ZÁKLADY MERANÍ 2

DOC. ING. RÓBERT HINCA, PHD

20. 11. 2019

MERANIE VIBRÁCIÍ NA JEZ

Monitoring rotačných strojov na JEZ je dôležitý z dôvodu detekcie defektov a predstavuje moderný metódu plánovania údržby a opráv zariadenia. Cirkulačné, napájacie čerpadlá, turbíny, motory, kompresory, ventilátory, generátory...

Vibrácie sú spôsobené deformáciami, stratami rotujúcich súčastí, anomálie v rozložení hmotnosti, defekty podložiek, ložísk, prevodov...

Najčastejšie sa používajú piezoelektrické akcelerometre.

Rozdelenie snímačov vibrácií :

- **Pasívne** snímače vibrácií - môžu byť indukčné alebo kapacitné
- **Aktívne** snímače vibrácií – elektrodynamické a piezoeletrické snímače.

MERANIE VIBRÁCIÍ

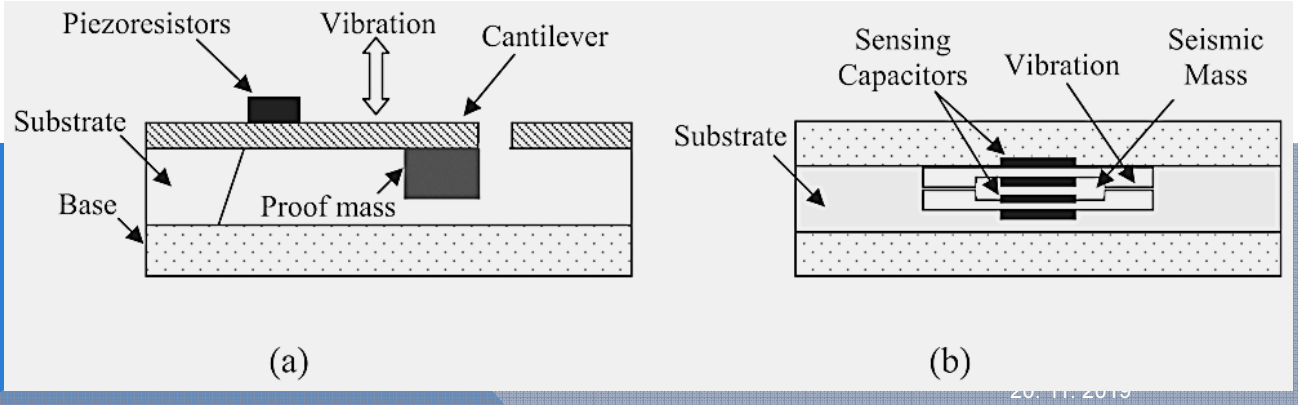
Meranie výchylky sa dá realizovať pomocou viacerých fyzikálnych princípoch a to napr.: **odporové, induktívne, kapacitné, magnetické (na princípe vírivých prúdov), optické (laserové) ...**

Na meranie **rýchlosti kmitania** sa dajú požiť senzory snímania polohy (výchylky), ku ktorým sa na výstup pripoja elektronické obvody zabezpečujúce zderivovanie výstupného signálu. Druhým spôsobom je priame meranie rýchlosti kmitania za pomoci elektrodynamických a elektromagnetických snímačov (napr. indukčnostné senzory).

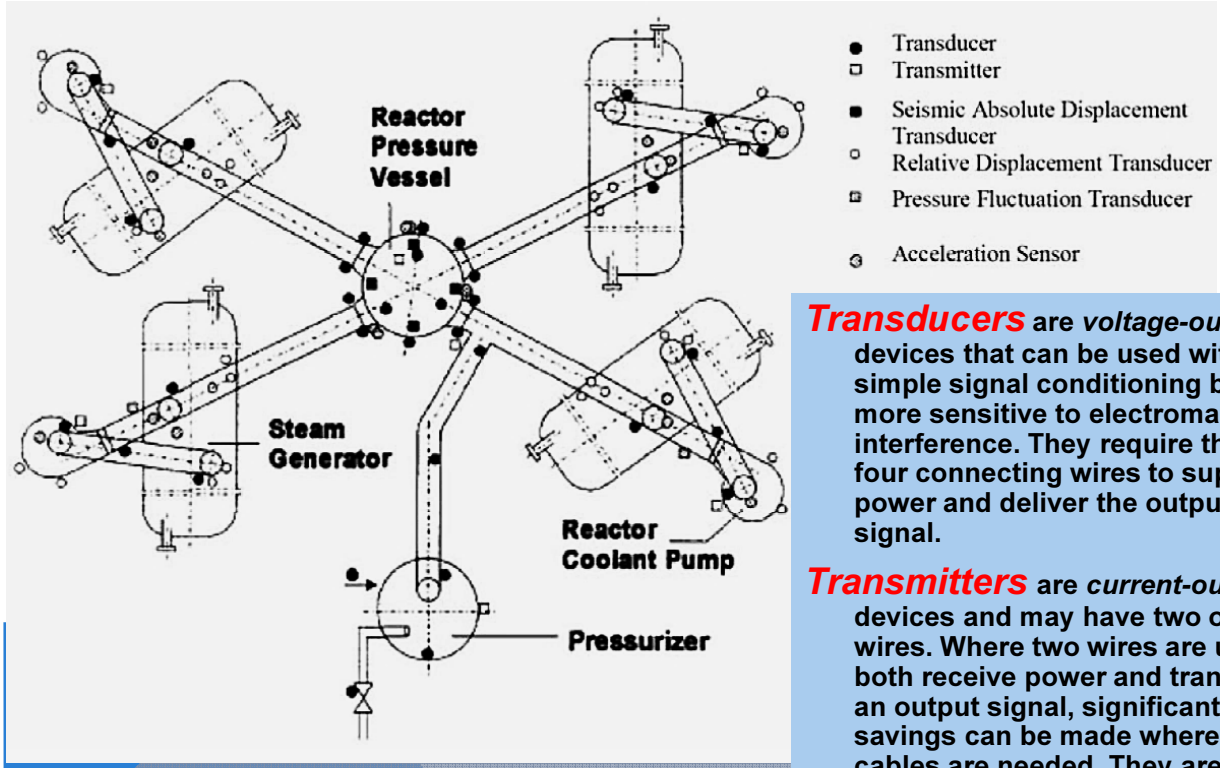
Snímače na **meranie zrýchlenia** sa nazývajú absolútne snímače zrýchlenie alebo **akcelerometre**. Sú schopné merať zrýchlenie kmitavého pohybu v širokom rozmedzí frekvencií. Majú veľkú vlastnú rezonančnú frekvenciu.

PIEZOELEKTRICKÉ, PIEZOREZISTÍVNE A KAPACITNÉ SNÍMAČE

Tieto akcelerometre využívajú **piezorezistivny** alebo **piezoelektrický** materiál kryštálu. Ide o materiál, ktorý v závislosti na pôsobiacom zaťažení generuje náboj alebo mení svoj elektricky odpor.
Konštrukčne sú piezoelektrické akcelerometre riešené často šmykovým namáhaním piezokryštalu (**shear mode**), menej často tradičným tlakovým namáhaním - kompresný mód (**compression mode**) resp. ohybový mód (**flexural mode**).



TYPICKÉ UMIESTNENIE VIBRAČNÝCH SENZOROV PRE VVER - 1000

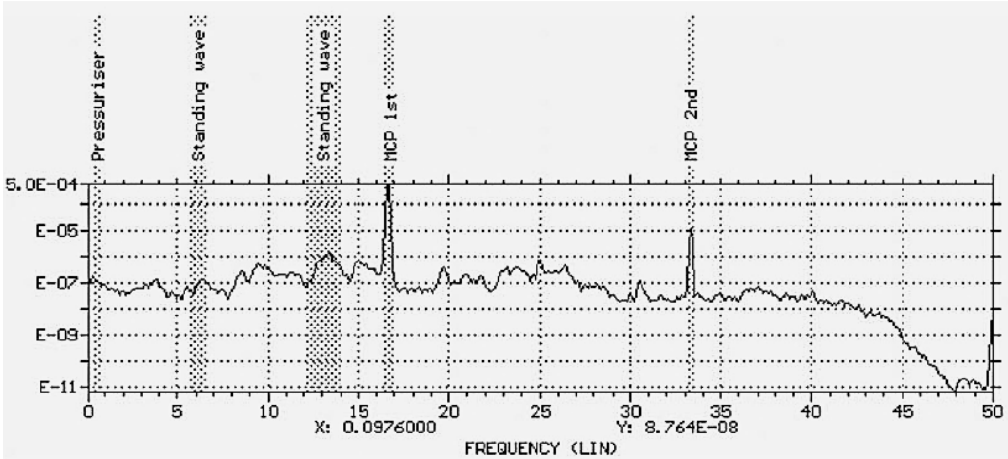


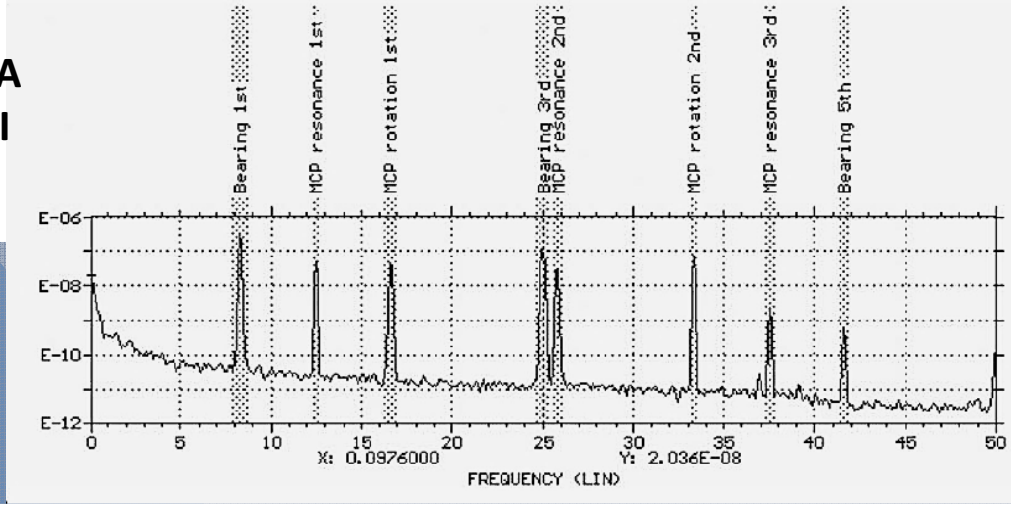
Transducers **are *voltage-output* devices that can be used with simple signal conditioning but are more sensitive to electromagnetic interference. They require three or four connecting wires to supply power and deliver the output signal.**

Transmitters **are *current-output* devices and may have two or three wires. Where two wires are used to both receive power and transmit an output signal, significant cost savings can be made where long cables are needed. They are frequently scaled to vary from 4 mA to 20 mA as the pressure varies from minimum to maximum.**

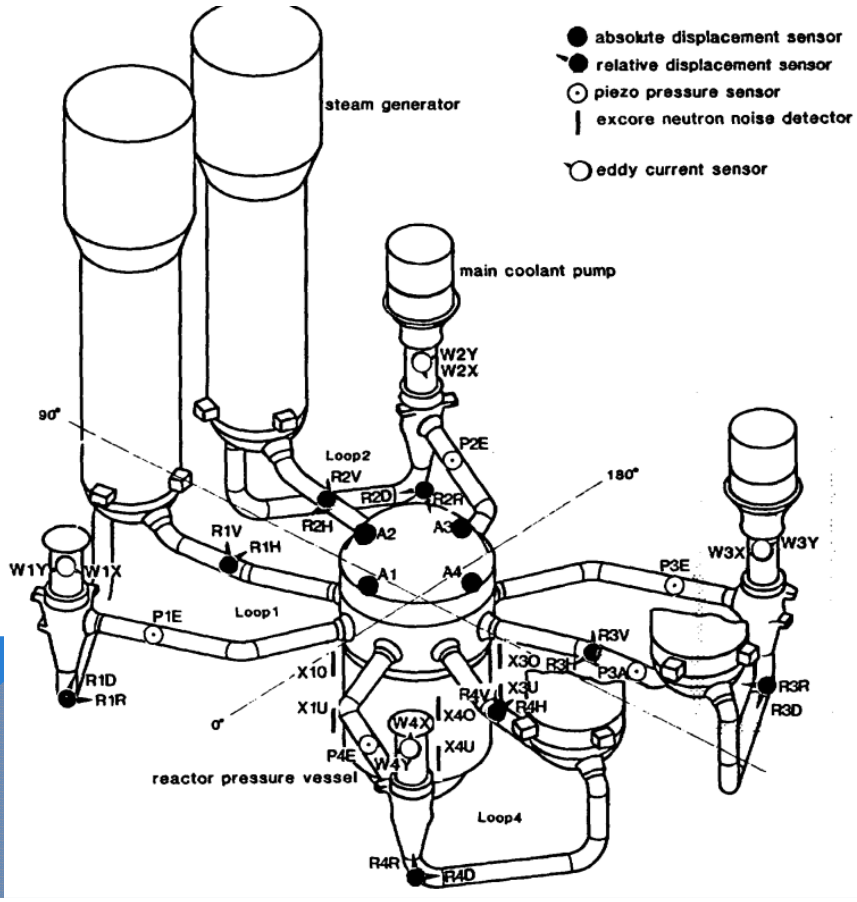
VIBRAČNÉ SPEKTRÁ

VVER -1000 PRI NORMÁLNYCH PODMIENKACH A PRI DEGRADÁCII LOŽÍSK





VIBRATION AND NOISE SENSOR POSITIONS OF A FOUR-LOOP GERMAN PWR



PRÍKLAD MONITOROVACIEHO SYSTÉMU HCČ NA PWR ASMAS

The automatic vibration control system ASMAS is able to perform

1. Monitoring and
2. Documentation of all measured signals and results of analysis in time and frequency domain and
3. Status checking of specified parameters which characterize the vibrational behaviour and mechanical condition of the main coolant pumps MCP

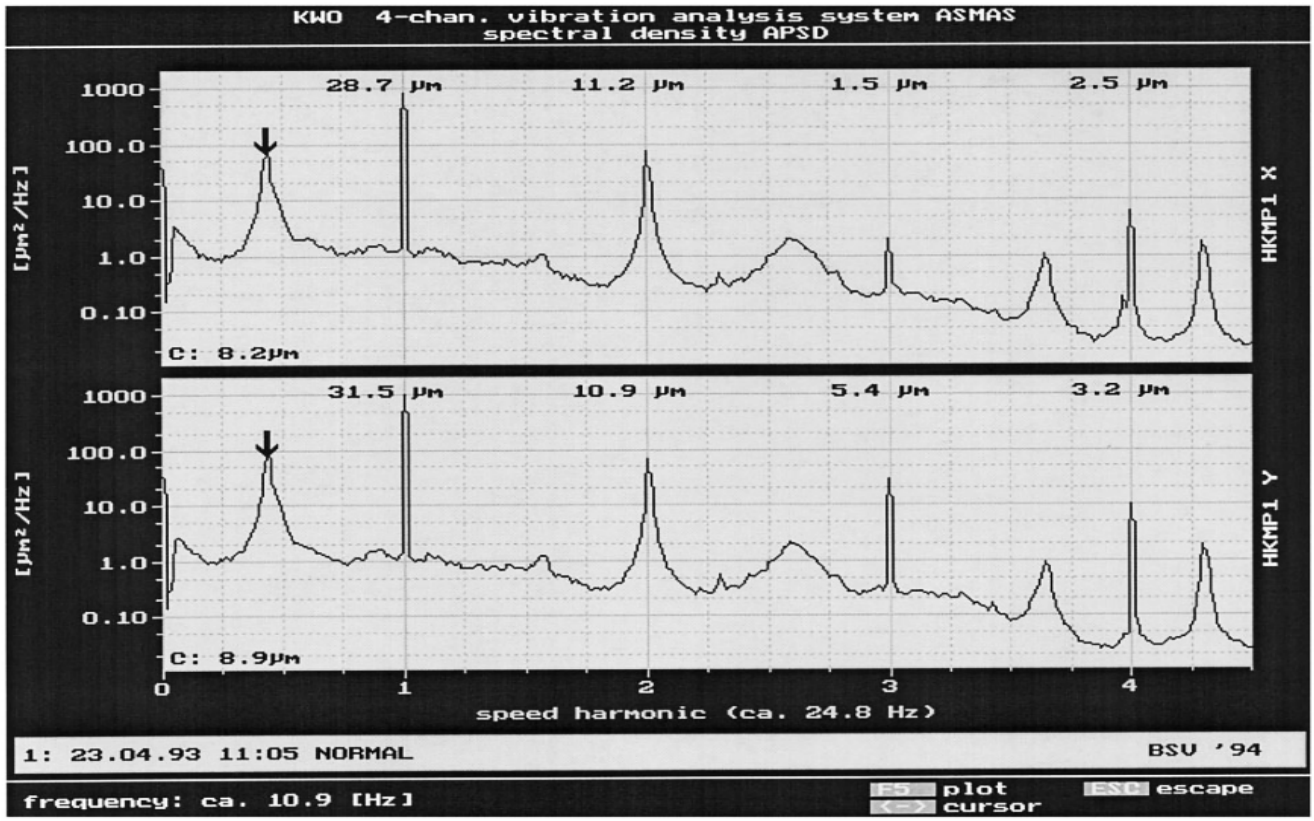
ASMAS analyses

Four signals per pump (shaft vibration and loop vibration)
Supervises (a) 1st, 2nd, 3rd and 4th harmonics of rotational frequency of monitors and shaft vibration (b) Smax-value of shaft displacement (c) Frequency related phase angle of the first four harmonics of rotational frequency

Automatically Stores all results and data once per week (normal system status), additionally in case of pre-alarm once per day (event system status). Additionally in case of alarm once per hour (alarm system status)

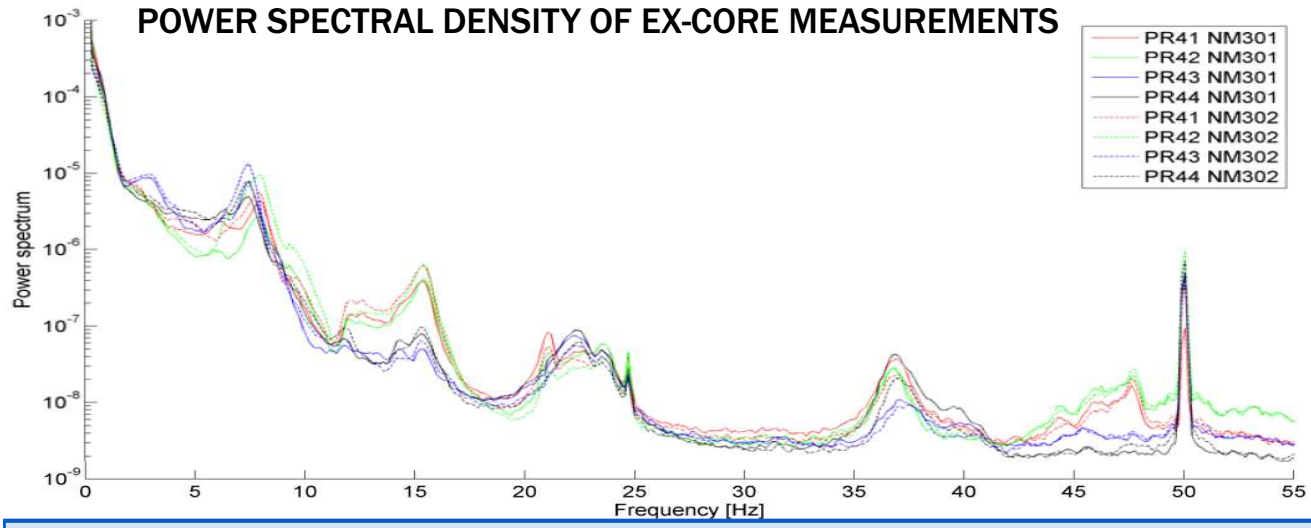
PRÍKLAD MONITOROVACIEHO SYSTÉMU HCČ NA PWR ASMAS

The amplitudes of each harmonic are given in μm and are automatically supervised to ensure that they remain within the predefined thresholds.



NEUTRON NOISE ANALYSIS

POWER SPECTRAL DENSITY OF EX-CORE MEASUREMENTS



Spectral densities for all measurements are presented. In figure sharp peaks at 25 Hz and 50 Hz are visible. These peaks are result of the primary pumps operation. Peak at 50 Hz could be also intensified by the contamination of the signal from the outer 50 Hz power supply of the measurement system. In any case these frequencies are not interesting for our purpose and can be neglected.

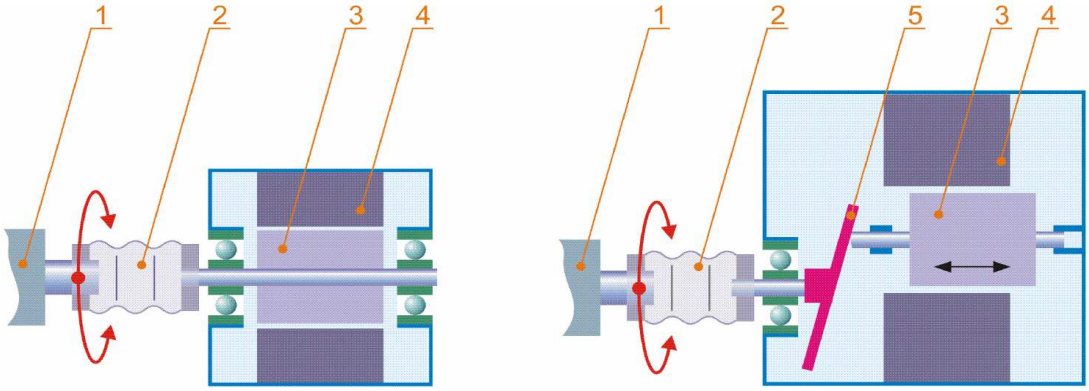
Most prominent peaks lie at 7.3 Hz, 15.2 Hz, 22.6 Hz, 36.6 Hz, 45.8 Hz and 47.6 Hz. There appear to be also some smaller peaks of which perhaps one with the lowest frequency near 3 Hz should be mentioned. Information available is not sufficient to accurately distinguish between beam and shell type of barrel or thermal shield vibrations.

Comparison of frequency spectrum from periodic measurements can identify anomalous vibrations potentially indicating unwanted changes in the reactor. An operational utility noise program can help to successfully diagnose unwanted events in initial stage.

MERANIE UHLA NATOČENIA A OTÁČOK

Elektrické meracie princípy:

- Optoelektrické snímače
- Odporové snímače
- Kapacitné - prevádzajú rotačný pohyb vstupnej časti snímača na posuvný pohyb jeho citlivej časti.
- Indukčnostné snímače, resolver a selsyn (synchro)

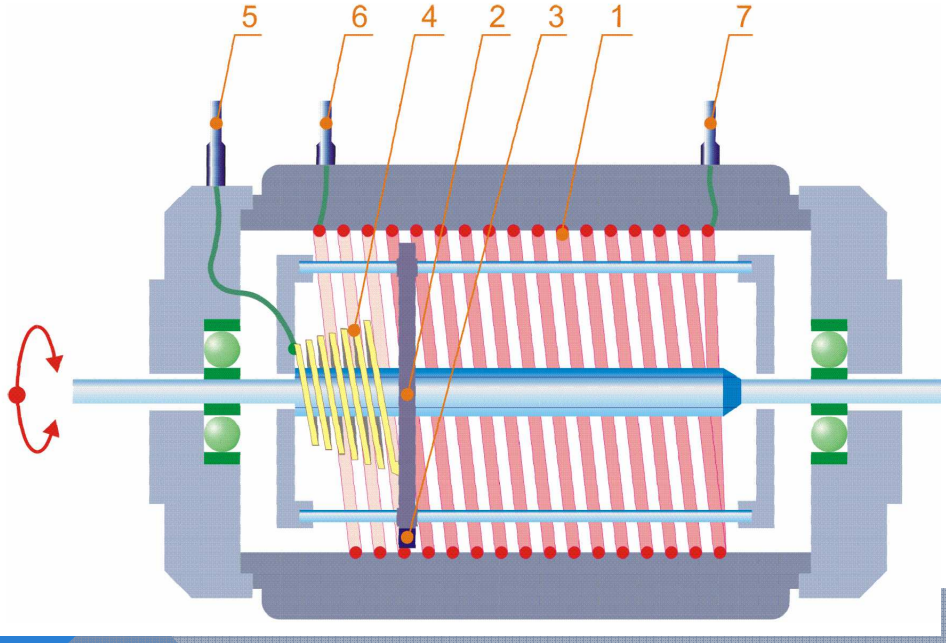


Konštrukčné schémy elektrického **snímača uhla natočenia**

a) s rotačným pohybom citlivého prvku, b) s priamočiarym pohybom citlivého prvku

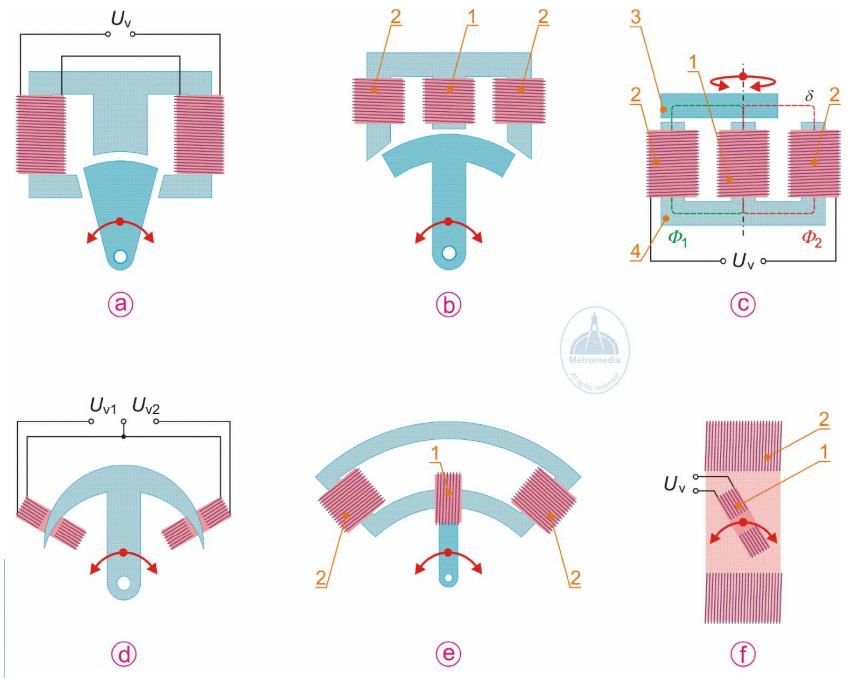
1 – meraný objekt, 2 – spojka, 3 – citlivý prvok, 4 – vstupno-výstupná časť, 5 – transformačný člen

ODPOROVÝ MERAČ – POTENCIOMETER ARIPOT



1 – odporový drôt, 2 – prevod skrutka - matica, 3 – bežec,
4 – pružina - vodič, 5 – kontakt, 6 – pevný kontakt, 7 – pevný kontakt

INDUKČNOSTNÉ SNÍMAČE UHLA NATOČENIA



a) *snímač s malou vzduchovou medzerou,*

b) *snímač s malou vzduchovou medzerou na meranie malých uhlov (1 - primárna cievka, 2 - snímacie cievky),*

c) *transformátorový diferenčný snímač s premenlivou plochou vzduchovej medzery (1 - napájacia cievka, 2 - snímacie cievky, 3 - otáčajúca sa časť feromagnetika, 4 - statická časť feromagnetika),*

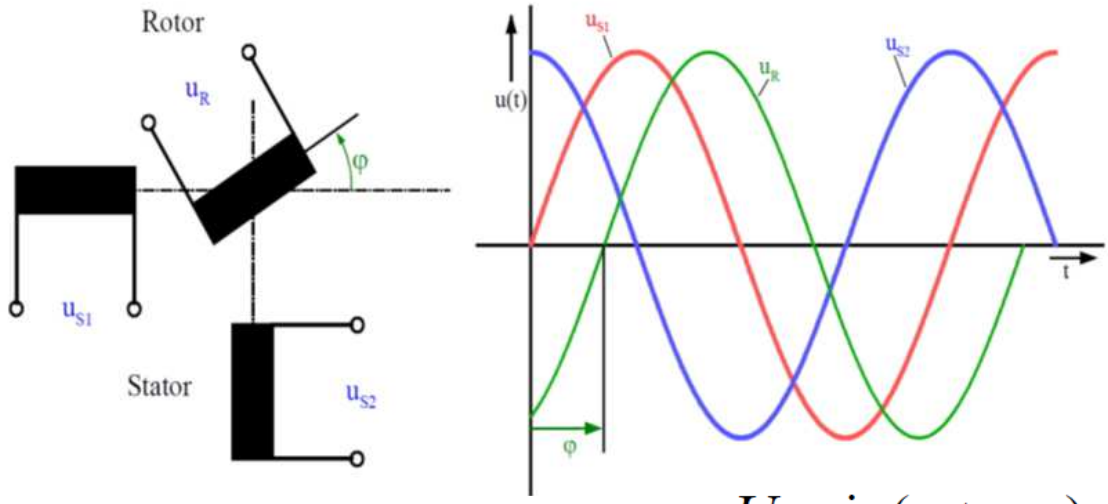
d) *diferenčný snímač s otvoreným magnetickým obvodom,*

e) *snímač so stálym magnetickým obvodom a s pohyblivou cievkou (1 - snímacia cievka, 2-budiace cievky) ,*

f) *polohový transformátor – indukčnostný snímač bez feromagnetika (1 - otočná cievka, 2 - statická cievka)*

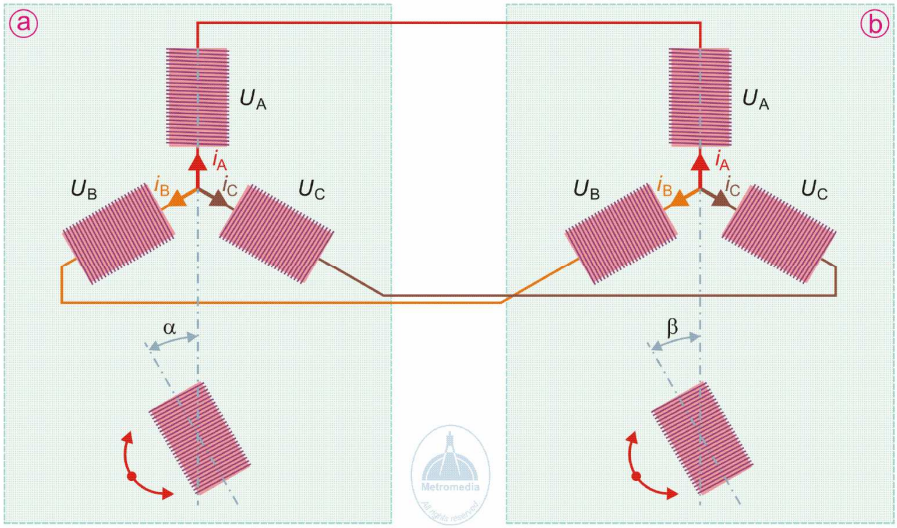
RESOLVER

Resolver je možné použít jako absolutní čidlo polohy. Resolver má jednofázový rotor a na statoru dvě vinutí navzájem kolmá, napájená střídavým napětím o fázovém posunu 90°.
Tím se vytvoří točivé magnetické pole, které indukuje v rotoru napětí o stejné frekvenci, ale fázově posunuté vůči statorovému referenčnímu napětí o úhel natočení φ.
Vyhodnocení polohy φ se získá vyhodnocením fáze napětí u_R pomocí fázového diskriminátoru.



$$u_{1S} = U_m \sin \omega t \qquad u_{2S} = U_m \cos \omega t \qquad u_r = U_m \sin(\omega t - \alpha)$$

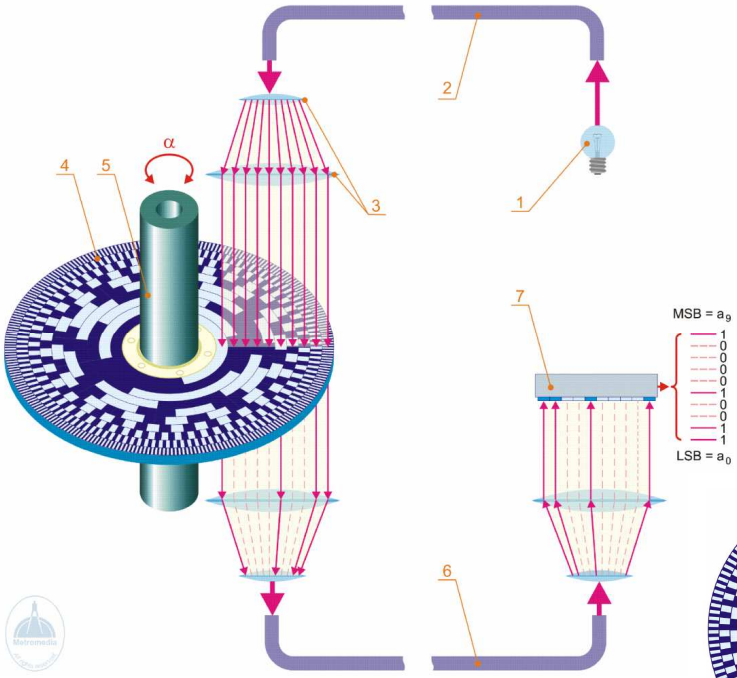
SELSYN (ALEBO SYNCHRO)



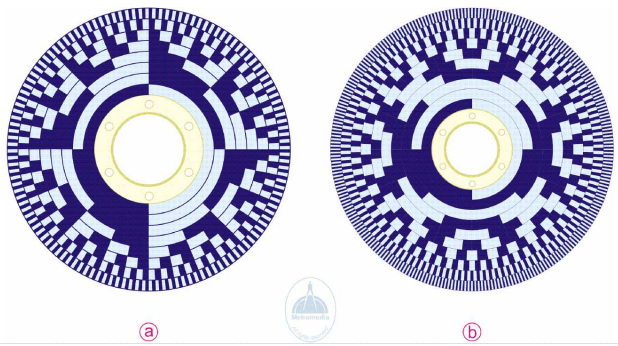
Selsyn má konfiguráciu s tromi statorovými cievkami a jednou rotorovou cievkou. Tri výstupné svorky statorových cievok vysielača sú pripojené k odpovedajúcim statorovým cievkam prijímača. Tri statorové cievky prijímača naindukujú v rotorovej cievke prijímača napätie proporcionálne ku kosínusu uhla medzi dvoma hriadeľmi.

Ak je rotor prijímača napájaný takým istým napätím ako rotor vysielača, hriadeľ prijímača sa otočí do takej istej polohy ako rotor vysielača (pretože konštrukcia a prúdy sú také isté). Takýmto spôsobom sa elektricky prepojí uhol natočenia rotora vysielača a uhol natočenia rotora prijímača. Ak sa zanedbajú mechanické straty na obidvoch hriadeľoch ako aj straty vo vedení medzi cievkami vysielača a prijímača, uhol natočenia hriadeľa rotora vysielača odpovedá uhlu natočenia rotora prijímača. Rozdiel uhlov natočenia obidvoch rotorov zvyčajne nepresahuje 1,5°.

ABSOLÚTNE SNÍMAČE S KÓDOVACOU ŠABLÓNOU



Rozlišovacia schopnosť absolútnych snímačov uhla natočenia je v porovnaní s inkrementálnymi snímačmi oveľa nižšia.
V prípade **osembitového** absolútneho kódovania je to len 2^8= 256 kódovaných impulzov na otáčku, teda približne 360°/256= 1,4°.
Desaťbitový Grayov kód dáva 2^{10}=1024 kódovacích impulzov na otáčku, čo znamená približne 360°/1024=0,35°.



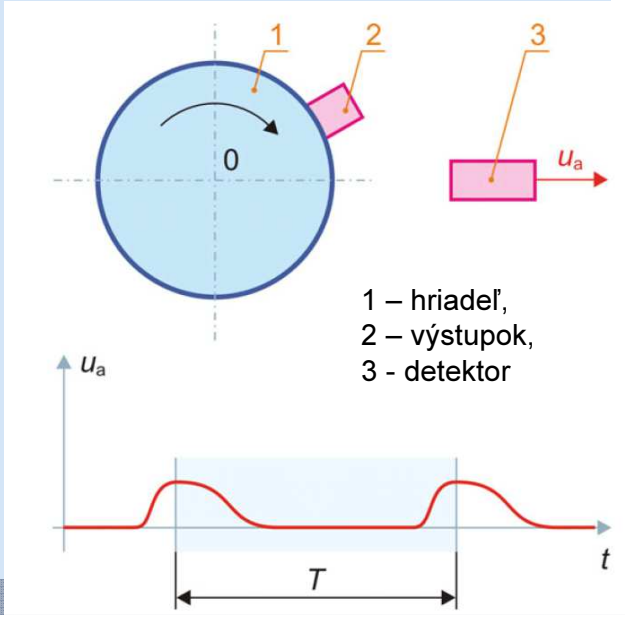
OTÁČKOMERY

spojité:

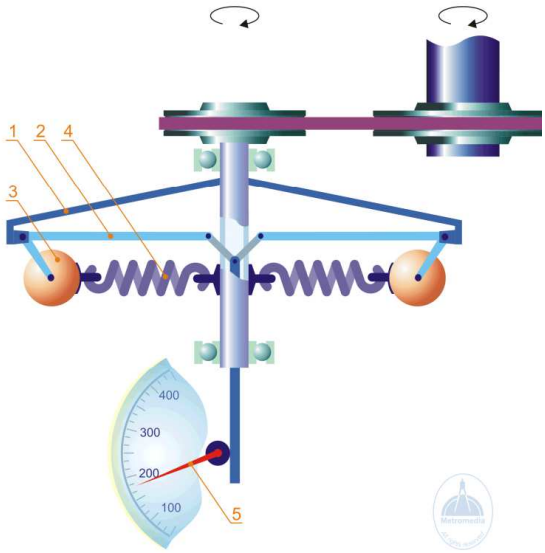
- **tachodynamo** (klasické, unipolárne) - vyrábajú jednosmerný prúd, úmerný otáčkam, budenie permanentnými magnetmi na statore, sú nutné komutátory
- **tachogenerátor** (klasický, Feraris) - výstup je striedavé napätie, napätie a frekvencia sú úmerné otáčkam, magnet je na rotore, vinutie je stator
- **hydraulické**
- **pneumatické**

impulzné:

- **magnetické**:
  - s indukovaným napätím
  - s Hallovou sondou
- **optické**:
  - s reflexnými značkami (vyššie otáčky)
  - s optickými mriežkami (nízke otáčky)
  - stroboskopické otáčkomery

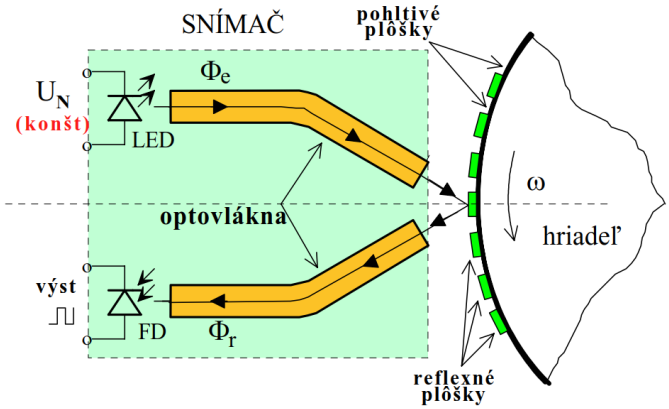


ODSTREDIVÝ OTÁČKOMER



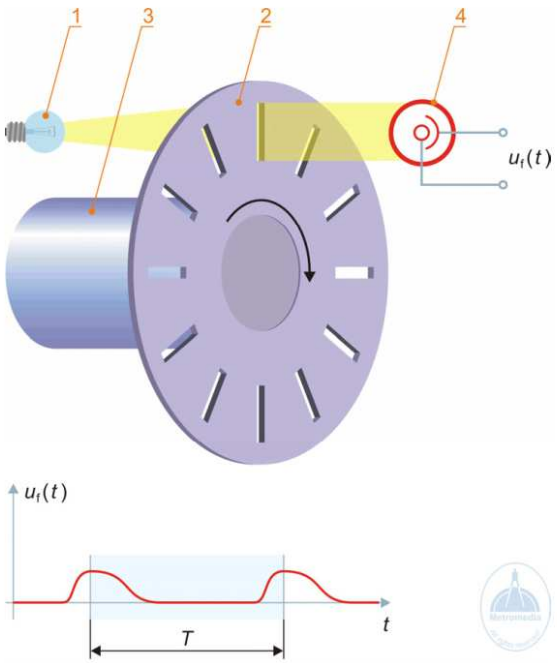
Využíva princíp odstredivých síl. Spolu s hriadeľom sa otáča aj rám prístroja 1. V ňom sú na uhlových pákach 2 zavesené dve závažia 3. Odstredivá sila závažia sa prenáša cez uhlové páky a mechanický prevod na ukazovateľ 5. Na reguláciu citlivosti prístroja sa používa dvojica pružín 4.

SYSTÉM S OPTOVLÁKNAMI



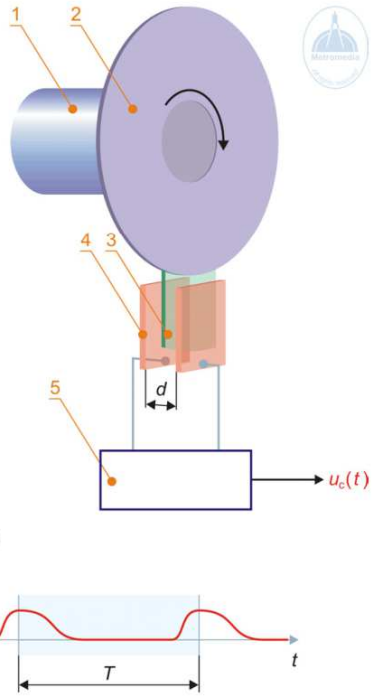
- zdroj svetla je LED, emitovaný tok Φe je optovláknom vedený k hriadeľu.
- na hriadeli sa striedajú reflexné a pohltivé plôšky
- na obr. je poloha pri max. odraze svetla odrazený tok Φr je vedený optovláknom k fotodetektoru FD
- frekvencia výst. signálu je úmerná ω a počtu odrazných plôšok na obvode

OPTICKÝ



Optoelektronický snímač frekvencie otáčania s prerušením optickej cesty, 1 – zdroj svetla, 2 – kotúč, 3 – hriadeľ, 4 – fotoelektrický snímač

KAPACITNÝ



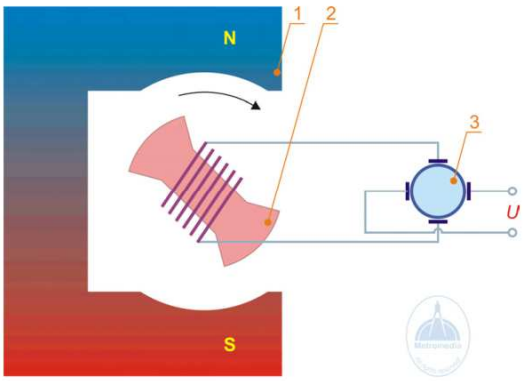
Princíp kapacitného snímača frekvencie otáčania, 1 – hriadeľ, 2 – kotúč, 3 – doštička, 4 – doska kondenzátora, 5 – snímač kapacít

TACHODYNAMO

- má pevný stator, tvorený permanentnými magnetmi a vinutý rotor s komutátorom
- na komutátor dosadajú zberné kontakty
- výstup je jednosmerné napätie:
  amplitúda lineárne závislá od otáčok
  polarita závislá od smeru

výhody: jednoduché, citlivé, lineárne a pomerne presné

nevýhody : zvlnenie výst. napätie, šumy

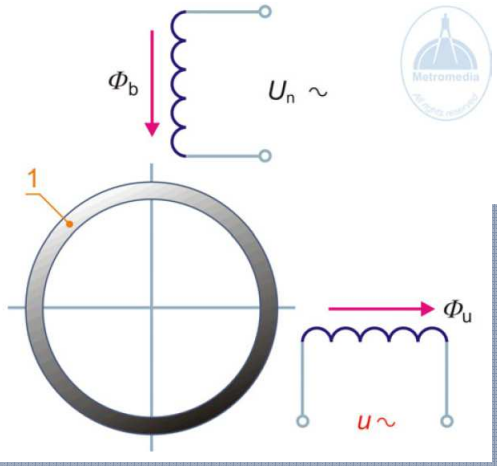


Obr. 16.6 Princíp zapojenia tachodynama
1 - permanentný magnet, 2 – kotva, 3 – komutátor

TACHOGENERÁTOR

Výhoda tachogenerátora oproti tachodynamu spočíva v tom, že nemá komutátor. Výstupným signálom tachogenerátora je striedavé napätie. Využíva sa princíp vírivých prúdov (Ferraris) s dvojfázovým vinutím na statore. Rotor je v tvare dutého valca 1 (z kovového nemagnetického materiálu.

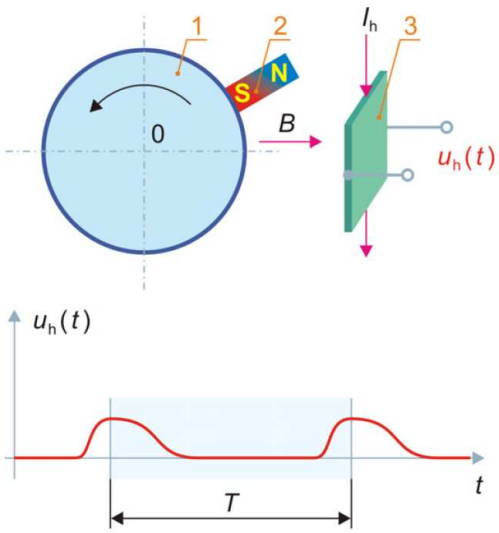
Pripojené napätie Un zo striedavej siete je zdrojom budiaceho magnetického toku Φb. Otáčaním rotora sa vytvára magnetický tok Φu , ktorý v druhej časti vinutia indukuje výstupne napätie u. Jeho amplitúda je úmerná frekvencii otáčania rotora.

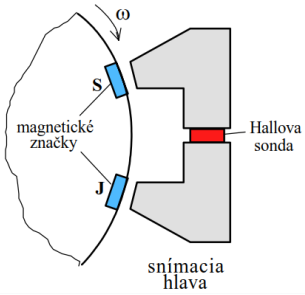


MAGNETOELEKTRICKÉ SNÍMAČE (HALLOVE)

Magnetoelektrický snímač je aktívny magnetický snímač, čím sa líši od tzv. klasických elektromagnetických snímačov.

Na rotujúci **hriadeľ 1** je upevnený malý permanentný **magnet 2**. Hallov snímač predstavuje doštičku 3 z polovodiča (používa sa napr. Ge, InSb, InAs). Doštička je pripojená na zdroj konštantného prúdu I_h. Pri rotácii hriadeľa sa pohybuje permanentný magnet 2 v blízkosti **Hallovho snímača 3** a pôsobí naň svojím magnetickým poľom B. Na doštičke magnetoelektrického snímača nameriame Hallovo napätie $u_h = k \cdot I_h \cdot B / \alpha$, kde α je hrúbka doštičky.





DETEKTORY NEUTRÓNOVÉHO ŽIARENIA

Systém incore – vnútroreaktorové merania rozloženia neutrónového poľa (miniatúrne štiepne komôrky a SPND detektory)

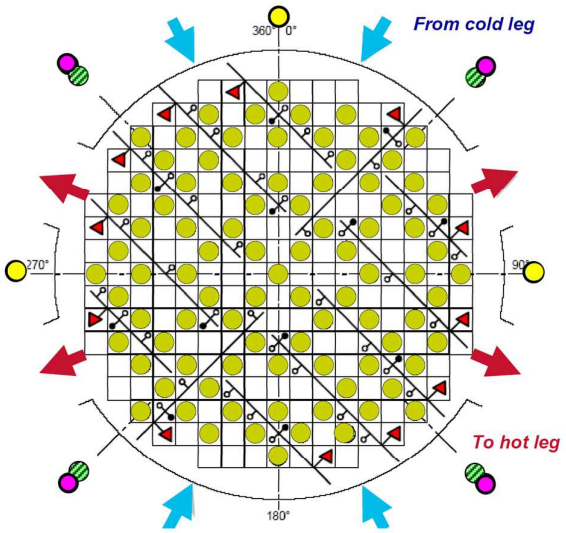
Systém excore – meranie neutrónového výkonu reaktora – ionizačné alebo proporcionálne komory s bórom alebo štiepnym materiálom

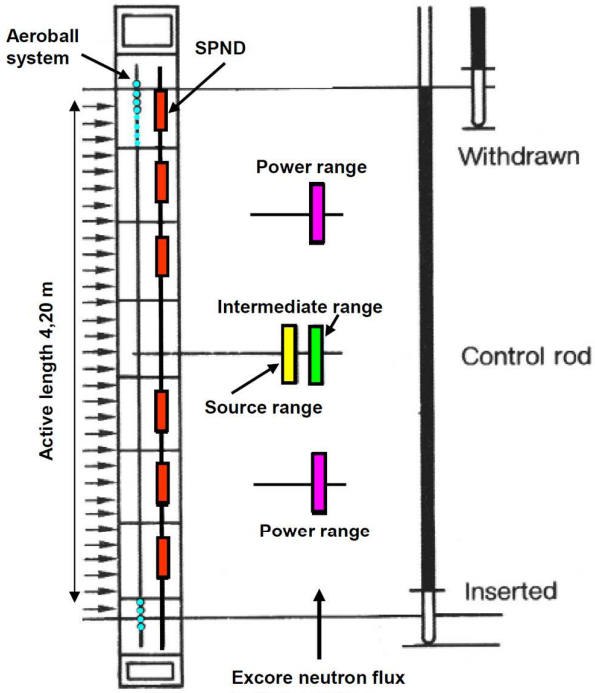
Meracie rozsahy na reaktore

- 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)	Source range (PWR)
Aeroball measurement system (PWR)	Intermediate range (PWR)
Traversing incore probe system (PWR, BWR)	Power range (PWR)
	Wide range (PWR)

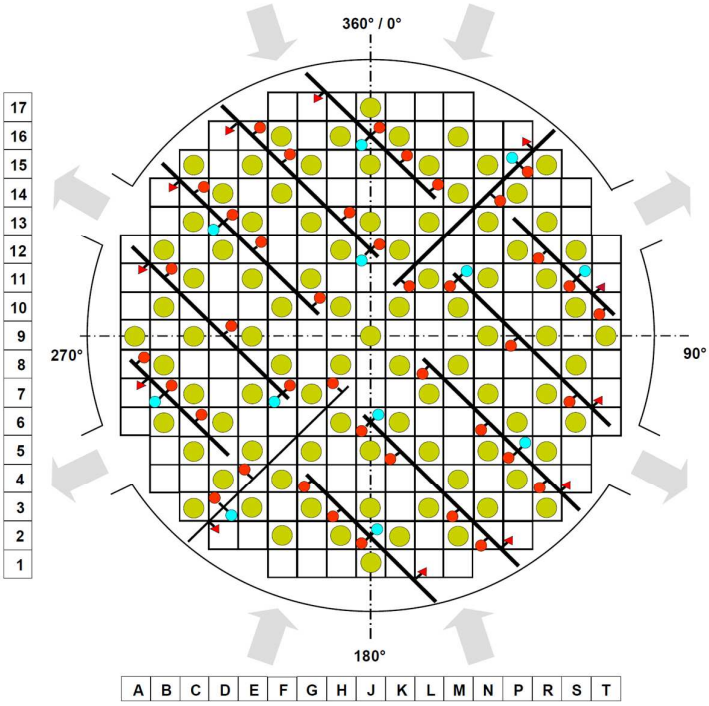
PWR REACTOR INSTRUMENTATION

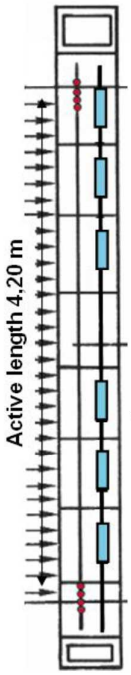




- 241 fuel assemblies
- 40 Aeroball probes
- 12 RPV instrumentation nozzles with instrumentation lances
- 89 control assemblies
- 12 fingers with self-powered neutron detectors (SPND) and thermocouples
- 12 lance yokes
- Power range
- Intermediate range
- Source range

ROZMIESTNENIE INCORE SYSTÉMU

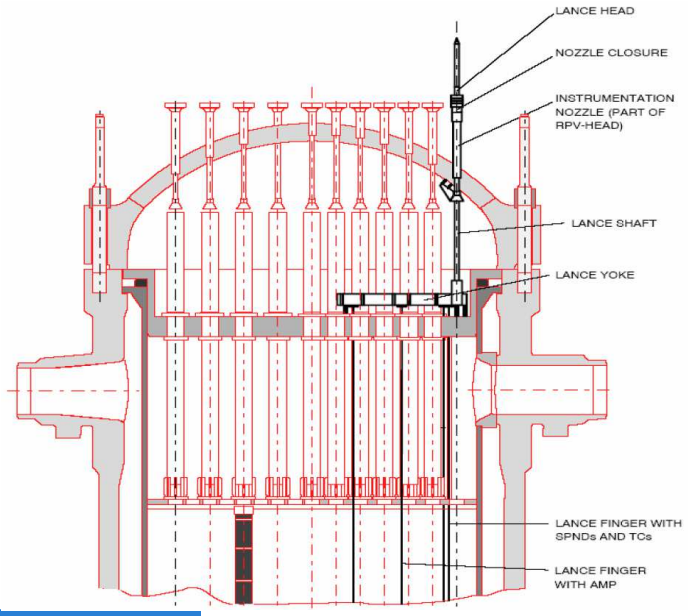


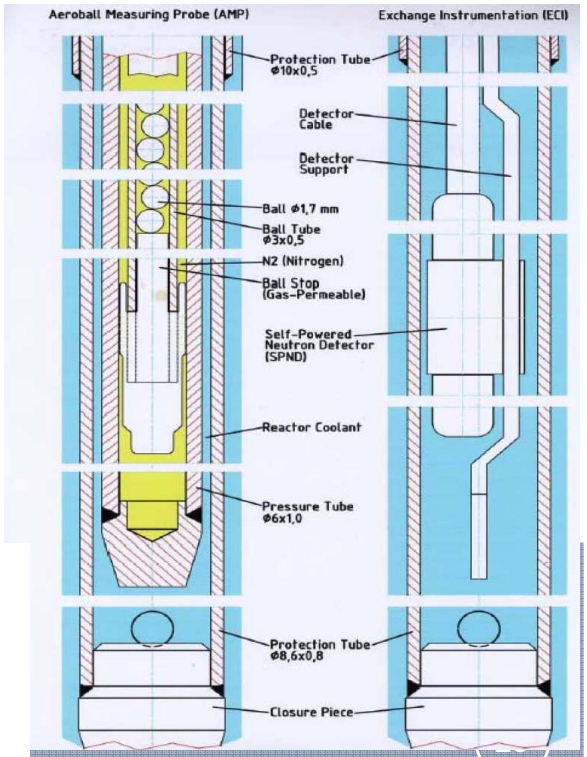


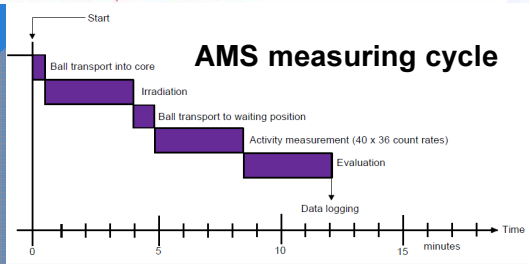
- 40 aeroball probe Positions
- 12 positions with 6 power density detectors and 3 thermocouples
- 12 lance yokes of instrumentation lances
- 12 RPV instrumentation nozzles
- 89 RCCA

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

INSTRUMENTATION LANCE AND NOZZLE ARRANGENMENT

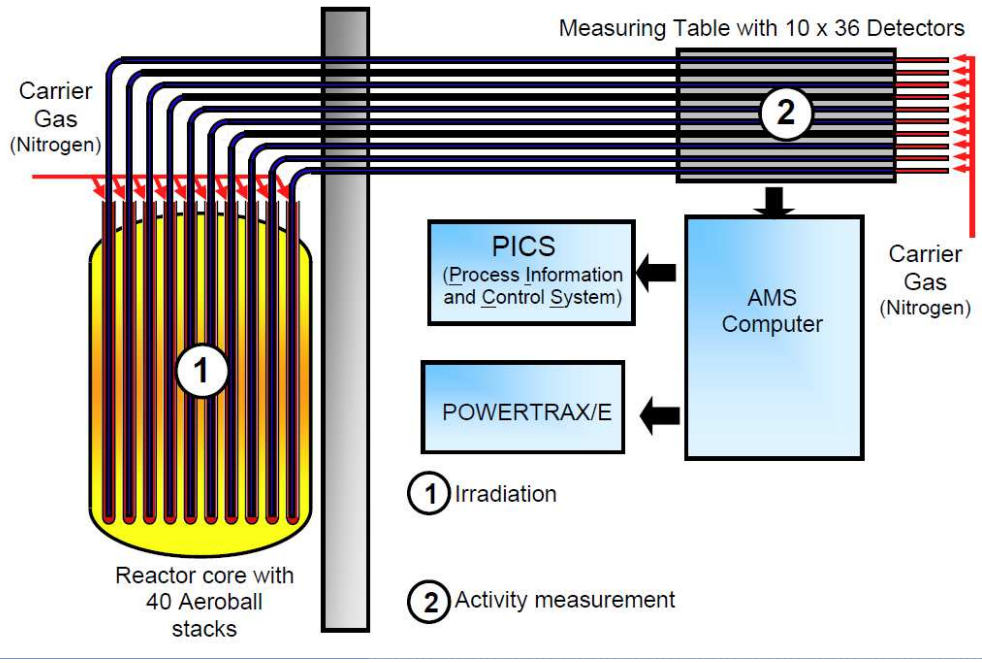




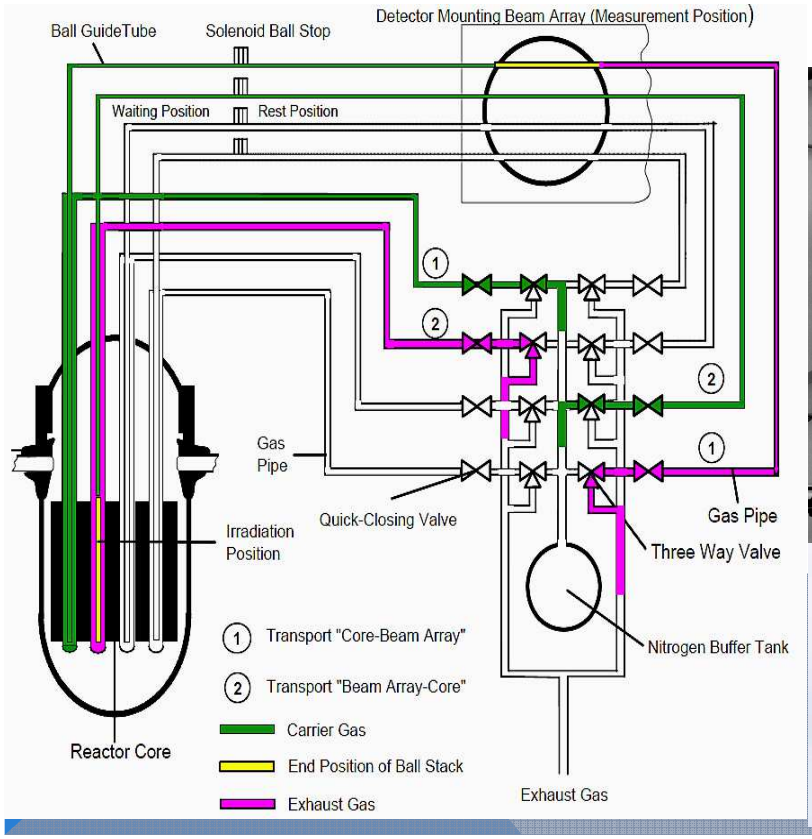


AMS PROVIDES AN ASSESSMENT OF POWER DENSITY DISTRIBUTION

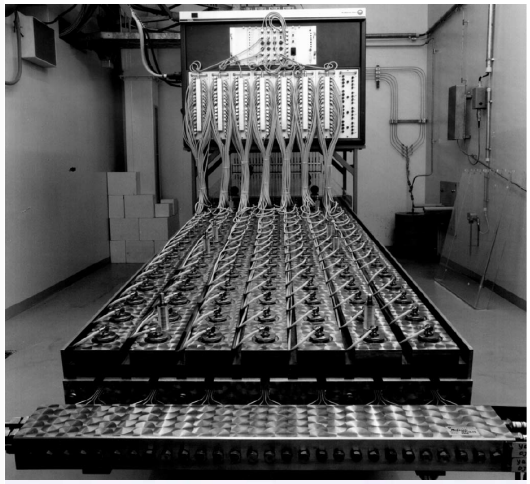
- SPND calibration
- Verification of core design predictions
- Verification of core behavior over cycle burn-up
- Determination of 3D flux and power density distribution PICS
- Calibration of the 3D on-line core monitoring software system POWERTRAX/E



AMS PNEUMATIC TRANSPORTATION SYSTEM

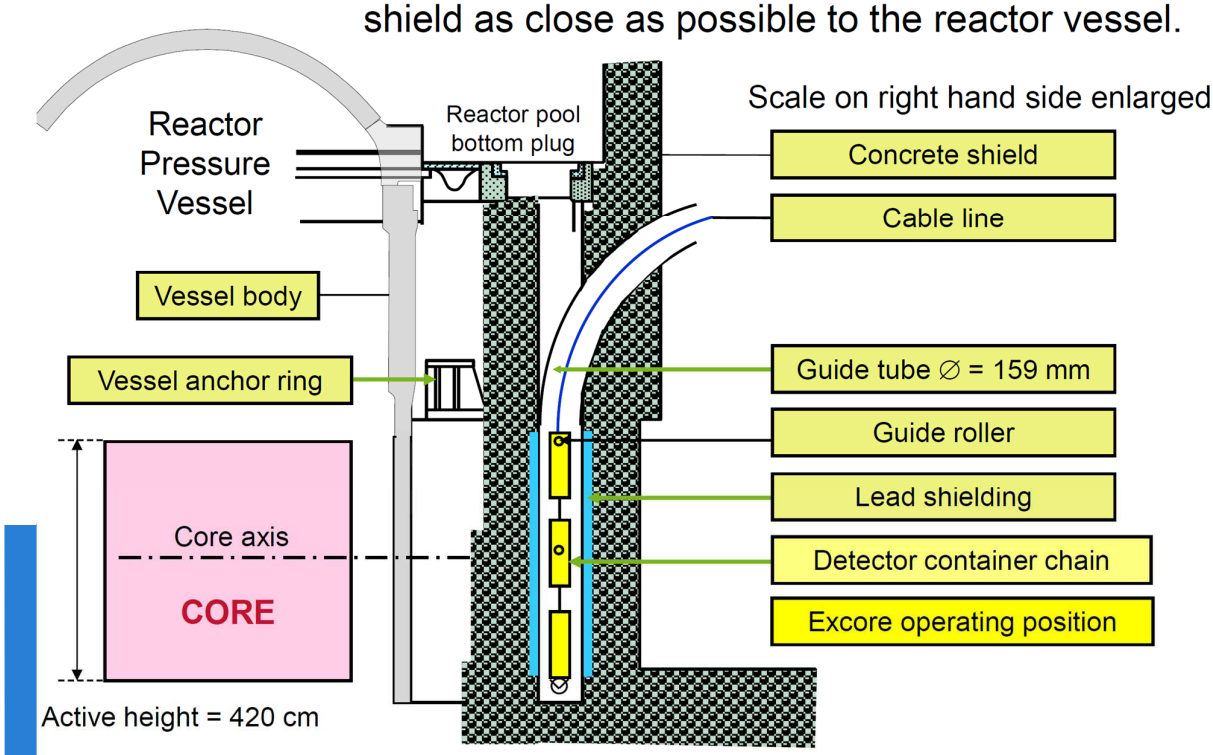


AMS Measurement table
Silicon SB detectors



EXCORE INSTRUMENTATION

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



PARAMETRE EXCORE DETEKTOROV PWR

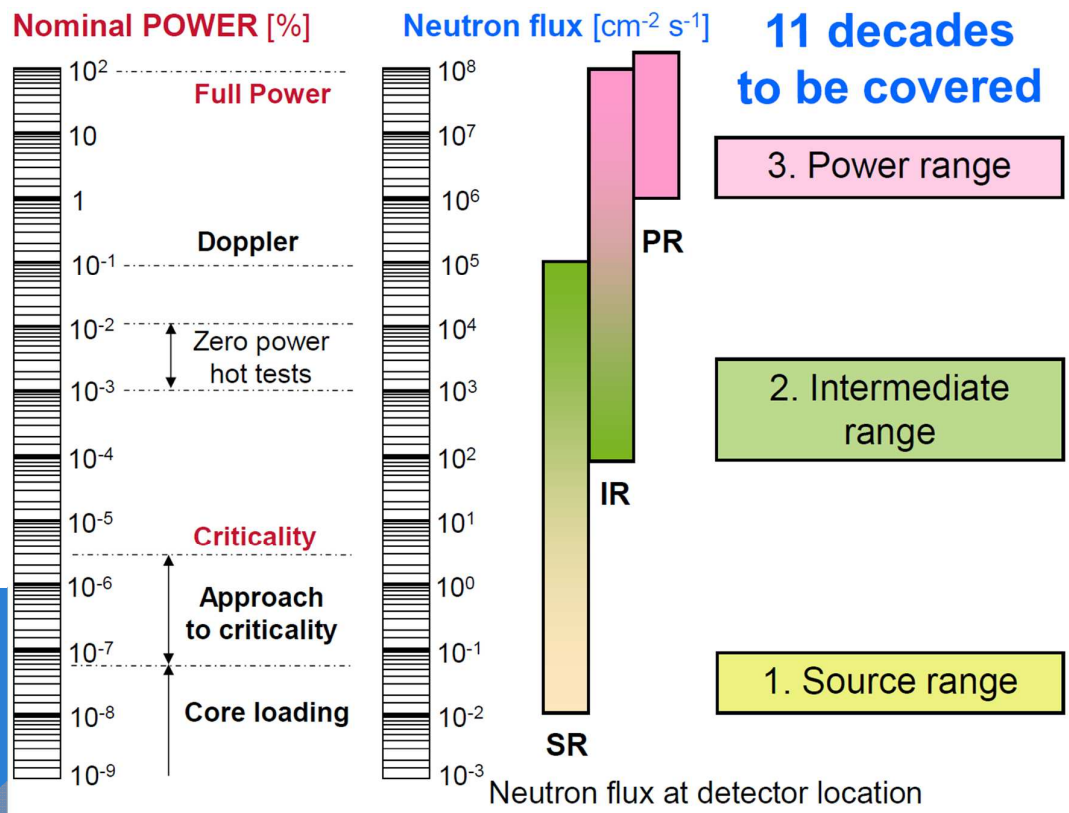
Source Range:	**Proportional** counter tube with boron coating (92 % B-10)
Filling gas:	Ar + CO_2 (15 %)
Size:	Ø= 48 mm, height = 766 mm (B-10 55.8 mm)
Intermediate Range:	**Compensated** ionization chamber with B-coating (92 % B-10)
Filling gas:	N_2 (pressure = 1 bar)
Size:	Ø= 50 mm, height = 670 mm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

Detection reaction of thermal neutrons

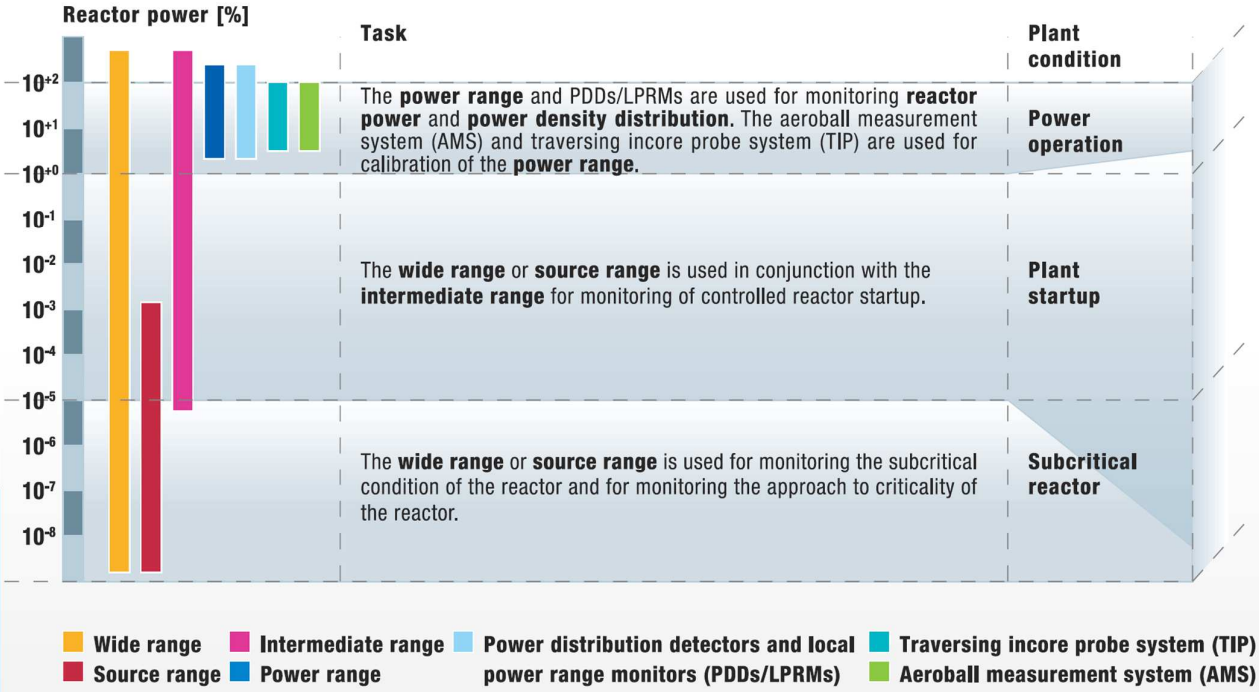
$$\boxed{{}^{10}_{5}B(n,\alpha)^{7}_{3}Li}$$

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

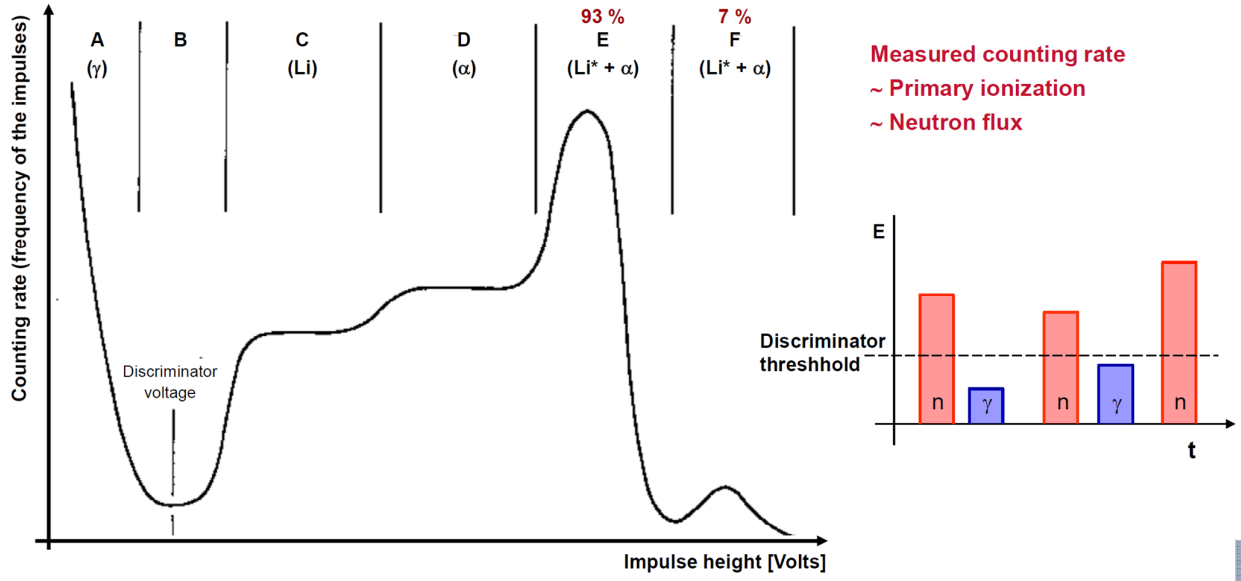
ROZSAH MERANIA



ÚLOHY SYSTÉMU EXCORE (MERANIA NEUTRÓNOVÉHO TOKU)



PROPORTIONAL COUNTER TUBES. PULSE HEIGHT SPECTRUM AND GAMMA DISCRIMINATION

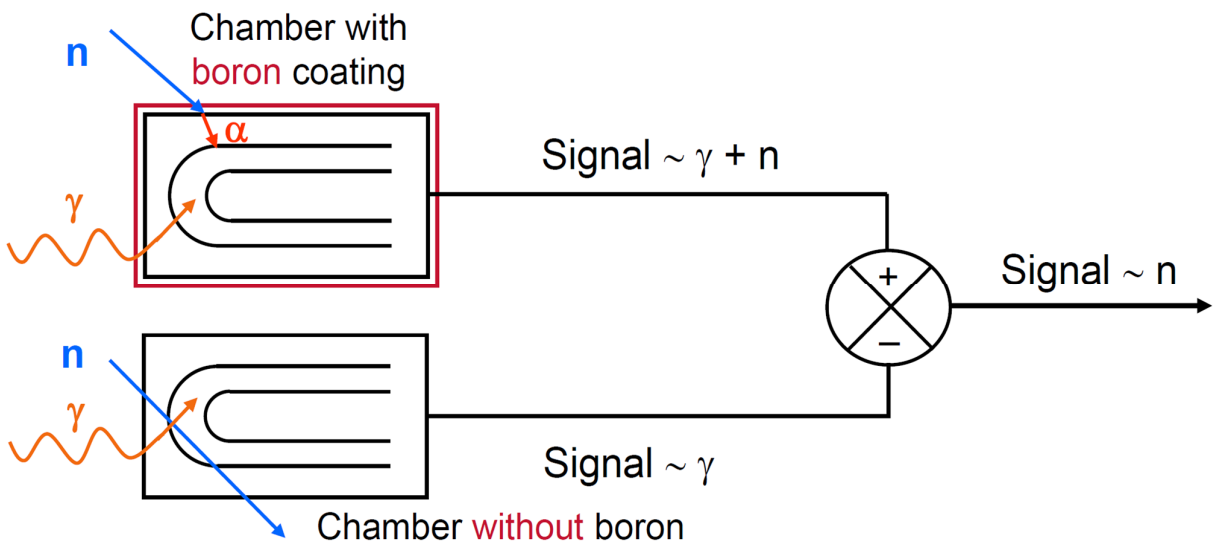


Detection reaction of thermal neutrons $\boxed{{}^{10}_{5}B(n,\alpha){}^{7}_{3}Li}$

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

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

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

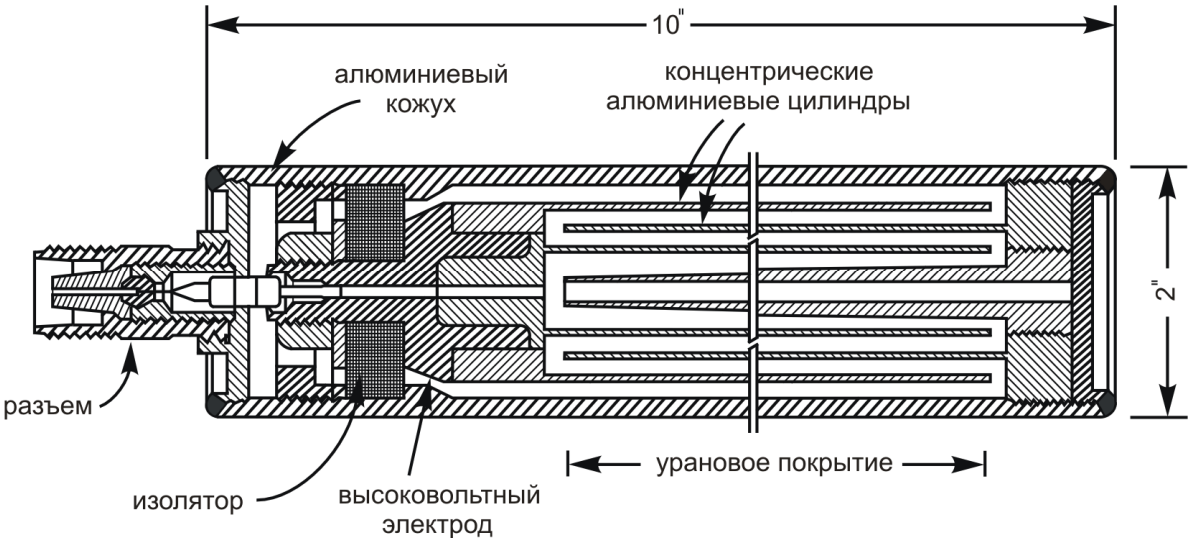
Cable extensions

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



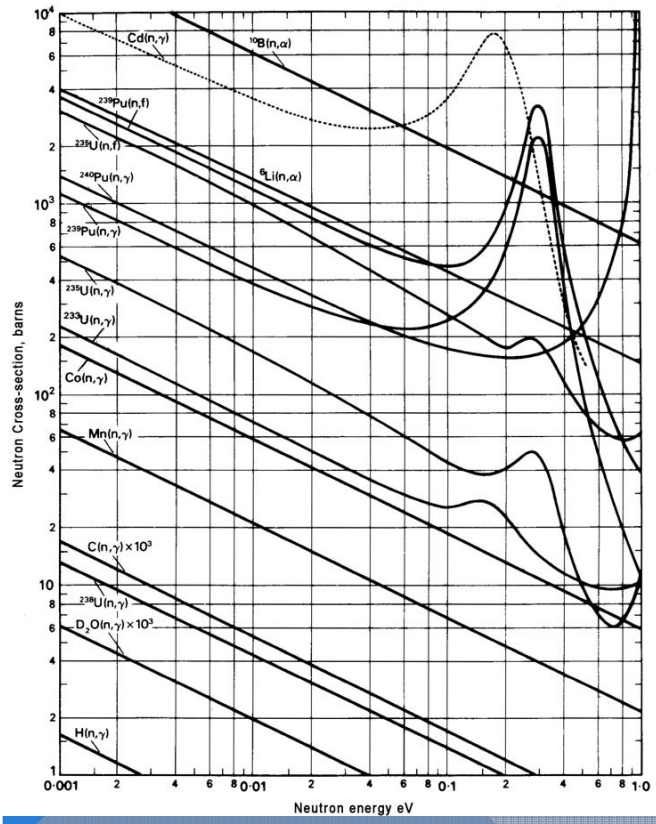
VÝHODY ŠTIEPNEJ IONIZAČNEJ KOMORY

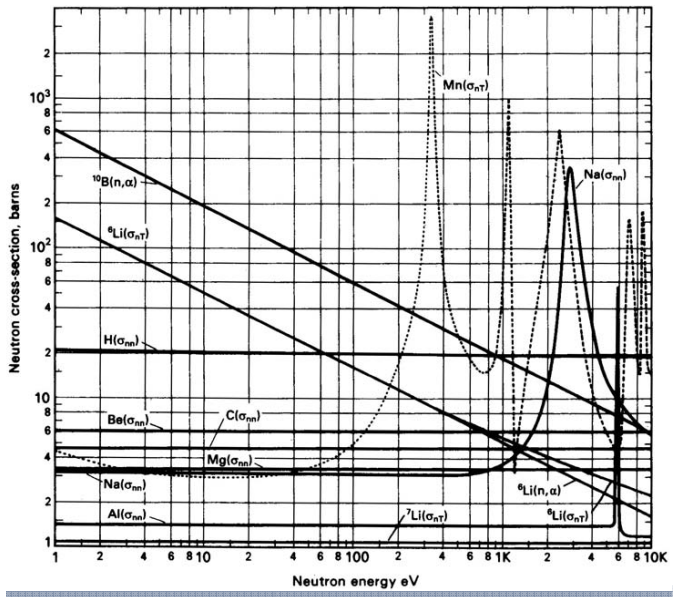
Fission chambers use neutron-induced fission to detect neutrons. The chamber is usually similar in construction to that of an ionization chamber, except that the coating material is highly enriched U235. The neutrons interact with the U235, causing fission. One of the two fission fragments enters the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

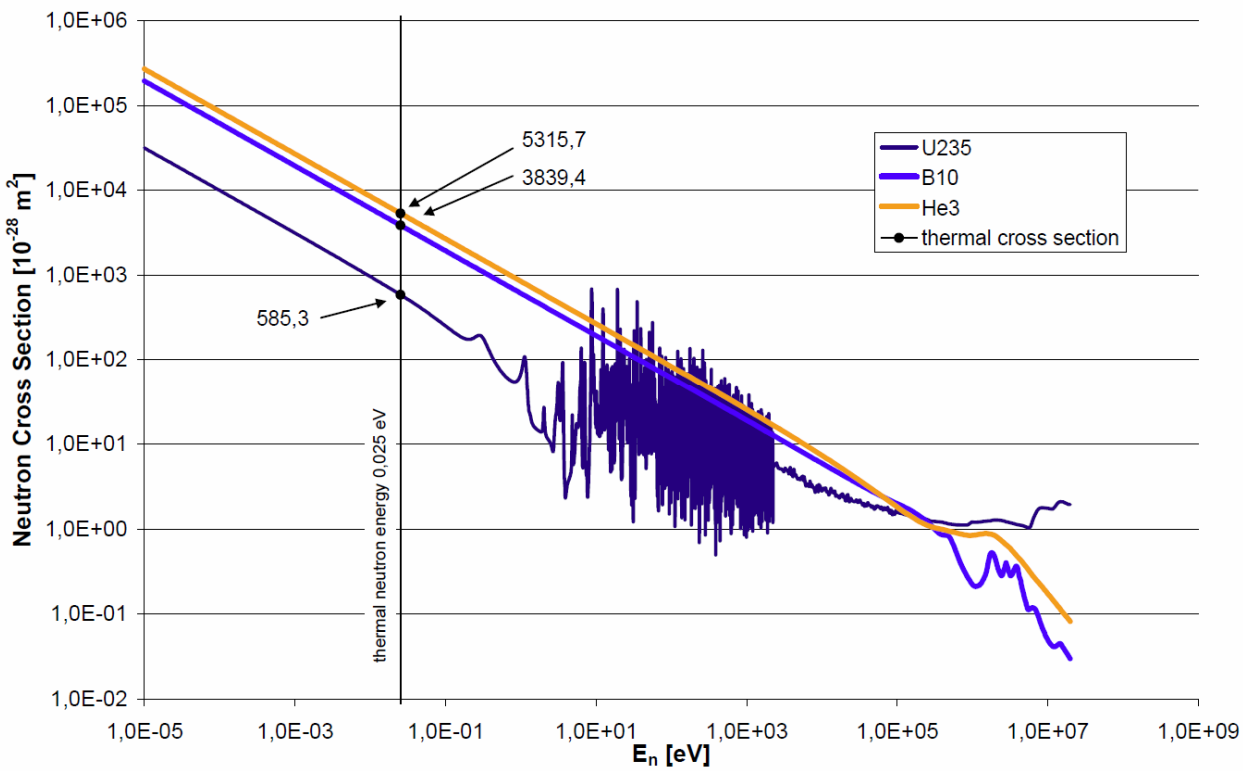
ÚČINNÝ PRIEREZ INTERAKCIE NEUTRÓNOV



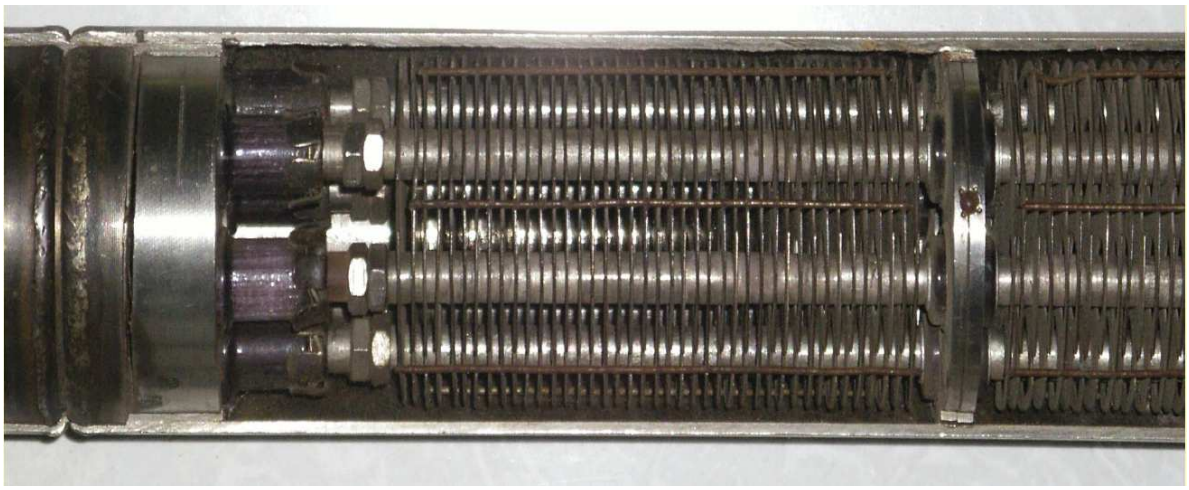


$^{10}B\ (n, \alpha)^{7}Li$	4010	b	E=0,025 eV
$^{6}Li(n,\alpha)T$	945	b	v=2,2 km/s
$^{3}He(n,p)T$	5400	b	
$^{239}Pu(n,f)$	742	b	
$^{235}U(n,f)$	582,9	b	
$^{233}U(n,f)$	534,6	b	

MIKROSKOPICKÉ ÚČINNÉ PRIEREZY PRE NEUTRÓNY



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.

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 unit
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