



**Nemzeti nukleáris törvényszéki analitikai
könyvtár kibővítése és kiegészítése a nukleáris
üzemanyagciklusból elérhető gyártástechnológiai
információkkal**

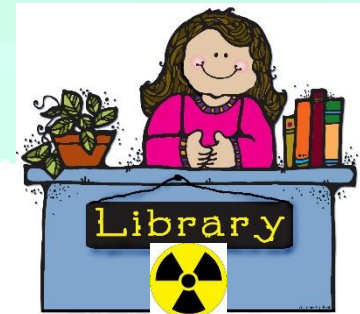
Kovács-Széles Éva

**Magyar Tudományos Akadémia
Energiatudományi Kutatóközpont (MTA EK)**

Témafelvetés - Bevezetés

A terrorizmus veszélyének növekedése miatt napjainkban a **nukleáris törvényszéki analitikának**, vagyis a csempészni próbált, de lefoglalt nukleáris és egyéb radioaktív anyagok elemzésének, eredetmeghatározásának egyre nagyobb a jelentősége.

Ehhez a területhez azonban nem csak a megfelelő analitikai módszerek fejlesztése, korszerűsítése, új módszerek kifejlesztése tartozik, hanem olyan **nemzeti és nemzetközi adatbázisok létrehozása is, amelyek alkalmazása megkönnyíti a talált, vagy lefoglalt, csempészett anyagok beazonosítását, eredetüknek meghatározását.**



A téma előzményei

Az utóbbi néhány évben a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) és az OAH részéről is igény mutatkozott a nukleáris törvényszéki analitikai tevékenységhez kapcsolódóan, egy **Nemzeti Nukleáris Törvényszéki Könyvtár (National Nuclear Forensic Library, NNFL)** létesítésére. Az NNFL (Könyvtár) megkönnyítheti talált, lefoglalt anyagok eredetének meghatározását.

2013 – NNFL létesítéséhez szükséges irodalmak és ajánlások áttekintése, felkészülés a Könyvtár létrehozására

2014 – a Könyvtár létesítéséhez szükséges adatok generálása: a Magyarországon lefoglalt, vagy talált (az MTA EK-ban tárolt) nukleáris anyagok, széleskörű, nagyműszeres elemzése

2015 – hazai eredetű (hazai reaktorokban alkalmazott) nukleáris üzemanyagok elemzése. Továbbá: a Könyvtár alapját képező, keresési funkcióval rendelkező adatbázis első, teszt verziójának/prototípusának elkészítése – kétféle verzióban: Open Office és saját fejlesztésű program

2016 – a hazai lefoglalásokból származó, „egyéb” típusú, Magyarországon megtalálható nukleáris anyagok elemzése (pl. uranil-acetát, tórium-nitrát). Az elkészült NNFL rendszer feltöltése adatokkal, tesztelése, új törvényszéki paraméterek meghatározása.

Az MTA EK által, jelen szerződés keretében vállalt feladatok

- A nukleáris üzemanyag ciklushoz kapcsolódó gyártástechnológiai információk begyűjtése és rendszerezése (pl. üzemanyag tabletták típusok sajátosságai, gyártóktól függően), amely az eredetmeghatározást megkönnyíti, illetve pontosabbá teszi.
- A már meglévő nukleáris törvényszéki könyvtárhoz kapcsolódó feladatok:
 - A könyvtárban meglévő minták adatai és az összehasonlítások során kapott eredmények dokumentációval együtt történő **exportálhatóságára** megoldási javaslat kidolgozása
 - **Minőségbiztosítási** (elemzési folyamatokra vonatkozó) **rendszerrel való integrációra** (mértékegységek, alaphemennyiségek változtathatósága) történő megoldási javaslat kidolgozása, megvalósíthatóság vizsgálata
 - **Megfelelőségi határértékek** testreszabhatóságának kidolgozása.
 - A mintákhoz tartozó **fényképes azonosítás módszer** megvalósíthatóságának vizsgálata.
 - Eljárás kidolgozása a **könyvtárban tárolt adatok külső hozzáféréssel történő, jogosulatlan manipulációjának megakadályozására.**

Gyártástechnológiai információk

- Gyártástechnológiai információk segítenek egy anyag eredetének (gyártási helyének) meghatározásában
- Az adatok beszerzése azonban nehézkes:
 - levédett technológiák
 - üzleti titok
 - gyártási alapanyag, a beszállítók és a gyártási sarzsok közötti technológia is változhat időközben
 - állami szintű, érzékeny adatok/hadi titkok
 - az ismert gyártástechnológiák és eljárási módszerek elérhetősége limitált
 - az azonosításhoz szükséges paraméterek az illető anyagtól, ill. a gyártás időpontjától is függenek → gyártók időszakonként változtatnak a szabályozás alatt álló paramétereken és az ellenőrzendő tulajdonságok listáján is.



Cél: Irodalomban, nyilvánosan elérhető adatok, technológiai információk beszerzése

Felhasználva: MTA EK AEKI Kutatóreaktor szoros nemzetközi kapcsolatait; üzemanyagkutatással foglalkozó Intézetek adatbázisaihoz való hozzáférést; AEKI-ben megtalálható, több évtizedes reaktorfizikai szakértelmet és tapasztalatot

Begyűjtött információk - Példák

Különböző UO_2 tabletták átmérői, izotóp összetételei

Reaktor típusa	Gyártó	Tabl. átmérő (mm)	Furat átmérő (mm)	Magasság (mm)	²³⁴ U (%)	²³⁵ U (%)	²³⁶ U (%)	²³⁸ U (%)	R _{amin} (μm)	R _a (μm)	Gyártás kezdete (év)
RBMK-1000	MZ	11,5		12-15		2; 2,4				3,2	1989
RBMK-1000	UMP	11,5		12-15		2; 2,4	REP			3,2	1989
RBMK-1000	UMP	11,45				2,5			1,74	2,55	
RBMK-1000	UMP	11,44		14,18 14,85		2,4			1,76	3,0	
RBMK-1000	UMP	11,44		13,95	0,032	2,52	0,378	97,07	1,33	2,24	
RBMK-1500	MZ	11,5	2	12 15		2				3,2	1989
RBMK-1500	MZ	11,45	2	14,31	0,015	2,03	0,007	97,95	2,35	3,12	
RBMK-1500	MZ	11,43	2	15,19	0,014	2	0,007	97,98	1,76	2,62	
RBMK-1500	MZ	11,43	1,99	14,12	0,015	2,01	0,007	97,97	2,42	3,21	
WWER 1000	MZ	7,6	2,4	9 12		3,3 4,4				3,2	1995
WWER 1000	UMP	7,6	2,4	9 12		3,3 4,4				3,2	1989
WWER 1000	UMP	7,52	2,2	11,42	0,04	4,44		95,52	1,86	3,16	
VVER 1000	UMP	7,51 7,59	2,41	11,26 11,6	0,04	4,39	0,004	95,57	1,87	2,61	
WWER 1000	UMP	7,5	2,3	11,86	0,04	4,39	0,021	95,55	1,6	2,67	
WWER 1000	MZ/ UMP	7,55	2,43	10,5 12,3	0,04	4,39	0,032	95,54	1,87	2,78	
WWER 440	MZ	7,6	1,6	9 12		2,4 3,6				3,2	1987
WWER 440	MZ	7,55 7,6	1,5	9,8	0,03	3,59	0,036	96,34	0,9	1,26	

Begyűjtött információk

Különböző UO_2 tabletták átmérői, izotóp összetételei

RBMK-1000 reaktor típusnak **két lehetséges üzemanyag ellátója:**

- Electrostal Fuel Manufactory Plant, Russian Federation (**MZ** jelöléssel)
- Ulba Metallurgical Plant, Kazakhstan (**UMP** jelöléssel).

Két különböző gyártási eljárást használnak az UO_2 előállítására:

MZ: lángszórásos folyamat

UMP: az ammónium uranát kalcinációs folyamatában kivált UF_6 hidrolízisét alkalmazza

Tipikus jelenség

Bár a két gyártó azonos szennyező tartalmakat specifikál, a valódi értékek az egymástól eltérő gyártási folyamatok miatt változnak.

Különböző fűtőelem tabletták mért szennyezői és szórásuk

			Minta				
	9		5		10		Tanúsított határok (ppm)
	VVER-1000 (UMP)		RBMK-1500 (MZ)		VVER-1000		
Elem	Koncentráció (ppm)	Std.(2σ), ppm	Koncentráció (ppm)	Std. (2σ) ppm	Koncentráció (ppm)	Std. (2σ)	
N			73	2	29	15	70
Na					52	26	
Mg	3	1,5			<70		
Si					71	31	200
Ca					<80		100-150
Ti					12	6	
Cr	17	8	55	3	30	9	100
Mn	2	1	6	1	2	1	
Fe	118	59	104	10	158	43	500
Co					0,2	0,1	
Ni	16	8	10	1	<140		150
Cu					11	5	
Zn	7	3			11	4	
Pb					<8		

Szemcseméret eloszlás és porozitás

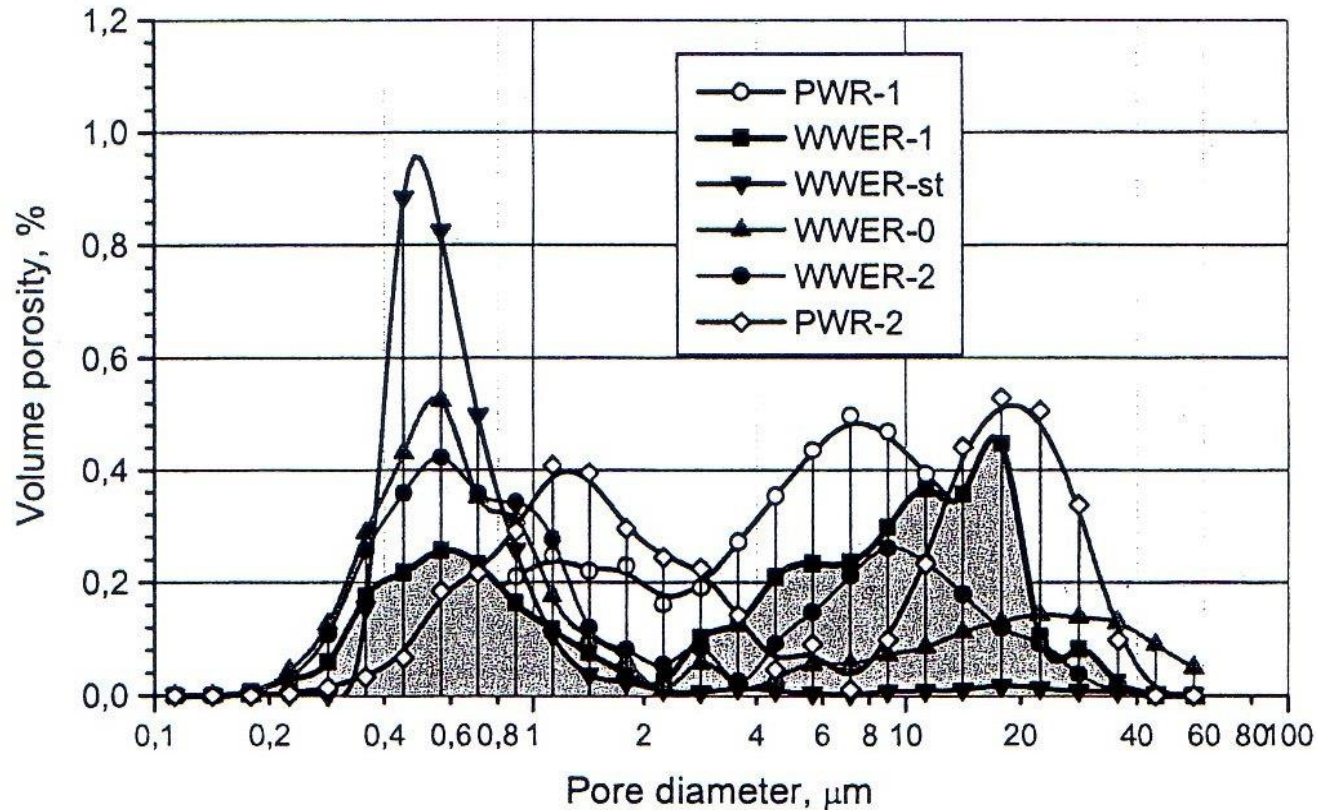
Fontos paraméter lehet a **fűtőelem tabletták átlagos szemcsemérete**, a **szemcseméret eloszlása**, valamint a **porozitása** is.

Általánosságban elmondható:

- a korábban gyártott üzemanyag tabletták átlagos szemcsemérete 8-10 μm , vagy kisebb: 6-8 μm
- az üzemanyag tabletták fejlesztése során - elsősorban a hasadási gázkibocsátás csökkentése érdekében - kísérleteztek a tabletták szemcseméretének növelésével.
- Korszerűbb tabletták átlagos szemcsemérete 20-30 μm , de lehet ennél nagyobb is.

→ **Hasznos információ lehet a tabletták korát illetően!**

Néhány friss VVER és két PWR fűtőelem pórusméret eloszlási diagramjai

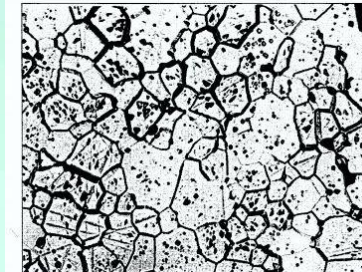
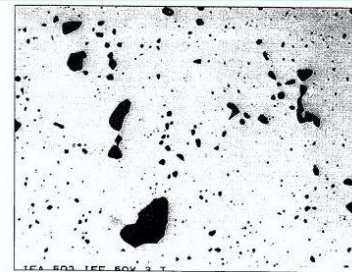
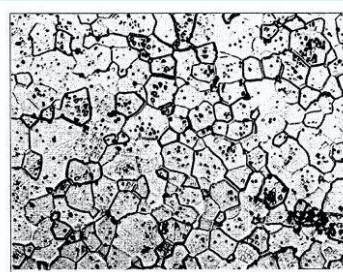
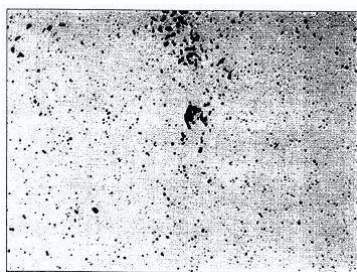


Orosz gyártású VVER-440 típusú fűtőelem tabletták pórusméret adatai

Tartomány (μm)	Kereszt-metszet	Max. pórus méret (μm)	Minimális pórus-méret (μm)	Átlagos pórus-méret (μm)	Pórusok maximális hányada a tartományban (%)
1-10	Transzverzális	4,4	1,1	1,9	93 (1 - 2 μm)
1-10	Longitudinális	8,2	1,2	2,0	90 (1 – 2 μm)
>10	Transzverzális	250	10,1	54	83 (10 – 60 μm)
>10	Longitudinális	98	10,3	31	54 (10 – 20 μm)

A vizsgálatra kiválasztott VVER-440 típusú tabletták kisebb szemcse-, és pórusméretűek, mint a PWR típusú tabletták. Ez a korábbi időszakban gyártott orosz fűtőelem tablettákra általánosan jellemző volt. A későbbiek során az orosz fűtőelemgyártók törekedtek a szemcse-, és pórusméret növelésére

Paraméter/fűtőelem típus	VVER	PWR
Tabletta jellege	Üreges	Szilárd
Portechnológia	IDR	ADU
Dúsítás ²³⁵ U (%)	4,4	4,4
Szinterelési hőm. (°C)/idő (óra)	1650/1	1700/3
Relatív sűrűség %TD	97,12	95,3
Átlagos sűrűség (g/cm ³)	10,64	10,44
Átlagos szemcseméret (μm)	7,1	8,8
Átlagos porozitás (%)	3,1	4,9
Átlagos pórusméret (μm)	0,50	0,60
O/U arány	2,001	2,000
Külső átmérő (mm)	7,48..7,54	7,54
Furatátmérő (mm)	1,8	0..1,8
Újra szinterelési teszt (°C/idő (óra))	1700/24	-
Sűrűség változás, min-max/átlag (%)	1,13-1,79/	-



VVER-440 és PWR típusú fűtőelem tabletták polírozott transzverzális metszetén készült keramográfiai felvételek

A nyugati fűtőelem tablettának nagyobb a porozitása, mint az orosz tablettaké

Paraméter/fűtőelem típus	VVER-1	VVER-2	VVER-0**	PWR
Induló paraméterek				
Dúsítás ²³⁵ U (%)	4,4	4,4	4,4	4,4
Relatív sűrűség %TD	96,1	96,1	96,4	95,1
Porozitás immerziós mérésből (%)	3,9	3,9	3,6	4,9
Átlagos sűrűség (g/cm ³)	10,54	10,54	10,57	10,4
Átlagos szemcseméret (μm)	11	10	7	9
Külső átmérő (mm)	7,48..7,54	7,54	7,54	7,54
Furatátmérő (mm)	1,8	1,8	1,8	0..1,8
Szinterelési hőm. (°C)/idő (óra)	1700/3	1700/3	1650/1	1700/3
Újraszinterelés (% ΔV/V ₀) (1700°C/24h)	0,36-0,63	0,60-0,99	0,63-1,02	-
Átlagos pórusméret (μm)				0,6
Sűrűsödés (% ΔV/V ₀) teljesítményen*	0,65-0,85	1,20	0,78**	0,85
Sűrűsödés (% ΔV/V ₀) teljesítmény nélkül*	0,65-0,90	1,15-1,20	0,85-0,90**	0,50-0,55
Kiegészítés a max. sűrűsödésnél (MWd/kgUO ₂)	2-4	3-4	3-4	2-3
Gázkibocsátás (%)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Min.-max. térfogati porozitás (%)	2,8-5,5	2,7-5,4	2,5-5,0	3,4-6,8
Pórus sűrűség (/mm ³)	2,85·10 ⁸	4,18·10 ⁸	4,76·10 ⁸	9,33·10 ⁸
Szub-mikronos pórusok térfogata (%)	1,1	1,9	2,1	0,81
Szub-mikronos pórusok aránya (db %)	28,6	48,2	57,7	16,5
Átlagos pórusméret (μm)	0,64	0,56	0,52	1,0

VER-440 típusú üzemanyag fejlesztése

- Az atomerőművek megjelenése óta gyártott üzemanyag-tabletták **dúsítási tartománya jelentős mértékben nőtt**. Ma már a fűtőelem-kazetták dúsítása igen széles tartományban mozog, így vannak 3,82%, 4,21%, 4,25%, 4,37%, 4,38%, 4,4% és 4,87% átlagos dúsítású VVER-440 kazetták is.
- 1998-ban már **profilírozott** fűtőelem-kazettát gyártottak. (Szigorú elrendezés szerint, különböző dúsítású fűtőelemek elhelyezése a kazettákban.)
- A fejlesztések következő lépésében a profilírozott üzemanyaghoz **kiegő gadolínium-oxidot** (3,35%-nyi Gd_2O_3) adtak a kampányok további optimalizálásához. Az első U-Gd fűtőelem-kazettákat 1998-ban kezdték el gyártani. 1999-től kezdték a nagyüzemi gyártását.
- A 2. generációs fűtőelem-pálcákban **növelték a tabletták tömegét a belső furat átmérőjének csökkentésével** (1,4 mm-ről 1,2 mm-re) és az üzemanyagoszlop hosszának növelésével.

→ **Hasznos információ lehet a tabletták korát illetően!**

VVER-440 fűtőelemek fejlődése

Paraméter	1997 előtt	1998-2002	2003-2010	2010 után
	VVER-440/ korai 213	VVER-440/ késői 213	VVER-440/ késői 213	VVER-440/ késői 213
Fűtőelem kazetta (FA) típusa	Hagyományos FA kazettafallal	Hagyományos FA kazettafallal	2. generációs FA kazettafallal	2.(RK2 ⁺) vagy 3.generációs FA
A köteg típusa	Nem profilírozott	Profilírozott	Profilírozott U-Gd	Profilírozott U-Gd
Munkakazetta átlagos dúsítása ²³⁵ U (%)	3,60	3,82	4,25/4,38	4,87 felett
Követő kazetta átlagos dúsítása ²³⁵ U (%)	2,4	3,6	3,82	4,38
Maximális kiégés (MWD/kgU)	36	45	57	65
Természetes U felhasználás (kgU/MWd)	0,256	0,209	0,184	0,180

A VVER-440 fűtőelemek különböző generációinak legfontosabb paramétereit

„Vibration resistant”

üzemanyag

Átlagos dúsítás 3,82%
Tabletta átmérők: 7,57/1,4 mm
1998-2002

1. generációs üzemanyag

Átlagos dúsítás: 4,38%-ig
Tabletta átmérők: 7,6/1,2 mm
Maximális kiégés: 50
MWd/kgU
Elérhető hőteljesítmény 1471
MW (108%)
Átrakott kazetták száma: 84
2003 -

2. generációs + üzemanyag

Átlagos dúsítás: 4,87%
Tabletta átmérők: 7,8/0 mm
Maximális kiégés: 65 MWd/kgU
Elérhető hőteljesítmény 1540
MW (112%)
Átrakott kazetták száma: 60

2. generációs üzemanyag

Átlagos dúsítás: 4,87%
Tabletta átmérők: 7,6/1,2 mm
Maximális kiégés: 65
MWd/kgU
Elérhető hőteljesítmény 1471
MW (107%)
Átrakott kazetták száma: 66
2010-

3. generációs üzemanyag

Átlagos dúsítás: 4,87%
Tabletta átmérők: 7,8/0 mm
Maximális kiégés: 68
MWd/kgU
Nincs kazettafal
Elérhető hőteljesítmény 1471
MW (107%)
Átrakott kazetták száma: 60

Különböző VVER-440 típusú reaktorok helyszínei és fűtőelem típusai 2009-es és 2012-as adatok alapján

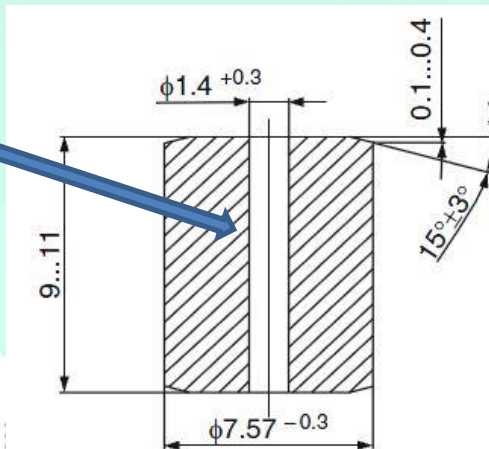
Atomerőmű VVER-440 reaktorral (ország)	Fűtőelem típusa	Átlagos dúsítás (munka/követő kazetta) ($^{235}\text{U}\%$)
Novovoronyezs 3. és 4. blokk (Oroszország)	Hagyományos	3,82
Kola 1. és 2. blokk (Oroszország)	Vibration resistant	3,82
Metsamor (Örményország)	Vibration resistant	3,82
Paks (Magyarország)	2. generációs	4,20
Loviisa (Finnország)	2. generációs	4,37/4,0
Dukovány (Cseh Köztársaság)	2. generációs	4,38/4,25
Rovno (Ukrajna)	2. generációs	4,38/4,25
Bohunice (Szlovákia)	2. generációs ⁺	4,87
Mohi (Szlovákia)	2. generációs ⁺	4,87
Kola 3. és 4. blokk (Oroszország)	2. generációs ⁺ /3. generációs	4,87/4,25

Gyári paraméter	Érték	Egység
Fűtőelem tablettá átmérője	7,56	mm
Fűtőelem furatának sugara	0,7	mm
Fűtőelem tablettá sűrűsége	10,62	g/cm ³
UO ₂ szemcsemérete	16,0	mm
Fűtőelem tablettá hosszúsága	10,0	mm
Burkolat külső átmérője	9,10	mm
Burkolat falvastagsága	0,67	mm

**Korai VVER-440
üzemanyag-tabletta
geometriája és megjelenése**

Belső Furat!

Sűrűség: 10,4-10,7 g/cm³



VER-1000 $\text{UO}_2/\text{UO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$ tabletták kémiai összetétele

A paraméter megnevezése	Érték
Az U-izotópok keverékének tömegaránya, %, min.	87,9/84,6
Oxigéntényező (O/U arány)	2,000-2,010/2.010/2,025
A szennyezők tömegaránya az U-hoz viszonyítva, %, max.	
Nitrogén	0,007
Bór	0,0004/0,00004
Vas	0,03
Szilícium	0,05/0,025
Mangán	0,002
Réz	0,004/0,005
Nikkel	0,01
Szén	0,01
Fluor	0,0015
Króm	0,01
Klór	0,0015
Kadmium	0,00006
Magnézium	0,005
Alumínium	0,02
Vanádium	0,01
Molibdén	0,01
Foszfor	0,02
Wolfram	0,01
Kalcium	0,015
Erbium	0,001
Gadolínium	0,00015/-
Összes bór-ekvivalens, %, max.	0,00055/0,0002*
A Gd_2O_3 tömegaránya, %, max.	3,35±0,15
A hidrogen tömegaránya, %, max.	0,00006/0,00009

Reaktortípus	VVER-440			VVER-1000		
	TVEL Corporation			Westing-house	TVEL Corp.	Westing-house
Fűtőelemgyártó				Westing-house	TVEL Corp.	Westing-house
Fűtőelem típusa	Munka-kazetta, 2. gen.	Követő Kazetta, 2. gen.	Munka-kazetta, 3. gen.	Vantage 6	TVSA-PLUS	Vantage
Fűtőelemk. geometr.	Hex.	Hex.	Hex.	Hex.	Hex.	Hex.
Fűtőelemek száma kazetánként	126	126	123	126	312	312
Fűtőelem nélküli csövek száma	1	1	4	1	19	19
Fűtőelemkötegek teljes hossza, mm	3217	3200	3221	3188	4570	4583
Kulcsméret, mm	145	145	145	144	235,1	235
Fűtőelemhossz, mm	2601,5	2540	2601,5	2520	3988	3889
Tablettaoszl. mag., mm	2480	2360	2480	n.a.	3680	n.a.
Fűtőelem átmérője, mm	9,1	9,1	9,1	8,9	9,1	9,14
Tabletta magas., mm	9-12	9-12	9-12	9,15	9-12	9,4
Tabletta külső átm., mm	7,6	7,6	7,8	7,63	7,6	7,64
Tabletta belső átm., mm	1,2	1,2	-	-	1,2	-
Tablettasűrűség, gcm ⁻³	10,4-10,7	10,4-10,7	10,4-10,7	n.a.	10,4-10,7	n.a.
Átl.lin.telj.sűrűség, Wcm ⁻¹	129,6	129,6	129,6	n.a.	160	n.a.
Max.lin.telj.sűrűség, Wcm ⁻¹	325	325	325	350	448	n.a.
Burkolatanyag	E110 ¹	E110 ¹	E110 ¹	Zy4	E110 ¹	Zy4
Burkolatvastagság, mm	0,65	0,65	0,65	0,55	0,65	0,57
Max.burk.hőmérs., °C	352	355	355	360	355	n.a.
Távtartó rács anyaga	E110 ¹	E110 ¹	E110 ¹	Zy4	E110 ¹	Zy4
Távtartó rácsok száma	15	12	13	n.a.	15	n.a.
Átl.eltáv.kiegészi szint, MWnap/kgU	51	42	61	>40	58	n.a.
Max.kazetta kiegészi szint, MWnap/kgU	57	52	68	n.a.	66	>50
Kazetta ű.a. tömege, kg	120,2±2,5	n.a.	n.a.	n.a.	~406	n.a.
Kazetta tömege, kg	215	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Megjegyzés: 1 – Zr-1% Nb

A VVER típusú reaktorokhoz ajánlott fűtőelemkötegek fő jellemzői - Gyártóktól függően

A ma üzemelő atomreaktorok kétharmada nyomottvizes (PWR, ill. VVER), és van elgőzöltető típus (BWR). A nehézvizes reaktorok (pl. CANDU) aránya kevesebb. Az összes esetén az alkalmazott üzemanyag tabletták kb. **1 cm átmérőjű**, de méretében azért eltérés, reaktortípustól függően.

Fűtőelemgyártó	AREVA	GNF ¹	NF ²	Westinghouse
Fűtőelem típusa	ATRIUM 10xM	GE13	NFI9x9B	SVA 96 Optima 2
Fűtőelemköteg geometriája	10x10	9x9	9x9	4x(5x5-1)
Fűtőelemek száma kazettnként	81+10 PLFR ³	68+8 PLFR ³	72	84+12 PLFR ³
Fűtőelem nélküli pozíciók	3x3 vizes csatorna	2 nagy központi csatorna	3x3 vizes csatorna	-
Merevítő rudak száma	-	8	8	8
Fűtőelemköteg teljes hossza, mm	4470	4470	4470	4420
Fűtőelemköteg szélessége, mm	134	134	134	139,6
Fűtőelem hossza, mm	4081,4	4090/2600	4090	3985,3
Fűtőelem átmérője, mm	10,28	11,2	11,0	9,84
Tabletta magassága, mm	10,5	10,0	10,0	10,0
Tabletta átmérője, mm	8,87	9,6	9,4	8,48
Tabletta sűrűsége, gcm ⁻³ , ill. TD%	10,6	n.a.	97%	10,6
Átlagos lineáris teljesítménysűrűség, Wcm ⁻¹	158	n.a.	164	131
Max. lineáris teljesítménysűrűség, Wcm ⁻¹	460	472	440	n.a.
Burkolat anyaga	Zy2 vagy vasmentes Zr cső	Zy2+Zr	Zy2+Zr	Zy2
Burkolatvastagság, mm	0,62	0,71	0,70	0,605
Távtartó rács anyaga	Inc	Zy	Zy	Inc
Átlagos eltávolítási kiegészi szint, MWnap/kgU	66	45	45	58
Max. kazetta kiegészi szint, MWnap/kgU	70	55	55	60
Kazetta üzemanyagtömege, kg	264	n.a.	n.a.	173/179
Megjegyzések: 1 – Global Nuclear Fuel; 2 – Nuclear Fuel Industries; 3 – Part Length Fuel Rod				

Tipikus
fűtőelemköteg
-jellemzők
PWR-ekben
- Gyártóktól
függően

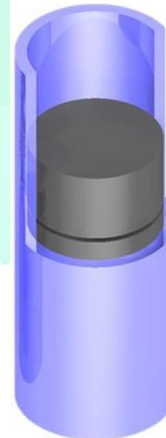
Semleges mátrixú fűtőelem anyagok

Neutronokra nézve átlátszó mátrixból és egy hasadóanyag fázisból állnak.

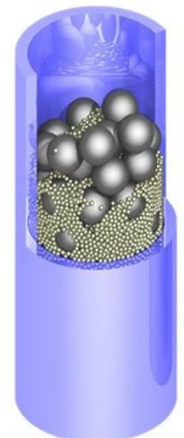
Semleges mátrix komponensek	Semleges mátrix formulák
Elemek	C, Mg, Al, Si, Cr, V, Zr, Nb, Mo, W
Intermetallikus ötvözetek	AlSi, AlZr, ZrSi,
Ötvözetek	Rozsdamentes acél, cirkónium ötvözetek
Karbidok	$^{11}\text{B}_4\text{C}$, SiC, TiC, ZrC
Nitridek	AlN, TiN, ZrN, CeN
Binér oxidok	MgO, CaO, Y_2O_3 , ZrO_2 , CeO_2
Ternér oxidok	$\text{Mg}_{(1-x)}\text{Al}_{(2+x)}\text{O}_{4-x}$, $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG), ZrSiO_4
Oxidos szilárd oldatok	$\text{Ca}_x\text{Zr}_{(1-x)}\text{O}_{(2-x)}$, $\text{Y}_y\text{Zr}_{(1-y)}\text{O}_{(2-y/2)}$

Különböző üzemanyag geometriák

Pelletek



Sphere pac / Vipac



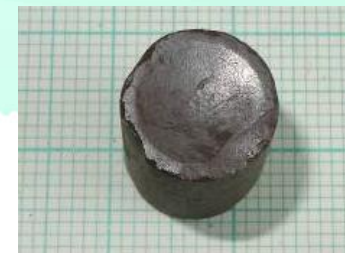
Összefoglalás I.

Az összegyűjtött információk alapján megállapítható:

- **jelentős különbségek** lehetnek a fűtőelem tabletták **méreteiben**,
- **kisebb különbségek** a **hasadóanyag tartalmukban**, (a mai korszerű tabletták 5% körüli hasadóanyag-tartalmúak)
- lényeges különbségek: a **tabletták kialakítási módjában** (az orosz fűtőelem tabletták egy része a tabletták középvonalánál egy furatot tartalmazott korábban, manapság a korszerű tablettákban már nincs furat, és kissé megváltoztak a tabletták geometriai méretei is)

Legfontosabb paraméterek az eredetmeghatározás szempontjából:

- a tabletták **hasadóanyag tartalma** és **geometriai méretei**
- további hasznos információt nyújt: a tabletták **szennyező elemei**, valamint a tabletták minimális érdessége és **mikrostruktúrája** (a tabletták szemcseméretét és porozitását, különösen a nagyon kisméretű pórusok arányát egyes gyártók megadják)



Összefoglalás II.

Az üzemanyagok paramétereinek nemcsak **gyártónként különböznek** (pl. igen jól elkülöníthetők az orosz és a nyugati gyártású üzemanyagok külső megjelenés/geometria, porozitás és izotópösszetétel alapján), hanem **reaktortípusok alapján** is: attól függően, milyen reaktorba szánták azokat, továbbá, egy reaktor típuson belül is, a konkrét reaktor kialakítása is mérvadó.

Az üzemanyaggyártás paramétereinek **változása** az elmúlt évtizedekben:

- általánosságban **nőtt a dúsítási fok**, és a **szemcse- és pórusméret**, továbbá elterjedt a **porifírozás**
- **1998-tól Gd-ot is adnak egyes üzemanyagokhoz**

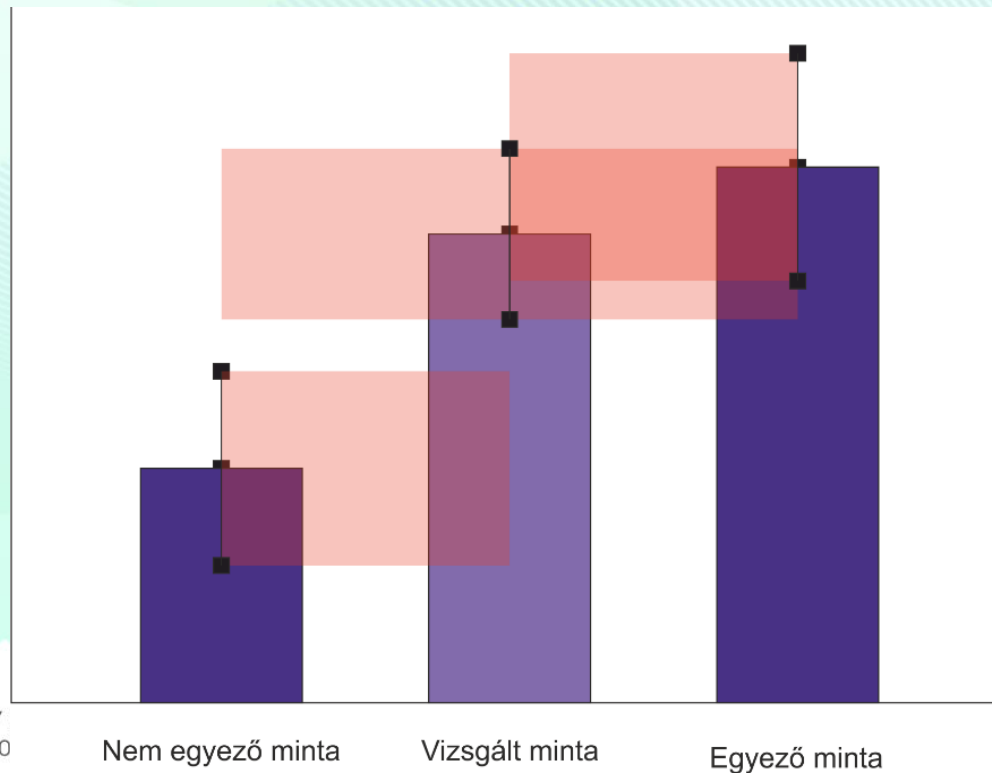
Mindezen paramétereket tekintetbe véve egy talált, ismeretlen eredetű anyag eredete könnyebben meghatározható

Nemzeti Nukleáris Törvényszéki Könyvtár (Library) kiegészítése

- A korábban már létesített Könyvtár program további finomítására, kiegészítésére volt szükség.
- A legújabb, V3.0 verzióval a keresés sebessége megnövekedett, valamint az összehasonlítási funkciók háttérben való működését új statisztikai alapokra helyeztük

Változtatások

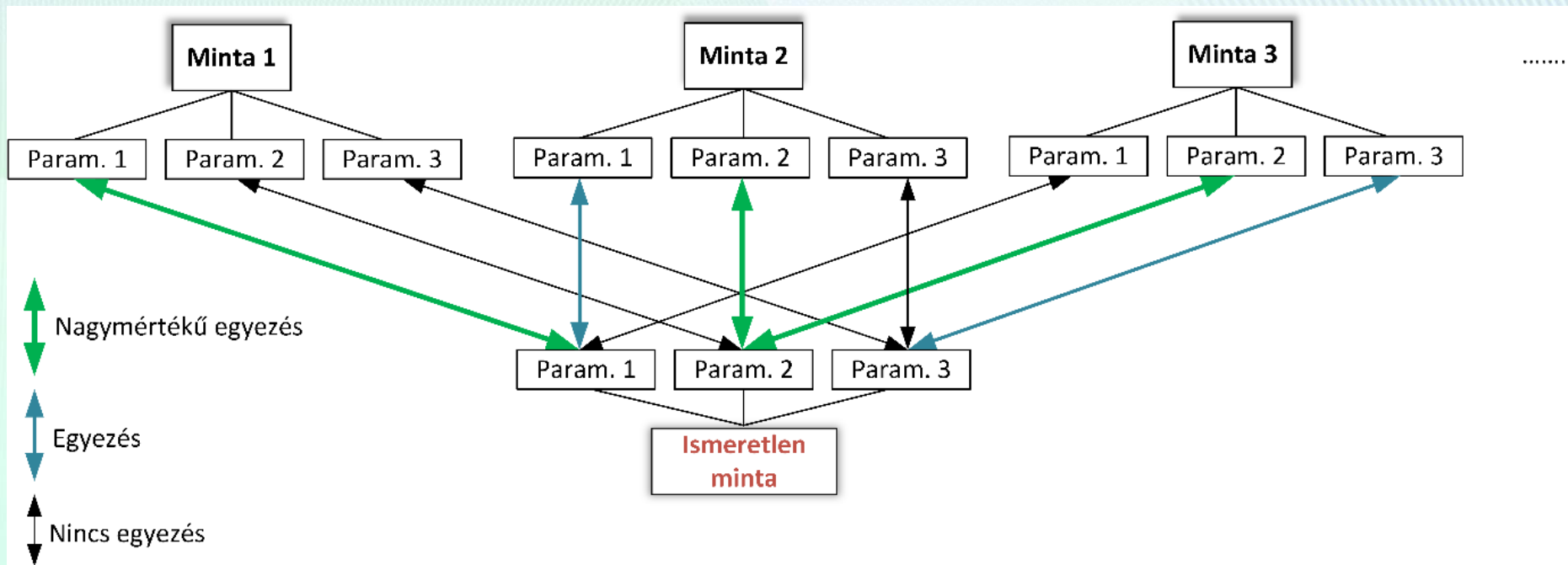
A korábbi (V1.0, V2.0) verzióban, az összehasonlítás során a program az adott értékek százalékos különbségét számította, és ez alapján rangsorolta a találati értékeket, ám ez a módszer a különféle analitikai eljárások bizonytalansága miatt nem optimális. Emiatt a keresőmotor rangsorolási mechanikája a továbbiakban a következőképpen dolgozik: a **keresés során** nem a különbségeket **vizsgáljuk**, hanem azt, hogy **két adott minta meghatározott paraméterének értéke és az értékek bizonytalansága által meghatározott intervallumok fedik-e egymást.**



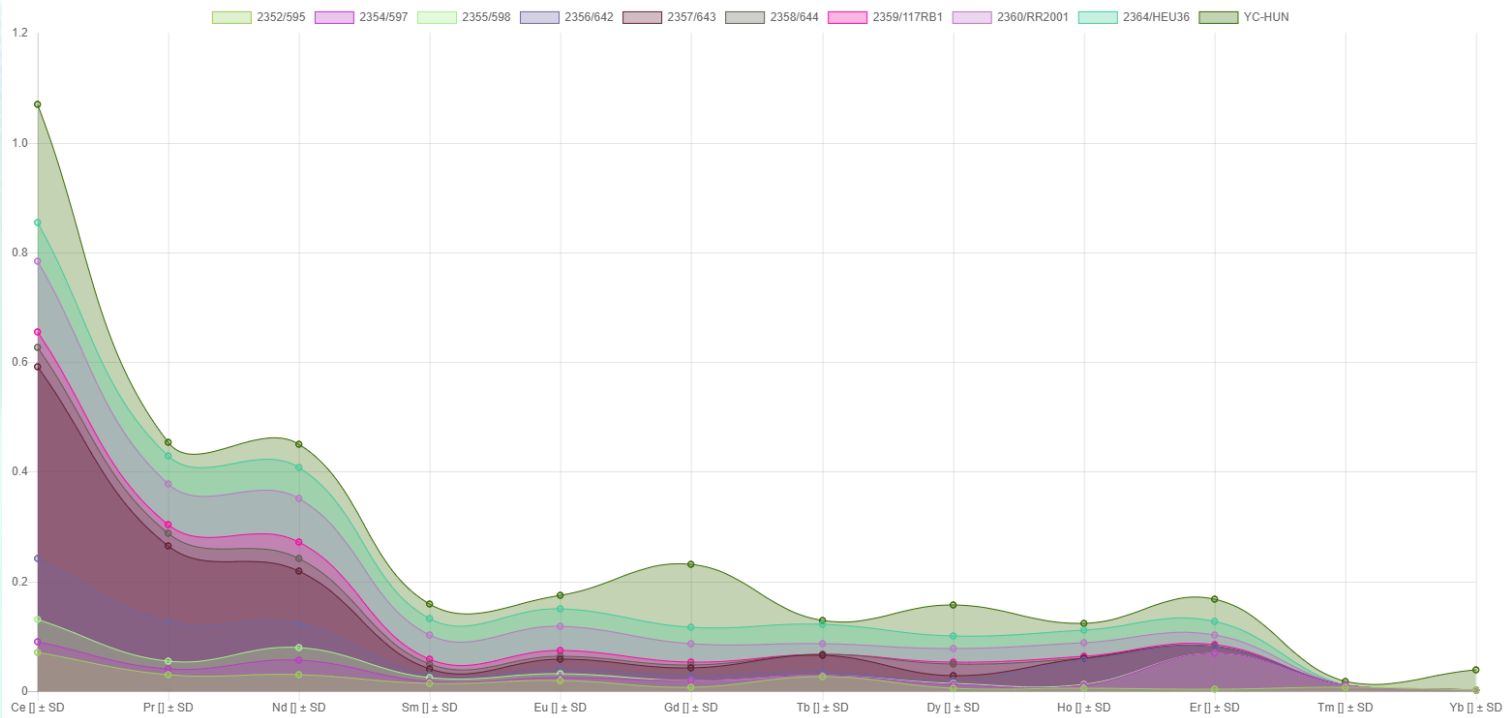
További funkciók

Ha a könyvtár számos mintára vonatkozó adatot tartalmaz és egy összehasonlításánál nagy elemszámú mintát kell összevetni, akkor, hogy a nagymértékű eltérésekkel rendelkező (irreleváns) minták ne kerüljenek kilistázásra, egy úgynevezett; **össz. eltérési küszöb** került rögzítésre. Az adott minta az össz. eltérési küszöb túllépésekor az összehasonlítás során nem kerül kilistázásra, ez az érték alapesetben 100%-ként van rögzítve, de változtatható.

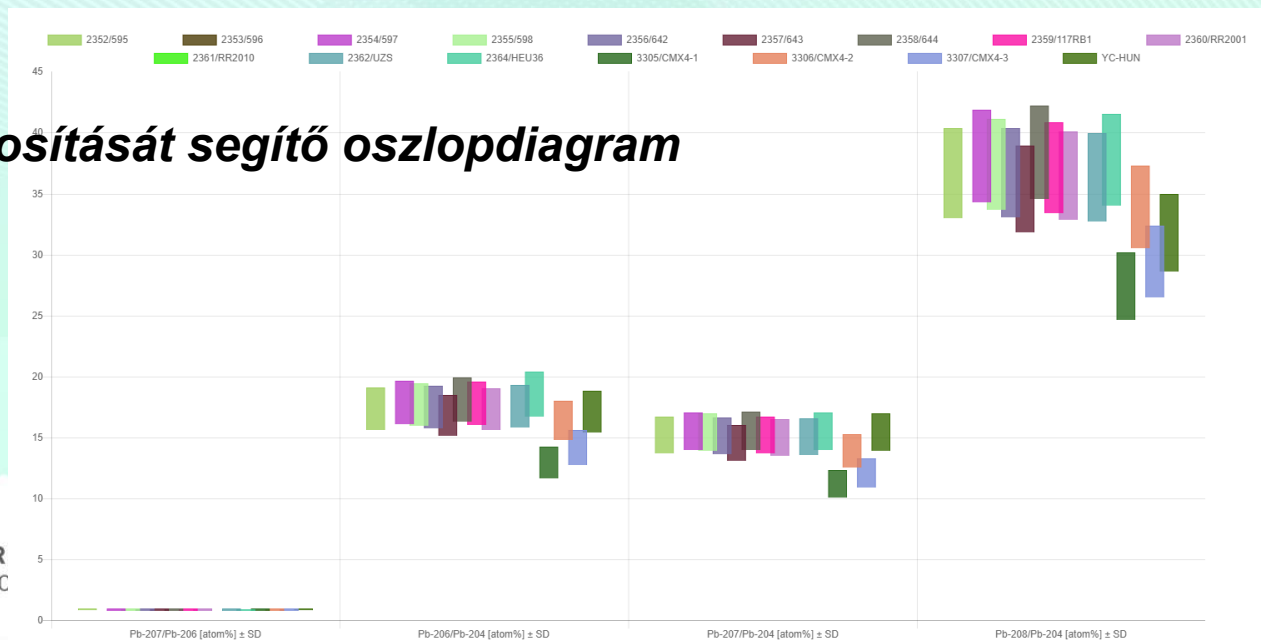
A könyvtár struktúrája, eredetmeghatározás



Ez a struktúra az, amiben a rendszer a minták adatait tárolja, valamint ennek segítségével valósítható meg egy ismeretlen minta eredetének meghatározása



Az átfedések azonosítását segítő oszlopdigram

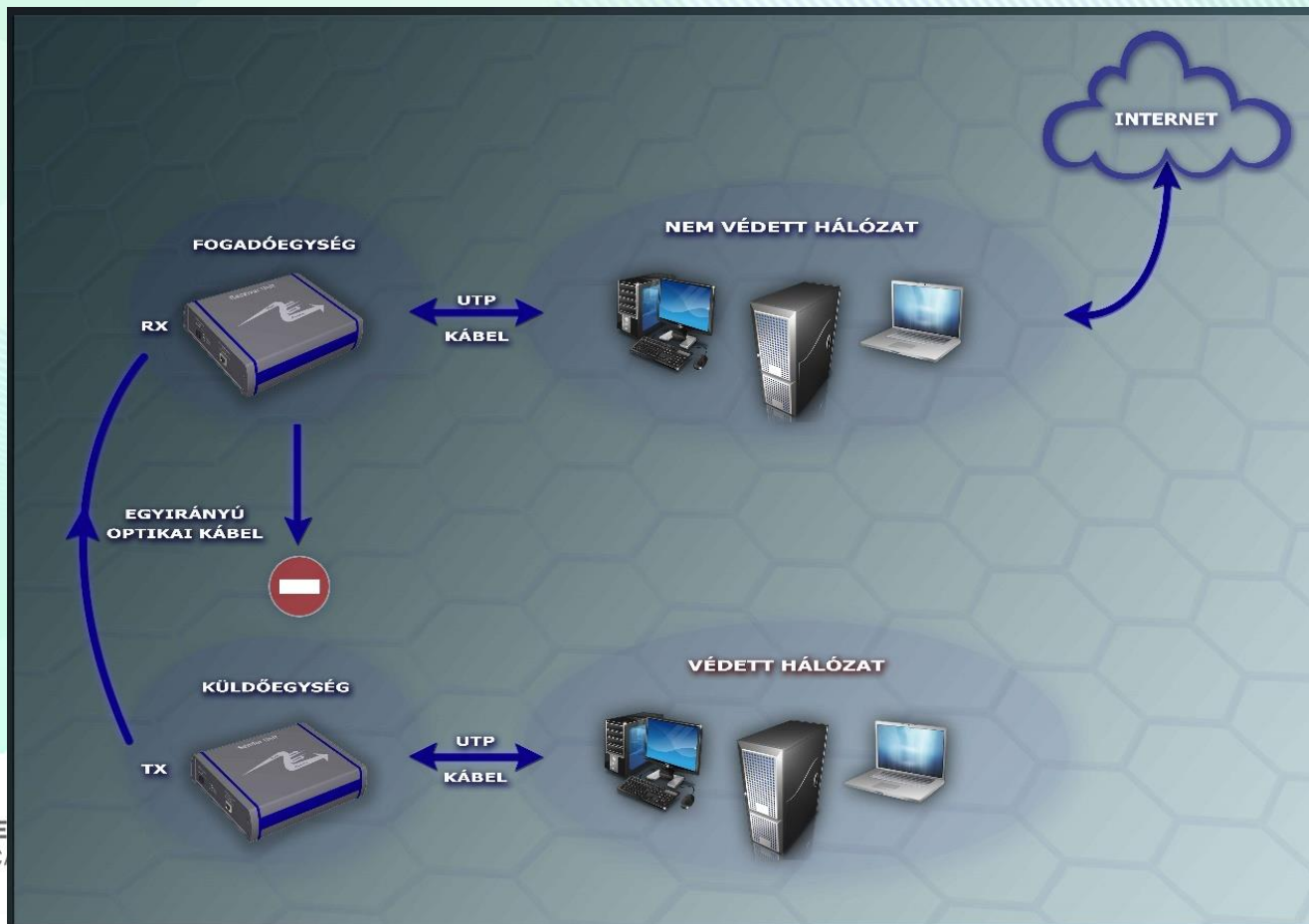


További változtatások

- A tárolt, valamint generált adatok **táblázatos exportálása**
- A mintákra vonatkozó adatok exportálásával egy úgynevezett **mintaazonosító dokumentáció** hozható létre
- Összehasonlítás során a kapott eredmények **grafikus megjelenítésére** is mód van
- Nem csak az adatok egyenkénti feltöltése lehetséges, hanem egy adott formátumú táblázat feltöltése is (**tömbadatok feltöltése**)
- A **fényképes azonosító modul** használata során egy adott minta áttekintő modulján vagy a fentiekben részletezett táblázatos adat feltöltési funkcióval (excel adattáblába illesztett fotó automatikus felismerése és adott mintához rendelése) is lehetőség van fotók (bitmap állományok) rendszerbe történő rögzítésére
- A V3.0 verzióban a mintákhoz tartozó adatokat kezelő modul, **minőségbiztosítási rendszerhez történő integrálhatósága** is kialakításra került, melynek köszönhetően egy esetleges integráció könnyedén megvalósítható.

Egyirányú adatkommunikációs rendszer

Kialakításra került az egyirányú adatkommunikáció (szimplex rendszer) integrálhatóságát segítő modul, mely a jövőben, egy egyirányú adatforgalmat tesz lehetővé. Egy állomás ad (host), és a könyvtárrendszer csak fogadja az adatokat. Ezáltal magas szinten biztosítható a könyvtárrendszerben tárolt adatok védelme, hiszen az integrálható megoldás segítségével egyetlen optikai kábel biztosítja a kapcsolatot csak az egyik irányba.



Összefoglalás

A Nukleáris Törvényszéki Könyvtárat tehát **kiegészítettük** különféle funkciókkal (**adatok exportálhatósága dokumentációval, adatfeltöltés excel táblából, megfelelőségi határértékek testre szabása, valamint fényképes összevethetőség kialakítása**, ezzel pontosítva az összevetési funkciót és megkönnyítve az ismeretlen minta azonosítását) és **megvizsgáltuk** annak **integrálhatóságát** egy **egyirányú (védett) kommunikációs, valamint minőségirányítási rendszerekhez**. Az ezekhez szükséges megfelelő **modulok kialakításra kerültek**.

Köszönöm a figyelmet!

Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk köszönetet mondani **Pintérné Csordás Tóth Annának** (MTA EK) a gyártási adatok és technológiai információk begyűjtéséért, **Dr. Hózer Zoltánnak** (MTA EK), **Dr. Gadó Jánosnak**, **Dr. Griger Ágnesnek** (MTA EK) és **Christian Ekberg** professzornak (Chalmers University and Technology Foundation, Gothenburg, Svédország) a hasznos információkért, valamint **Bátor Gergőnek** (Pannon Egyetem) a könyvtár kiegészítéséért.