidžiamos žilumos kiekio, inžineriniø barjerø ir geologinės formacijos žiluminio bei hidrogeologinio savybiø. Kaip matyti 4 lentelėje, Suomija nagrinėja keletà variantø: vertikalø ir horizontalø konteineriø patalpinimo būdus, esant skirtingiems atstumams (25 m ir 40 m) tarp gabenimo/patalpinimo tuneliø (KBS-3V atveju) arba tarp patalpinimo tuneliø (KBS-3H atveju). Atstumas gi tarp konteineriø priklauso ir

3 lentelė. Apibendrinti duomenys apie buferiams ir uždeldui naudojamą medžiagą

| Inžinerinio barjero charakteristikos | Švedija | | Suomija | | Kanada | Ispanija |
|--------------------------------------|--|--|--|--|-----------------------|-----------------------|
| | KBS-3V, KBS-3H | | KBS-3V, KBS-3H | | | |
| Buferio medžiaga | Bentonito blokai | | Bentonito blokai | | Suspaustas bentonitas | Suspaustas bentonitas |
| Buferio storis m | 0,35 | | 0,35 (KBS-3V), –* (KBS-3H) | | –* | 0,75 |
| Uždeldo medžiaga | Bentonito ir smulkintos uolienos mišinys | | Bentonito ir smulkintos uolienos mišinys | | –* | –* |

* Nėra duomenų.

4 lentelė. Apibendrinta informacija apie kapinyno išplanavimą

| Kapinyno išplanavimas | Švedija | | Suomija | | Kanada | Ispanija |
|---|-----------------|-----------------|---|--------------------------------|------------------------------|-----------------|
| | KBS-3V [9] | KBS-3H [8] | KBS-3V [10] | KBS-3H [11] | | |
| PBK laidojimo konteinerio patalpinimo būdas | Vertikalus | Horizontalus | Vertikalus | Horizontalus | Vertikalus, horizontalus | Horizontalus |
| Gabenimo/patalpinimo tunelio ilgis m | 250 | | –* | | –* | apie 500 m |
| Patalpinimo ertmės ilgis m | 7,83 | | 6,3**, 7,5*** | | –* | |
| Patalpinimo ertmės skersmuo m | 1,75 | | 1,75 | | Aukštis 4,2 m, plotis 7,14 m | 2,4 |
| Atstumas tarp PBK gabenimo/patalpinimo tunelių m | 40 | | 25 | 40 | –* | –* |
| Atstumas tarp vertikalio laidojimo konteinerio (atstumas tarp centrų) m | 6,3 | | 8,6**, 6,7**, 11*** 8,3*** | | –* | –* |
| Patalpinimo tunelio ilgis m | | Iki 300 | | Iki 300 | –* | –* |
| Patalpinimo tunelio skersmuo m | | 1,85 | | 1,85 | | |
| Atstumas tarp patalpinimo tunelių m | | 40 | | 25 40 | –* | –* |
| Atstumas tarp horizontaliai patalpintų konteinerių m | | 2,4 m | | 5,5**, 3,4** 6,2***, 3,9*** | –* | –* |
| Priėjimo keliai | Rampa ir šachta | Rampa ir šachta | Rampa ONKALO laboratorijai. Kapinyno atveju dar nenuspręsta | | Šachta | Rampa ir šachta |

* Nėra duomenų.

** Suslėgto vandens reaktoriaus (PWR) panaudoto branduolinio kuro atveju.

*** Verdančio vandens reaktoriaus (BWR) panaudoto branduolinio kuro atveju.

nuo to, koks PBK yra analizuojamas (PWR ar BWR reaktoriø).

3. BENDRINĖ PBK KAPINYNŲ KRISTALINĖSE UOLIENOSE LIETUVOJE KONCEPCIJA

Prognuzuojama, kad iki 2010 m. Ignalinos atominėje elektrinėje (AE) bus sukaupta apie 22 tūkst. panaudoto branduolinio kuro rinklių. Apie 50 metų PBK bus saugomas tarpinėje PBK saugykloje Ignalinos AE teritorijoje [12]. Dėl jame esančių ilgaamžių radionuklidų keliamo pavojaus įmonėms ir aplinkai šio kuro bei kitų ilgaamžių radioaktyviųjų atliekų, gaunamų iš mokslo, medicinos štaigų ar pramonės ūkio, negalima laidoti į žemės paviršių. Kaip jau minėta, vyrauja nuomonė, kad tokias didelio aktyvumo ilgaamžes atliekas geriausia laidoti geologinėse formacijose [1].

Pagrindiniai inžineriniai geologinio kapinyno barjerai yra: atliekų būklė (PBK tabletė), ją supanti atliekų pakuotė (konteineris), buferio ar užpildo medžiaga, užpildanti erdvę tarp konteinerio ir uolienos. Kapinyną supančios uolienos bei paviršinis žemės sluoksnis yra natūralūs barjerai. Inžineriniai ir natūralūs barjerai veidami kartu izoliuoja atliekas ir užtikrina kapinyno saugą, nes:

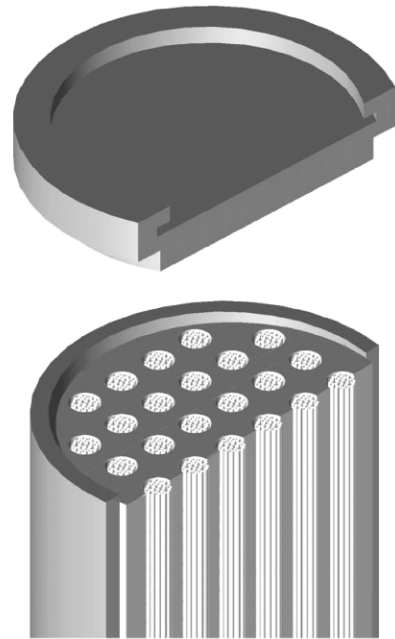
- Konteineris izoliuoja atliekas ir apsaugo nuo kontakto su požeminiu vandeniu nuo kelių dešimčių ar dešimtų tūkstančių metų (priklausomai nuo pasirinktos koncepcijos).
- Buferio medžiaga saugo laidojimo konteinerį nuo sąveikos su požeminiu vandeniu, neleisdama vandeniui kontaktuoti su konteineriu, bei saugo konteinerį nuo mechaninio suardymo absorbuodama uolienos poslinkius. Jei buferio medžiaga yra labai nepralaidi (pavyzdžiui, molis), joje sulaikomi iš laidojimo konteinerio dėl kokių nors priežasčių pasklidę radionuklidai.
- Kapinyną supančios uolienos ir kitos geologinės formacijos užtikrina stabilias mechanines, chemines ir vandens tekėjimo sąlygas aplink inžinerinius barjerus ilgą laiką, nes natūralūs pokyčiai jose vyksta labai lėtai.
- Bet kuri radionuklidų sklaida yra sulėtinama, susilpninama ar net visiškai sustabdoma, radionuklidai išskaidomi kapinyno aplinkoje ir virš jo esančiose uolienose, vandenyse, dirvožemyje, todėl nekelia pavojaus aplinkai.

3.1. PBK laidojimo konteineriai

Konteineris yra vienas svarbiausių daugiabarjerinės sistemos komponentų. Yra galimi du koncepciniai požiūriai: konteineris iš korozijai neatsparios ir atsparios medžiagos. Pirmuoju atveju konteineris gaminamas iš lengvai rūdijančio metalo (pvz., mažaanglio plieno ar ketaus), kai pasirenkamas pakankamas jo storis, konteineris nesuyra keletą tūkstančių metų, kol atliekose suskyla radionuklidai

su trumpesne pusėjimo trukme. Antruoju atveju konteineris gaminamas iš korozijai atsparios medžiagos (pvz., vario ar titano lydinio). Tokios medžiagos skirtos neleisti vandeniui patekti į konteinerio vidų įymiai ilgesnį laiką (iki 100 000 metų), galbūt net iki to, kol dauguma silpnai sorbuojamų radionuklidų suskils ir atliekų keliamas pavojus sumažės iki gamtinės urano rūdos lygio [1].

Diame tyrimo etape išsami PBK laidojimo konteinerio medžiagos parinkimo analizė nebuvo atlikta, todėl remiantis pateiktomis duomenimis (žr. 2 lentelę) buvo priimta, kad PBK laidojimui kristalinėse uolienose Lietuvoje bus naudojamas varinis PBK laidojimo konteineris. Siūlomas PBK laidojimo konteineris kaip ir Švedijoje ar Suomijoje sudarytas iš dviejų komponentų: išorinės korozijai atsparios varinės dalies ir ketaus intarpo, kuriame yra kuro pluoštams skirti kanalai ir kuris yra skirtas laidojimo konteinerio mechaniniam atsparumui padidinti. Atlikus kritiškumo, dozės ant konteinerio paviršiaus, šilumos mainų vertinimus, taip pat atsivėlgus ir esant patirtai apie konteinerių perkėlimo ir patalpinimo technologijas, buvo priimta [13], kad tikslinga į laidojimo konteinerį talpinti 32 RBMK-1500 PBK pluoštus. Varinė 50 mm storio konteinerio dalis turėtų būti pagaminta iš bedeguonio vario su fosforo priemaišomis mechaniniam atsparumui padidinti. Numatomas konteinerio intarpas iš ketaus, su ne mažesniu nei 50 mm sienelės storiumi. Remiantis preliminariais vertinimais, preliminarus laidojimo konteinerio skersmuo būtų 1050 mm, aukštis 4070 mm [13]. Ignalinos atominės elektrinės PBK laidojimo reikmėms reikėtų apie 1400 laidojimo konteinerių. 3 paveiksle parodyta varinio laidojimo konteinerio, skirto RBMK-1500 PBK laidoti, schema.



3 pav. Varinis konteineris RBMK-1500 panaudotam branduoliniam kurui laidoti kristalinėse uolienose

3.2. Buferio ir uþpildo medþiagos, statybinës medþiagos

Kaip matyti 3 lentelëje, buferio medþiaga PBK laidojimo kristalinëse uolienose koncepcijose numatoma naudoti stipriai suslëgtà bentonità. Ði medþiaga turi būti rūpestingai pagaminta, kadangi ji turi būti homogeniðka bei pasiþymëti prognozuojamomis savybëmis, kad tinkamai atliktø savo funkcijas. Bentonitas taip pat gali būti naudojamas kaip izoliacinis sluoksnis svarbiose kapinyno zonose. Ðiame tyrimø etape iðsami buferio ir uþpildo parinkimo analizë nebuvo atliekama, todël remiantis 3 lentelëje pateiktais apibendrintais duomenimis Lietuvos PBK kapinyne kristalinëse uolienose buferio medþiaga pasirinktas bentonitas, o uþpildo medþiaga – bentonito ir smulkintos uolienos miðinys (15% bentonito / 85% smulkintos uolienos). Tose PBK patalpinimo tunelio dalyse, kuriose nebus talpinami laidojimo konteineriai, pavyzdþiui, dël nepalankiø uolienos savybiø (sàlygø), patalpinimo tunelis uþsandinamas suspaustu bentonitu. Ties PBK patalpinimo tuneliø susijungimu su pagrindiniais tuneliais patalpinimo tuneliai uþsandinami betonu. Uþpildu uþpildyti pagrindiniai tuneliai ir priëjimo ðachtos uþsandinami betono ar stipriai suspausto bentonito bloku.

Sunku ásvaizduoti, jog geologinis kapinynas bus pastatytas nenaudojant betono ir kitø statybinio medþiagø. Be to, statant po þeme, reikia uþtikrinti saugias darbo sàlygas ilgà laikotarpà. Inþinerines medþiagas daugiausia sudaro cemento skiedinys, torkretinis betonas, betoniniai kaiðëiai, uolienø sutvirtinimai ir plieninës struktûros. Papymëtina, kad bet kurios kapinyne ar netoli jo naudojamø cementiniø medþiagø pH turëtø būti kiek þemesnis (apie $\text{pH} \leq 11$) nei áprastø cementiniø medþiagø ($\text{pH} = 12\text{--}13$), kad nepablogëtø bentonito sorbcinës, mechaninës savybës, plastiðkumas, kad nebûtø paveikta jo kaip difuzinio barjero funkcija dël bentonità sudaranëiø mineralø tirpimo, joniniø mainø, cementavimosi/skilinëjimo. Taëiau pH reikðmë neturëtø būti per daug sumaþinta, kad nebûtø sukeliama pernelyg sparti plieniniø medþiagø korozija [14].

3.3. Kapinyno planas

Detalus kapinyno planas labai priklauso nuo atliekø tipo bei geologinës aplinkos, taëiau yra tam tikri bendri konstrukcijos principai. Ið 4 lentelëje pateiktø duomenø matyti, kad kitø ðaliø kapinyno koncepcijose numatomas tiek horizontalus, tiek vertikalus laidojimo konteinerio patalpinimo būdas. Dël jau minëtø horizontalaus PBK patalpinimo būdo pranaðumø horizontalus laidojimo konteineriø patalpinimas siûlomas kaip pagrindinis talpinimo būdas Lietuvos kapinyne. Kadangi KBS-3H patalpinimo alternatyva Ðvedijoje bei Suomijoje dar vystoma, todël Lietuvoje vertikalus laidojimo konteineriø patalpinimas

numatomas kaip alternatyva pagrindiniam patalpinimo būdai, jei KBS-3H pasirodytø negalimas ar nesaugus.

Lietuvoje dar nėra galutinai nuspræsta, ar ilgaamþës vidutinio aktyvumo atliekos (IVAA) bus laidojamos tame paëiame kapinyne kaip ir PBK, ar bus laidojamos atskirai. Pirmuoju atveju IVAA galëtø būti laidojamos 16 m × 16 m uolienø ertmëse, apie 1 km atstumu nuo PBK patalpinimo tuneliø, kad bûtø iðvengta IVAA konteineriø betonui naudoto cemento átakos pro PBK patalpinimo srità tekanëiam poþeminiam vandeniui. Patalpinus IVAA tuneliai bûtø uþsandinami cemento skiediniu arba þvyru.

Pagrindinës kapinyno dalys (4 pav.) yra:

- Priëjimo ðachta, pagrindiniai tuneliai;
- PBK patalpinimo tuneliø masyvas;
- IVAA patalpinimo tuneliai.

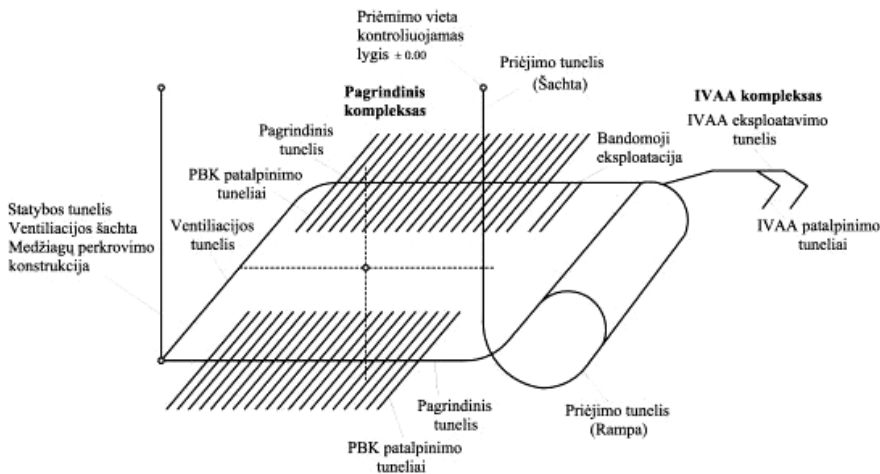
Ið pradþiø kapinyne bus talpinama apie 5–10% viso kapinyne numatomo palaidoti PBK. Po pradinio eksploatacijos periodo bûtø atliekamas iðsamus kapinyno saugos ávertinimas. Jei pradinës eksploatacijos ávertinimas parodys, kad toks laidojimo metodas turi trûkumø arba galimi geresni metodai, laidojimo konteineriai bûtø iðimti. Jei kapinyno ávertinimas bus teigiamas, kapinyne bus patalpinti visi laidojimo konteineriai.

PBK patalpinimo tuneliai. PBK patalpinimo tuneliai, pagrindiniai ir gabenimo tuneliai bûtø iðkasami 300–500 m gylyje kristaliniame pamate. Laidojimo konteineriai patalpinami vienas po kito 1,2 m^{*} atstumu horizontaliai iðkastuose PBK patalpinimo tuneliuose, kuriø ilgis rekomenduojamas iki 300 m. Ðiame etape priimtas PBK patalpinimo tuneliø ilgis yra 250 m. Numatoma, kad PBK patalpinimo tuneliai bus 1,85 m skersmens, kaip ir Ðvedijoje. Atstumas tarp patalpinimo tuneliø centrø bûtø apie 40 m. PBK patalpinimo tunelius numatoma árengti naudojant tuneliø grãþimo maðinà (*angl.* tunnel boring machine) arba naudojant horizontalaus grãþimo stumiant (*angl.* horizontal push-reaming) technikà [8]. Priëjimo ðachtø ilgis priklauso nuo kapinyno plano ir parinktos kapinyno vietos. Ávertinus atstumà tarp PBK patalpinimo tuneliø ir PBK laidojimo konteineriø bei numatomà PBK laidojimo konteineriø kiekà, PBK patalpinimo plotas apimtø apie 0,4 km².

Norint árengti kapinyrà, reikia atlikti daug tyrimø ir bandymø. Todël reikalinga poþeminë laboratorija. Priklausomai nuo ágyvendinimo strategijos bandymø kompleksas gali būti árengtas kapinyno teritorijoje arba tyrimai ir bandymai gali būti atlikti ne kapinyno teritorijoje esanëioje poþeminëje laboratorijoje. Ðiame etape bandymø komplekso vieta nėra fiksuojama ir gali būti nustatyta vëlesniø tyrimø metu.

Remiantis Ðvedijos patirtimi, horizontaliam laidojimo konteineriø patalpinimui Lietuvoje pasirinkta technologija naudojant vandens pagalves

* Atstumas tarp PBK laidojimo konteineriø priimtas remiantis atliktais ðilumos mainø skaiëiavimais [5].



4 pav. RBMK-1500 PBK kapinyno kristalinėse uolienose schema

[8]. Naudojant šią techniką laidojimo konteineris bei jį supantis suspaustas bentonitas patalpinamas tunelyje tuo pačiu metu. Konteineriui ir buferiui išlaikyti kartu naudojamas skylėtas plieno lakštas. Tokia patalpinimo koncepcija yra žinoma super konteinerio pavadinimu.

Pagalbiniai Lietuvos kapinyno pastatai. Kad visos atvežamos į kapyną atliekos būtų patalpintos jame saugiai, turi būti atlikta nemažai operacijų: nuo atliekų priėmimo bei talpinimo laidojimo konteineriuose iki konteinerių patalpinimo galutinio laidojimo vietoje bei ušsandinimo. Visuose požeminiuose įrenginiuose reikalingos ventilacijos, maitinimo, saugojimo ir avarinės sistemos. Taip pat reikalinga PBK talpinimo ir laidojimo konteinerių gamykla (*angl.* encapsulation plant), uždarda medžiagų paruošimo gamykla, monitoringo ir transporto priemonių dezaktyvacijos zonos, taip pat visos administracijos bei parkavimo zonos, susijusios su moderniomis pramoninėmis operacijomis. Šie šlaitai bus pastatyti įrengiant kapyną. Baigus statybos darbus kai kurie pastatai bus išmontuoti arba sumušinti, o kiti pastatai bus palikti.

3.4. Išėmimas

Galimybė išimti PBK yra svarbi etiniu požiūriu: tokiu būdu ateities kartoms suteikiama galimybė įvertinti laidojimo giluminiame kapinyne riziką bei racionalumą. PBK išėmimo iš kapinyno sudėtingumas priklauso nuo to, kiek laiko yra praėję nuo jo patalpinimo kapinyne. Kuo daugiau laiko praėję, tuo daugiau reikės dėti darbo ir pastangų. Jei būtų nuspręsta PBK laidojimo konteinerius išimti iškart po jų patalpinimo, galima panaudoti patalpinimo techniką. Jei išėmimas vyktų praėjus keleriems metams po patalpinimo ir esant didžiausiam bentonito plėtimosi slėgiui, tektų atlikti daugiau darbų, nes pašalinant bentonitą dėl deformacijų gali atsirasti uolienos nuolaužos. Be to, kad būtų galima konteinerį patalpinti (perkelti) ant gabenimo įrenginio, jį būtina išlaisvinti nuo supančio bentonito molio sluoksnio.

Tyrinėjami šlaitai bentonito buferio pašalinimo metodai, tokie kaip mechaninis, hidrodinaminis, šiluminis, elektrinis šalinimo metodai [15]. Ūvedijoje atlikti tyrimai parodė, kad geriausiai tam tinka hidrodinaminis metodas, tačiau reikia jį toliau tyrinėti. Taikant hidrodinaminį metodą bentonito paviršius apipurškiamas vandeniu, kurio sudėtyje yra keli procentai druskų. Tokiu būdu suskystintas bentonitas pašalinamas (išsiurbiamas), kol atidengiamas visas konteineris.

Kaip minima [16],

konteinerio patalpinimo eismės atidengimas yra testuojamas naudojant realaus dydžio konteinerą požeminiėje Ąspė laboratorijoje (Ūvedija). Ten neseniai atlikti tyrimai šalinant vandens neprisotinusią bentonitą. Pastarąjį tyrimą tikslas buvo išsiaiškinti, ar galima konteinerą atidengti skystinant bentonitą druskos tirpalu ir jį nuolat išsiurbiant. Atliktų testų rezultatai buvo teigiami, ir šis metodas yra toliau plėtojamas Ūvedijoje.

4. ĮVADAS

Šiame darbe pateikta siūloma geologinio kapinyno kristalinėse uolienose RBMK-1500 PBK laidoti bendrinė koncepcija, kurios prototipu buvo pasirinkta KBS-3 koncepcija, išvystyta PBK laidojimui Ūvedijoje.

1. RBMK-1500 panaudotą branduolinį kurą siūloma laidoti 300–500 m gylyje konteinerius išdėstant horizontaliai. Šiuo atveju kapinynas ušimtų apie 0,4 km² plotą.

2. Laidojimui tikslinga naudoti varinius konteinerius su ketaus intarpu, kuriame būtų patalpinti 32 RBMK-1500 PBK pluoštai. Ignalinos atominės elektrinės PBK laidoti reiktų apie 1400 tokių laidojimo konteinerių.

3. Sritis tarp konteinerio ir uolienos ušpildymui tikslinga naudoti bentonitą, kurio storis turėtų būti 0,35 m. Pagrindinio tunelio, priėmimo šachtos bei rampos ušsandinimui siūlomas smulkintas uolienos ir bentonito mišinys.

4. Pasiūlyta bendrinė kapinyno koncepcija turėtų būti nuolat tikslinama ir optimizuojama atsijūvelgiant ir tarptautiną patirtį, taip pat ir konkreios kapinyno vietos fizikines, chemines, šilumines, mechanines ir kt. savybes.

Santrumpos

RBMK – didelės galios kanalinio tipo reaktorius; PBK – panaudotas branduolinis kuras; DAA – didelio

aktyvumo atliekos; IVAA – ilgaamžės vidutinio aktyvumo atliekos; KBS-3 – švedijos panaudoto branduolinio kuro laidojimo koncepcija; KBS-3V – švedijos panaudoto branduolinio kuro laidojimo koncepcija talpinant konteinerė vertikaliai; KBS-3H – švedijos panaudoto branduolinio kuro laidojimo koncepcija talpinant konteinerė horizontaliai; PWR – suslėgto vandens reaktorius; BWR – verdančio vandens reaktorius.

Gauta 2005 07 25

Literatūra

1. IAEA. Scientific and Technical Basis for the Geological Disposal of Radioactive Wastes. Technical Report Series No. 413. Vienna: IAEA, 2003. 80 p.
2. <http://www.posiva.fi/englanti>.
3. Thegerström C. et al. Siting a deep geological repository for spent nuclear fuel – A technical endeavour and a social challenge // Euradwaste' 04, Luxemburg, 29 March 2004.
4. McCombie C. Status of Geological Repositories for Used Nuclear Fuel// NWMO Background Papers, 2003, 105 p.
5. Investigations of possibilities to dispose of spent nuclear fuel in Lithuania: a model case. Volume 1: Suitability of Geological Environment in Lithuania for Disposal of Spent Nuclear Fuel, 2005. 66 p.
6. Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities. Review and enhancement of safety assessment approaches and tools// Results of a co-ordinated research project. Volume 1. Viena: IAEA, 2004. 413 p.
7. SR 97. Waste, repository design and sites// Technical Report TR-99-08, Stockholm: SKB, 1999. 90 p.
8. KBS-3H. Summary report of work done during Basic Design // Report R-04-42, Stockholm: SKB, 2004. 77 p.
9. Project JADE. Comparison of repository systems. Executive summary of results // Technical Report TR-01-17, Stockholm: SKB, 2001. 99 p.
10. Ikonen K. Thermal Analyses of Spent Nuclear Fuel Repository // Report 2003-06, Olkiluoto: Posiva Oy, 2003. 67 p.
11. Ikonen K. Thermal analyses of a KBS-3H type repository // Report 2003-11, Olkiluoto: Posiva Oy, 2003. 50 p.
12. Final Decommissioning Plan for Ignalina NPP Units 1&2 A1.1/FDP/0004 // Ignalina NPP DPMU. 2004.
13. Investigations of possibilities to dispose of spent nuclear fuel in Lithuania: a model case. Volume 2: Concept of Repository in Crystalline Rocks. 2005. 66 p.
14. Proceedings of International Workshop on Bentonite-Cement Interaction in Repository Environments // Posiva Working Report, 2004-25, 2004. 192 p.
15. Techniques for freeing deposited canisters//Technical Report TR-00-15, Stockholm: SKB, 2000. 59 p.
16. RD & D-Programme. Programme for research, development and demonstration of methods for the management and disposal of nuclear waste, including so-

cial science research // Technical Report TR-04-21, Stockholm: SKB, 2004. 412 p.

Asta Brazauskaitė, Povilas Požkas

RADIONUCLIDE MIGRATION FROM THE GEOLOGICAL REPOSITORY OF THE RBMK-1500 SPENT NUCLEAR FUEL IN CRYSTALLINE ROCKS 1. THE CONCEPT OF REPOSITORY

Summary

The international consensus has it that spent nuclear fuel (SNF) and long-lived high level radioactive wastes are best disposed of in geological repositories, using a system of engineered and natural barriers. Due to the danger of exposure arising from long-lived radionuclides to humans and the environment, SNF is not allowed to be disposed of in near-surface repositories.

Performing the assessment of radionuclide migration (an integrated part of repository safety assessment) a description of the disposal system is required. The generic repository concept for RBMK-1500 SNF disposal in crystalline rocks in Lithuania is presented in this paper. The proposed repository concept is based on the KBS-3 concept developed by SKB for the disposal of PWR and BWR spent nuclear fuel in Sweden. The generic repository concept for SNF disposal in crystalline rocks in Lithuania foresees the SNF disposal in the parallel horizontal emplacement tunnels with a diameter of 1.85 m and length of 250 m at a depth of 300–500 m. Based on thermal calculations, in case of the distance of 1.2 m between the canisters and the distance of 40 m between the tunnels, the repository would cover an area of appr. 0.4 km². The preliminary data on the copper canister for RBMK-1500 SNF are 1050 mm in diameter and 4070 mm in length, and it could hold 32 RBMK-1500 SNF half-assemblies. For the disposal of spent nuclear fuel from the Ignalina Nuclear Power Plant, 1400 canisters would be required. For the isolation of the canisters, bentonite with a thickness of 0.35 m is proposed. For the back-filling of the main tunnels, shafts and ramp, a mixture of crushed rock and bentonite is selected.

Key words: disposal in crystalline rocks, RBMK-1500 spent nuclear fuel, generic repository concept, copper canister, layout of canisters and tunnels

Анота́ция: А́бстра́кция: Радіоактивні відходи

І́ Е́А́Д́А́О́Е́Б́ Д́А́А́Е́Т́ І́ О́Е́Е́Е́А́Т́ А́
А́А́Т́ Е́Т́ А́Е́×А́Н́Е́Т́ А́Т́ І́ Т́ А́Е́Е́У́І́ Е́Е́А́ А́
Е́Д́Е́Н́О́А́Е́Е́Е́×А́Н́Е́Е́О́ І́ А́Н́Н́Е́А́А́О́ А́Е́Б́
ḈА́О́Т́ Д́Т́ І́ А́І́ Е́Б́ Т́ О́Д́А́А́Т́ О́А́А́ǾА́А́Т́ Б́А́А́Д́І́ Т́ А́Т́
О́Т́ І́ Е́Е́А́А́ Д́А́І́ Е́-1500
1. Е́Т́ І́ О́А́І́ О́Е́Б́ І́ Т́ А́Е́Е́У́І́ Е́Е́А́

Ճ ա շ ի ա

Նօւ աճօսօօ յ աթօսի աճի աի լւե՝ եի ի նաի ըօն, +օի
ի ծճաի ռաթօաա յաճի ի ա ռի ի եթաի (Ի ԽԾ) Ե՝ աճօթեա
աի եաի աթօսուեա՝ աւնի եի աթօթաի լա՝ ի ծօի աւ

ðaeaiñi adaci i çaiði i eou a aai ei ae-anee a i i aeui ee n eni i euçi aai eai neñoi u ei aai adi uo e i aooðaeui uo aaduadi a. Yoi nayçai i n i i an i nou p ai eai ae aou eoo ðae i i o e e e a i a e e p a y i e i e d o æ a p u a e p d a a a .

I de i oai ea i ead a o e e ð a a e i i o e e e a i a (yoi +a no u i o a i e e a a ç a ç i i a n i i n o e a a i e i a e + a n e i a i i i a e u i e e a) i a i a o i a e i i i ð a a e a a a n a a i i ð a a n o a a e o u i i e n a i e a n e n o a i u ç a i ð i i a i e y . I i y o i i o a i a d a i e n o a o u a i a n o i y u a e n a d e e n o a o a e i ð a a n o a a e a i u i i e n a i e a e i a i n i i a a i e a e i i o a i o e e a a i e i a e + a n e i a i i i a e u i e e a a e d e n o a e e e + a n e e o i a n n e a a o a e y ç a i ð i i a i e y i o d a a i o a a o a a i y a a d i i a i o i i e e a a (I B O) a Ð A I Ê - 1 5 0 0 a È e o a a . I ð a a e i a e i a y e i i o a i o e y i i a e u i e e a i n i i a a i a i a e i i o a i o e e K B S - 3 , ð a ç d a a i o a i i i e a O a a o e e a e y ç a i ð i i a i e y i o d a a i o a a o a a i y a a d i i a i o i i e e a a a P W R e B W R . È i i o a i o e y i i a e u i e e a a e y ç a i ð i i a i e y i o d a a i o a a o a a i y a a d i i a i o i i e e a a a

e d e n o a e e e + a n e e o i a n n e a a o a È e o a a i ð a a i i e a a a o ç a i ð i i a i e y I B O a i a d a e e a e u i u o a i ð e ç i i o a e u i u o o i i i a e y o a e e i i e 2 5 0 i e a e a i a o d i i 1 , 8 5 i i a a e o a e i a 3 0 0 - 5 0 0 i . I i ð a a a e a i i , + o i i d e ð a n n o i y i e e i a e a o e i i o a e i a d a i e 1 , 2 i , a i d e ð a n n o i y i e e i a e a o o i i i a e y i e n e i i o a e i a d a i e 4 0 i , i i a e u i e e ç a i y e a u i e i u a a u a a e e + e i i e i d e i a d i i 0 , 4 e i ² . I ð a a a a d e o a e u i u a ð a ç i a d u a e y i ð a a i i e i a e i i a i e i i o a e i a d a a e y I B O Ð A I Ê - 1 5 0 0 - a e a i a o d 1 0 5 0 i i , a e e i a 4 0 7 0 i i , a a i i i i a o a p o n y 3 2 i i e o n a i d e e n I B O Ð A I Ê - 1 5 0 0 . A e y ç a i ð i i a i e y a n a a i i o d a a i o a a o a a i y a a d i i a i o i i e e a a È a i a e e i n e i e a o i i i e y e a e o d i n o a i o e e i a i a o i a e i i 1 4 0 0 e i i o a e i a d i a . A e y e ç i e y o e e e i i o a e i a d i a i ð a a i i e a a a a o n y a a i o i i e o i a a y a e e i a o i e u e i i e 0 , 3 5 i . A e y ç a i i e i a i e y a e a a i u o o i i i a e a e , i a i a o n a e o a o o u a u a d a i a n i a n u u a a a i e e a a i o i i e o a .

È e p - a a u a n e i a a : ç a i ð i i a i e a a e d e n o a e e e + a n e e o i a n n e a a o , i o d a a i o a a o a a y a a d i i a o i i e e a i Ð A I Ê - 1 5 0 0 , e i i o a i o e y i i a e u i e e a , i a a i u e e i i o a e i a d , ð a n i i e i a e i e a e i i o a e i a d i a e o i i i a e a e