Základné systémy merania JE

doc. Ing. Róbert Hinca, PhD.

20. 11. 2019

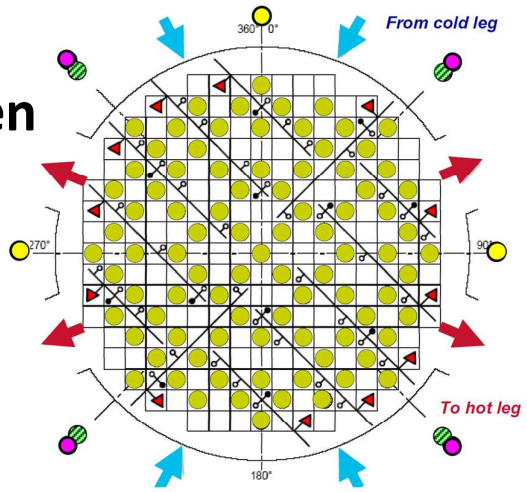
Detektory neutrónového žiarenia

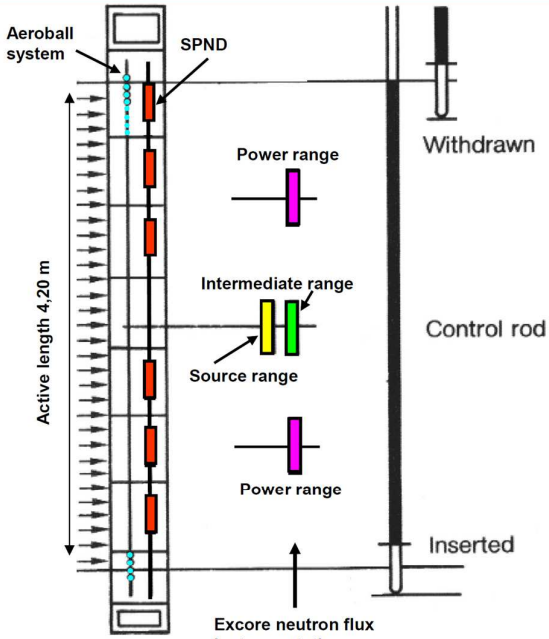
- Systém incore – vnútroreaktorové merania rozloženia neutrónového poľa (miniatúrne štiepne komôrky a SPND detektory)
- Systém excore – meranie neutrónového výkonu reaktora – ionizačné alebo proporcionálne komory s bórom alebo štiepnym materiálom
- Meracie rozsahy na reaktore
    - pásmo zdroja
    - medzipásmo
    - energetické pásmo

Detectors and detector arrangements for neutron flux instrumentation	
Incore instrumentation:	Excore instrumentation:
Power distribution detectors PDD and local power range monitors LPRMs (PWR, BWR) Aeroball measurement system (PWR) Traversing incore probe system (PWR, BWR)	Source range (PWR) Intermediate range (PWR) Power range (PWR) Wide range (PWR)

PWR instrumentation

AMS TIP

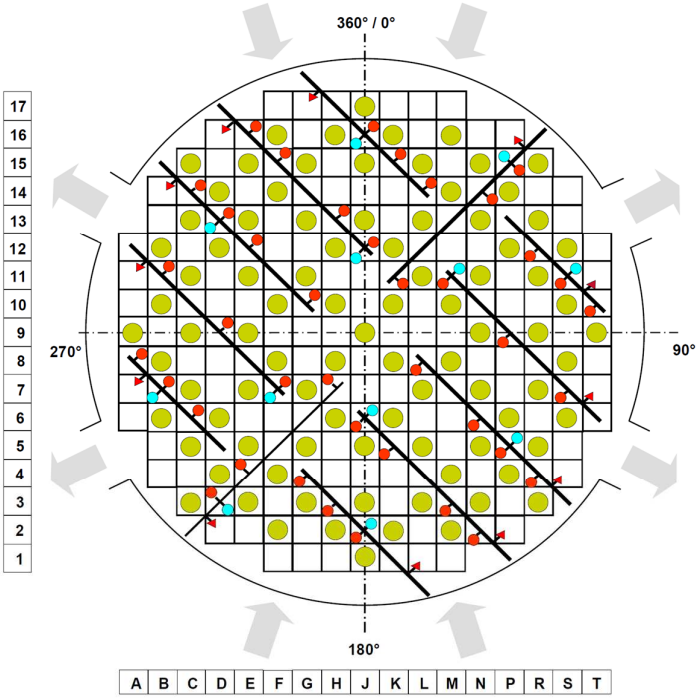


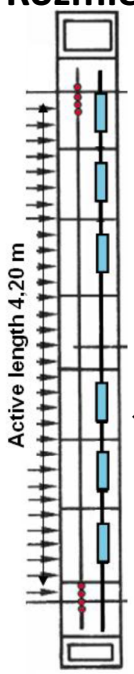


241 fuel assemblies
40 Aeroball probes
12 RPV instrumentation nozzles with instrumentation lances
89 control assemblies
12 fingers with self-powered neutron detectors (SPND) and thermocouples
12 lance yokes

Power range
Intermediate range
Source range

Rozmiestnenie Incore systému





40 aeroball probe Positions

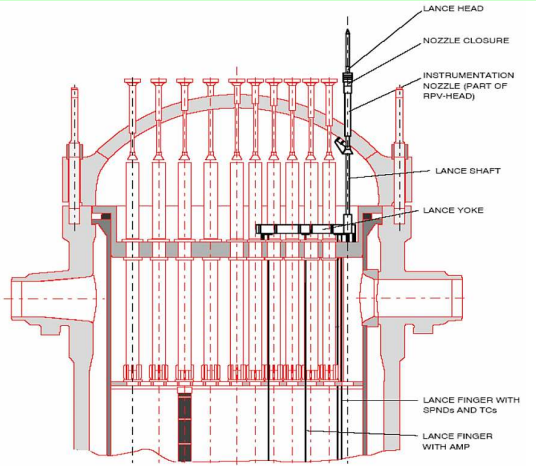
12 positions with 6 power density detectors and 3 thermocouples

12 lance yokes of instrumentation lances

12 RPV instrumentation nozzles

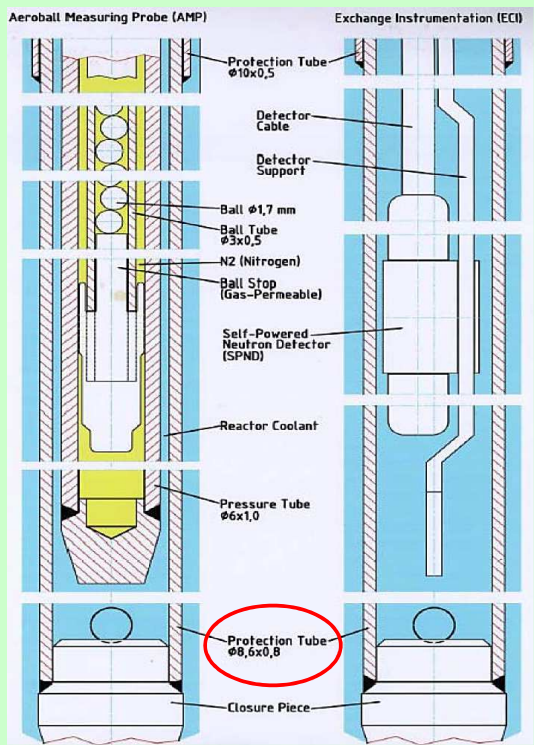
89 RCCA

RCCA – reactor core control assembly
AMS - aeroball measurement system
∅ 1,7 mm pneumatically move using nitrogen gas

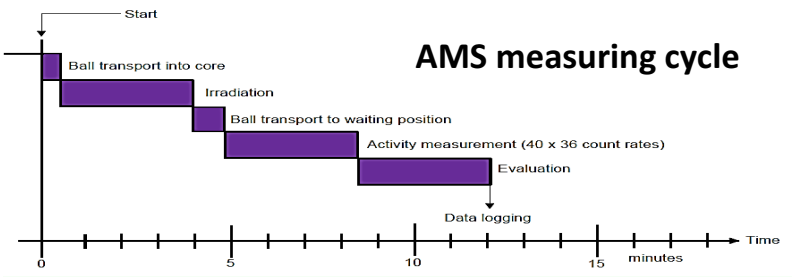


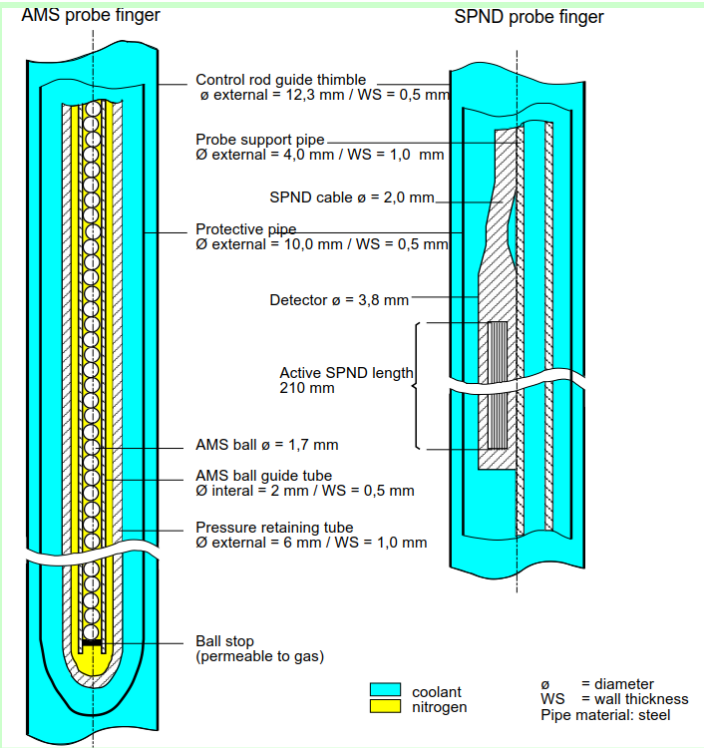
Instrumentation lance and nozzle arrangenment

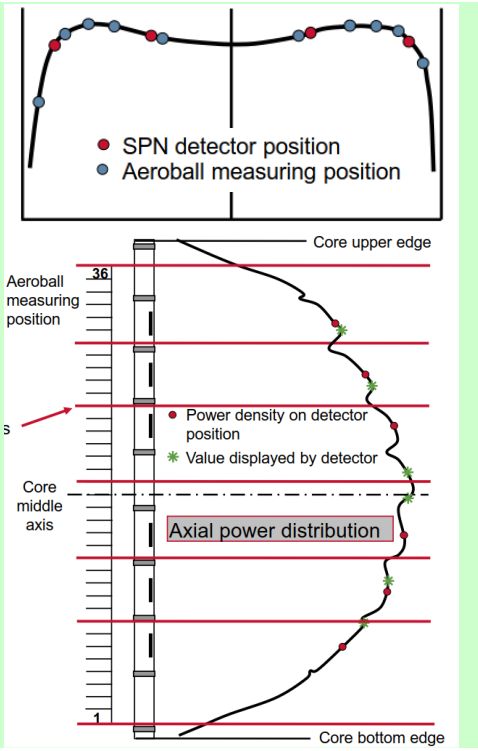
Organizácia prístrojových zväzkov a prechodiek



AMS measuring cycle



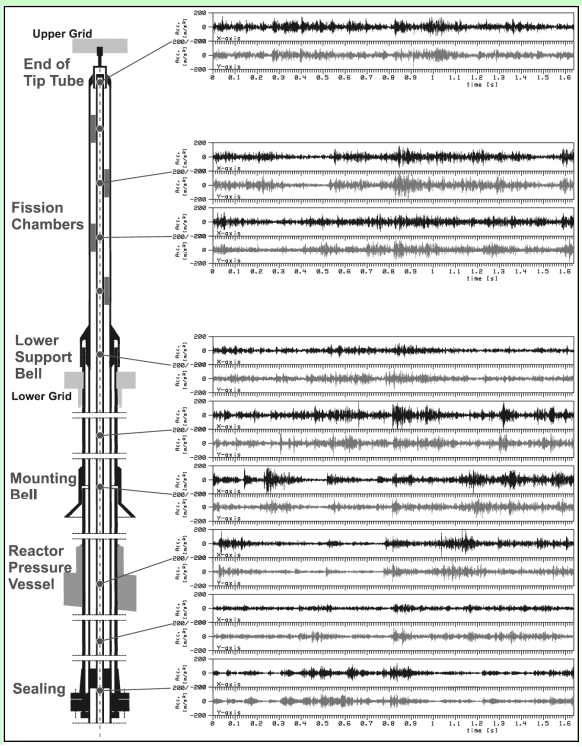


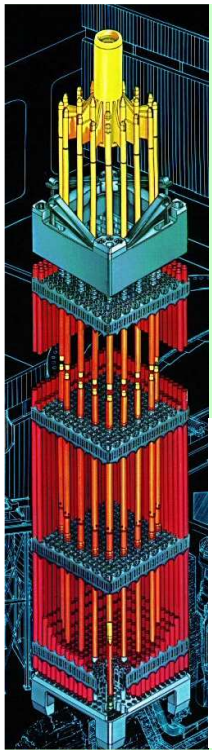


TIP - traversing incore probe system in BWR

fission chambers and acceleration and vibration measurement

20. 11. 2019





PWR fuel assembly

Typical reactor may contain about 165 tonnes of fuel (including structural material).

Typical reactor may contain about 100 tonnes of enriched uranium (i.e. about 113 tonnes of uranium dioxide).

This fuel is loaded within, for example, 157 fuel **assemblies** composed of over 45,000 fuel **rods** and some **15 million fuel pellets**.

Mreža PWR je 17x17.

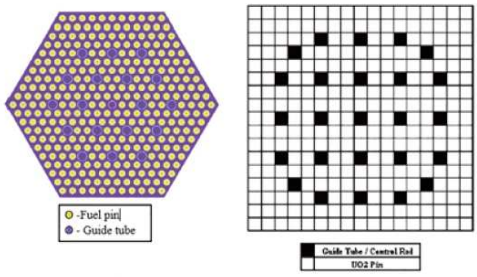
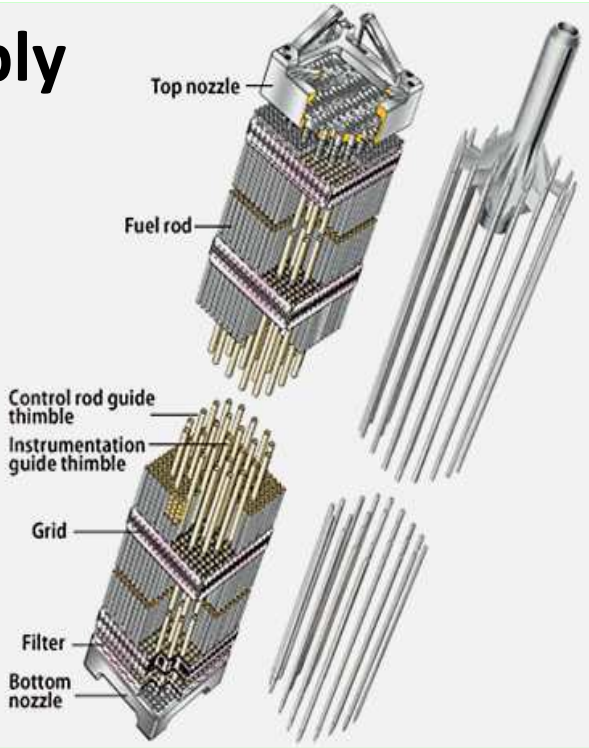
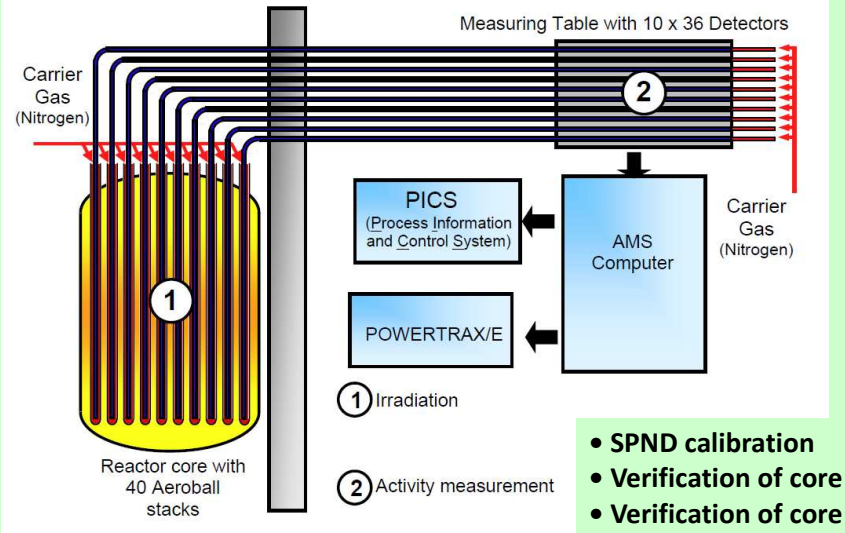


Figure 4: VVER-1000 (left) (Kostal, et al., 2013) and typical PWR (right) (Rahnema & Douglass, 2009) fuel assembly.

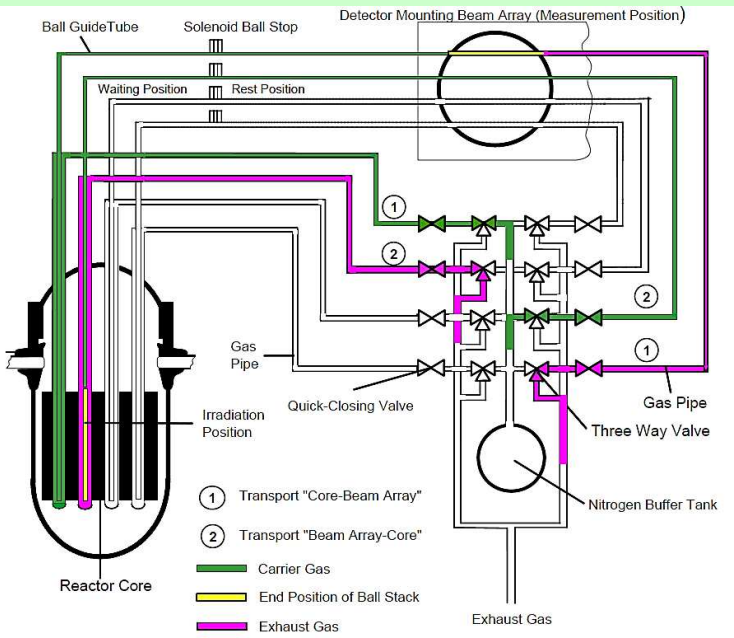


AMS provides an assessment of power density distribution

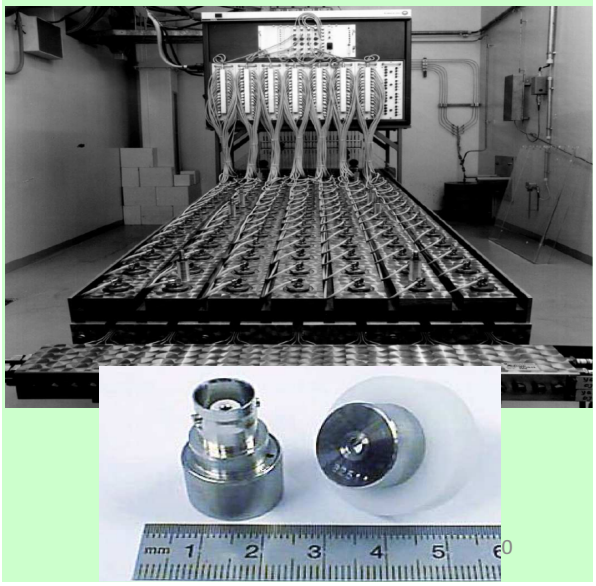


- SPND calibration
- Verification of core design predictions
- Verification of core behavior over cycle burn-up
- PICS - 3D flux and power density distribution
- Calibration of the 3D on-line core monitoring software POWERTRAX/E

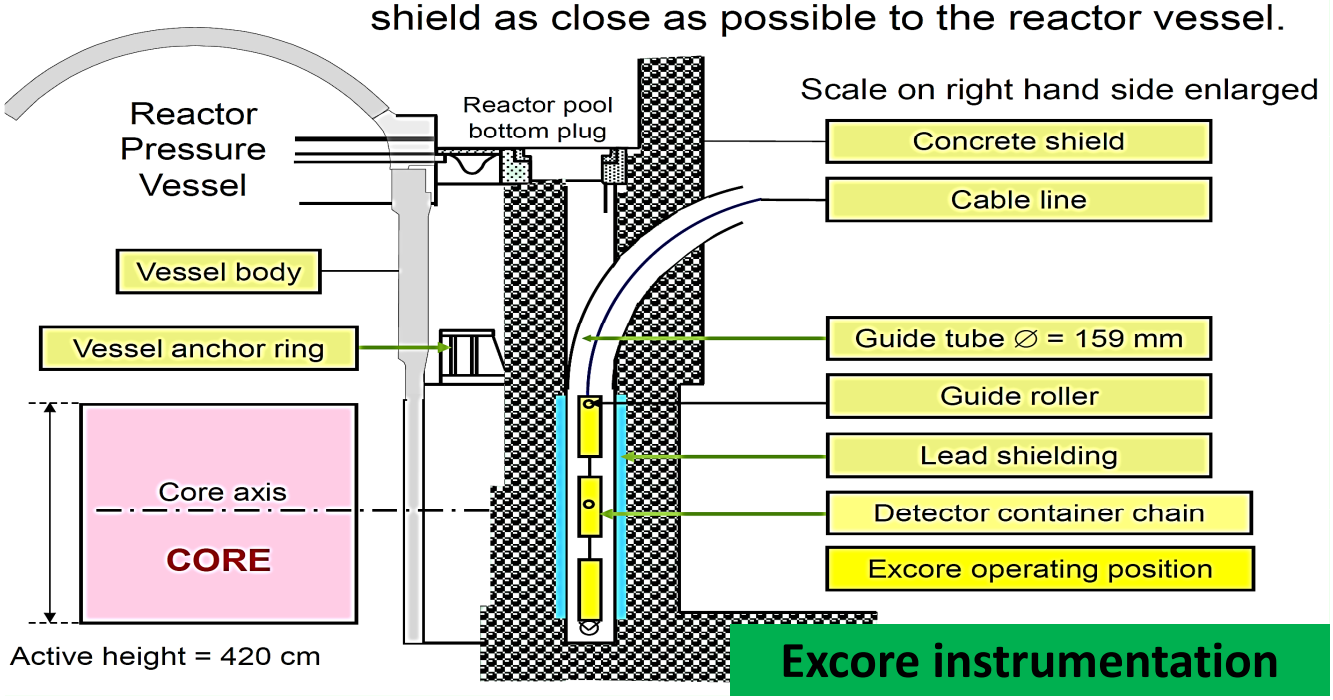
AMS pneumatic transportation system



AMS Measurement table
Silicon SB detectors



The excore instrumentation is located inside the biological concrete shield as close as possible to the reactor vessel.



Excore instrumentation

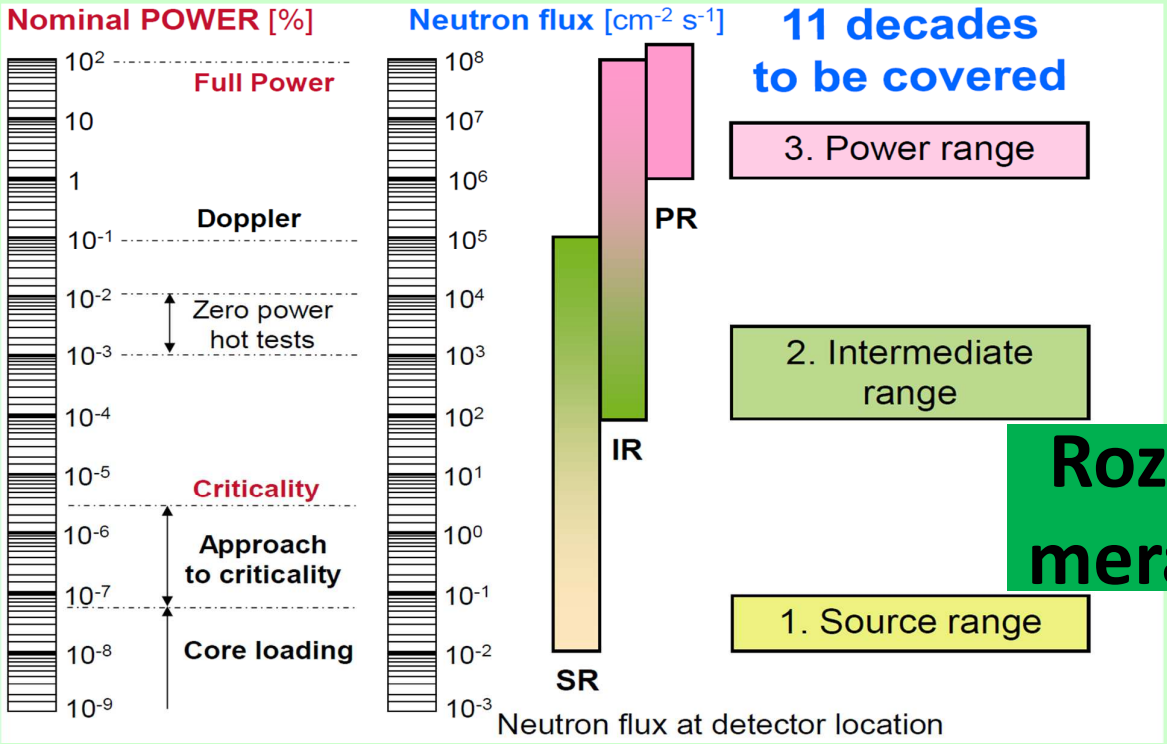
Parametre excore detektorov PWR

Source Range:	Proportional counter tube with boron coating (B-10 enrichment = 92 %)
Filling gas:	Ar + CO_2 (15 %)
Size:	Ø= 48 mm, height = 766 mm (B-10 55.8 mm)
Intermediate Range:	Compensated ionization chamber with B-coating (B-10 enr. = 92 %)
Filling gas:	N_2 (pressure = 1 bar)
Size:	Ø= 50 mm, height = 670 mm
Power Range:	Ionization chamber with B-coating (B-10 enrichment = 92 %)
Filling gas:	N_2 (pressure = 1 bar)
Size:	Ø= 50 mm, height = 670 mm

Detection reaction of thermal neutrons

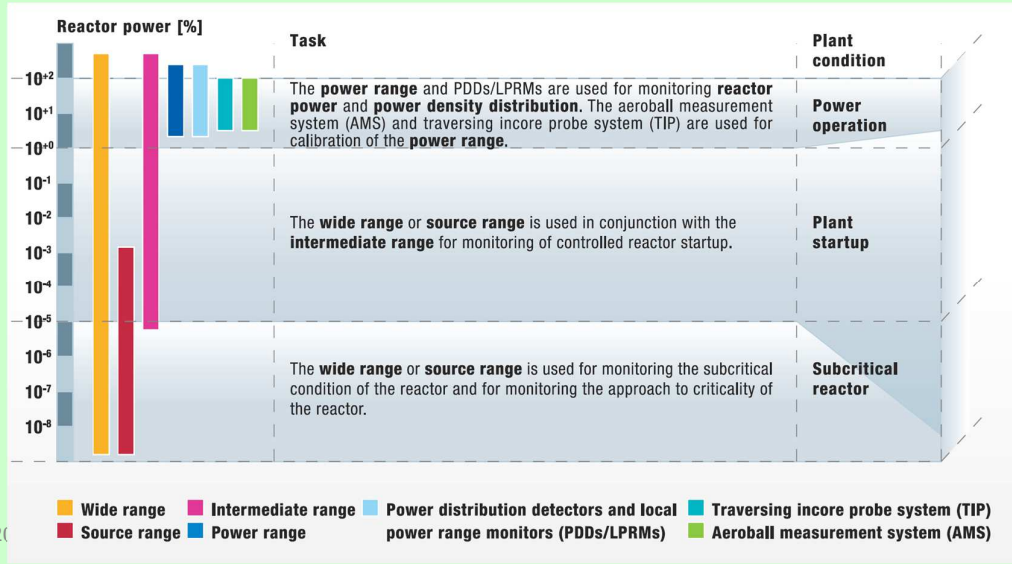
$$\boxed{{}^{10}_{5}B(n,\alpha)^{7}_{3}Li}$$

$$\begin{aligned} {}^{10}_{5}B + n &\xrightarrow{7\,\%} {}^{7}_{3}Li + {}^{4}_{2}He + 2{,}78\ MeV \\ &\xrightarrow{93\,\%} {}^{7}_{3}Li^{*} + {}^{4}_{2}He + 2{,}3\ MeV \\ &\quad\downarrow \\ &\quad {}^{7}_{3}Li + \gamma + 0{,}48\ MeV \end{aligned}$$



Rozsah merania

Úlohy systému excore (merania hustoty neutrónového toku)



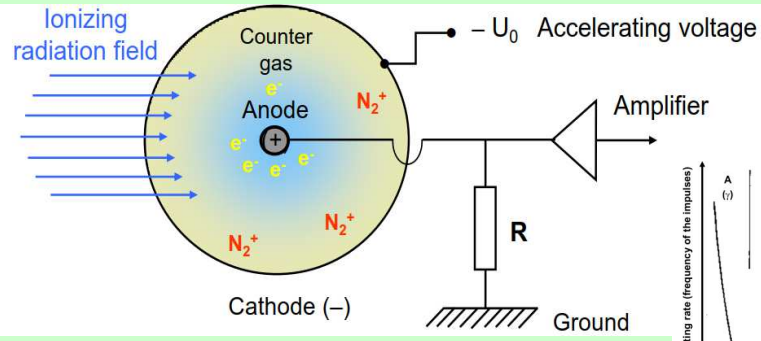
Neutron detection in excore detectors

Free charge carriers must be produced in the detector for radiation detection (ionization).

Electromagnetic radiation (γ) transfers energy to bound electrons of the electron shell (photo effect, Compton effect)

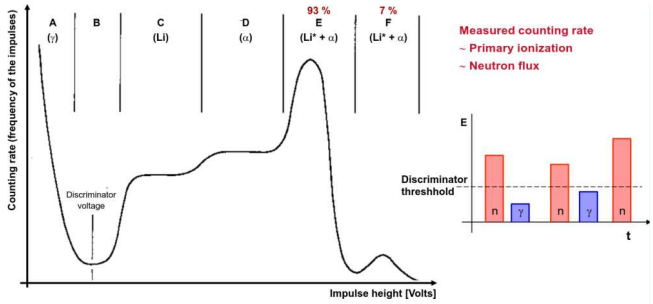
Charged particles (α, β) knock electrons out of the electron shell by collision processes

Neutrons do not ionize and thus cannot be measured directly – only indirect detection



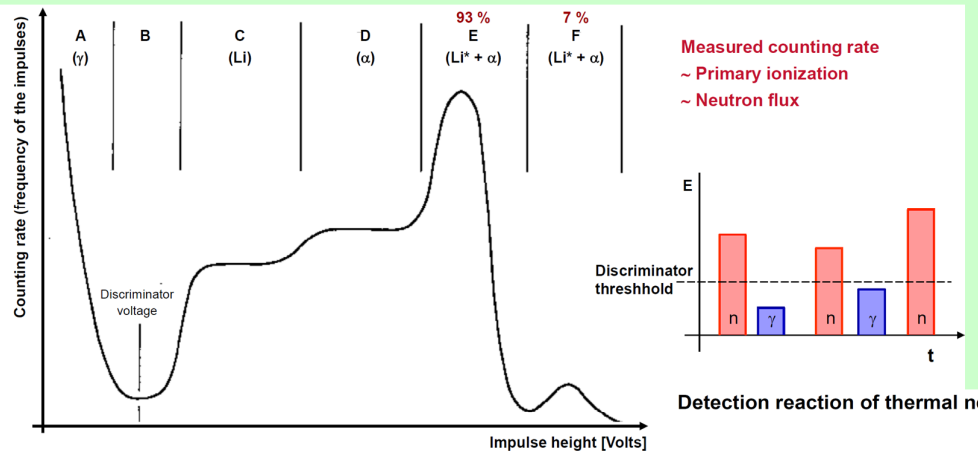
$$^{10}_{5}B + n \xrightarrow{7\,\%} {}^{7}_{3}Li + {}^{4}_{2}He + 2{,}78\ MeV$$

$$^{10}_{5}B + n \xrightarrow{93\,\%} {}^{7}_{3}Li^{*} + {}^{4}_{2}He + 2{,}3\ MeV \rightarrow {}^{7}_{3}Li + \gamma + 0{,}48\ MeV$$



Proportional counter tubes.

Pulse height spectrum and gamma discrimination

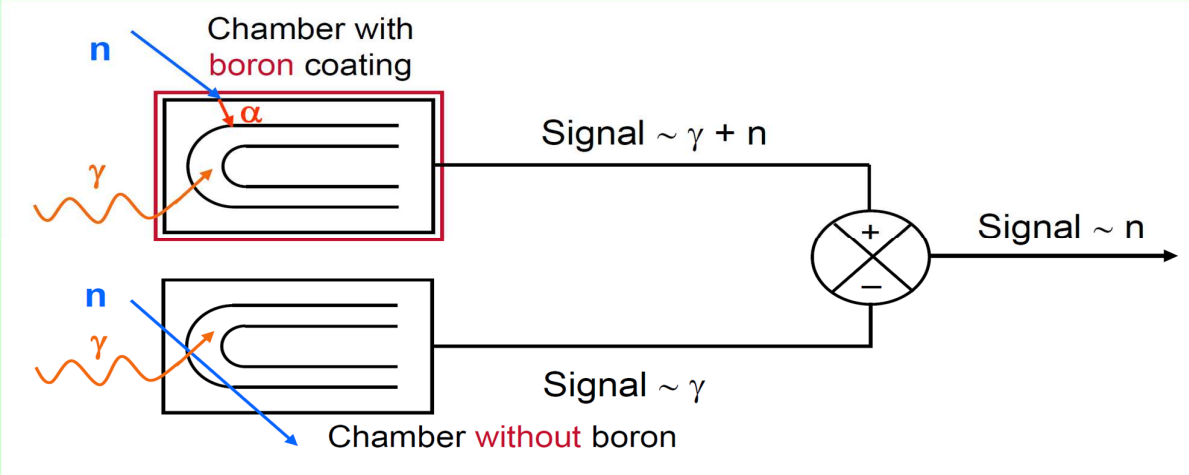


Detection reaction of thermal neutrons $\boxed{^{10}_{5}B(n,\alpha)^{7}_{3}Li}$

$$^{10}_{5}B + n \xrightarrow{7\,\%} {}^{7}_{3}Li + {}^{4}_{2}He + 2{,}78\ MeV$$

$$^{10}_{5}B + n \xrightarrow{93\,\%} {}^{7}_{3}Li^{*} + {}^{4}_{2}He + 2{,}3\ MeV \rightarrow {}^{7}_{3}Li + \gamma + 0{,}48\ MeV$$

Princíp kompenzovanej ionizačnej komory



High energetic gamma quanta escaping from the core may also cause ionization, directly in the detector. In particular in the intermediate range, delayed **gamma** radiation which **is not proportional to the core power**, contributes significantly to the measuring signal and has therefore to be compensated.

Boron lined proportional counters

Type	Neutron sensitivity ($c.s^{-1}/n.cm^{-2}.s^{-1}$)	∅ (mm)	Length (mm)	Max operating T° (°C)	Integral cable (mm)	Connector
CPNB25	4	25.4	394	200	no	HN
CPNB48	10	25.4	560		no	
CPNB45	8	25.4	678		no	
CPNB44	8	48	761		6	
CPNB35	12	76.5	443		no	
CPNB34	12	76.5	457.5		6	
CPNB65	20	76.5	727		no	
CPNB64	20	76.5	741.5		6	

Thermal neutron detectors / Operating in pulse mode
Watertight HN connectors ensure a high safety of use.
Applications:
- monitoring nuclear reactors in the source range
- fuel reprocessing operations
- special equipments in reactors (boron-meters)

Fission chambers for out-of-core

Type	Neutron sensitivity Current mode ($A/n.cm^{-2}.s^{-1}$)	Neutron sensitivity Pulse mode ($c.s^{-1}/n.cm^{-2}.s^{-1}$)	∅ (mm)	Length (mm)	Max operating T° (°C)	Integral cable (mm)	Connector
CFUM11	1×10^{-14}	1×10^{-1}	25.4	227	250	no	HN
CFUM18	1×10^{-14}	1×10^{-1}	25.4	263	250	6	
CFUM21	1×10^{-15}	1×10^{-2}	25.4	227	250	no	
CFUC06	2×10^{-13}	1	48	412	600	6 + 6	
CFUC07	2×10^{-13}	1	48	372	400	6 + 6	
CFUL01	2×10^{-13}	1	48	337	250	no	
CFUL08	2×10^{-13}	1	48	384.5	250	6	
CFUK08	6×10^{-13}	3	60	362	250	6	
CFUG08	8×10^{-13}	4	80	419	250	6	
CFUH08	1×10^{-14}	4	80	410	250	6 + 4	

- Integral watertight HN connectors
- Integral mineral insulated cable
- Complete Inconel protection

Applications

- thermal neutron detection
- wide range reactor monitoring
- waste monitoring

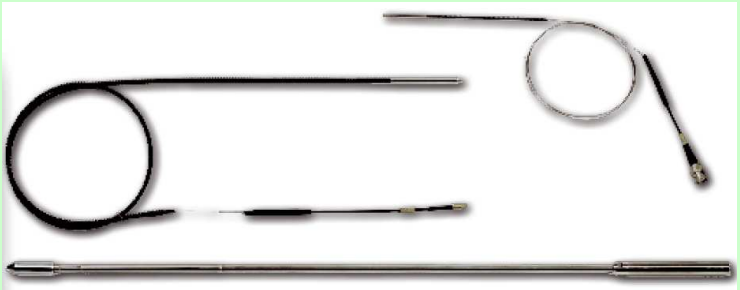
Fission chambers for in-core use

Type	Neutron sensitivity Current mode ($A/n.cm^{-2}.s^{-1}$)	Neutron sensitivity Pulse mode ($c.s^{-1}/n.cm^{-2}.s^{-1}$)	∅ (mm)	Length (mm)	Max operating T° (°C)	Integral cable (mm)	Connector
CFUZ53	5×10^{-18}	-	1.5	50	350	1	BNC
CFUR43	3×10^{-18}	-	3	48.5	350	1	BNC
CFUF43	1×10^{-17}	-	4.7	86	350	1	BNC
CFUE32	1×10^{-16}	1×10^{-3}	7	150	600	6	HN
CFUE43	1×10^{-17}	-	7	85.5	500	3	BNC

Under severe environmental conditions:
high T° - humidity - gamma flux

Applications

- detection of thermal neutrons in high flux
- monitoring of the reactor fuel burn up
- start-up, intermediate and power range
- flux map measurement



Signálové káble

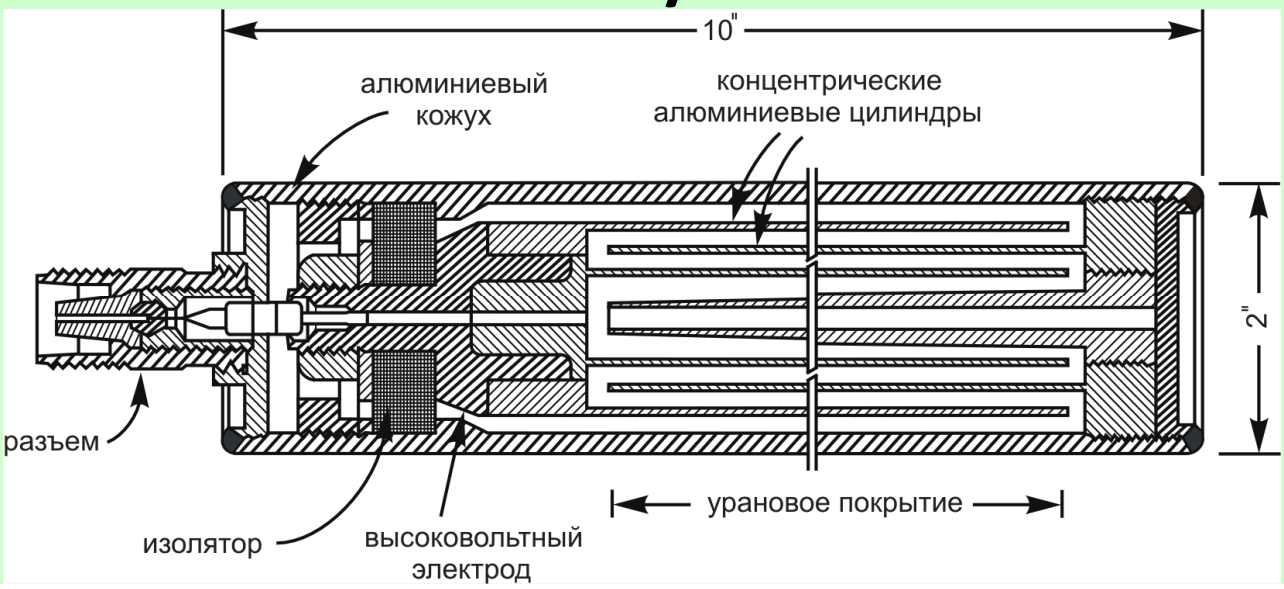
Cable extensions

High-immunity mineral insulated extension cables.
Transmission of low level impulsional signals.
Under hard environmental conditions.
Pulse or current transmission up to 20 bars external pressure.

Options
- BNC connectors
- watertight HN connectors
- high resistance to radiations and electromagnetic parasitic signals
- cable insulator MgO, SiO_2 or Al_2O_3

Type	Mode	Cable		Connector		Characteristic impedance
		∅ (mm)	insulator	type	insulator	Ω
EXT-BNC	current	3	MgO	BNC	PTFE	-
EXT-HN	pulse	16	MgO	HN	Al_2O_3	50

Štiepna komora s viacnásobnými koncentrickými stenami



Kompenzovaná ionizačná komora
KNK15 obsahuje U-235 a KNK 53M B-10

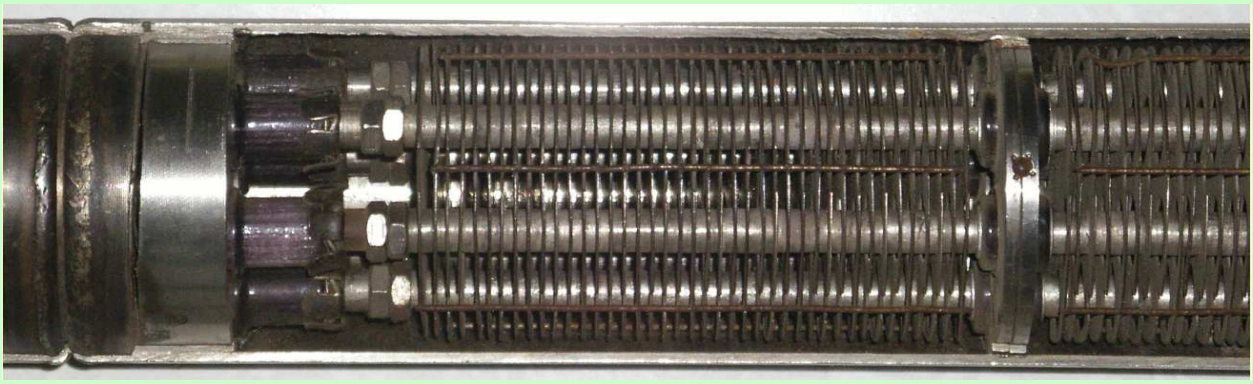
Pri štiepení uránu sa do pracovného plynu uvoľní jeden fragment a odnesie v priemere 80 MeV energie.

Rozmery KNK15: 51x51x260 mm
Pracovné napätie: 500V
Citlivosť v prúdovom režime: $(1,57\text{-}2,62)\cdot 10^{-13} A\cdot cm^2\cdot s\cdot n^{-1}$
Citlivosť v impulznom režime: $0,76 - 1,38\ cm^2\cdot n^{-1}$

Pri záchyte neutrónu bórom sa energia cca. 2,3 MeV rozdelí medzi Li-7 a He-4 a jedna z častíc ju vždy odovzdá pracovnému plynu.

Rozmery KNK53M: 50x50x512 mm
Pracovné napätie: + 500V
Citlivosť v prúdovom režime: $1,61\cdot 10^{-14} A\cdot cm^2\cdot s\cdot n^{-1}$

Bórová ionizačná komora KNK-53M



pracovný plyn: 94% ^4He+6% N_2, tlak plynu 0,6 Mpa, napájanie 500 V
Radiátor ^{10}B, hrúbka 1 mg/cm^2, celková plocha 1800 cm^2
Platne Ø44,5 mm sú pokryté bórom sú striedavo napájané a γ kompenzované
V každej zo 4 (rozdelené iba kvôli pevnosti) sekcií je 77 bórom pokrytých platní a 77 nepokrytých pre kompenzáciu gama.

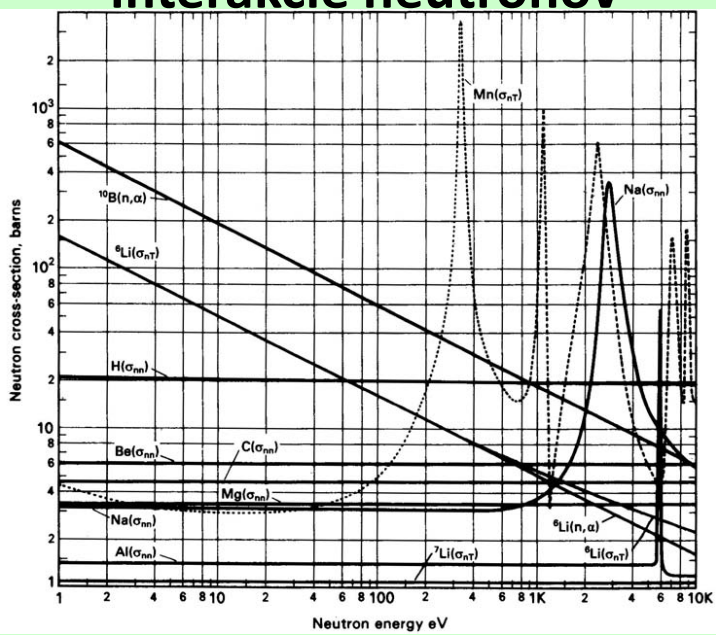
Výhody štiepnej ionizačnej komory

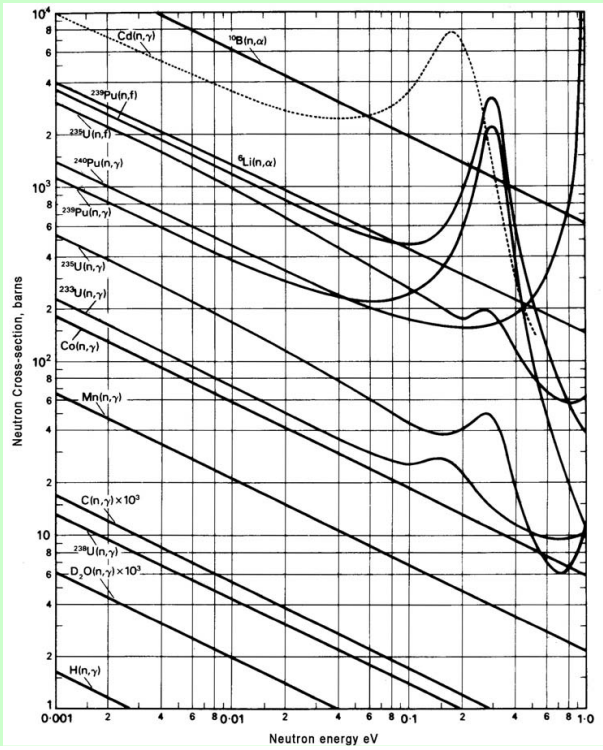
Fission chambers use neutron-induced fission to detect neutrons. The chamber is usually similar in construction to that of an ionization chamber, except that the **coating material is highly enriched U235**. The neutrons interact with the U235, causing fission. One of the two fission fragments enters the chamber, while the other fission fragment embeds itself in the chamber wall.

One advantage of using U235 coating rather than boron is that the **fission fragment has a much higher energy level than the alpha particle from a boron reaction.** Neutron-induced fission fragments produce many more ionizations in the chamber per interaction than do the neutron induced alpha particles. This allows the fission chambers to **operate in higher gamma fields than an uncompensated ion chamber with boron lining**.

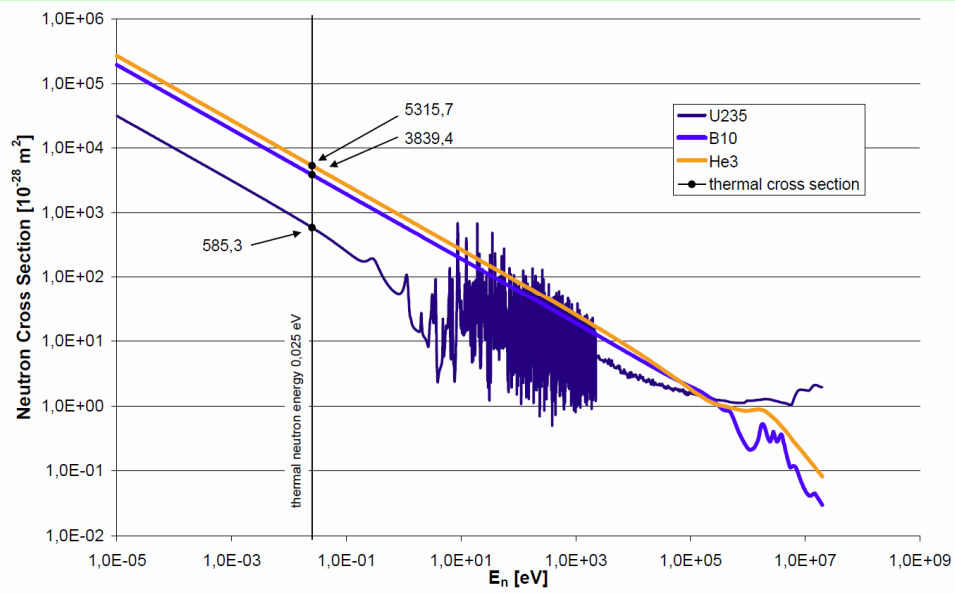
Fission chambers are often used as **current indicating devices and pulse devices simultaneously**. They are especially useful as pulse chambers, due to the very large pulse size difference between neutrons and gamma rays. Because of the fission chamber's dual use, it is often used in "wide range" channels in nuclear instrumentation systems. Fission chambers are also capable of operating over the **source and intermediate ranges** of neutron levels.

Účinný prierez interakcie neutrónov





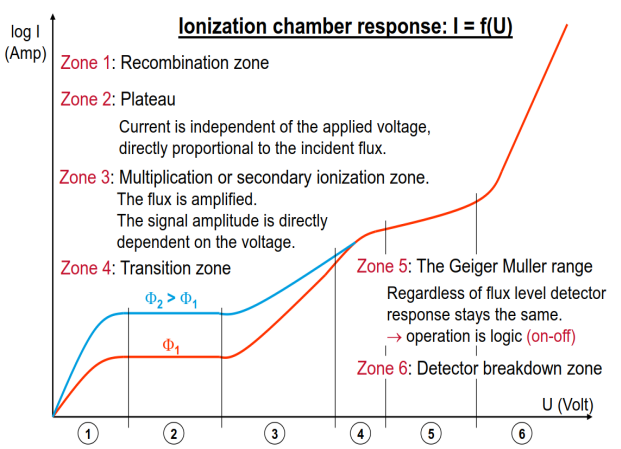
Mikroskopické účinné prierezy pre neutróny

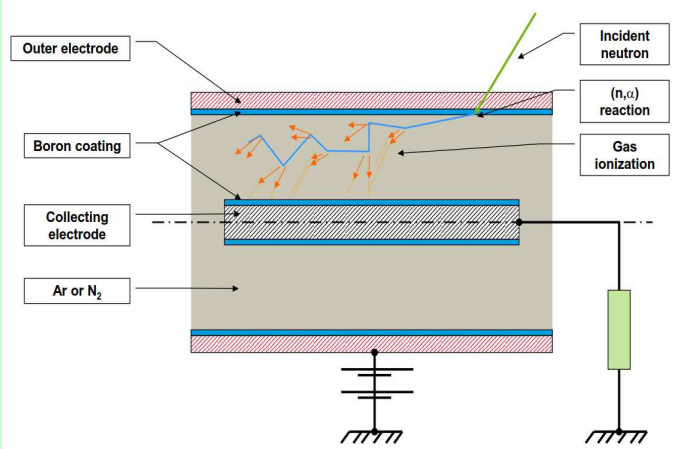


E=0,025 eV
v=2,2 km/s

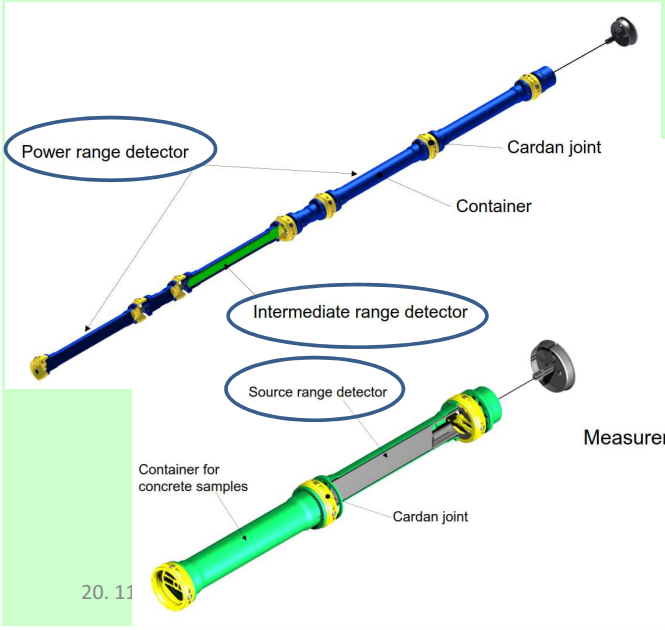
$^{10}B\ (n, \alpha)^{7}Li$	4010 b
$^{6}Li(n,\alpha)T$	945 b
$^{3}He(n,p)T$	5400 b
$^{239}Pu(n,f)$	742 b
$^{235}U(n,f)$	582,9 b
$^{233}U(n,f)$	534,6 b

Ionization chamber basics

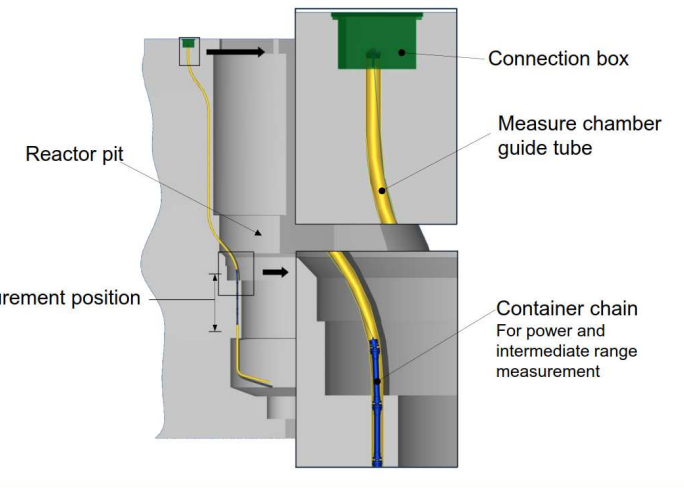




Container chain and Measuring chamber guide tubes



PWR EXCORE



Správa Nucnet 02.10.2019

Francúzsko-nemecké konzorcium Framatome-Siemens získalo zákazku na dodávku hlavných systémov kontroly a riadenia (SKR) pre jadrovú elektráreň (JE) **Hanhikivi-1**, ktorá sa má postaviť v severnom **Fínsku**, uviedla spoločnosť **Fennovoima**, vlastník projektu.

Fennovoima uviedla, že podľa zmluvy **Framatome dodá bezpečnostné** automatizačné systémy a **Siemens bude dodávateľom prevádzkových** systémov SKR.

Fínska spoločnosť uviedla, že sa zapojila do rokovaní medzi hlavným dodávateľom, **ruskou spoločnosťou Titan-2** a konzorciom Framatome-Siemens, pretože jej cieľom je zabezpečiť, aby SKR na Hanhikivi dodávala „jedna z najuznávanejších spoločností v tejto oblasti“.

V júni 2017 Fennovima oznámila, že spoločnosť **Rolls-Royce** so sídlom vo Veľkej Británii a **Schneider Electric** so sídlom vo Francúzsku boli vybrané ako preferovaní hlavní dodávatelia automatizačných systémov pre Hanhikivi-1.

Medzičasom spoločnosť Schneider Elektric bola pohltená Framatomom a spoločnosť Rolls-Royce services (USA+Canada) bola kúpená spoločnosťou Westinghouse

Framatome I&C systems

With **TELEPERM® XS (TXS)**, Framatome is your passport to digital success drawing upon our more than 10 years of global nuclear operational experience. Worldwide, customers at 59 units have implemented or ordered TELEPERM® XS for 36 sites, in 14 countries, and for 10 different reactor supplier types.

Another example of digital upgrades is Framatome's recent **Digital Control Rod Drive Control System** (DCRDCS), **Flux Mapping Systems** (FMS), **Loose Parts Monitoring System** (LPMS), **Reactivity Measurement and Analysis System** (RMAS).

Systém AKNT (Excore)

- Aparatúra kontroly n-toku AKNT zabezpečuje **meranie hustoty toku tepelných neutrónov** v AZ reaktora vo všetkých režimoch práce reaktora.
- AKNT je súčasťou SORR, meria hustotu toku neutrónov, mení ju na elektrický signál úmerný veľkosti **neutrónového toku a periódy reaktora**.

Systém AKNT (Excore)

- Výstupné signály podáva:
  - do systému ochrán reaktora
  - do automatického regulátora výkonu reaktora
  - do obmedzovača výkonu reaktora
  - do systému vnútroreaktorovej kontroly SVRK (Incore)
  - na riadiace pracovisko operátora reaktora - BD
  - na zavážací stroj počas výmeny paliva - SKVP
  - na núdzovú dozorňu - SKN

Zloženie systému AKNT

AKNT je možno rozdeliť na:

- **základný** systém merania počas spúšťania a energetického využitia - SKZ
- systém kontroly AZ počas zavážania a **výmeny paliva** v reaktore - SKVP
- systém kontroly **pre núdzovú dozorňu** – SKN

AKNT sa skladá z meracích kanálov a nadväzujúcej aparatúry.

Merací kanál (MK) sa skladá z detektora, predzosilňovača s diskriminátorom alebo prevodníka a merača.

Na výstupe MK je **analógový a digitálny signál** úmerný n-toku a prevrátenej hodnote periódy, ďalej sú na výstupe dvojhodnotové signály prekročenia zadaných hodnôt výkonu a periódy, správnosti, meraného pásma a previerky.

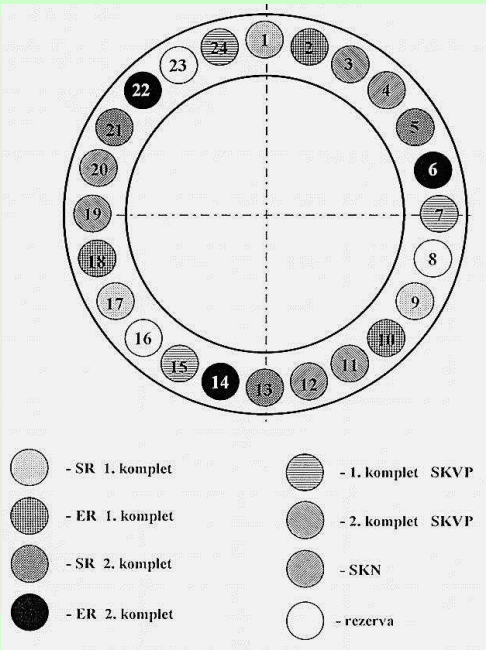
Rozloženie systémov EXCORE/AKNT

SKZ tvorí 12 kanálov v dvoch kompletoch. Detektory SKZ sú umiestnené v SBO v kanáloch. IK sú nepohyblivé.
1. komplet SR je v kanáloch 1, 9, 17
2. komplet SR je v kanáloch 5, 13, 21
1. komplet ER je v kanáloch 2, 10, 18
2. komplet ER je v kanáloch 6, 14, 22

SKN zabezpečuje kontrolu n-toku pre ND v spúšťacom rozsahu. Má 3 detektory č.4,12, 20 uložených v rúrach SBO. Vyťahuje sa.

SKVP tvorí 6 detektorov v dvoch kompletoch:
1. komplet v kanáloch 7, 15, 24 a
2. komplet v kanáloch 3, 11, 19

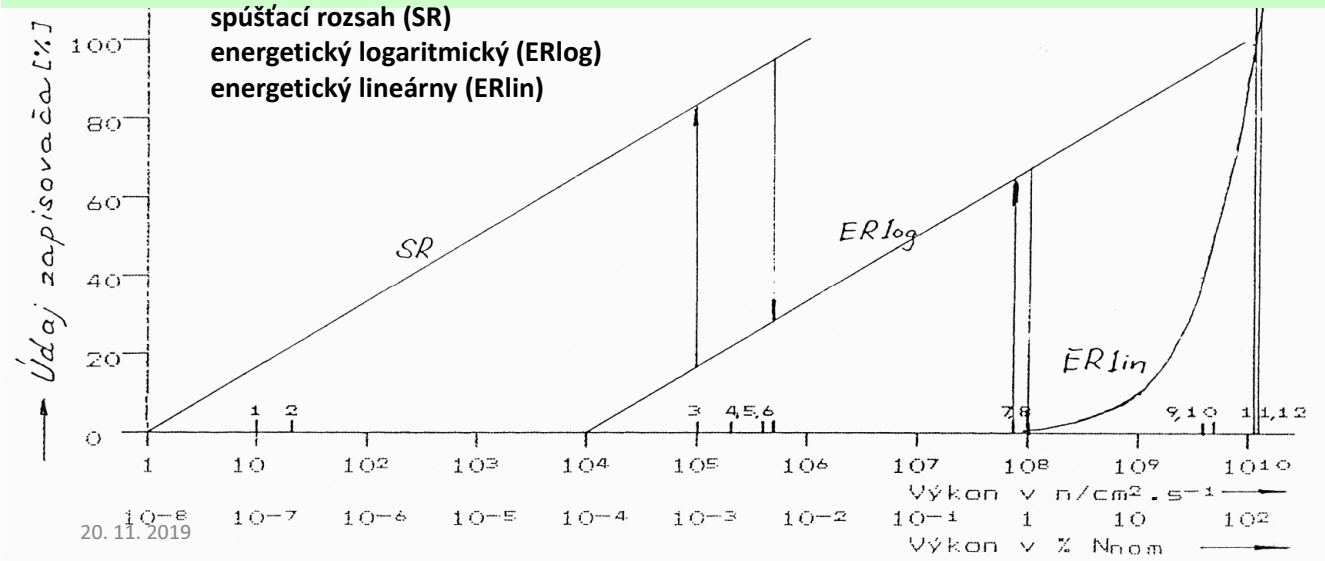
Detektor č. 23 je rezervou pre SR,
detektory č. 8, 16 sú rezervou pre ER.



Rozsah merania n-toku

Aparatúra meria v rozsahu $10^{-3} \div 1{,}2\times10^{10}$ n/cm².s⁻¹.
Rozsah merania SKZ je rozdelený na tri podrozsahy:

spúšťací rozsah (SR)
energetický logaritmický (ERlog)
energetický lineárny (ERlin)



Základné technické údaje
meracích kanálov AKNT SKZ

Parameter	Rozsah		
	SR	ERlog	ERlin
1. Typ merača	BPM-07R	BPM-08R	BPM-08R
2. Typ bloku detekcie	UDPN-03R	UDPN-12R	UDPN-12R
3. Typ detektoru	KNK-15 (IŠK)	KNK-53M	KNK-53M
4. Rozsah merania (n/cm².s) (%P_{nom})	$1 \div 10^6$ $10^{-8} \div 10^{-2}$	$10^4 \div 10^{10}$ $10^{-4} \div 100$	$10^8 \div 1{,}2 \times 10^{10}$ $1 \div 120$
5. Presnosť merania výkonu (%)	10(30)	10(30)	1
6. Časová konštanta MK (s)	200-0,2	20-0,2	0,02
7. Rozsah zvukovej indikácie	v celom rozsahu merania		
8. Počet nastaviteľných medzí ochrany od výkonu	5	5	110
9. Rozsah kontroly periódy (s)	±(500-10)	±(500-10)	±(500-10)
10. Presnosť merania periódy (%hodnoty)	±10	±10	±10
11. Nastaviteľné medze ochrany od periódy (s)	10, 20, 40	10, 20, 40	10, 20, 40

k bodu 2: KNK15 obsahuje U-235 a KNK 53M B-10
k bodu 5: z nameranej hodnoty, hodnota v zátvorke platí pre prvú dekádu merania.
k bodu 8:pomer medzi HAV-N : VAR-N : Nrom je 110 : 105 : 102 t.j. k spusteniu signálu Nrom dôjde pri 92,72% Nzad, k spusteniu VAR-N dôjde pri 95,45% Nzad, spusteniu HAV-N dôjde práve pri dosiahnutí zadanej hodnoty.
k bodu 11. pomer medzi HAV-T : VAR-T : Trom je 1 : 2 : 4.

Základné technické údaje AKNP
subsystémov SKVP, SKN

Parameter	SKVP	SKN
1. Typ merača	BPM-07R	BPM-13R
2. Typ bloku detekcie	UDPN-05R1	UDPN-03R
3. Typ detektoru	SNM-11	KNK-15
4. Rozsah merania (n/cm².s) (%P_{nom})	$10^{-3} \div 10^3$	$1 \div 10^5$ $10^{-8} \div 10^{-3}$
5. Presnosť merania výkonu (%)	10(30)	10(30)
6. Časová konštanta MK (s)	200÷0,2	100÷0,1
7. Rozsah zvukovej indikácie	zvuková indikácia v celom rozsahu merania	
8. Rozsah kontroly periódy (s)	±(500÷10)	±(500÷10)
9. Presnosť merania periódy (%hodnoty)	±10	±10

KNK-15 je štiepna ionizačná komora s obsahom ^{235}U a plynovou náplňou 96%Ar + 2%N_2 + 2%^4He
SNM-11 je bórom pokrytý proporcionálny detektor

SYSTÉM VNÚTROREAKTOROVEJ KONTROLY (INCORE/SVRK)

20. 11. 2019

Ciele vnútroreaktorového monitorovania

1. **Operatívna a technologická kontrola**
2. **retrospektívna analýza technologickej informácie**

A. Online 3D meranie teploty a tepelného výkonu aktívnej zóny
B. Mapovanie hustoty toku neutrónov v aktívnej zóne (LWR, HWR, RBMK)
C. Regulácia reaktora (okamžité SPND) ?
D. Lokálna ochrana aktívnej zóny (okamžité SPND v LWR, RBMK)

20. 11. 2019

Charakteristika SVRK

- SVRK predstavuje viacúrovňový 2-kanálový informačný systém, klasifikovaný ako „**Systém normálnej prevádzky dôležitý pre bezpečnosť“ .**
- Systém sa prevádzkuje v režime spojitej celodennej práce počas kampane reaktora.
- V „studenom" režime, t.j. od teploty chladiva 50°C do výkonu MKÚ (minimálna kritická úroveň) a tiež od výkonu MKÚ do 10%N_{nom} systém kontroluje **teploty**, **prietok**, **tlak** chladiva v PO.
- Nad 10% N_{nom} kontroluje tiež **vývin energie v AZ**.
- SVRK na blokoch VVER 440 tvorí **súčasť komplexu informačného systému** a môže poskytovať informáciu iným systémom blokovej i mimoblokovej úrovne.

Prostriedky merania na VVER 440

- **TČ (termočlánok)** merania teploty chladiva na výstupe z kaziet **210** TČ a nad AZ **6** TČ;
- **TČ a OT (odporový teplomer)** k meraniu teploty chladiva v potrubiach hlavných cirkulačných okruhov (**24 TČ a 12 OT**);
- **Kompenzačná krabica „studených koncov"** pre TČ ku kontrole teplôt v AZ (typ KS-535);
- **Kompenzačná krabica „studených koncov"** pre TČ k meraniu teploty v HCČ (typ KS-545);
- **KNI (kanál neutrónovo informačný)** ku kontrole rozloženia vývinu energie v objeme AZ;
- **Spojovacie trasy** od snímačov k aparatúre;
- **Normovacie prevodníky** pre vstup signálov snímačov spoločného určenia (tlaku, prietoku, výkonu a pod.), diskrétnych signálov charakterizujúcich stav zariadenia a systémov PO (HCČ, armatúry slučiek, PG a iné).
- Od systému **SORR** a od aparatúry **ExCore - AKNT** vstupujú do aparatúry SVRK analógové a diskrétne signály.

Prehľad vstupných signálov SVRK

od TČ na výstupe z kaziet a z priestoru nad AZ	210+6=216
od TČ v 6-tich horúcich a chladných slučkách	6x2x2=24
od OT v horúcich a v studených slučkách	6x2=12
sprievodné signály OT studených koncov	18x2
od OT v SO, medziokruhy SORR a HCČ	16
od SPND nachádzajúcich sa v KNI	36x7=252
sprievodné signály kompenzácie šumov vo vodičoch SPND	36x7=252
signály spoločného určenia (normované signály)	72
polohy kaziet HRK	37
údaje ionizačných komôr AKNT	18
diskrétne signály	108

Meranie teploty

- K získaniu informácie o teplote **na výstupe z PK** slúži 210 TČ, ktoré sú umiestnené nad kazetami. Okrem toho existuje 6 TČ umiestnených v priestore **na výstupe z reaktora** (nad AZ).
- Pri výstupe z TNR sa TČ združujú do **12 zväzkov**, pričom každému z nich zodpovedá **prechodka** tepelnej kontroly, prepočítaná na pracovný tlak reaktora. Na prechodkách TČ sa nachádzajú zariadenia pre kompenzáciu studených koncov TČ.
- Do kompenzačného zariadenia vstupujú studené konce od 18 TČ danej prechodky. Vo vnútri zariadenia sú **platinové odporové teplomery** k meraniu teploty **studených koncov.** Ďalej signály TČ prechádzajú cez tepelne a radiačne odolné káble do aparatúry SVRK.
- Teplota chladiva sa v studených a v horúcich trasách **cirkulačných slučiek** meria pomocou 24 TČ a 12 OT. Studené konce TČ studenej a horúcej trasy danej slučky vstupujú do spoločného kompenzačného zariadenia, z ktorého signály teplotnej kontroly pokračujú cez kábel do aparatúry SVRK.

Meranie tepelného výkonu

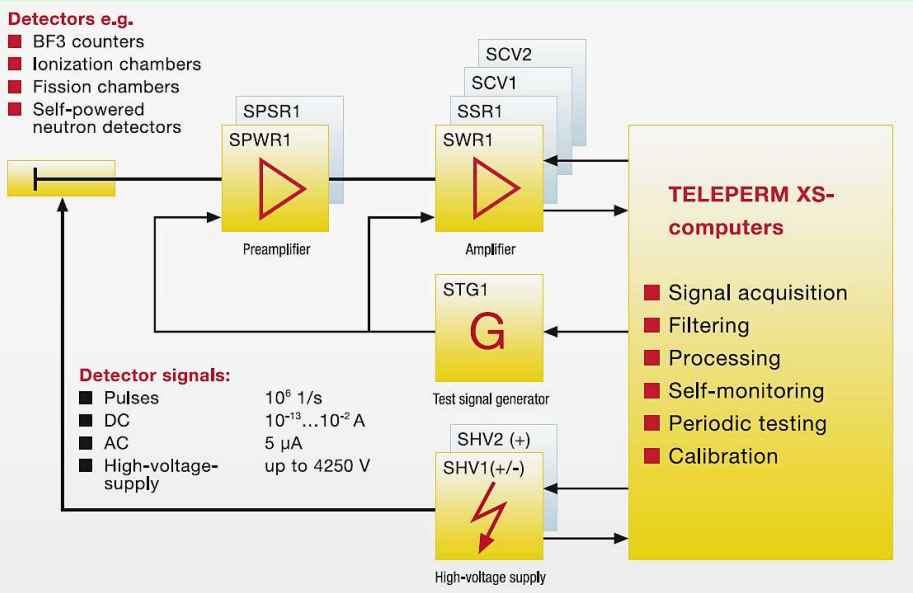
- Zdrojom meranej informácie o rozložení vývinu energie v AZ sú detektory SPND. **Sedem detektorov** nachádzajúcich sa na jednej vertikále sú konštrukčne spojené pomocou hermetického púzdra a tvoria **kanál KNI**. Púzdro a jeho utesnenie na veku telesa reaktora sú prepočítané na pracovný tlak chladiva. Tieto KNI sa potom **umiestňujú do centrálnej rúrky** v príslušnej PK.
- V reaktore VVER 440 sa celkom nachádza **36 KNI**. Sú rozložené tak, aby s uvážením symetrie zavážky paliva bolo možné získať informáciu o rozložení vývinu energie po celom objeme AZ. Každý zo siedmych signálov KNI sprevádza signál - prúd vodiča kompenzácie pozadia, ktorý je potrebný k vyhodnoteniu údajov DPZ. Časť káblu, ktorý sa nachádza vo vnútri šachty reaktora má na koncoch **konektory** umožňujúce jeho odpojenie počas výmeny paliva. Prenos signálov cez plášť RZ umožňujú káblové prechodky, ktoré sú prepočítané na určitý tlak zodpovedajúci havarijnej situácii.
- Analógové signály normovanej úrovne (0-5 mA) postupujú od príslušných snímačov s normujúcimi prevodníkmi cez spojovacie káble do aparatúry SVRK.

Detektory systému INCORE/SVRK

Meracia časť systému zabezpečuje zber meraní od snímačov vnútroreaktorovej kontroly a od iných technologických snímačov reaktorového zariadenia.

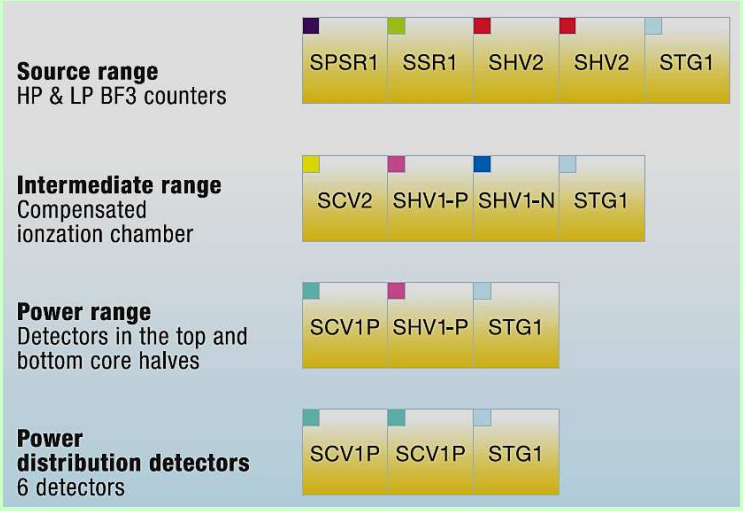
- Miniatúrne štiepne komory
- SPND detektory

Schéma interakcie meracích kanálov so systémom TELEPERM XS



Signal conditioning; control and monitorin	
DC amplifier	SCV1P
DC amplifier	SCV1B
DC amplifier	SCV2
Source range amplifier	SSR1
Wide range amplifier	SWR1
Test signal generator	STG1
Preamplification of sensitive detector sig	
Source range preamplifier	SPSR1
Wide range preamplifier	SPWR1
High-voltage supply for detectors	
High-voltage generator	SHV1-P
High-voltage generator	SHV1-N
High-voltage generator	SHV2

Typické meracie reťazce v systémoch INCORE a EXCORE



Moduly TXS použité v systémoch Incore a Excore

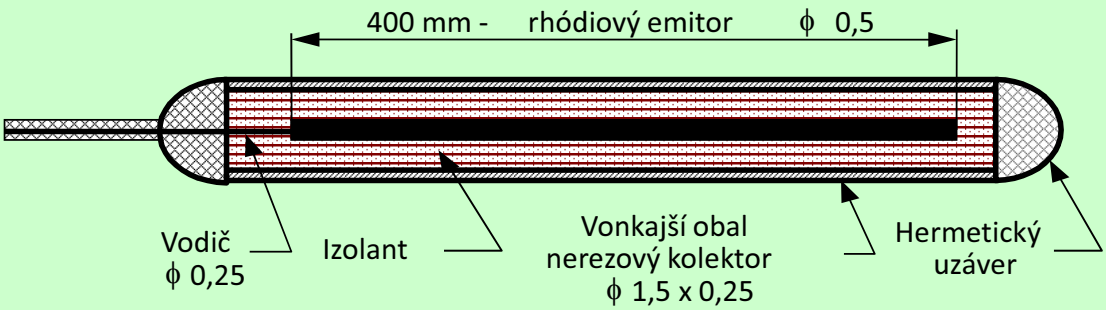
Signal conditioning; control and monitoring of detectors		
DC amplifier	SCV1P	30 nA to 10 mA
DC amplifier	SCV1B	30 nA to 10 mA (with auxiliary voltage 200 V / 5 mA)
DC amplifier	SCV2	1 pA to 1 mA
Source range amplifier	SSR1	Pulses from preamplifier, e.g. SPSR1
Wide range amplifier	SWR1	Pulses, AC from preamplifier SPWR1, DC
Test signal generator	STG1	Test signals for pulse, DC and AC inputs
Preamplification of sensitive detector signals		
Source range preamplifier	SPSR1	1 MHz pulses
Wide range preamplifier	SPWR1	1 MHz pulses, AC 5 µA
High-voltage supply for detectors		
High-voltage generator	SHV1-P	+1500 V / 20 mA
High-voltage generator	SHV1-N	-1500 V / 20 mA
High-voltage generator	SHV2	+4250 V / 0.5 mA

SAMONAPÁJACIE DETEKTORY
SPND
SELF POWERED NEUTRON DETECTORS
DPZ
ДЕТЕКТОР ПРЯМОГО ЗАРЯДА

Vlastnosti SPND

- Nepotrebujú žiadne napájanie
- Jednoduchá odolná konštrukcia
- Relatívne malé rozmery
- Dobrá stabilita v podmienkach zvýšenej teploty a tlaku
- Generujú dobre reprodukovateľný lineárny signál
- Relatívne nízke opotrebovanie vyhorením citlivého materiálu (burn-up závisí od materiálu emitora)
- Ohraničený merací rozsah vplyvom nízkej citlivosti
- Vyžadujú kompenzáciu šumových signálov pozadia
- Oneskorená odozva niektorých emitorov

Schéma samonapájacieho detektora



Materiál emitorov: Rh, Pt, Hf, V, Co, Ag
Používané izolátory: Al_2O_3, MgO ($R_{300°C} = 10^8\ \Omega$)
Materiál kolektorov: nerez, inconel 600 (Ni 60%, Cr 23%, Fe15%)

Charakteristiky emitorov

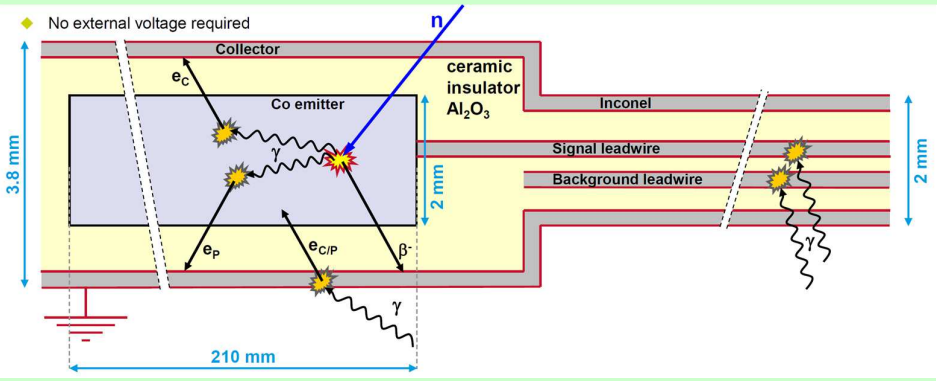
Emitter Material	Rhodium	Vanadium	Cobalt	Hafnia ($Hf0_2$)	Silver	Platinum
Emitter Diameter mm	0.46	2.0	2.0	1.24	0.65	0.51
Emitter Length mm	400	100	210	7000	7000	3050
Insulator Type	Al_2O_3	Al_2O_3	Al_2O_3	M_g0	M_g0	Al_20_3
Collector Material	Inconel	Inconel	Inconel	Stainless Steel	Stainless Steel	Inconel
Collector Diameter mm	1.57	3.5	3.5	3.0	3.0	1.6
Thermal Neutron Sensitivity A/nv	$3.6x10^{-20}$	$4.8x10^{-21}$	$5.4x10^{-21}$	$7.9x10^{-20}$	$42x10^{-20}$	$2.5x10^{-22}$
Co^{60} Gamma Sensitivity A/R/HR	$7.0x10^{-17}$	$4.0x10^{-17}$	$5.6x10^{-17}$	$2.8x10^{-16}$	$13.5x10^{-16}$	$3.4x10^{-16}$
Insulation Resistance ohms 20°C 300°C	$>10^{12}$ $>10^{8}$	$>10^{12}$ $>10^{8}$	$>10^{12}$ $>10^{8}$	$>10^{10}$ $>10^{8}$	$>10^{9}$ $>10^{7}$	$>10^{12}$ $>10^{8}$
Response Time (0-63%)	1.1 Minutes	5.5 Minutes	Prompt	Prompt	0.5 Minutes	Prompt
Burn-up Rate %/month at 10^{13}nv	0.39	0.01	0.09	0.30	0.16	0.03

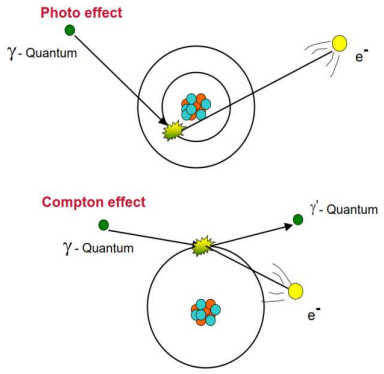
Charakteristiky materiálov emitorov

Emitter Material	Stable Isotope	% Composition	Activation Cross-section (barns)	Resulting Nuclide	Half-life
Vanadium	$_{23}V^{50}$	0.24	100	$_{23}V^{51}$	Stable
	$_{23}V^{51}$	99.76	4.9	$_{23}V^{52}$	3.76 Minutes
Rhodium	$_{45}Rh^{103}$	100	11(8%)	$_{45}Rh^{104m}$	4.4 Minutes
			135(92%)	$_{45}Rh^{104}$	42 seconds
Cobalt	$_{27}Co^{59}$	100	37	$_{27}Co^{60}$	5.27 years
Hafnia	$_{72}Hf^{174}$	0.18	390	$_{72}Hf^{175}$	70 days
	$_{72}Hf^{176}$	5.20	15	$_{72}Hf^{177m}$	51.4 min
	$_{72}Hf^{177}$	18.50	380	$_{72}Hf^{178m}$	31 years
	$_{72}Hf^{178}$	27.14	75	$_{72}Hf^{179m}$	25.1 days
	$_{72}Hf^{179}$	13.75	65	$_{72}Hf^{180m}$	5.5 hours
	$_{72}Hf^{180}$	35.23	14	$_{72}Hf^{181m}$	42.4 days
Silver	$_{47}Ag^{107}$	51.82	35	$_{47}Ag^{108}$	2.42 min
	$_{47}Ag^{109}$	48.18	93	$_{47}Ag^{110}$	24.4 seconds
Platinum	$_{78}Pt^{192}$	0.78	14	$_{78}Pt^{193m}$	4.3 days
	$_{78}Pt^{194}$	32.90	2	$_{78}Pt^{195m}$	4.1 days
	$_{78}Pt^{195}$	33.80	24	$_{78}Pt^{196}$	Stable
	$_{78}Pt^{196}$	25.30	1	$_{78}Pt^{197m}$	1.3 hours
	$_{78}Pt^{198}$	7.22	4	$_{78}Pt^{199}$	30.8 min.

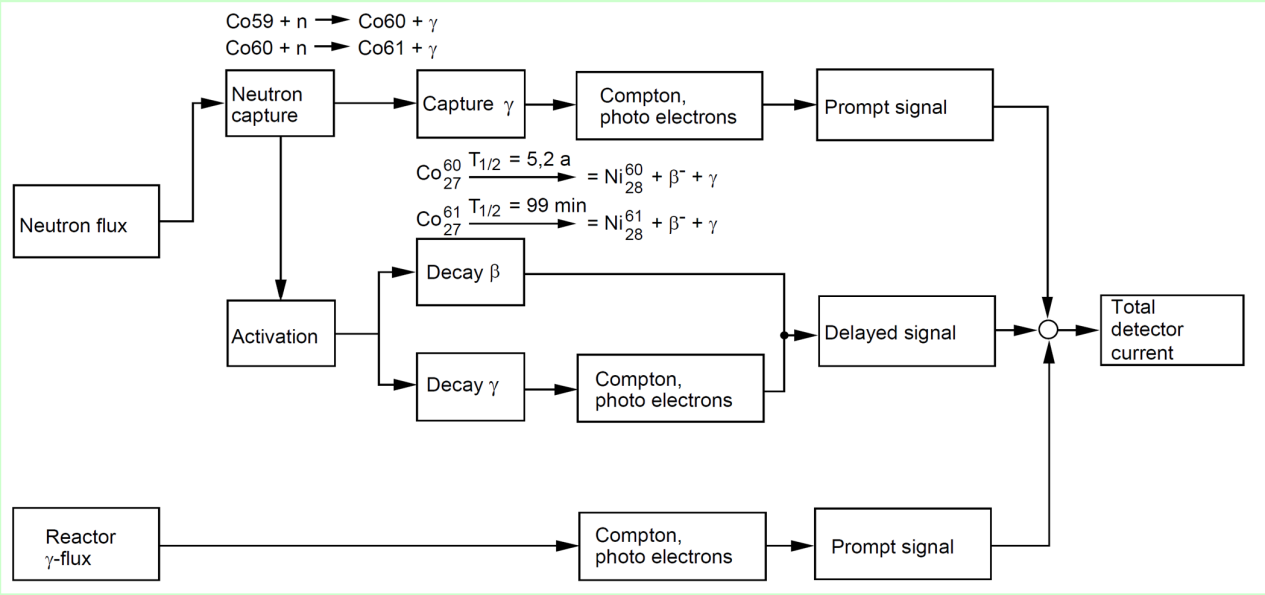
Self Powered Neutron Detectors (SPND)

The Self Powered Neutron Detectors (SPND) are (n,β) - detectors with cobalt emitter generating electric current through nuclear reactions. No external voltage required.





Generovanie signálu v SPND s kobaltovým emitorom



Charakteristiky rhódiového emitora ^{103}Rh

- ^{103}Rh charakterizuje reakcia (n,β) s účinným prierezom 145 barn pre tepelné neutróny a rezonanciou pri E=1,25 eV.
- Burn-up rate (vyhorenie) dosahuje 0.39% za mesiac v poli tep. neutrónov s hustotou toku 10^{13} $cm^{-2}s^{-1}$.
- Beta emisia s energiou 2.44 MeV.
- SPND s rhódiovým emitorom má relatívne vysokú senzivitu ale vysoké vyhorenie,
- 92% signálu má polčas premeny 42 s.
- 8% signálu má polčas premeny 4.4 min.

Parametre Rh SPND

Zmena citlivosti vzhľadom na dobu prevádzky

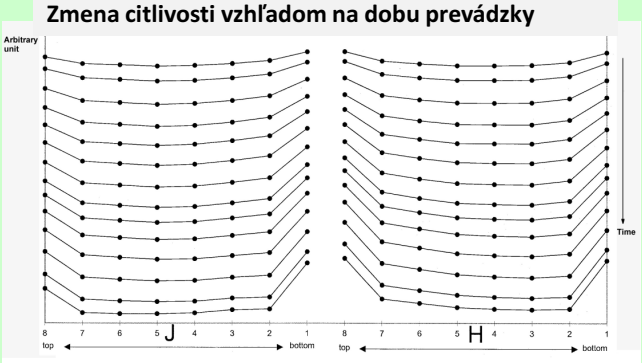


Figure 9. Comparison between rhodium signals and movable probes

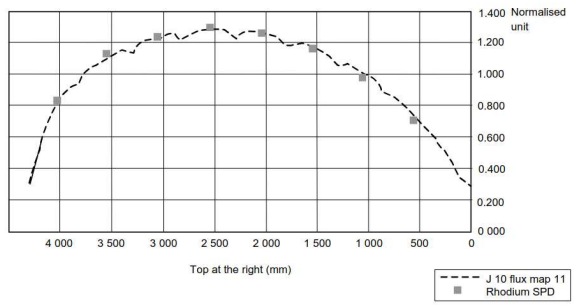
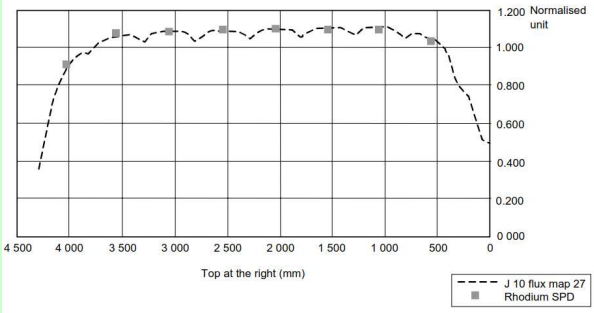


Figure 10. Comparison between rhodium signals and movable probes



SPND na báze ^{51}V

- ^{51}V má účinný prierez **n-beta** interakcie s tepelnými neutrónmi 4,9 barnov
- 1/v závislosť účinného prierezu bez rezonancií v oblasti tepelných a epitepelných neutrónov.
- Rýchlosť vyhorenia je nízka **0,012 %/mesiac** v poli tep. neutrónov s hustotou toku 10^{13} $cm^{-2}s^{-1}$.
- 99% signálu má polčas rozpadu 3,76 min, 1% signálu je okamžitá.
- Paralelná beta emisia 2,6 Mev.
- Má relatívne nízku citlivosť a malú rýchlosť vyhorenia,
- Veľmi oneskorený signál.

SPND na báze ^{59}Co

- ^{59}Co má n-gamma interakciu s účinným prierezom 37 barn pre tepelné neutróny.
- Rýchlosť vyhárania je 0.094%/mesiac v poli tepelných neutrónov 10^{13} $cm^{-2}s^{-1}$.
- Signál je okamžitý ale vyžaduje si dlhodobú kompenzáciu signálu od vznikajúcich izotopov ^{60}Co and ^{61}Co.
- Má relatívne nízku senzitivitu, strednú rýchlosť vyhorenia a okamžitú odozvu.

SPND na báze Hf

- Hf has a n-gamma interaction with a 115 barn thermal neutron cross-section and parallel gamma-photon reaction.
- The average burn-up rate is 0.3%/month in a thermal neutron flux of 10^{13} $cm^{-2}s^{-1}$.
- 96% of the signal is prompt, 4% of signal is delayed as gamma-radiation from fission products.
- A SPND with a hafnia emitter has relatively low sensitivity, high burn-up rate, perturbs the local power density and has a prompt signal.

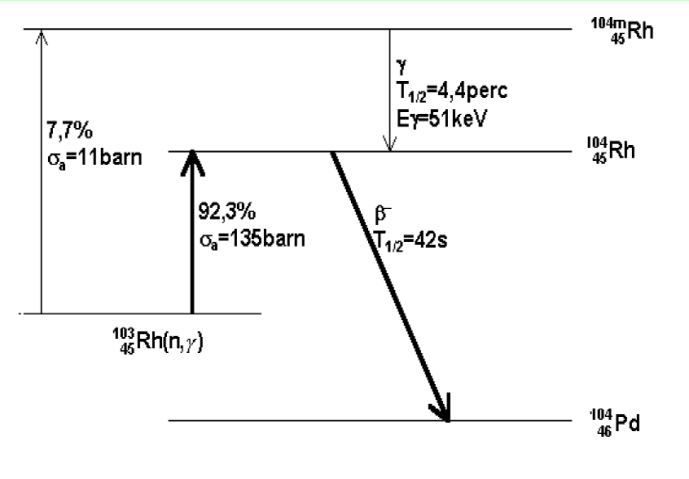
SPND na báze Ag

- Ag has a n-beta interaction with a 64.8 barn cross-section for thermal neutrons and a few resonances in the range 5-134 eV.
- The burn-up rate is 0.16%/ month in a thermal neutron flux of 10^{13} $cm^{-2}s^{-1}$.
- 66% of the initial signal has a half-life of 24.4 seconds.
- 25% of the signal has a half-life of 2.42 minutes.
- 9% of the signal is a prompt signal.
- A SPND with a silver emitter has an average sensitivity, average burn-up rate, average perturbation of local power density and has a (two-fold) delayed signal.

SPND na báze ^{195}Pt

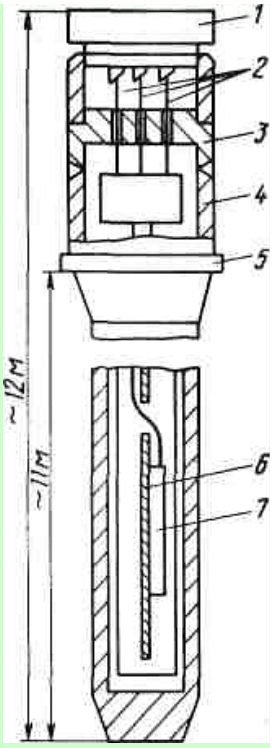
- ^{195}Pt has a n-gamma interaction with a 24 barn thermal neutron cross-section and a parallel gamma-photon reaction.
- The burn-up rate is 0.03%/month in a thermal neutron flux of 10^{13} $cm^{-2}s^{-1}$.
- The signal is prompt and has both neutron and gamma components.
- A SPND with a platinum emitter is sensitive to both gamma and neutron fluxes with 93% of the signal current due to gamma flux response and 7% due to neutron flux response in a typical light water reactor core.
- A SPND with a platinum emitter has a relatively low sensitivity, low burn-up rate and a prompt signal.

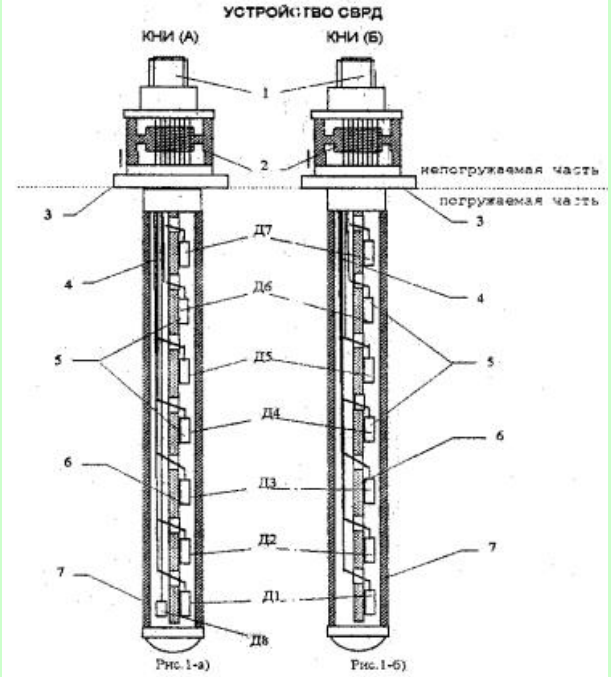
Ródiový emitor, KNI (MNT)



KNI reaktora VVER 1000
∅ 9 mm zasúvajú sa do centrálnej rúrky PČ

1 – konektor
2 - kontakty
3 – tesniaca časť
4 – ochranný obal
5 – detektorová časť (3,5m)
6 - tieniaca clona
7 – SPND detektor 7ks Rh ∅3,5x250 mm





Д1, Д2, Д3, Д4, Д5, Д6, Д7 - детекторы прямого заряда типа ДПЗ.01 (для КНИ (А) и типа ДПЗ.02 (для КНИ (Б);
Д8 - фоновый детектор типа ДПЗ.03

Modernizácia KNI na KNIT

obsahujú termočlánky na vstupnej a výstupnej časti so samo-diagnopstikou, automatickou kontrolou a korekciou kalibrácie, korekciou šumov zo signálových káblov.

Schéma meraní SVRK VVER-1000

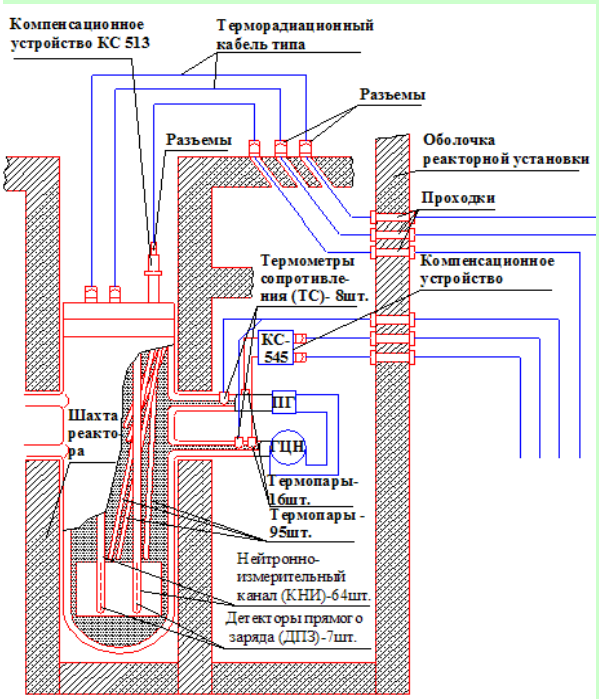
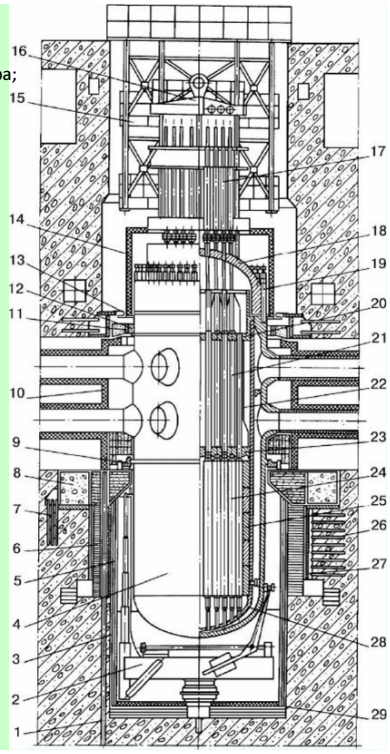


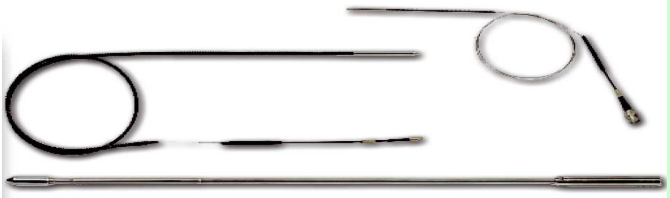
Schéma VVER-100

1 - канал ионизационной камеры;
2 - машина для осмотра корпуса реактора;
3 - нижняя секция теплоизоляции;
4 - корпус реактора;
5 - верхняя секция теплоизоляции;
6 - металлоконструкция радиационной тепловой защиты;
7 - анкерные связи опорной фермы;
8 - опорная ферма;
9 - опорное кольцо корпуса реактора;
10- теплоизоляция зоны патрубков;
11- шпонка упорного кольца;
12 - упорное кольцо;
13 - сильфон;
14 - теплоизоляция ВБ;
15 - каркас;
16 - траверса;
17 - привод СУЗ;
18 - крышка ВБ;
19 - шпилька У ГР;
20-верхняя плита БЗТ;
21 - защитная труба БЗТ;
22 - БЗТ;
23 - нижняя плита БЗТ;
24 - ТВС;
25 - выгородка;
26 - анкерная связь обечайки бокса;
27 - обечайка бокса;
28 - ШВК;
29-теплоизоляция нижней части



Fission chambers for in-core use

Type	Neutron sensitivity Current mode ($A/n.cm^{-2}.s^{-1}$)	Pulse mode ($c.s^{-1}/n.cm^{-2}.s^{-1}$)	∅ (mm)	Length (mm)	Max operating T° (°C)	Integral cable (mm)	Connector
CFUZ53	5×10^{-18}	-	1.5	50	350	1	BNC
CFUR43	3×10^{-18}	-	3	48.5	350	1	BNC
CFUF43	1×10^{-17}	-	4.7	86	350	1	BNC
CFUE32	1×10^{-16}	1×10^{-3}	7	150	600	6	HN
CFUE43	1×10^{-17}	-	7	85.5	500	3	BNC

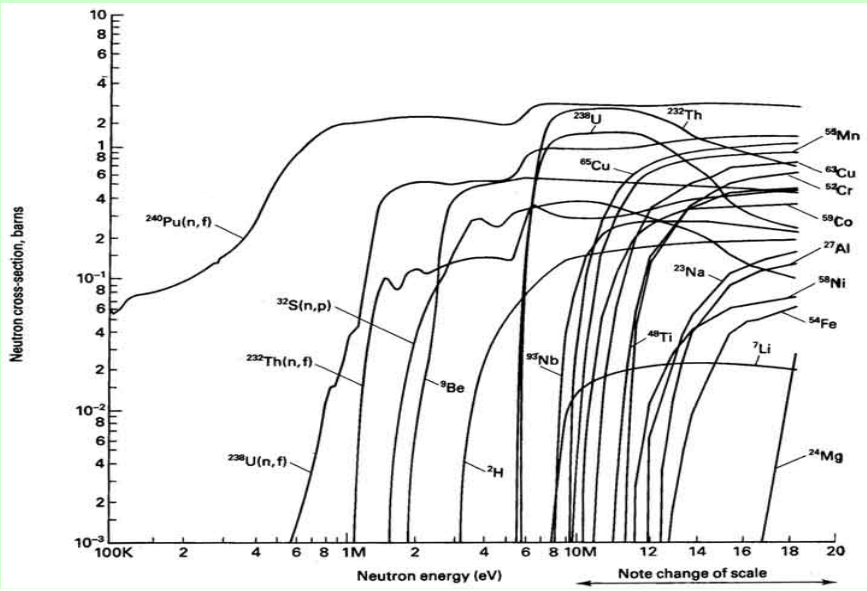


Under severe environmental conditions: high T° + humidity + gamma flux

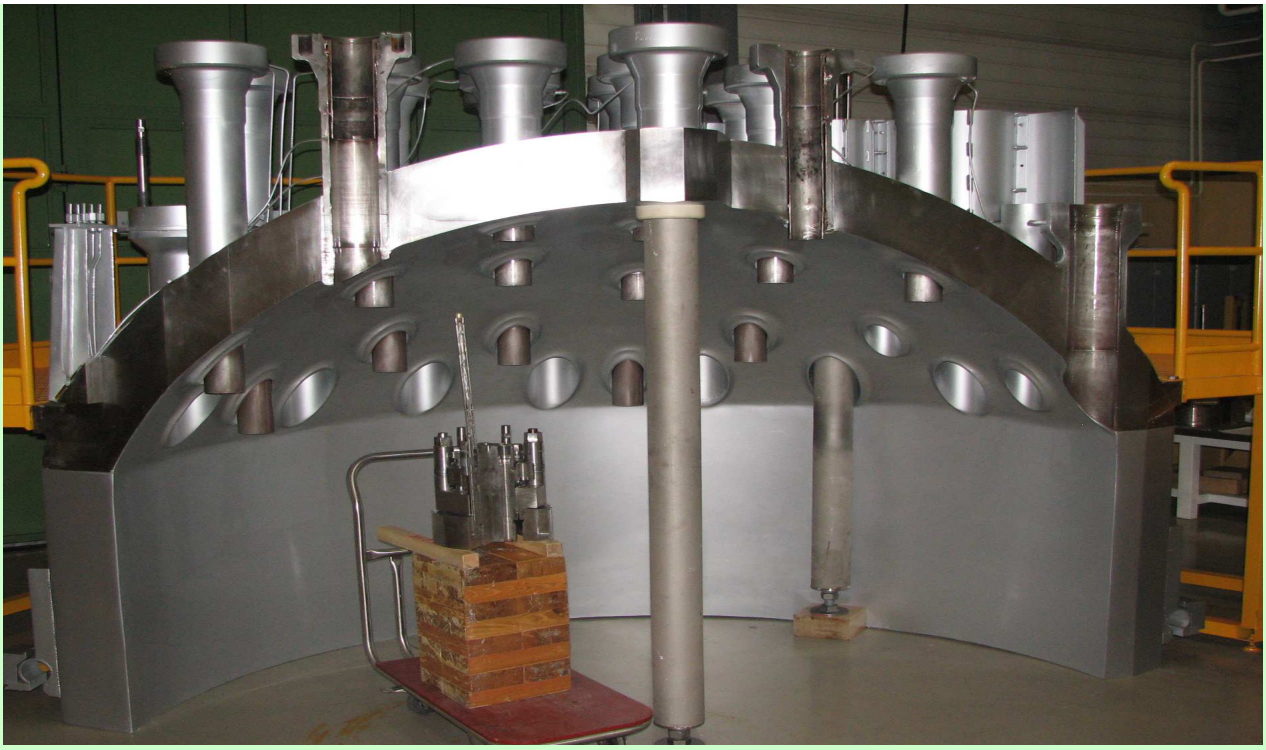
Applications

- detection of thermal neutrons in high flux
- monitoring of the reactor fuel burn up
- start-up, intermediate and power range
- flux map measurement

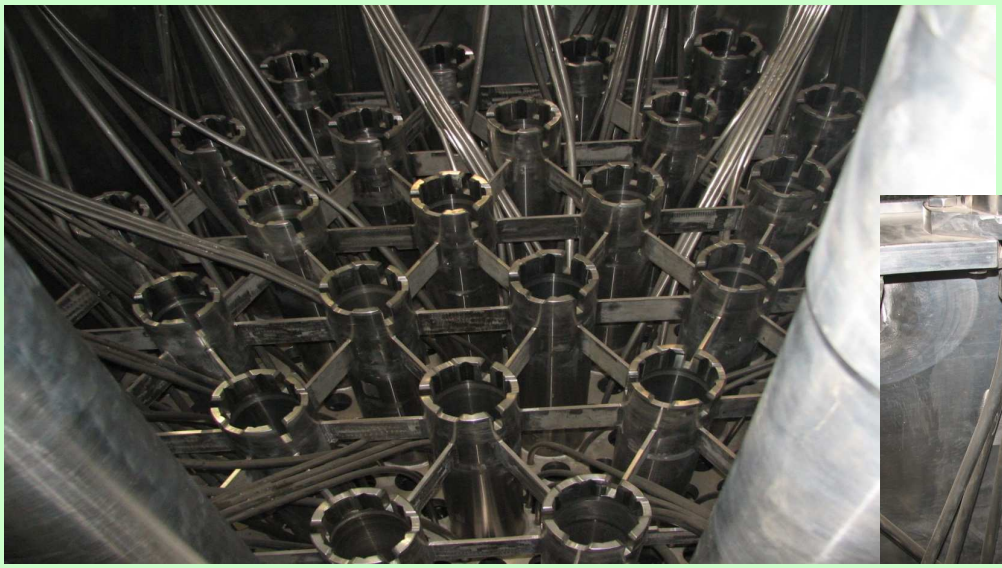
Prahové reakcie neutrónov – aktivačné detektory na stanovenie spektra



Priechodky cez veko TNR pohony SORR, TČ, MNT
(meranie neutrónového toku, KNI kanal nejtronnogo izmerenija)



Ochranné rúrky meracích kanálov
Horný blok ochranných rúr



Blok ochranných rúr

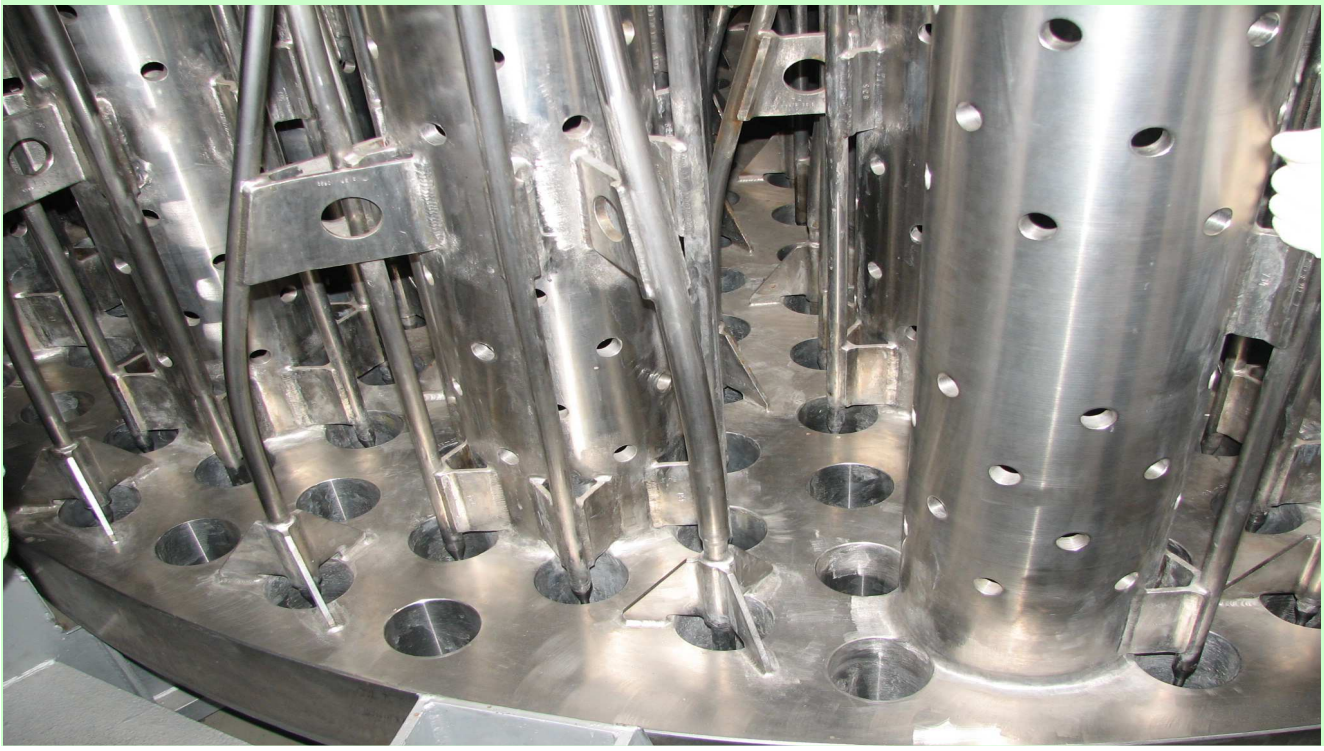
BOR tvorí súbor rúr vzájomne spojených spodnou a hornou perforovanou platňou s výstuhami. Slúži k fixácii palivových kaziet, k udržaniu ich zvislej polohy a tiež k ochrane regulačných kaziet a tyčí prívodov SORR proti rôznym vplyvom prúdu chladiva.

Vo vnútri rúr sa umiestňujú ochranné kanály pre snímače teplotnej kontroly a vývinu energie, ktoré tiež slúžia ako vodiace prvky pre regulačné kazety. Púzdra snímačov teplotnej kontroly sú združené do 6-ich vývodov, ktoré sú utesnené vo veku pomocou prechodiek pre teplotnú kontrolu.

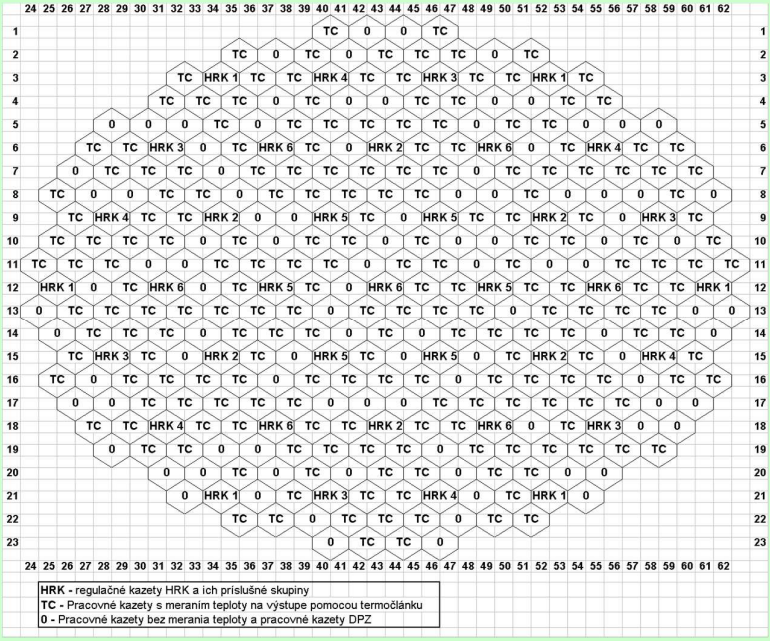
Horný blok ochranných rúr

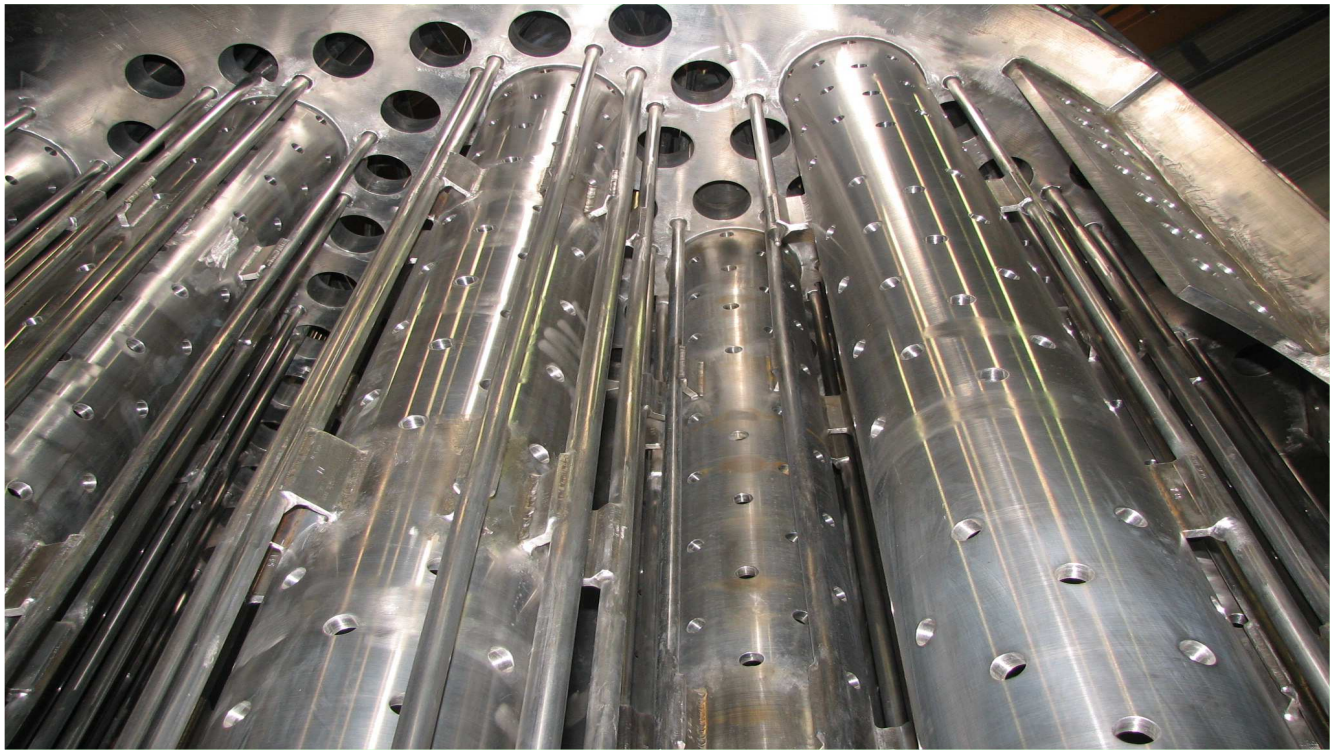
s priechodkami kanálov merania teploty TČ a neutrónového výkonu MNT

20. 11. 2019



Kartogram AZ s polohou TČ





Kontrola a ciachovanie snímačov merania teplôt v reaktore pri izotermickom stave

Východzí stav:

- reaktor je stabilizovaný na výkone cca 10^{-4} %N_{nom}
- poloha 6.skupiny HRK je viac ako 50 cm
- teplota PO je 260 ± 2°C
- tlak v PO je 12,2 ± 0,2 MPa.
- hladiny vo všetkých PG sú minimálne + 150 mm
- v prevádzke je 6 HCČ
- tlak pary medzi PG a HPK je vyrovnaný, stabilizovaný na hodnote cca 4,5MPa (ak pracuje 4.blok, potom sú prepojené HPK 3. a 4.bloku)
- sú splnené kritéria úspešnosti pre test „Meranie účinnosti 6.skupiny HRK a účinnosti H_3BO_3 pri teplote PO 260 ± 2°C“, alebo boli vykonané opatrenia pri ich nesplnení

Postup ciachovania

Po ustálení izotermického stavu pomocou programového vybavenia KVRK sa určujú opravné koeficienty čidiel merania teplôt na výstupe z kaziet a v slučkách reaktora.

Podľa mapy výstupných teplôt s uvážením zistených opravných koeficientov sa kontroluje splnenie kritérií úspešnosti. Pri ich nesplnení sa meranie znova opakuje. Určené opravné koeficienty sa zanesú do systémov KVRK.

Po ukončení merania sa obnoví napájanie PG a odluhovanie a odkalovanie PG.

Kritériá úspešnosti ciachovania merania teploty

- po zavedení opravných koeficientov do systémov KVRK sa **teploty z termočlánkov** na výstupe z kaziet nelíšia od vzťažnej teploty izotermického stavu o viac ako ± 0,5 °C
- po zavedení opravných koeficientov do systémov KVRK sa **teploty z odporových teplomerov** na slučkách nelíšia od vzťažnej teploty izotermického stavu o viac ako ±0,2 °C
- počas snímania IS musia snímače teplôt vyhovovať týmto kritériám:
  - max. SKO teploty na jednom vstupe počas merania ± 0,8°C
  - max. SKO 210 TČ v reaktore ± 0,5°C
  - max. SKO jednotlivých meraní na slučkách ± 0,5°C
  - max. SKO jednotlivých komutátorov, prevodníkov a meraní v jednej KK ± 0,5°C

Legenda: SKO - stredná kvadratická odchýlka,
TČ - termočlánok,
KK - kompenzačná krabica

Počítačová nadstavba SVRK
KVRK Hindukúš, Scorpio, Topre, Hotpoint,

KVRK, VK OK
výpočtový komplex operatívnej kontroly

- K určeniu a kontrole priebežného stavu AZ sa používajú najnovšie matematické modely a zdokonalené algoritmy neutrónovo-fyzikálnych a teplotechnických výpočtov.
- Modely pracujú v reálnom čase vzhľadom k dynamike technologického procesu.
- Na základe meraní v 600 bodoch technologickej kontroly, vybavených 900 analógovými a 100 diskrétnymi základnými a sprievodnými snímačmi sa pomocou SVRK stanovuje okolo 3000 kontrolovaných údajov vrátane objemového i kazetového rozloženia (poľa) vývinu energie, teplôt, izotopického zloženia, **zásoba do krízy varu** a **maximálne lineárne zaťaženie paliva**...

Práca VK OK

- Kontrola priebežného stavu RZ sa v každom komplete VK OK vykonáva cyklicky s periódou 2 s.
- Príjem výsledkov všetkých meraní (okrem teplotných) sa vykonáva s periódou 2 s, príjem teplotných meraní sa vykonáva s periódou 4 s.
- Spracovanie meraní, výpočet a kontrola stavových údajov a ich funkcionálov, archivácia a vyslanie informácie sa vykonáva v jednom cykle po prijatí meranej informácie.
- Striedanie videosnímku na obrazovkách prebieha podľa požiadavky operátora (max. do 2 s po vyžiadaní si videosnímku).
- Voľná kapacita procesorov sa využíva pri výstupe informácií na tlačiareň a k testovaniu kompletov.

Výpočet tepelno - fyzikálnych premenných v objeme AZ

Výpočet poľa teplôt chladiva.

objemové pole teplôt chladiva;

teplota na výstupe všetkých kaziet (349 hodnôt);

Výpočet **strednej rýchlosti ohrevu** chladiva pri spúšťaní reaktora.

stredná rýchlosť ohrevu chladiva za poslednú 1 minútu;

stredná rýchlosť ohrevu chladiva za posledných 10 minút;

stredná rýchlosť ohrevu chladiva za posledných 60 minút;

teplota chladiva v AZ z 300 posledných meraní vrátane priebežného merania.

Výpočet **poľa vývinu energie** - predbežný odhad výkonu kaziet na základe meraní TČ. Výstupné údaje:

teploty na vstupe do všetkých kaziet;

vypočítané **ohrevy** kaziet na základe údajov TČ (len pre vierohodné TČ na výstupe);

vypočítané **výkony** kaziet na základe údajov TČ (len pre vierohodné TČ na výstupe);

koeficient **asymetrií** výkonov kaziet na základe údajov TČ na výstupe z kaziet.

Výpočet tepelno - fyzikálnych premenných v objeme AZ

Syntéza objemového **poľa vývinu energie** sa vykonáva na základe meraní DPZ a poľa teplôt chladiva pomocou neutrónovo-fyzikálneho modelu AZ.

Syntéza poľa vývinu energie sa vykonáva iteračným spôsobom. Iteračná schéma je zostavená tak, aby v ľubovolný časový moment bol k dispozícii odhad poľa vývinu energie (pre zobrazenie operátorovi).

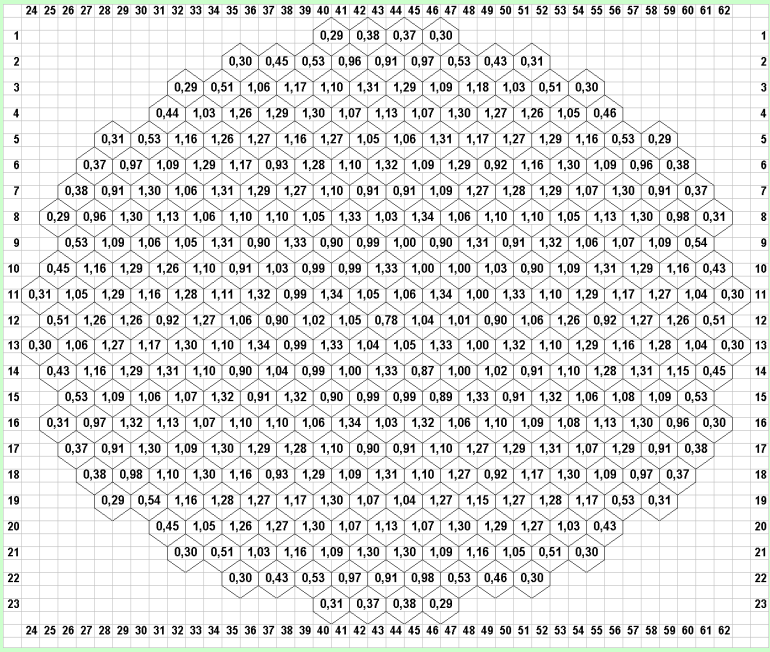
Výpočet zásoby do krízy varu

Funkcia je určená k výpočtu zásoby do krízy varu na základe lokálneho výkonu a teploty na vstupe do kazety. Zásoba do krízy varu sa vykonáva na základe lokálneho výkonu pre každú vrstvu (prizmu) AZ. Zásoba do teploty nasýtenia sa vypočítava pre každú kazetu.

Výpočet funkcionálov v objeme AZ

Funkcia je určená k výberu **max. hodnôt** vývinu energie, teplôt, koeficientov nerovnomernosti, zásob do krízy a k určeniu ich polohy v kazetách a v prizmách po objeme AZ.

Kazetový koeficient nerovnomernosti



$$K_q = \frac{\Delta i_{kaz} \cdot w_{kaz}}{\frac{1}{349} \sum_{t=1}^{n} \sum_{j=1}^{n_t} w_t \cdot \Delta i_j}$$

$$\sum_{t=1}^{n} n_t \cdot w_t = 349$$

Δi_{kaz} = rozdiel entalpií na danej kazete
w_{kaz} = pomerný prietok cez danú kazetu
w_t = pomerný prietok cez kazety typu t
Δi_j = rozdiel entalpií j-tej kazety
n = počet typov skupín kaziet
n_t = počet kaziet v skupine

Výpočet vyhorievania a izotopického zloženia v objeme AZ

Výpočet vyhorenia paliva

Všeobecne k výpočtu rozloženia hustôt toku neutrónov a vývinu energie po objeme AZ je potrebné poznať (okrem konštrukčných charakteristík AZ) objemové rozloženie izotopov paliva a štiepnych produktov. V SVRK sa koncentrácia izotopov paliva a štiepnych produktov (okrem otráv) určuje s dostatočnou presnosťou na základe počiatočného obohatenia kazety a celkového vyhorenia paliva alebo odvedenej energie z prizmy od začiatku prevádzky kazety. Preto sa uvoľnená energia využíva ako kumulatívna charakteristika pri izotopickej zostave paliva.

Funkcia sa vykonáva periodicky:

pri práci reaktora na Nnom s periódou okolo 1 hod.;

pri práci na zníženom výkone sa perióda vykonávania funkcie zväčšuje nepriamo úmerne výkonu.

Výpočet koncentrácie otravy

Funkcia je určená k výpočtu objemových polí koncentrácií izotopov Xe a Sm.

Výsledky funkcií sa používajú pri výpočte objemového poľa vývinu energie. Pri nevierohodných koncentráciách na vstupe do programu sa priebežným hodnotám koncentrácií priradia rovnovážne hodnoty (s príslušným zápisom do protokolu systémových udalosti).

Kontrola hodnôt technologických veličín

- kontrola, či technologické veličiny neporušili **režimové limity (prevádzkové limity)**;
- kontrolu, či technologické veličiny neporušili **výstražné limity**. Výstražné limity sa zavádzajú pre väčší počet veličín ako pri režimových limitoch. Pri veličinách s režimovými limitami sa výstražnými limitami vymedzuje pomerne úzky dovolený interval.
- kontrolu zmeny údaju najdôležitejších technologických premenných. Funkcia dáva príznaky, ktoré informujú v akom intervale (dovolenom, výstražnom alebo v havarijnom) sa nachádza každá z kontrolovaných veličín. Pri každom kontrolovanom parametre sa uvažuje celkom so 7 nastaveniami:
  - vrchné a spodné režimové nastavenie;
  - dve vrchné a dve spodné výstražné nastavenia;
  - nastavenie na zmenu hodnoty.

Prognóza poľa vývinu energie

Funkcia je určená k prognóze stacionárneho poľa vývinu energie po vykonaní príslušnej operácie (zmeny polohy HRK, zmeny teploty na vstupe do reaktora, zmeny koncentrácie kyseliny bóritej).

Môže sa vykonať výpočet zadanej postupnosti stavov. Funkcia je realizovaná na základe programu BIPR-7.

Vstupné údaje:

- informácie o obohatení, priebežnom vyhorení a otrave paliva;
- popísanie plánovaných zmien z pohľadu riadenia reaktora.

Výstupné údaje:

- prognóza objemového poľa vývinu energie po vykonaní celej postupnosti zmien (manévru) alebo
- po vykonaní každej zmeny v rámci manévru (len na požiadanie používateľa).

Prognóza spúšťacej koncentrácie kyseliny boritej a polohy kaziet HRK

- **Funkcia je určená k prognóze:**
  - **kritickej koncentrácie** kyseliny boritej v PO pri zadanej polohe kaziet HRK alebo
  - **kritickej polohy kaziet HRK** pri zadanej koncentrácie kyseliny boritej.
- Môže sa vypočítať graf prognózy závislosti kritickej koncentrácii kyseliny bóritej alebo polohy kaziet HRK v závislosti od času s uvážením Xe a Sm otravy reaktora.
- Funkcia je realizovaná na základe programu BIPR-7.

Registrácia (archivácia) údajov o práci reaktorového zariadenia (RZ)

Operatívna archivácia údajov

- Archív základných technologických údajov je určený k analýze chodu technologického procesu a príčin porúch pri práci RZ a meracích kanálov. Archív umožňuje určiť hodnoty výsledkov meraní a kontrolovaných údajov VK OK v ľubovoľnom časovom okamihu v rozsahu **troch dní dozadu** od momentu vznesenia požiadavky.

Dlhodobá archivácia práce RZ

- Funkcia slúži k uchovávaniu informácie o priebehu palivovej kampane k následnej analýze s cieľom optimalizovať prevádzku RZ. Informácia o histórii AZ sa uchováva v databáze a to za **dve kampane** (priebežnú a predchádzajúcu).

Zobrazenie informácie

Operátorovi sa celá informácia zobrazuje na **obrazovkách monitorov** a to pomocou dopredu pripravených formátov **technologickej schémy** (videosnímkov). Je možné si vytlačiť kópiu videosnímku na tlačiarni.

Množina videosnímkov má hierarchickú štruktúru. Vyvolanie videogramu sa môže vykonať :

- výberom z **menu** pomocou kurzora ovládaného pomocou kláves alebo myši;
- pomocou **funkčných kláves** alebo zadaním čísla videogramu z číselnej klávesnice;
- „**značkovou**" operáciou na kartograme;
- návratom k predchádzajúcemu videosnímku.

Na videosnímku sa nachádza signalizácia o technologických udalostiach ako:

hodnoty kontrolovaných veličín prekročili limity normálnej prevádzky AZ (**havarijná signalizácia**);

priblíženie sa hodnôt kontrolovaných veličín k limitom bezpečnej prevádzky (**výstražná signalizácia**).

Zobrazenie informácie

Ak parametre uvedené v „Prevádzkovom predpise pre RZ" prekročia limity normálnej prevádzky zapína sa **havarijná signalizácia**. Po zapnutí sa havarijnej signalizácie :

- farba, ktorou je zobrazená hodnota prekračujúca režimové nastavenia **(havarijný údaj) sa zmení na červenú** a zostane červenou pokiaľ sa údaj nevráti do dovoleného intervalu;

- ak sa havarijný údaj nenachádza na práve zobrazenom videosnímku, potom **v informačnom riadku** obsahujúcom správy (spodný riadok videosnímku) sa objaví **červené číslo videosnímku** na ktorom sa nachádza havarijný údaj.

Štandardná hodnota premennej sa zobrazuje zelenou farbou;

Hodnota, ktorá prekročí výstražné nastavenia - žltou a neskôr bielou farbou;

Hodnota, ktorá prekročí havarijné nastavenia (vrchné alebo spodné) - červenou farbou;

Nevierohodnosť fyzikálnej veličiny sa indikuje znakom "?" (zľava od jej hodnoty).

Aparatúra kontroly technologických parametrov AKTP

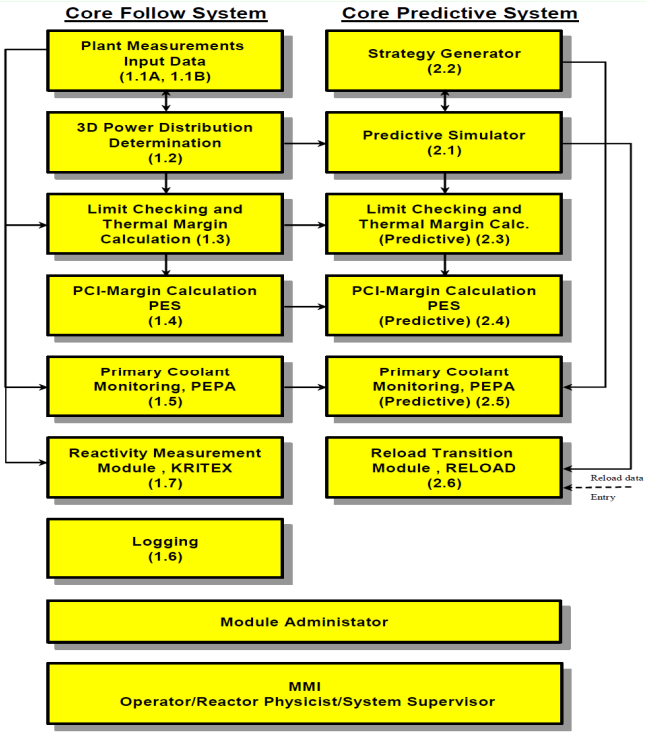
Parameter	Značka	Limitné hodnoty		
		Max. snímača	Var	Hav
teplota horúcej vetvy každej slučky	T	400 ºC	>305 ºC	>310 ºC
tlak na výstupe z reaktora	p	16 MPa	<11,28 MPa >13,24 MPa	< 9,32 MPa >13,73 MPa
rýchlosť zmeny tlaku v HPK	dp/dt	0,1 MPa/s	-	>0,049 MPa/s
hladina v kompenzátore objemu	L_{KO}	10m	-	> 8 m
hladina v každom parogenerátore	L_{PG}	4 m	-	-
tlakový spád na aktívnej zóne	dp	0,4 MPa	-	>0,368 MPa
tlak v boxe PG	p_{BP}	0,15 MPa	-	>0,108 MPa

Pri odchýlke hodnôt technologických parametrov za nastavené medze formuje diskrétne signály o prekročení nastavených medzí.

SCORPIO - VVER

Incore monitoring systém nasadený v Dukovanoch, EBO V2 a trenažéri EBO. Zamenil ruský VK3.

Schéma modulov SCORPIO-VVER



The SCORPIO-VVER system includes following main features 1

- Maintaining the **redundant communication** with plant data sources, collection of input data.
- Validation of plant measurements and identification of **sensor failures**.
- Temperature measurement **sensor calibration**, evaluation of isothermal state.
- Enhanced with a tuned/weighted combination of **measurements and calculations** to obtain precise values of important parameters.
- On-line **3D power distribution** calculation with pin power reconstruction, based on the validated outlet temperature from **thermocouples**, **SPND** measurements and from the results of core **simulator**.
- On-line core **simulation** based on two-group 3D coarse mesh calculation code (modified version of Moby-Dick code).
- Limit checking and thermal margin calculation allowing for surveillance of VVER core limits.

The SCORPIO-VVER system includes following main features 2

- **SPND monitoring**, evaluation, interpretation and transformation to linear power.
- Integrated modules for monitoring **fuel performance**, conditional **power distribution**.
- Integrated modules for monitoring of coolant activity for identification of **fuel failures**.
- **Predictive** capabilities and strategy planning, offering the possibility to check the consequences of operational maneuvers in advance, prediction of critical parameters and end of fuel cycle detection, main steam-header pressure driving, etc.
- Convenient monitoring and **prediction** of approach to criticality during **reactor startup**.
- Automated transition between cycles (fuel reload).
- Logging functions with **archive** for all calculated and main measured data.
- User definable **printer output** for protocols and forms.

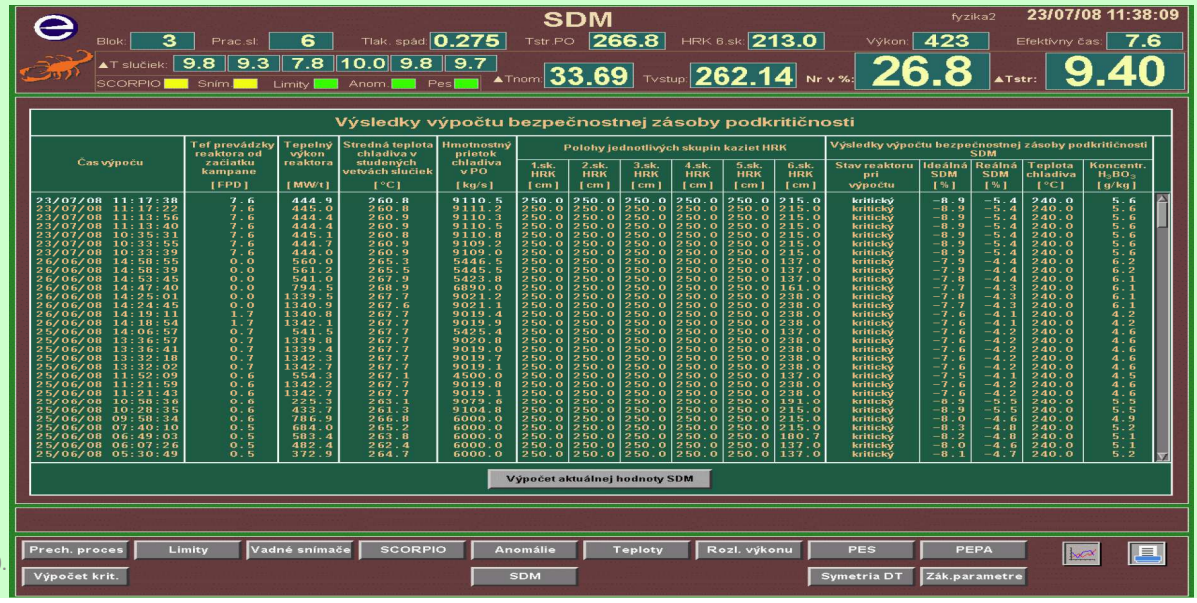
Užívateľské rozhranie SCORPIO

Kontrola prevádzkových limitov AZ (EDU)

Celá mapa AZ EDU

20. 11.

Výpočty aktuálnej hodnoty bezpečnostnej zásoby podkritičnosti (EBO)

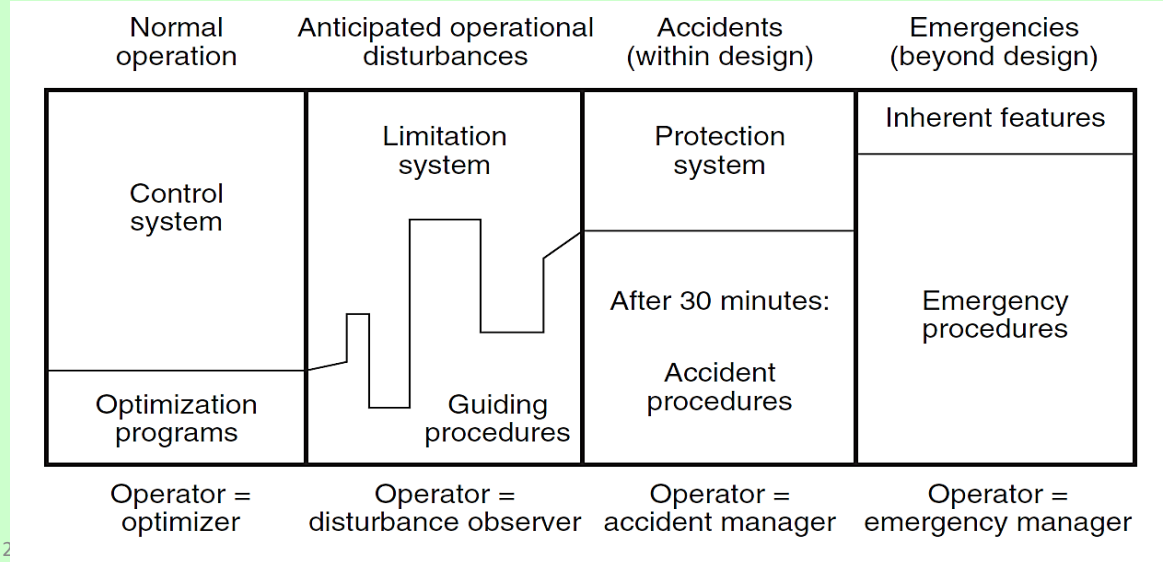


Čas výpočtu	Tef prevádzky reaktora od začiatku kampane [FPD]	Tepelný výkon reaktora [MW/t]	Stredná teplota chladiva v studených vetvách slučiek [°C]	Hmotnostný prietok chladiva v PO [kg/s]	Polohy jednotlivých skupin kazliet HRK: 1.sk. HRK [cm]	2.sk. HRK [cm]	3.sk. HRK [cm]	4.sk. HRK [cm]	5.sk. HRK [cm]	6.sk. HRK [cm]	Výsledky výpočtu bezpečnostnej zásoby podkritičnosti SDM: Stav reaktoru pri výpočtu	Ideálna SDM [%]	Reálna SDM [%]	Teplota chladiva [°C]	Koncentr. H_3BO_3 [g/kg]
23/07/08 11:17:38	7.6	444.9	260.8	9110.5	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	215.0	kritický	-8.9	-5.4	240.0	5.6
23/07/08 11:17:22	7.6	445.0	260.8	9111.2	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	215.0	kritický	-8.9	-5.4	240.0	5.6
23/07/08 11:13:56	7.6	444.4	260.9	9110.3	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	215.0	kritický	-8.9	-5.4	240.0	5.6
23/07/08 11:13:40	7.6	444.4	260.9	9110.5	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	215.0	kritický	-8.9	-5.4	240.0	5.6
23/07/08 10:35:31	7.6	445.1	260.8	9110.8	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	215.0	kritický	-8.9	-5.4	240.0	5.6
23/07/08 10:33:55	7.6	444.7	260.9	9109.2	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	215.0	kritický	-8.9	-5.4	240.0	5.6
23/07/08 10:33:39	7.6	444.0	260.9	9109.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	215.0	kritický	-8.9	-5.4	240.0	5.6
26/06/08 14:58:55	0.0	560.0	265.3	5446.5	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	137.0	kritický	-7.9	-4.4	240.0	6.2
26/06/08 14:58:39	0.0	561.2	265.5	5445.5	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	137.0	kritický	-7.9	-4.4	240.0	6.2
26/06/08 14:53:45	0.0	541.0	267.9	5423.8	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	137.0	kritický	-7.8	-4.4	240.0	6.1
26/06/08 14:47:40	0.0	794.5	268.9	6890.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	161.0	kritický	-7.7	-4.3	240.0	6.1
26/06/08 14:25:01	0.0	1339.5	267.7	9021.2	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	238.0	kritický	-7.8	-4.3	240.0	6.1
26/06/08 14:24:45	0.0	1340.9	267.6	9021.1	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	238.0	kritický	-7.7	-4.3	240.0	6.1
26/06/08 14:19:11	1.7	1340.8	267.7	9019.4	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	238.0	kritický	-7.6	-4.1	240.0	4.2
26/06/08 14:18:54	1.7	1342.1	267.7	9019.9	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	238.0	kritický	-7.6	-4.1	240.0	4.2
25/06/08 14:06:57	0.7	541.5	267.7	5425.4	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	137.0	kritický	-7.6	-4.2	240.0	4.6
25/06/08 13:36:57	0.7	1339.8	267.7	9020.8	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	238.0	kritický	-7.6	-4.2	240.0	4.6
25/06/08 13:36:41	0.7	1339.4	267.7	9019.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	238.0	kritický	-7.6	-4.2	240.0	4.6
25/06/08 13:32:18	0.7	1342.3	267.7	9019.7	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	238.0	kritický	-7.6	-4.2	240.0	4.6
25/06/08 13:32:02	0.7	1342.7	267.7	9019.1	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	238.0	kritický	-7.6	-4.2	240.0	4.6
25/06/08 11:52:09	0.6	554.3	267.1	4500.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	137.0	kritický	-7.5	-4.1	240.0	4.5
25/06/08 11:21:59	0.6	1342.2	267.7	9019.8	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	238.0	kritický	-7.6	-4.2	240.0	4.6
25/06/08 11:21:43	0.6	1342.7	267.7	9019.1	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	238.0	kritický	-7.6	-4.2	240.0	4.6
25/06/08 10:50:38	0.6	225.3	263.1	9079.6	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	191.0	kritický	-8.9	-5.5	240.0	5.5
25/06/08 10:28:35	0.6	433.7	261.3	9104.8	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	215.0	kritický	-8.9	-5.5	240.0	5.5
25/06/08 09:58:34	0.6	786.9	266.8	6000.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	215.0	kritický	-8.0	-4.6	240.0	4.9
25/06/08 07:40:10	0.5	684.0	265.2	6000.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	215.0	kritický	-8.3	-4.8	240.0	5.2
25/06/08 06:49:03	0.5	583.4	263.8	6000.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	180.7	kritický	-8.2	-4.8	240.0	5.1
25/06/08 06:07:26	0.5	482.4	262.4	6000.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	137.0	kritický	-8.0	-4.6	240.0	5.1
25/06/08 05:30:49	0.5	372.9	264.7	6000.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	137.0	kritický	-8.1	-4.7	240.0	5.2

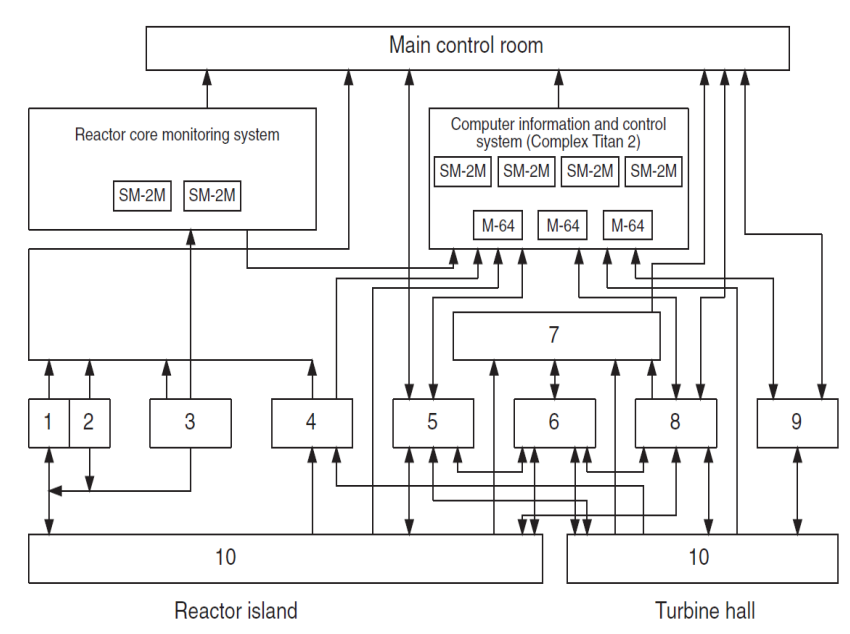
20.

Koncepcia automatických systémov na JE

Modern instrumentation and control for nuclear power plants : IAEA TRS 387, 1999.

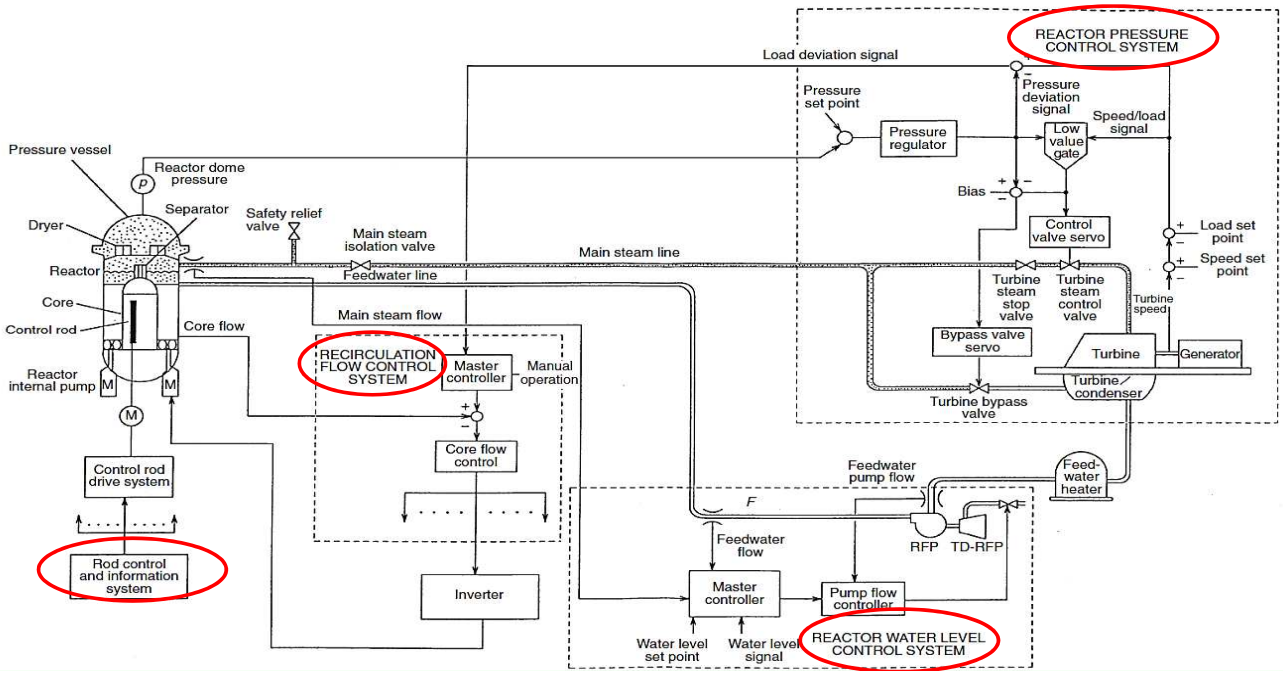


Process control system of a WWER-1000



1: reactor control and protection system (SORR);
2: neutron flux monitoring system (AKNP);
3: in-core monitoring system (SVRK);
4: radiation monitoring system;
5: automatic control systems;
6: technological protection systems;
7: annunciation system;
8: automatic and remote control system;
9: turbine control system;
10: sensors and actuation devices.)

Reactor control systems of a Japanese ABWR



Modernizácia systémov VVER-440 (Dukovany)

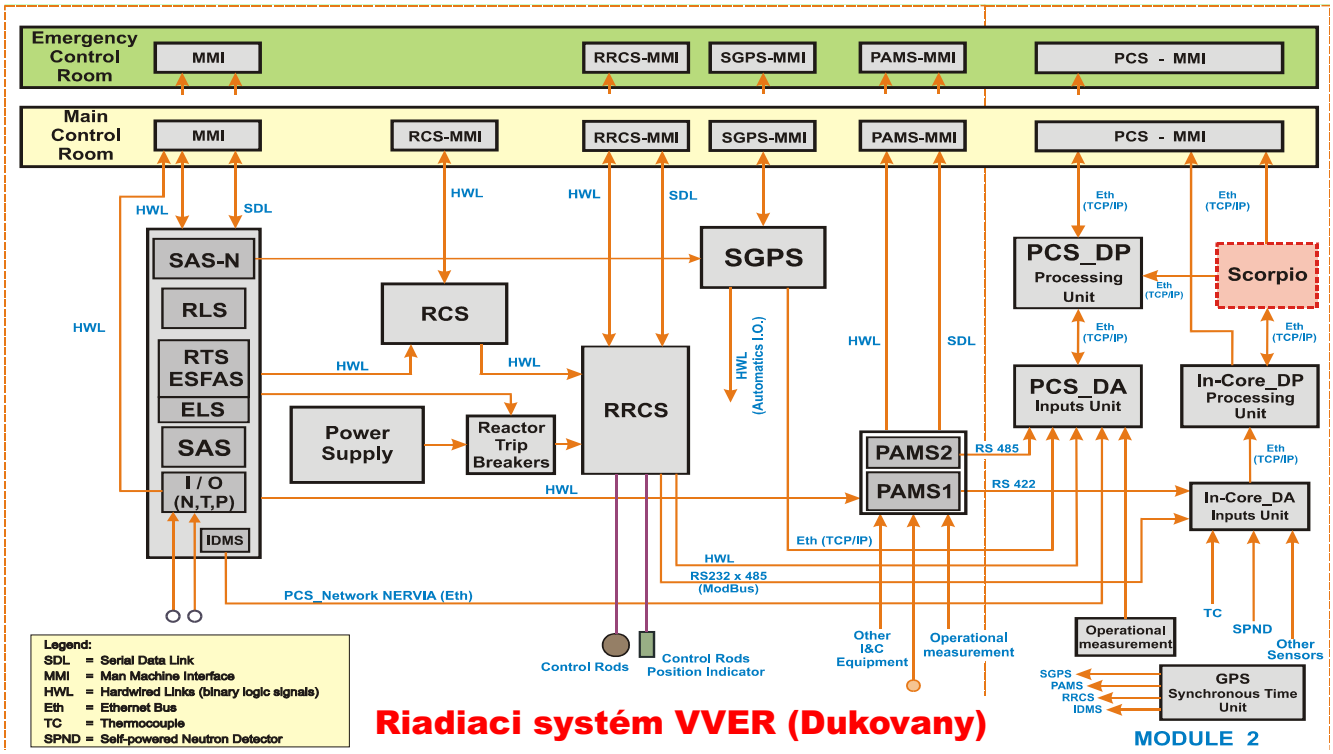
Module	System Designation		Name	Safety Classification ČSN IEC1226	Technology/ Manufacturer
	New	Old			
M1	EX-CORE	AKNT	Ex-core Neutron Flux Measurement System	A	SPINLINE 3 DS&S
	RTS	HO	Reactor Trip System	A	SPINLINE 3 DS&S
	ESFAS	SOB	Engineered Safety Feature Actuation System	A	SPINLINE 3 DS&S
	ELS	APS	Emergency Load Sequencer	A	SPINLINE 3 DS&S
	SAS	TOPG	Support Actions System	B	SPINLINE 3 DS&S
	RLS	ROM	Reactor Limitation System	B	SPINLINE 3 DS&S
	RCS	ARM	Reactor Control System	B	SPINLINE 3 DS&S
	RRCS	SORR	Reactor Rod Control System	B	PRIMIS ZAT
	SGPS	LOPG	Steam Generator Protection System	C	ZAT-2000MP ZAT
	PAMS	-	Post Accident Monitoring System	A	VME System SAGEM
M2	PCS	IVS-URAN	Unit Computer Information System	C	ZAT-2000MP ZAT
	IN-CORE	KVRK	In-Core Measurement System	C	ZAT-2000MP ZAT

Including: Field instrumentation, Cabling and MCR/ECR necessary changes

Modernization of I&C Systems VVER–440

Module	System Designation		Name	Safety Classification ČSN IEC 61226	Technology/ Manufacturer
	New	Old			
M3	ŘSBP	RAPO	Primary Circuit Relay Automatics	A, B, C, N	ZAT-RA ZAT-PRIMIS ZAT-DV
		KASKAD	Primary Circuit Control System		
M4	ŘSBT	ZSB	Unit Protection System	B, C, N	ZAT-PRIMIS ZAT-DV
		ZSTG	Turbine Protection Systems		
		DASO	DIAMO-K Automatics		
		TVER	Turbine Control System		
M5	ŘSBS	RASO	Secondary Circuit Relay Automatics	A, B, C, N	ZAT-RA ZAT-PRIMIS ZAT-DV
		DASO	Some parts of DIAMO-K Automatics		
		MODIN	Secondary Circuit Control System		
	MCR/ECR	-	MCR/ECR necessary changes	B, C, N	ZAT-PRIMIS, DV HMI components
	DIAG	-	M345 Systems Diagnostic	C	ZAT-DV ZAT-FS

Including: Field instrumentation, Cabling and other accessories



Meranie koncentrácie kyseliny boritej

• Flow boron meter type BorAn PN160 is a connection of flow sensor with the technological part. It provides measurement in fluid samples of NPP technological systems flowing through the boron meter sensor.

Suspension boron meter type BorAn PN160-N is used in NPP technological systems without the need to interfere with pipelines. Measurement is carried out directly through pipeline walls.

MGP BM 501:
Boron-lined proportional counter
Neutron source: Am-Be (7.4 x 10^{+10} Bq,)
Dose rate at the contact of the detection sub-assembly: less than 750 µSv/h

Mochovce NPP, SK Supply of 8 units
Dukovany NPP CZ Supply of 15 units
Khmelnitskiy NPP UA Supply of 3 units
Rivne NPP UA Supply of 9 units
South Ukraine NPP UA Supply of 7 units
Paks NPP HU Supply of 1 units
Loviisa NPP FIN Supply of 2 units
Zaporizhia NPP UA Supply of 8 units

Metrological Parameters	Isotope ^{10}B Concentration	Boric Acid H_3BO_3 Concentration
Measurement Range (MR)	0 to 1,6 g/kg	0 to 50,00 g/kg
Standard Extended Uncertainty	Less than 0,32 g/kg ±0,0019 g/kg	Less than 10 g/kg ±0,06 g/kg
	0,32 to 1,6 g/kg ÷ MR g/kg ±0,6 % z MH	10 to 50 g/kg ÷ MR g/kg ±0,6 % z MH

Kompenzátor objemu

Meranie hladiny a teploty

1 – nádoba KO,
2 – nátrubok tep. meraní,
3 – kryt el. ohrievačov,
4 – elektrické ohrievače,
5 – oporná doska,
6 – oporný valec,
7 – svorkovnica,
8 – nátrubky hladinomeru,
9 – oporný a rozdeľovací valec,
10 – nátrubky primárneho potrubia,
11 – nátrubok OP,
12 – rebrík,
13 – nátrubok hladinomeru,
14 – tepelné tienenie,
15 - nátrubok tep. merania,

15 - nátrubok tep. merania,
16 – kolektor vstrekudo KO,
17 – nátrubok vstreku,
18 – revízny otvor do KO,
19 – veko,
20 – nátrubok tesnenia veka,
21 – nátrubok havarijného odvodu vody,
22 – nátrubok hladinomeru

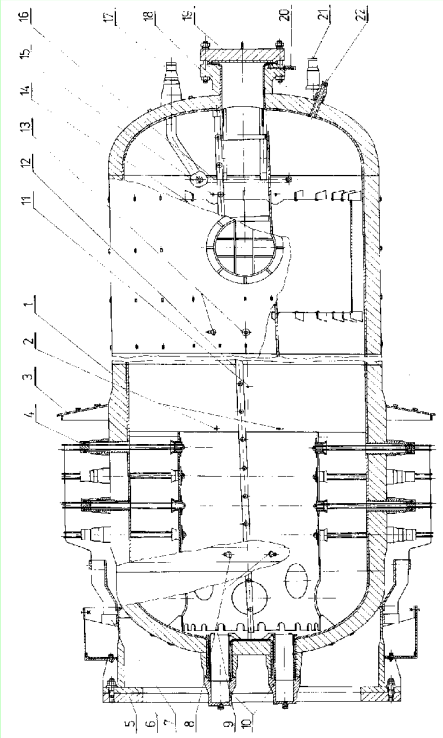
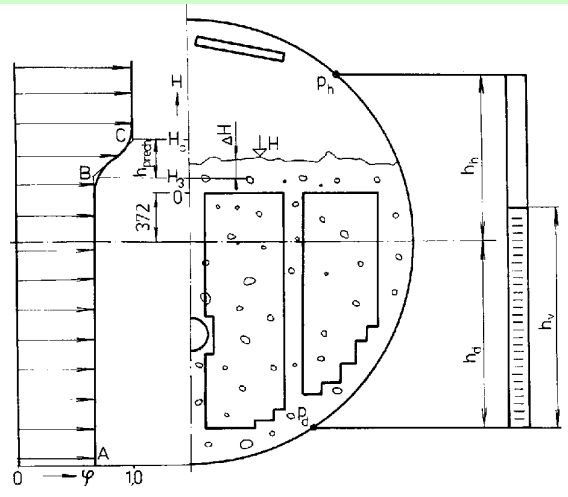
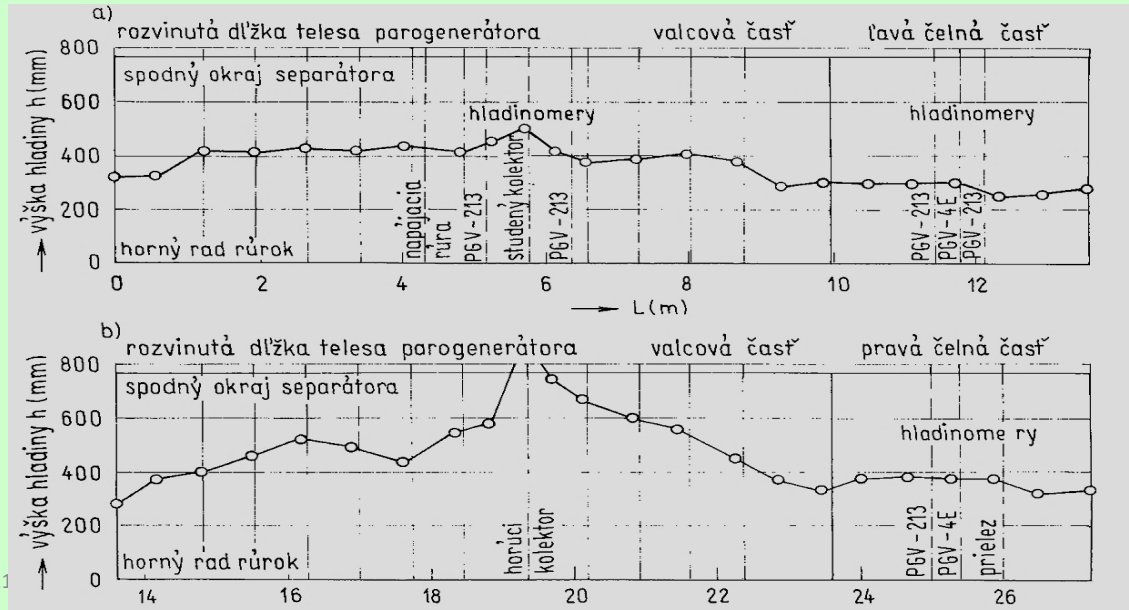


Schéma merania hladiny parovodnej zmesi v parogenerátore

Výška hladiny parovodnej zmesi patrí medzi dôležité regulované veličiny. Signály z hladinomerov sú použité na reguláciu napájania PG.

Na PG V-213 sú umiestnené **hladinomery malého rozsahu** – 630 mm (presnejšie určujú výšku skutočnej hladiny v priľahlej oblasti) a **hladinomery veľkého rozsahu** s prípojkou blízko dna PG (používajú sa hlavne pri plnení a vypúšťaní PG a počas havarijných stavov).

Z hľadiska bezpečnosti prevádzky je údaj z **hladinomerov na čele PG** najkonzervatívnejší a ukazuje v podstate minimálnu výšku hladiny.



Výška hladiny PG po obvode nádoby podľa nánosov oxidov Rozdiel medzi max a min dosahuje 500 mm.