

THE TYPES OF NUCLEAR REACTORS BUILT IN EUROPE

EIROPĀ BŪVĒJAMO ENERĢĒTISKO KODOLREAKTORU TIPI

J. Ekmanis, V. Gavars, E. Tomsons, D.Turlajs

Atslēgas vārdi: kodolreaktori, kodolenerģētika, atomelektrostacijas, reaktoru drošība

Kopsavilkums. Fosilā kurināmā rezervju samazināšanās un būtisks nepārtraukts cenu pieaugums pēdējos gados, neskatoties uz Černobiļas AES avāriju, virza uz atomenerģētikas renesansi. AES ilgstoši nodrošina cilvēci ar enerģiju, izslēdzot tādas negatīvās globālās parādības kā siltumnīcas efekts, skābie lieti u.c. Sakarā ar plānoto Ignalīnas AES darbības izbeigšanu, Lietuvu sagaida liels elektroenerģijas deficīts. Šinī sakarībā pašreiz, 2009. g. nogalē, tiek gatavots līgums piegādēm no Ukrainas.

Vēl lielāks elektroenerģijas deficīts sagaidāms Latvijā, kura segšana tuvākā nākotnē būs problemātiska, bet tālākā nākotnē (pēc 15-20 gadiem) reālākā un faktiski vienīgā pareizā izeja ir AES celtniecība, tāpēc Eiropas un pasaules pieredzē un analizē pielastās kļūdas AES attīstībā lai izvēlētos pareizāko KR (kodolreaktoru) un AES tipu.

Uz 2009. gada augustu 18 ES valstīs darbojas 196 kodolreaktori ar kopējo jaudu 170753 MWe, t.i. 39% no pasaules AES kopjaudas, tie saražoja trešdaļu no nepieciešamās elektroenerģijas, t.i. 1156 TWh. Visvairāk KR – 59 darbojas Francijā, 31 – Krievijā, 19 – Liebritānijā, 17 – Vācijā. 2008. gadā Francijā AES saražoja 418,30 TWh, t.i. 76,18% no nepieciešamās elektroenerģijas.

ES 2009. gadā uzsākta vai turpinās 17 KR (t.i. trešdaļa no pasaules KR) būve. No tiem 15 ir korpusa tipa ūdens-ūdens spiediena reaktori (PWR). To būve PS sākās pagājušā gadsimta piecdesmito gadu beigās. Viena reaktora siltuma jauda bija 70 MWth. Pašreiz lielākais PWR reaktors ar bruto elektrisko jaudu 1720 MWe, netto 1600 MWe tiek būvēts Olkioto AES Somijā 350 km attālumā no Rīgas. Vēl tuvāk Rīgai (265 km attālumā) atrodas 2 Somijas AES (Lovisā). Staciju parametrus sk. zemāk.

Ievads

Eiropas elektroapgādē ievērojamu vietu ieņem kodolenerģētika. 2009.gada augustā ES 18 valstīs darbojās 196 enerģētiskie kodolreaktori (KR) ar 170 753 MW_e (neto) energobloku neto elektrisko kopjaudu. No pasaulē esošajiem tie sastādīja 39% [1]. Eiropā atrodas arī apturēti 84 mazas jaudas, nokalpojušie, neekonomiskie un novecojuši KR.

1.tabula
Table 1

Eiropas enerģētiskie kodolreaktori (2009. gada septembris)
European Power Nuclear Reactors (September 2009)

Valsts	Darbojās		Apturēti	
	skaits	MW _e	skaits	MW _e
1. Beļģija	7	5 728	1	10
2. Bulgārija	2	1 906	4	1 632
3. Čehija	6	3 686	-	-
4. Francija	59	63 473	11	3 928
5. Itālija	-	-	4	1 423
6. Krievija	31	21 743	5	786
7. L-britānija	19	11 035	26	3 324
8. Lietuva	1	1 185	1	1 185
9. Nīderlande	1	485	1	55
10. Rumānija	2	1 310	-	-
11. Slovākija	4	1 688	3	909
12. Slovēnija	1	696	-	-
13. Somija	4	2 696	-	-
14. Spānija	8	7 448	2	621
15. Šveice	5	3 237	-	-
16. Ukraina	15	13 168	4	3 515
17. Ungārija	4	1 826	-	-
18. Vācija	17	20 339	19	5 879
19. Zviedrija	10	9 104	3	1 225

KOPĀ	196	170 753	84	23 492
PASAULĒ	436	372 533	127	38 556

2008.gadā Eiropas valstu atomelektrostacijas (AES) saražoja 1 156 TWh elektroenerģijas, kas ir apmēram 30 % no Eiropas valstīs patērētās (sk. 2. tabulu). Tas

divkārt pārsniedz pasaules AES 2008 gadā saražotās elektroenerģijas daļu (15 %) no patērētās.

2.tabula
Table 2

Eiropas AES saražotā elektroenerģija 2005 – 2008 gados
Produced electricity of European NPP 2005 – 2008 y.

Valsts	2005.gads		2006.gads		2007.gads		2008.gads	
	TWh _e	%	TWh _e	%	TWh _e	%	TWh _e	%
1. Francija	431,17	78,46	429,82	78,07	420,13	76,85	418,30	76,18
2. Lietuva	9,54	70,26	7,94	69,74	9,07	64,36	9,14	72,89
3. Slovākija	16,34	56,06	16,60	57,16	14,16	54,30	15,45	56,42
4. Beļģija	45,34	55,63	44,31	54,43	45,85	54,03	43,36	53,76
5. Ukraina	83,40	48,48	84,91	47,53	87,22	48,09	84,30	47,40
6. Zviedrija	69,64	44,93	65,05	47,98	64,31	46,12	61,34	42,04
7. Slovēnija	5,61	42,36	5,29	40,26	5,43	41,57	5,97	41,71
8. Šveice	22,11	38,02	26,37	42,23	26,49	40,03	26,27	39,96
9. Ungārija	13,02	37,15	12,51	37,70	13,86	36,81	13,97	37,15
10. Bulgārija	17,38	44,10	18,15	43,64	13,69	32,10	14,74	32,92
11. Čehija	23,25	30,52	24,50	31,48	24,64	30,25	25,02	32,45
12. Somija	22,36	32,91	22,00	27,99	22,51	28,94	22,04	29,73
13. Vācija	154,61	31,08	158,71	31,42	133,21	25,86	140,89	28,29
14. Spānija	54,99	19,56	57,43	19,82	52,71	17,44	56,40	18,27
15. Krievija	137,64	15,78	144,65	15,91	147,99	15,97	152,06	16,86
16. L-britānija	75,34	19,86	69,39	18,11	57,52	15,12	52,49	13,45
17. Rumānija	5,11	8,58	5,18	9,00	7,08	13,02	10,33	17,54
18. Nīderlande	3,77	3,92	3,27	3,47	3,99	4,10	3,93	3,80
EIROPĀ	1 190,62		1 195,08		1 149,86		1156,00	
PASAULĒ	2 626,39	~ 15	1 660,83	~ 15	2 608,14	~ 15	2 601,00	~ 15

Francijas, Krievijas un Vācijas AES saražo 61,5 % no Eiropas AES saražotās elektroenerģijas.

Arvien vairāk kļūst skaidrs, ka kodolenerģija ir elektroenerģijas ražošanas veids, kas uz ilgu laiku nodrošinās cilvēci ar enerģiju izslēdzot negatīvās globālās parādības, kā siltumnīcas efektu, skābo lietu u.c. Eiropā 2009.gadā būvēja 17 enerģētiskos KR (sk. 3.tabulu). Pasaulē tanī pašā laikā būvēja 50 enerģētiskos KR kuru energobloku kopējā elektriskā neto jauda ir 45 438 MW_{e (neto)}.

Kodolreaktoru apskats

Bulgārijas AES

Bulgārijas **Kozladu AES** ir 6 enerģiskie KR, no kuriem 4 KR/ 1 632 MW_{e (neto)} ir apturēti, bet 2 KR/ 1 906 MW_{e (neto)} darbojas [2]. 2008.gadā AES valstī izstrādāja

14 742 GWh_e elektroenerģijas, kas ir 32,3 % no kopēji saražotās. Valstī būvē jaunu AES (Belenes AES) ar 2 enerģētiskiem KR.

Belenes AES celtniecība notiek Bulgārijas ziemeļu – rietumu daļā, Plevenas provincē 3 km no Belenas un 11 km no Svištovas tuvu Donavas upei. Jāatzīmē, ka AES celtniecības tehniskais projekts 1987.gadā bija pabeigts un uzsākta celtniecība. Sakarā ar celtniecībai nepieciešamo finansējuma nepietiekamību, 1990.gadā darbi bija pārtraukti. 2005.gadā Bulgārijas valdība apstiprina nepieciešamību būvēt Belenes AES ar 2 000 MW_e elektrisko kopjaudu. Katrs būvētais KR ir AES 92 tipa (V-466) ar siltuma jauda 3010 MW_s un ūdens zem spiediena dzesēšanu (15,7 MPa). KR ir Krievijā izstrādāts uzlabots VVER – 1000/V320 projekts. Pēc VVER – 1000/V320 tipa projekta ir uzbūvēti 25 KR, kuri darbojas Krievijā, Ukrainā un Čehijā. Uzbūvētie VVER-1000/V320 tipa KR kopā ir nostrādājuši vairāk nekā 400 reaktoru-gadus. **Belenes AES** celtniecībā bez

krievu un bulgāru speciālistiem piedalās arī franču – vācu firma AREVA NP. Aktīvās zonas ekvivalentais diametrs 3,16 m un augstums 3,56 m. KR izmantos 70 t urāna dioksīda (UO₂) kodoldegvielu ar 4,3 % bagātinātu ²³⁵U izotopu urāna sastāvā. KR dzesē ar ūdeni (24,7 m³/s), kura ieejas temperatūra 290 °C un izejas– 320 °C.

Katra energobloka neto elektriskā jauda būs 953 MW_e (neto) un lietderības koeficients 33 %. Pirmo energobloku *Belenes AES* paredzēts sākt izmantot 2013.gada decembrī, bet otro – 2014.gada aprīlī. Energobloka izmantošanas laiks - 60 gadi. Dotā tipa KR paredzēts būvēt arī Ķīnā un Indijā.

3.tabula

Table 3

Eiropā būvētie enerģētiskie kodolreaktori (2009.gada septembris)
Power Nuclear Reactor built in Europe (September of 2009)

Valsts	AES nosaukums	KR tips	Energobloka elektriskā jauda		Celtniecība uzsākta	Plānots sākt izmantot
			bruto (MW _e bruto)	neto (MW _e neto)		
1. Bulgārija	BELENE-1	PWR	1 000	953	2009/03/	2013/12/
	BELENE-2	PWR	1 000	953	2010/03/	2014/04/
2. Francija	FLAMANVILLE-3	PWR	1 650	1 600	2007/12/03	2012/12/03
3.Krievija	BELOJARSKA-4	FBR	800	750	2006/07/18	2012/
	KURSKA-5	LWGR	1 000	925	1985/12/01	
	KAĻĪŅINA-4	PWR	1 000	950	1986/08/01	2011/
	VOLGODONSK 2	PWR	1 000	950	1983/05/01	2009/
	ĻENINGRĀDA-2-1	PWR	1 170	1 085	2008/10/25	
	NOVOVORONEŽ A-2-1	PWR	1 170	1 085	2008/06/24	2012/12/31
	NOVOVORONEŽ A-2-2	PWR	1 170	1 085	2009/07/12	
	SEVERODVINSK-1	PWR	35	32	2007/04/15	2012/12/31
	SEVERODVINSK-2	PWR	35	32	2007/04/15	2012/12/31
4.Slovākija	MOHOVCE-3	PWR	440	405	1985/01/01	2012/09/
	MOHOVCE-4	PVR	440	405	1985/01/01	2013/
5. Somija	OLKILUOTO-3	PWR	1 720	1 600	2005/08/12	2011/06/01
6. Ukrainas	HMEĻNICKA-3	PWR	1 000	950	1986/03/01	2015/01/01
	HMEĻNICKA-4	PWR	1 000	950	1987/02/01	2016/01/01
KOPĀ			15 630	14 710		

Piezīme: - FBR – Fast Breeder Reactor - ātro neutronu KR; LWGR – Light Water Graphite Reactor, kas ir PBMK – 1000 – Реактор большой мощности канальный – ūdens dzesēts lielas jaudas grafiņa kanālu reaktors; PWR – Pressurized light Water Reactor; - ūdens spiediena.

Francijas AES

Francijas 19 AES darbojas 59 enerģētiskie KR ar energobloku neto elektrisko kopjaudu 63 473 MW_e (net) [3]. 2008.gadā valsts AES saražoja 418 300 GWh_e

elektroenerģijas, vai 76,2 % no visas saražotas elektroenerģijas.

Flamanvilles AES 2007.gada 3. decembrī Flamanvilles AES uzsāka trešā energobloka celtniecību ar EPR tipa KR (*European Pressurized water Reactor – Eiropas spiediena ūdens reaktors*).

Flamanvilles AES atrodas Francijas ziemeļ-rietumu daļā Kolantēnas pussalā Normandijā. Flamanvilles AES pašlaik darbojas 2 PWR tipa KR, kuru neto elektriskā kopjauda ir 2 660 MW_{e (neto)}.

EPR KR ir PWR tipa ar 4 300 MW_s siltuma jaudu, kuru izstrādāja AREVA NP Francijas un Vācijas (Fromatom – Siemens/KWV) firmas. Projektā izmantoti Franču N4 un Vācu KONVOI tipa PWR KR izstrādes un ekspluatācijas pieredze. Energobloka lietderības koeficients 37 %. KR aktīvā zonā paredzēts izmantot urāna dioksīda (UO₂) kodoldegvielu ar 4,3 % bagātinātu ²³⁵U izotopu urāna saturā. Aktīvās zonas ekvivalentais diametrs ir 4,85 m un augstums 12,78 m. Pirmā kontūrā ūdens cirkulācija ir 53 m³/s pie 15,5 MPa spiediena. Ūdens temperatūra aktīvās zonas ieejā ir 291,3 °C un izejā - 326,3 °C. KR aktīvā zona sastāv no 241 kodoldegvielas blokiem (17 x 17). Aktīvā zonā izvieto 141 t kodoldegvielas. Energobloka celtniecība izmaksā ~ 4 miljardi EUR, kurā ietverta pirmajā aktīvā zonā ietvertās kodoldegvielas izmaksas. Likvidācijas izmaksas novērtētas 9 – 15 % no celtniecības izmaksām. Energobloku plānots sākt izmantot 2012.gada 3. decembrī. Nākošo EPR tipa KR Francijā plānots būvēt Penly AES (trešajam energoblokam) valsts ziemeļaustrumos 9,7 km no Dieppe pilsētas. Būvdarbu sākums paredzēts 2012.gadā.

Somijas AES

Somijas divās AES (Loviisas AES un Olkiluoto AES) darbojas 4 enerģētiskie KR ar energobloku neto elektrisko kopjaudu 2 696 MW_{e (neto)} [4]. 2008.gadā AES saražoja 22 038 GWh_e elektroenerģijas, vai 29,7 % no kopēji valstī saražotās.

Olkiluoto AES. 2002.gada maijā valsts parlaments apstiprināja piektā kodoldalīšanās energobloka celtniecību. Celtniecībai izvēlējās trešās paaudzes enerģētisko EPR tipa KR, kuru izstrādājusi firma AREVAS NP. KR būvēs kā Olkiluoto AES trešo energobloku. Šī energobloka celtniecība uzsākta 2005.gada 12. augustā un plānots sākt to izmantot 2012.gada 1. pusgadā. Olkiluoto AES atrodas uz Olkiluoto salas Somijas rietumu daļā. Olkiluoto AES pašlaik darbojas divi BWR tipa KR, katra energobloka elektriskā neto jauda ir 860 MW_{e (neto)}. Pirmo AES energobloku sāka izmantot 1979.gadā un to paredzēts darbināt līdz 2038.gadam, bet otru – 1982.gadā līdz 2042.gadam.

Krievijas AES

Krievijas 11 AES darbojas 31 enerģētiskais KR ar neto elektrisko kopjaudu 21 743 MW_{e (neto)} [5]. Valstī apturēti ir 5 KR ar kopjaudu 786 MW_e. Būvē 8 enerģētiskos KR. 2008.gadā Krievijas AES izstrādāja 152 057,79 GWh_e, kas ir 16,86 % no visas saražotās elektroenerģijas.

Belojarskas AES 2006.gada 18. jūlijā uzsākta ātro neitronu enerģētiskā KR ceturtā energobloka celtniecība. AES atrodas Zarečnajas pilsētā 50 km uz austrumiem no Jekatrinburgas netālu no Pišmas upes. Belojarskas AES no uzbūvētiem 3 KR pašlaik darbojas trešais energobloks ar ātro neitronu BN-600 tipa KR, kura energobloka bruto elektriskā jauda 600 MW_{e (bruto)} un neto – 560 MW_{e (neto)}. BN-600 energobloku pieslēdza elektriskam tīklam 1980.gada 8. aprīlī un komerciālu izmantošanu uzsāka 1981.gada 1. novembrī. Pirmie divi kanālu tipa grafīta KR AMO-100 un AMO-200 bija mazas jaudas RBMK prototipa KR. AMO-100 energobloks darbojās no 1964.gada aprīļa līdz 1982.gada decembrim (102 MW_{e (neto)}), bet AMO-200 – no 1967.gada decembra līdz 1989.gada decembrim (146 MW_{e (neto)}).

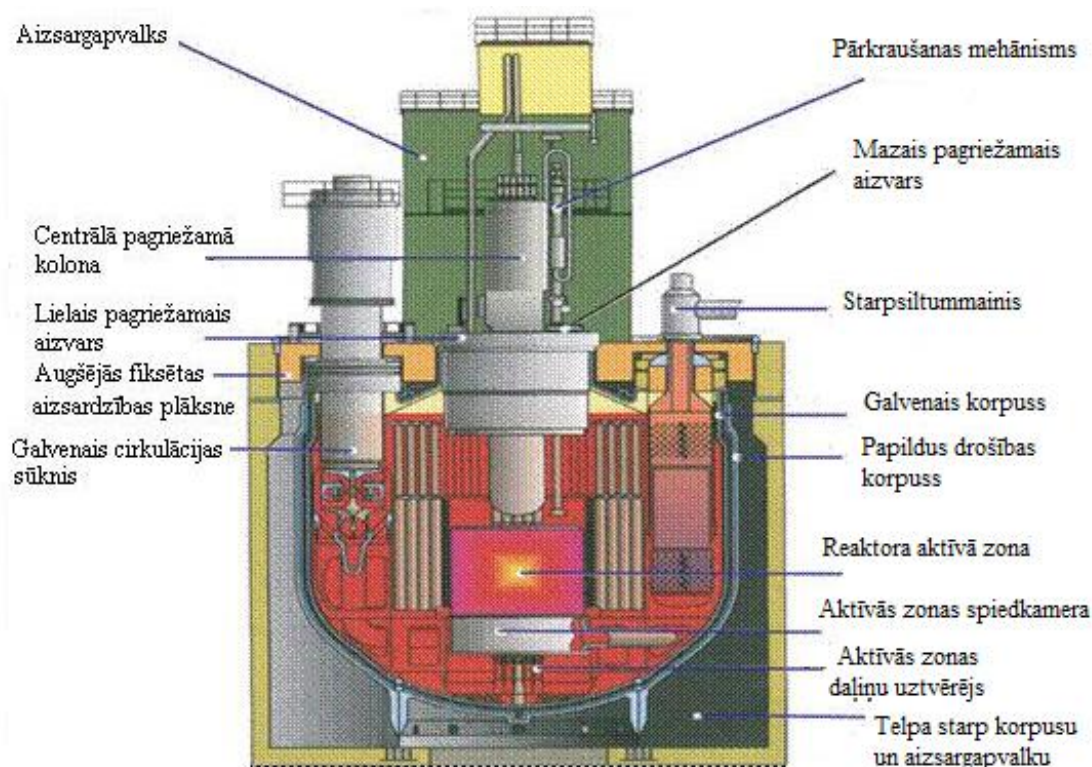
BN-800 KR ir pilnveidots BN-600 kodolreaktors ar paaugstinātu drošību un labākiem ekonomiskiem rādītājiem, kura siltuma jauda 2 100 MW_s, energobloka elektriskā neto jauda 750 MW_{e (neto)} un bruto jauda 800 MW_{e (bruto)}. BN-800 projektā izmantoti daudzi tehniskie risinājumi, kuri nodrošina jaunās paaudzes AES darbību. BN-800 KR celtniecībā izmantos par 20 % mazāk metāla nekā BN-600. BN-800 projekts izgājis visas ekspertīzes stadijas, ieskaitot ekoloģisko. KR aktīvā zona ievietota ar nātriju pildītā baseinā. Pirmā dzesēšanas kontūrā ieejošā nātrija temperatūra ir 354 °C un izejošā 547 °C, bet otrā kontūrā nātrija temperatūra attiecīgi ir 310 °C un 505 °C. Kontūros nātrijs cirkulē ar caurplūdi 3 000 t/h. KR siltumu tālāk izmanto ar trešā ūdens kontūra starpniecību. Aktīvā zonā izmantos PuO₂ + UO₂ kodoldegvielas maisījumu ar 20 – 30 % bagātinātu ²³⁵U izotopa sastāvu urānā. Aktīvās zonas diametrs ir 2,47 m un augstums 0,95 m. Elektroenerģijas ražošanai izmanto vienu turbīnu, kura generatora elektriskā jauda ir 800 MW_e.

BN-600 KR energobloka ražotās elektroenerģijas izmaksas ir par 40 % lielākas nekā ar ūdeni dzesētam PWR tipa reaktoram. Neskatoties uz to ātro neitronu KR izmantošana noslēgs siltuma neitronu KR degvielas izmantošanas ciklu, kas atļaus efektīgi izmantot urāna kodoldegvielu, nodrošinot labu kodolenerģijas izmantošanas ekonomiskos un ekoloģiskos rādītājus. Ātro neitronu KR izmantošana vairākas reizes samazinās dabīgā urāna patēriņu. Bez tam, ievērojami samazinās ilgi dzīvojošo dalīšanas produktu aktivitātes daudzums. Plāno BN-800 tipa KR būvēt arī Ķīnā. Ir izvērsti darbi lielas jaudas ātro neitronu KR BN-1600 izstrādē.

Kurskas AES atrodas Kurskas apgabalā, 40 km uz rietumiem no Kurskas, netālu no Seima upes. AES pašlaik darbojas 4 RBMK-1000 tipa enerģētiskie KR ar energobloku 3 700 MW_{e (neto)} neto elektrisko kopjaudu un 4 000 MW_{e (bruto)} bruto jaudu. Minēto KR energobloki bija pieslēgti elektriskam tīklam 1976., 1979., 1983., un 1985.gados.

Pavisam ir uzbūvēti 17 RBMK tipa KR (11 KR Krievijā, 4 KR Ukrainā un 2 KR Lietuvā). No tiem 4 KR Ukrainā un 1 KR Lietuvā ir apturēti). 1985.gadā 1.decembrī Kurskas AES uzsāka piektā KR celtniecību, bet sakarā ar Černobļas AES ceturtnā KR avāriju

(1986.g. 26.aprīlī) un naudas trūkumu darbi ielga. Paredzēts pabeigt piekto energobloku, kurš jau 90-gados bija uzbūvēts par 60 %. Kurskas AES 5 energobloka konstrukcijā izdarītas izmaiņas, kas izslēdz Černobļas avārijas iespēju. RBMK-1000 KR siltuma



1.att. Kodolreaktors BN-800
Fig.1 Nuclear reactor BN-800

jauda 3 200 MW_s un energobloka elektriskā bruto jauda 1 000 MW_{e (bruto)}, neto – 925 MW_{e (neto)}. Energobloka lietderības koeficients 31,3 %. Aktīvās zonas diametrs 11,8 m un augstums 7 m. Zonā ir 1 693 kanālu, kuros ievieto 192 tkodoldegvielas ar 2,6 – 2,8 % ²³⁵U izotopa bagātinājumu urānā. Izdegušās kodoldegvielas paketes nomaina ar svaigām neapturot KR. KR dzesēšanai izmanto 37 500 t/h ūdens. Ūdens temperatūra reaktora ieejā – 270 °C un izejā piesātināta tvaika veidā – 284 °C pie spiediena 7 MPa. KR neitronu palēnināšanai izmanto grafitu, bet siltuma aizvadīšanai – ūdeni.

Kaļiņas AES atrodas Tveras apgabalā, 125 km uz ziemeļiem no Tveras, Udomlajas ezera dienvidu krastā. Attālums līdz Maskavai 330 km. Kaļiņas AES darbojas trīs VVER-1000 tipa KR ar energobloku 2 850 MW_{e (neto)} neto elektrisko kopjaudu un 3 000 MW_{e (bruto)} – bruto kopjaudu.

Minētie KR energobloki bija pieslēgti elektriskam tīklam 1984., 1986. un 2004.gados. 1986.gada augustā bija uzsākta ceturtnā VVER-1000/V320 tipa KR celtniecība, kuru plānots palaist 2011.gadā. KR ir trešās paaudzes projekts ar automātisku kontroles sistēmu, pasīvo aizsardzību un

aizsargapvalku. KR siltuma jauda ir 3 000 MW_s, neto elektriskā – 950 MW_{e (neto)} un bruto – 1 000 MW_{e (bruto)}. Lietderības koeficients 33,3 %. Aktīvās zonas ekvivalentais diametrs – 3,12 m, augstums – 3,50 m, kurā ievieto 163 kodoldegvielas paketes. KR ievieto 66 t urāna dioksīda (UO₂) kodoldegvielu, kurā ir (3,3 – 4,4) % ²³⁵U bagātināts urāns. Siltumnesējs ir ūdens pie 15,7 MPa spiediena ar caurplūdi 80 000 m³/h, aktīvās zonas ieejā tā temperatūra -289 °C un izejā – 324 °C.

Volgodonskas AES atrodas Rostovas apgabalā, 13,5 km no Volgodonskas pilsētas, Cīmļanskas ūdens krātuves kreisā krastā. AES no 2001.gada decembra darbojās viens energobloks ar VVER-1000 tipa KR. Energobloka elektriskā neto jauda ir 950 MW_{e (neto)} un bruto – 1 000 MW_{e (bruto)}. 1983.gada 1.majā uzsākta otrā energobloka celtniecība ar VVER-1000/V320 tipa KR. KR projekts analogs tam kādu būvē Kaļiņas AES. Energobloka pieslēgšanu elektriskam tīklam plānota 2009.gadā.

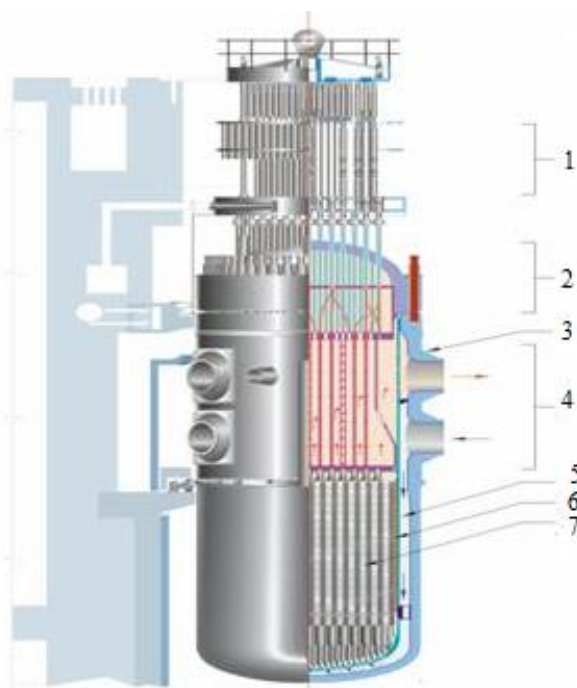
Ļeņingradas AES atrodas Sosnoviboras pilsētas tuvumā, 80 km uz rietumiem no Sanktpēterburgas, Somu līča krastā. AES pirmā kārtā bija uzbūvēti četri energobloki ar RBMK-1000 KR, kurus sāka izmantot

1974., 1976., 1980. un 1981. gados. Pirmās kārtas energobloku elektriskā neto kopjauda ir 3 700 MW_e (neto) un bruto – 4 000 MW_e (bruto).

2008. gada 25. oktobrī sāka būvēt AES otro kārtu. Otrās kārtas pirmo KR būvē pēc VVER-1200/V491 (AES-2006) projekta. KR siltuma jauda 3 200 MW_s, energobloka elektriskā neto jauda 1 085 MW_e (neto) un bruto 1 170 MW_e (bruto). Energobloka lietderības koeficients ir 36,6 %. Celtniecības laiks 54 mēneši, kodoldegvielas nomaiņa pēc 24 mēnešu darba un izmantošanas laiks 50 gadi. Būvētais KR ir VVER-1000 reaktora uzlabots un pilnveidots variants, trīsdespaaudzes projekts. Kodolreaktors ietverts divkārtšā aizsargapvalkā, zem KR korpusa atrodas telpa

izkusušas aktīvās zonas satura savākšanai un izveidota pasīva dzesēšanas sistēma, paliekošā siltuma noņemšanai. Aktīvā zonā izmanto urāna dioksīdu (UO₂) ar (4,71 – 4,85) % ²³⁵U izotopa bagātinājumu urānā. Energobloku plāno nodot ekspluatācijā 2015. gadā.

Novovoronežas AES atrodas Novovoronežas pilsētas tuvumā, Donas upes kreisā krastā, 55 km uz dienvidiem no Voronežas. AES pirmā kārtā uzbūvēti pieci dažādas jaudas VVER tipa KR, kurus sāka izmantot 1964., 1970., 1972., 1973. un 1981. gados. Pirmie divi KR apturēti.



2. att. Kodolreaktors VVER-1000

Fig. 2 Nuclear reactor VVER-1000

1 - vadības stieņu mehānismi; 2 - korpusa vāks; 3 – reaktora korpusa; 4 – cauruļu vadi; 5. – šahta; 6 – aktīvās zonas iezogojums; 7 – kodoldegvielas paketes un vadības stieņi.

Otrās kārtas pirmā KR celtniecību uzsāka 2008. gada 24. jūnijā izmantojot VVER-1200/V491 projektu. KR ir analogisks Ļeņingradas AES otrās kārtas pirmā reaktora projektam. Energobloka celtniecību plānots pabeigt 2012. gada decembrī, līdz ar to tas būs pirmais uzbūvētais VVER-1200/V491 tipa KR.

Severodvinskas AES (peldoša AES) būs izvietota Arhangeļskas apgabalā, 35 km uz rietumiem no Arhangeļskas, Sevmaš rūpnīcas teritorijā, kura atrodas Baltās jūras krastā pie Ziemeļu Dvīnas iztekas. Pašlaik Sevmaš rūpnīca ir vienīgā kuģu būvētava Krievijā, kurā būvē zemūdenes ar KR. Sevmaš rūpnīcas pastāvēšanas laikā uzbūvētas 128 atomzemūdenes.

2007. gada 15. aprīlī uzsāka peldošas AES celtniecību uz baržas, kuras garums 144 m, platums 30 m ar 21 500 t ūdens izspiešanas spēju. Tur būs

izvietoti divi KLT-40S tipa KR, kurus izgatavo Nižnijnovgorodas mašīnbūves rūpnīcā. Peldošajā siltuma AES ir divi KR energobloku moduļi ar siltuma jaudu 150 MW_s. Viena KR energobloka moduļa neto elektriskā jauda 32 MW_e (neto) un bruto – 35 MW_e (bruto). KR var ražot siltumu apkurei 73 Gcal/h (20,3 MW_s/h). Peldošo AES var izmantot jūras ūdens atsāļošanai (20 000 - 100 000 m³/dienā). AES pašpatēriņam nepieciešams (4 – 6) MW_e elektriskās jaudas un ~ 3,2 MW_s siltuma jaudas. KR ir ledlauža tipa ar uzlabotiem tehniskiem un ekonomiskiem rādītājiem, kurā kodoldegvielu mainīs 3 reizes 12 gados. Pēc tam iekārtai veiks tecošu remontu un izmantotās kodoldegvielas nodošanu glabātuvē. Pēc trim 12 gadu cikliem (36 gadiem) paredzēts AES demontēt.

Peldošā AES

Severodvinskas AES nodrošinās pilsētu (150 tūkst. iedzīvotāji) un rūpnīcu Sevmaš ar enerģiju. 1/5 daļu saražotās elektroenerģijas varēs pārdot. AES izmaksa – 200 milj. US dolāru. Peldošās AES projektam veiktas visas ekspertīzes un saskaņojumi, ieskaitot ekoloģisko ekspertīzi.

Krievija plāno līdz 2015.gadam uzbūvēt 7 šādas peldošās AES, Krievijas ziemeļu reģiona pilsētu vajadzībām. Ražojot minētās AES sērijā, to celtniecības laiks būs 3 gadi. Deklarētais atmaksāšanās laiks ir 11 gadi. Par projektu interesējas arī vairāk kā 12 citas valstis, lai nodrošinātu ar enerģiju nelielas salas un ūdens atsāļošanas iekārtas.

Ukrainas četrās AES darbojas 15 enerģētiskie KR (Dienvidukrainas AES – 3 KR/2 850 MW_{e (neto)}; Hmeļnickas AES – 2 KR/1 900 MW_{e (neto)}; Rovnas AES – 4 KR/2 657 MW_{e (neto)}; Zaparožjes AES – 6 KR/5 700 MW_{e (neto)}) [7]. Viena AES slēgta (Černobiļas AES – 4 KR/3 700 MW_{e (neto)}). Darbojošos AES neto elektriskā kopjauka ir 13 107 MW_{e (neto)}. 2008.gadā AES Ukrainā saražoja 84 300

GWh_e elektroenerģijas, kas ir 47,4 % no kopēji saražotās. Divu enerģētisko KR celtniecība notiek Hmeļnickas AES.

Hmeļnickas AES atrodas Hmeļnitskas apgabalā, Netēšinas pilsētas tuvumā, Horiņas upes kreisajā krastā. 1986.gada 1. martā sāka būvēt AES trešo KR un 1987.gada 1. februārī – ceturto KR. Šie ir VVER-1000/V320 tipa KR analogiski tiem, kādus būvē Kaļiņinas AES (ceturto bloku) un Volgodonskas AES (otro bloku) Krievijā. Hmeļnickas AES katra būvētā energobloka neto elektriskā jauda ir 950 MW_{e (neto)} un bruto – 1 000 MW_{e (bruto)}. Energoblokus plāno sākt izmantot 2015. un 2016.gadu sākumā.

Slovākijā darbojas divas AES. Buhunices AES ir 5 enerģētiskie KR, no kuriem 3 KR/ 909 MW_{e (neto)} apturēti, bet 2 KR/ 839 MW_{e (neto)} darbojas [6]. Mochovces AES darbojas 2 KR/ 872 MW_{e (neto)} un pabeidz būvēt 2 KR. 2008.gadā valstī AES izstrādāja 15 453 GWh_e elektroenerģijas, kas ir 56,4 % no kopēji saražotās.

Mohovces AES atrodas valsts dienvidrietumu daļā starp Nitras un Levices pilsētām.

4. tabula
Table 4

Eiropā būvējamo KR tipi
Europe built Nuclear reactor types

	KR tips	KR skaits	Energobloka neto elektriskā jauda (MW _e)	Energobloka nosaukums
PWR (ūdens dzesēts KR)	1. EPR	2	1 600	FLAMANVILLE-3
			1.600	OLKILUOTO-3
	2. VVER-1200	3	1 085	ĻENINGRĀDA-2-1
			1 085	NOVOVORONEŽA-2-1
			1 085	NOVOVORONEŽA-2-2
	3. AES92/V466	2	953	BELENE-1
			953	BELENE-2
	4. VVER-1000/V320	4	950	VOLGODONSK-2
			950	KALĪŅINA-4
			950	HMEĻNICKA-3
			950	HMEĻNICKA-4
	5. VVVR-440/V230	2	405	MOCHOVCE-3
			405	MOCHOVCE-4
	6. KLT-40S	2	32	SEVERODVINSK-1
			32	SEVERODVINSK-2
LWGR (kanāla tipa grafitā KR)	7. RBMK-1000	1	925	KURSKA-5
FBR (ātro neutronu KR)	8. BN-800	1	750	BELOJARSKA-4
KOPĀ:		17	14 710	

AES trešā un ceturtnā energobloku celtniecību uzsāka 1985.gada sākumā. KR būvēja pēc Padomju Savienībā izstrādāta projekta (VVER 440/ 213). Līdzekļu trūkuma dēļ 1991.gadā darbi bija pārtraukti. 1995.gadā Slovākijas valdība apstiprināja plānu Mohovces AES – 3, - 4 energobloku celtniecības pabeigšanai, papildinot tos ar Rietumu drošu tehnoloģiju. Darbojošie Mohovces AES -1, -2 KR ir VVER 440/ 213 tipa.

Eiropā kopā 2009.gadā būs 17 enerģētiskos KR ar 14 710 MW_{e (neto)} energobloku elektrisko neto kopjaudu. KR būs tiek izmantoti 8 dažādi projekti. Vienu no projektiem (EPR) ir izstrādājusi franču – vācu firmas, bet pārējos Krievijas firmas. Būvētais Kurskas AES piektais KR ir ievērojami modernizēts RBMK-1000 tipa reaktors (4. tab.).

Literatūras saraksts

1. World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements, September 2009, WNA (World Nuclear Association).
2. Nuclear Power in Bulgaria, June 2009, WNA.
3. Nuclear Power in France, August 2009, WNA.
4. Nuclear Power in Finland, February 2009, WNA.
5. Nuclear Power in Russia, September 2009, WNA.
6. Nuclear Power in Slovakia, July 2009, WNA.
7. Nuclear Power in Ukraine, June 2009, WNA.

Juris Ekmanis, born: December 2, 1941 in Riga, Latvia. **Education:** Riga Secondary School No.1 (1959); Faculty of Physics and Mathematics, University of Latvia (1964); Doctor of Physics (*Dr.Phys*) degree from 1973, University of Tartu, Estonia; the Doctor Habilitus degree (*Dr.habil.phys.*) from the Estonian Academy of Sciences in Tartu in 1984.

Experience: Senior Researcher at the Institute of Physics, Latvian Academy of Sciences (1961-1986); Visiting Professor in Cornell University (Ithaca), Iowa State University (Ames); University of California (Berkeley), USA, 1974; Visiting Scientist in McGill University (Montreal), Canada, 1976; Visiting Professor in Manchester University, Great Britain, 1993; Professor of Riga Technical University (1986-1994); Deputy Director of the Institute of the Physical Energetics, Latvian Academy of Sciences (1987-1990); Chairman of the Division of the Physical and Technical Sciences, Latvian Academy of Sciences (1991–2004); Vice President of the Latvian Academy of Sciences (1994-2004). Currently - President of the Latvian Academy of Sciences (since 2004) and Director of the Institute of the Physical Energetics (since 1989). **Interests:** Energy Marketing and Energy Economic Problems in Latvia; Renewable Energy Systems; Material Science, Radiation Strength; Advanced Material Applications: Energy Conservation, Dosimetry, Optoelectronics; Physical and Technical National Terminology. **Professional Activities and Memberships:** American Physical Society (since 1989); Latvian Physical

Society (since 1993); Latvian National Committee of the World Energy Council (since 1997); President of the National Energy Confederation (since 1999). **Honours and Awards:** Full Member of the Latvian Academy of Sciences, 1992 ; Honorary Doctoral Degree, Dr.h.c. Riga Technical University, 2002; Alfreds Vitols Prize of the Latvian Academy of Sciences and JSC *Latvenergo* (1999), Medal of the Baltic Academies of Sciences (2000), the Riga Prize for contribution to the development of physics and power science and the Riga heat supply system (2006), Medal of JSC *Latvenergo* for outstanding contribution to the development of *Latvenergo* (2006), Foreign Member of Lithuanian Academy of Sciences, 2007; Holder of the Order of Tree Stars of the Republic of Latvia (2009).

Valdis Gavars, born: May 10, 1934 in Rezekne, Latvia. **Education:** St.Petersburg Polytechnic Institute, 1955; *Dr.sc.ing.* degree from Nuclear Power Scientific Institute of *Melekesa*, Russia, 1971. **Experience:** Chief engineer of Nuclear Scientific Reactor, Institute of Physics, Latvian Academy of Sciences 1959 – 1990; Senior planning engineer, JSC *Latvenergo*, *Dept. of Development*, 1990 – 2009. **Interests:** Power industry; nuclear power; physics. Totally more than 30 scientific publications, 3 monographs: A.Dinduns, V.Gavars, E.Tomsons. Radiācijas kontūri – gamma staru avoti. Rīga, Zinātne, 1969, 203.lpp. (in Russian). V.Gavars. Blakus dalītam kodolam. Rīga: Zinātne, 2000, 313.lpp.(in Latvian), V.Gavars. Nuclear Power Stations. Structure and Development Trends.- Rīga, Zinātne, 2008, 206 p. (in Latvian). **Professional Activities and Memberships:** Latvian Society of knowledge, lector, 1965-1990; Member of European association of Nuclear Energetics, since 1993; member of public organisation *Salaspils Scientific Nuclear Reactor*, 2001. **Awards:** Order of Honour, previous USSR, 1962; State Award of Former Soviet Republic of Latvia on nuclear researches (1987); Silver Medals from National Economy exhibition (VDNK), Moscow, 1979, 1985.

Elmārs Tomsons, born: September 5, 1931 in Riga, Latvia. **Education:** Riga Polytechnic School in 1950; Riga Polytechnic institute (Technical University) in 1960; Doctor of Engineering Sciences (*Dr.sc.ing.*) from the Moscow Aviation Institute in 1976.

Experience: Electrical engineer and operator of control system department, company *Latvenergo* (1950-1960); Head of the research group in the Nuclear Research Centre of the Institute of Physics, Latvian Academy of Sciences (1960-1994); Head of the Nuclear Energy Research Group, Institute of Physical Energetics, Academy of Sciences of Latvia (since 1994). **Professional Activities and Memberships:** Member of Latvian Society of Power Engineering and public organisation *Salaspils Scientific Nuclear Reactor*. **Awards:** Has received State Award of Former Soviet Republic of Latvia on nuclear researches (1987); Award of Latvian Academy of Sciences and JSC *Latvenergo* Prize (2004).

Turlajs Daniels, born: April 28, 1939 in Karsava, Latvia.
Education: Riga Polytechnic institute, heat&power engineering (1964); *Dr.sc.ing.* degree from Kaunas University of Technology, Lithuania, 1987; the Doctor Habilitus degree (*Dr.habil.sc.ing.*) from Riga Technical University, 1997. **Experience:** Specialised Mechanical and Automation Design Bureau, leading engineer-designer, Head of H&P dept., 1965-1968; from 1968 different positions in Riga Polytechnic and Riga Technical University; Head of Heat&Power Systems Department since 1990, professor. **Interests:** Development of economical and ecologically pure energy technologies; Combustion of fuels; Heat transfer investigations in liquids; Efficiency improvement of heat&power systems; Energy marketing and economy. Author and co-author over than 150 scientific publications, aids and textbooks. **Professional Activities and Memberships:** World Energetic Council (WEC), member of National Committee 1995; Heat Enterprises Association of Latvia, member of board, since 1999; Advisory council of Riga city heat supply experts, member of board, since 2002; expert of WSEAS organization, since 2007; member of supervision board of Riga Energetic Agency, since 2007. **Honours and Awards:** Academician of International Academy of Refrigeration, St.Petersburg, Russia, since 2003; Golden Medal from Latvian Academy of Science, SC *Latvijas gāze* and Education Foundation of Latvia for investigation's set "Efficiency of gaseous fuel applications in fuel balance of Latvia", 2006.

J. Ekmanis, V. Gavars, E. Tomsons, D.Turlajs. The Types of Nuclear Reactors Built in Europe

The reserves of fossil fuels are running low and a considerable increase of prices, which occurred, even taking in account the Chernobyl nuclear power plant (NPP) disaster, gives a start to a renaissance of nuclear energetic. NPP's are already a long time producing energy for humanity, excluding such global phenomenon as global warming and greenhouse effect, acid rains, etc.

Considering the shutdown of the Ignalina NPP, it will lead Lithuania into a deficit of electrical energy. Taking in account this situation, towards the end of 2009 an agreement about supply from the Ukraine is being prepared.

A bigger deficit is being awaited in Latvia; to cover it will be a problem of nearest future. But looking forward the next 15-20 years, the only reasonable way out will become the construction of a NPP. This is the prime reason for the analysis of mistakes committed in the European and world experience of NPP's to make the correct choice of nuclear reactor (NR) and nuclear power plant.

By the August of 2009 18 member countries of the EU are driving 196 nuclear reactors with a total load of 170753 MWe, which is 39% of the total load of all world's NPP and produce about a third of the necessary electricity, about 1156 TWh. The most NR – 59 are working in France, 31 – in Russia, 17 – in Germany. In 2008 all NPP in France produced a total of 418,3 TWh, which is 76,18% of the necessary energy.

There were 17 NR (a third part of the world's NR) started or the construction work went on in EU in 2009. 15 of them are pressurized water reactor type (PWR) stations. Its building started in the 50th years of the 20th century in the Soviet Union. The total heat load of a single reactor was 70 MWth. Nowadays the largest PWR reactor with a gross electrical load of 1720 MWe, net load 1600 MWe is being constructed on Olkioto, Finland, 350 km from Riga. There are 2 NPP closer to Riga, just 265 km that are located in Loviisa, Finland. The parameters of all stations can be observed further in the given work.

Ю. Экманис, В. Гаварс, Э. Томсонс, Д. Турлайс. Типы построенных в Европе ядерных реакторов

Истощение запасов полезных ископаемых и постоянное увеличение цен на них в последние годы, возродило атомную энергетику, несмотря на аварию Чернобыльской АЭС. АЭС обеспечивает человечество энергией, которая исключает такие глобальные негативные влияния как парниковый эффект, кислотный дожди и т.д.

В связи закрытием Игналинской АЭС, в Литве ожидается огромный дефицит электроэнергии, из – за сложившейся ситуации, на данный момент, в конце 2009 года, готовится договор о поставках электроэнергии из Украины.

Еще большей дефицит электроэнергии ожидается в Латвии и его покрытие в ближайшее время будет проблематичным, в будущем (после 15 – 20 лет) реальный и фактически единственный правильный выход это строительство АЭС, поэтому Мировой и Европейский опыт в развитии АЭС поможет в выборе правильного ядерного реактора и типа АЭС.

На август 2009 года в 18 странах Европы работало 196 ядерных реакторов с общей мощностью в 170753 MWe, это 39% от мировой общей мощности АЭС, которые выработали третью часть необходимой электроэнергии 1156 TWh. Больше всего ядерных реакторов – 59 во Франции, 31 – Россия, 19 – Великобритания, 17 – Германия. В 2008 году во Франции АЭС выработали 418,30 TWh, это 76,18% от необходимой электроэнергии в стране.