

Energetikai Szakkollégium

Virtuális tér, 2021. március 11.

Innováció a Paksi Atomerőműben - a C15 kiemelt projekt

Czibula Mihály
kiemelt projekt vezető
MVM Paksi Atomerőmű Zrt.

paks
npp

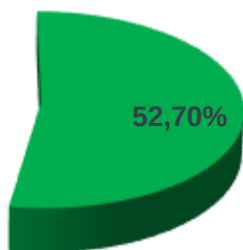
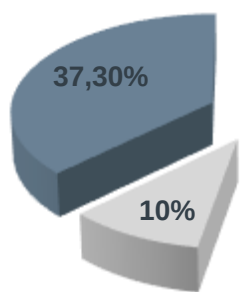
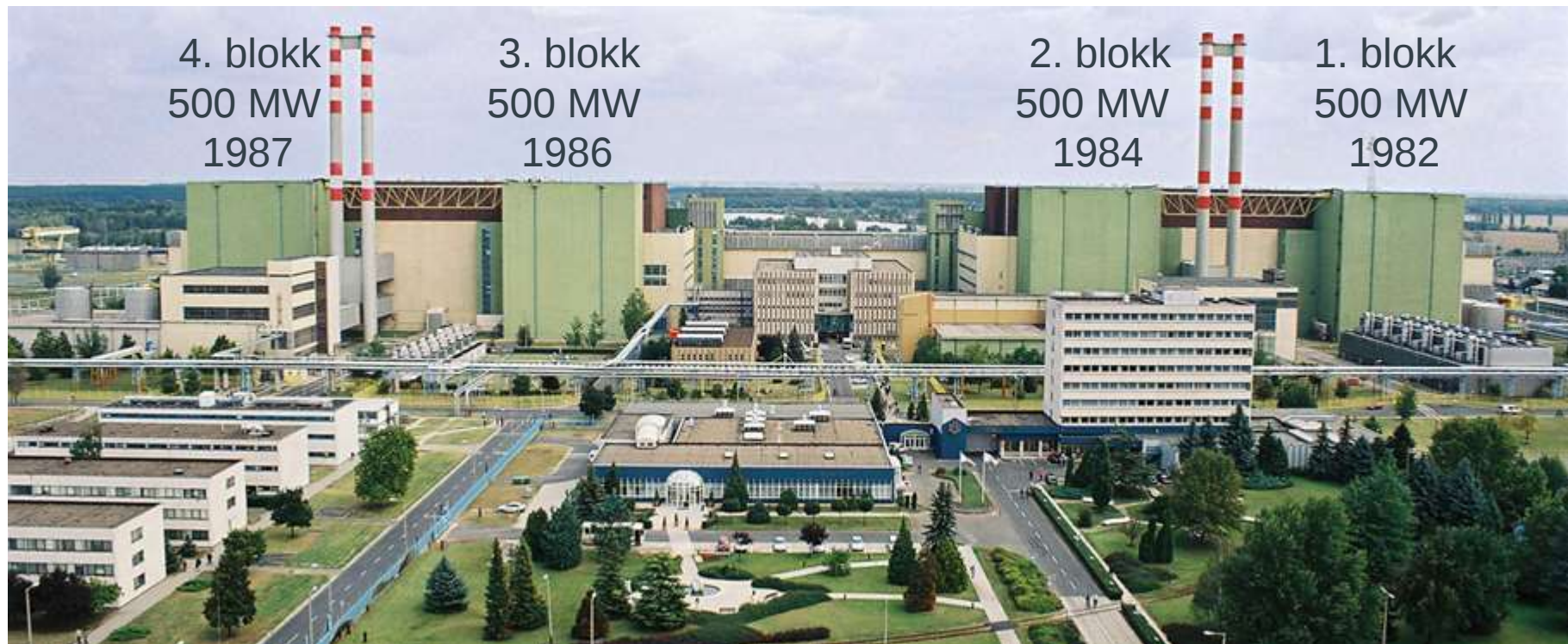
m
v m

Tartalom

- Örökség
- Stratégia
- Kihívások és válaszok a nukleáris iparban
- Innováció
- Gd-2_4.7 üzemanyag
- C15 üzemeltetési ciklus
- Projektszemlélet
- Eredmények

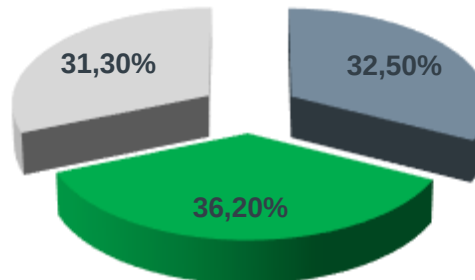


Paksi Atomerőmű



Termelés

- Nuclear
- Renewables
- Fossil



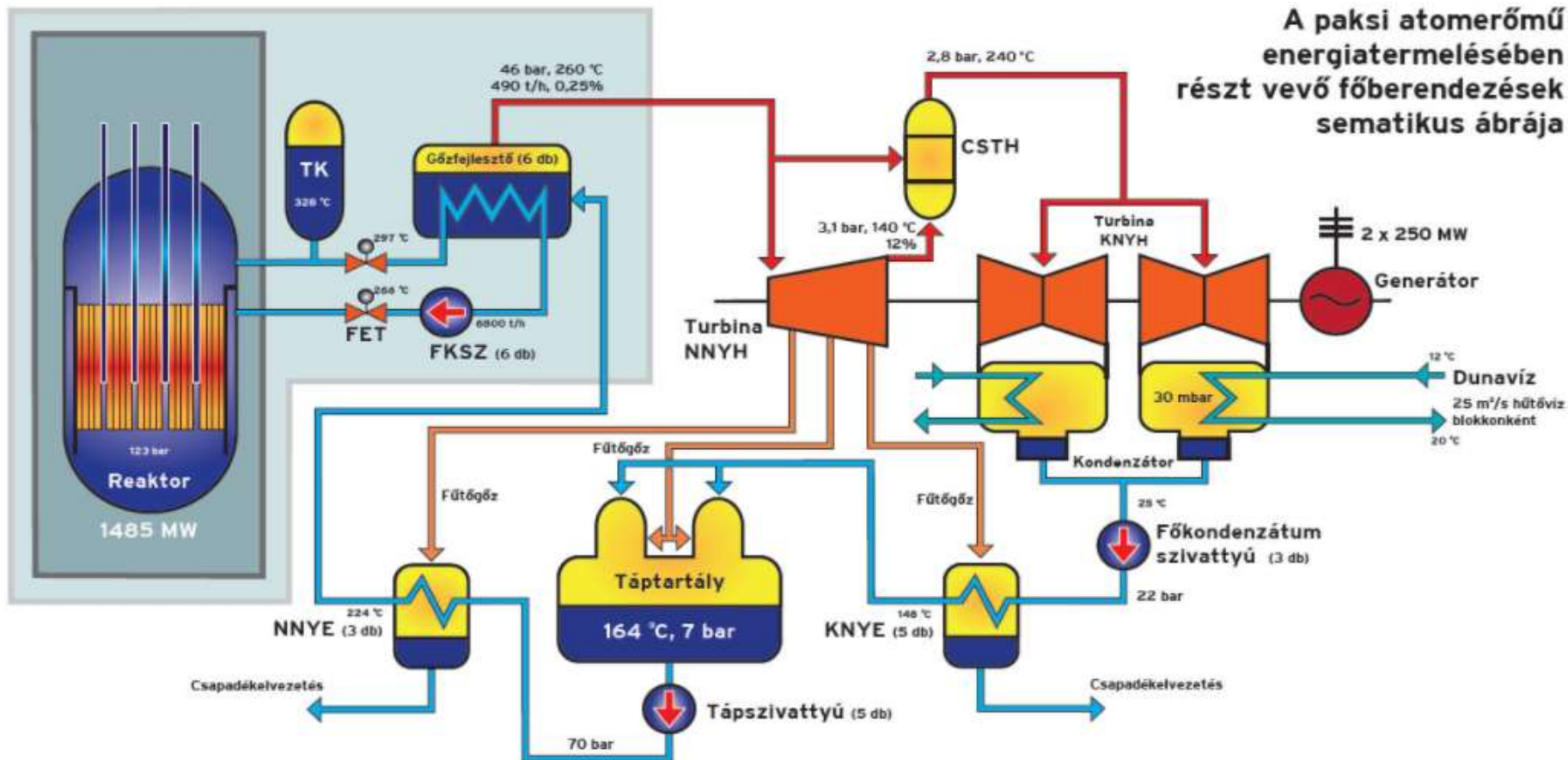
Felhasználás

- Other Domestic
- Paks NPP
- Import

Paksi Atomerőmű termelés:
Rendelkezésre állás:

16100 GWh
91,2 %

Hogyan működik?



Örökség



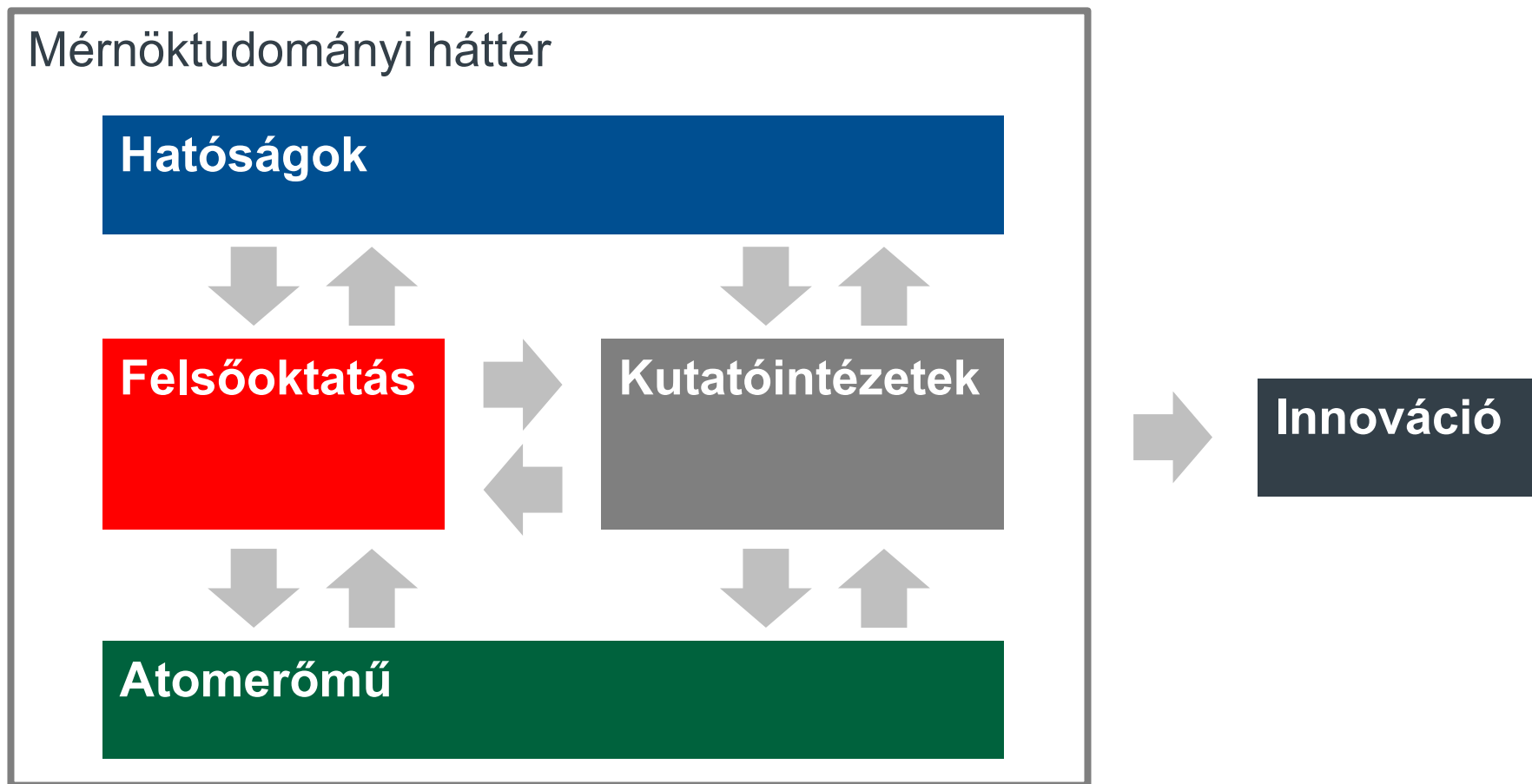
Rövid történelem

- 1942 - Manhattan Project, Chicago Pile-1, az atomkor kezdete
- Hidegháború: szocialista és nyugati út
- A szovjet megoldás: VVER-440 és VVER-1000 típusú reaktorok
- VVER típusú blokk építések: 70-80-as évek, 60+ db
- Szovjetúnió - KGST tudományos és gyártói kapacitásokra vonatkozó együttműködés
- 1991 a KGST felbomlása
- 1991 a Szovjetunió vége
- **VVER technológia mögött lévő gyártóművi és K+F háttér, szervezett üzemeltetési tapasztalat megosztás meggyengült**

Az atomerőmű költséghatékony és biztonságos üzemeltetéséhez fel kellett nőjön a Paksi Atomerőmű és a magyar mérnöki és tudományos háttér

Oktatás

Mérnöktudományi háttér



- A múltbeli oktatásba történt befektetések teremtették meg a jelen innovációinak alapjait.
- A jelenkori befektetéseink a jövőnk záloga, ezért társadalmi felelősségünk is egyben.

Kihívások

- VVER-440 blokk típuson nincs gyártóműi támogatás
- Three Miles Island, Csernobil, 2003 Paks, Fukushima
- A biztonság folyamatos fejlesztése fennmaradási követelmény
- Kommunikációs kihívások
- Fenntartható fejlődés
- Villamos energia árak változása
- Tulajdonosi elvárások



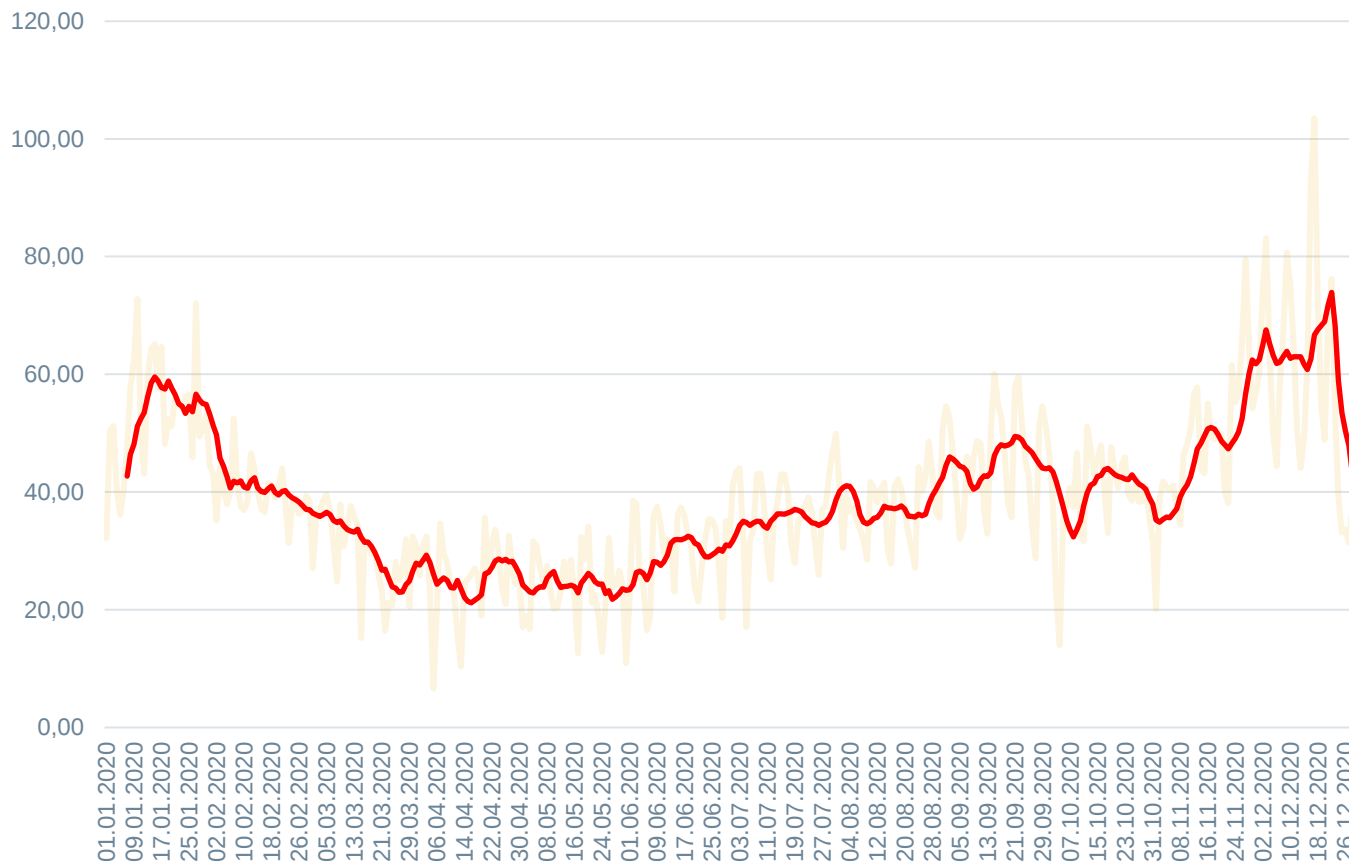
Válaszok

- A saját erőforrásokkal megvalósított innováció létkérdéssé vált
- Képességek kiépítése és fenntartása
- Munkavállalói tudás aktivizálása
- Proaktív innovációs kultúra
- Állandóság, kiszámíthatóság
- Fluktuáció minimalizálás
- Átlátható motivációs rendszer
- Megvalósítási képesség



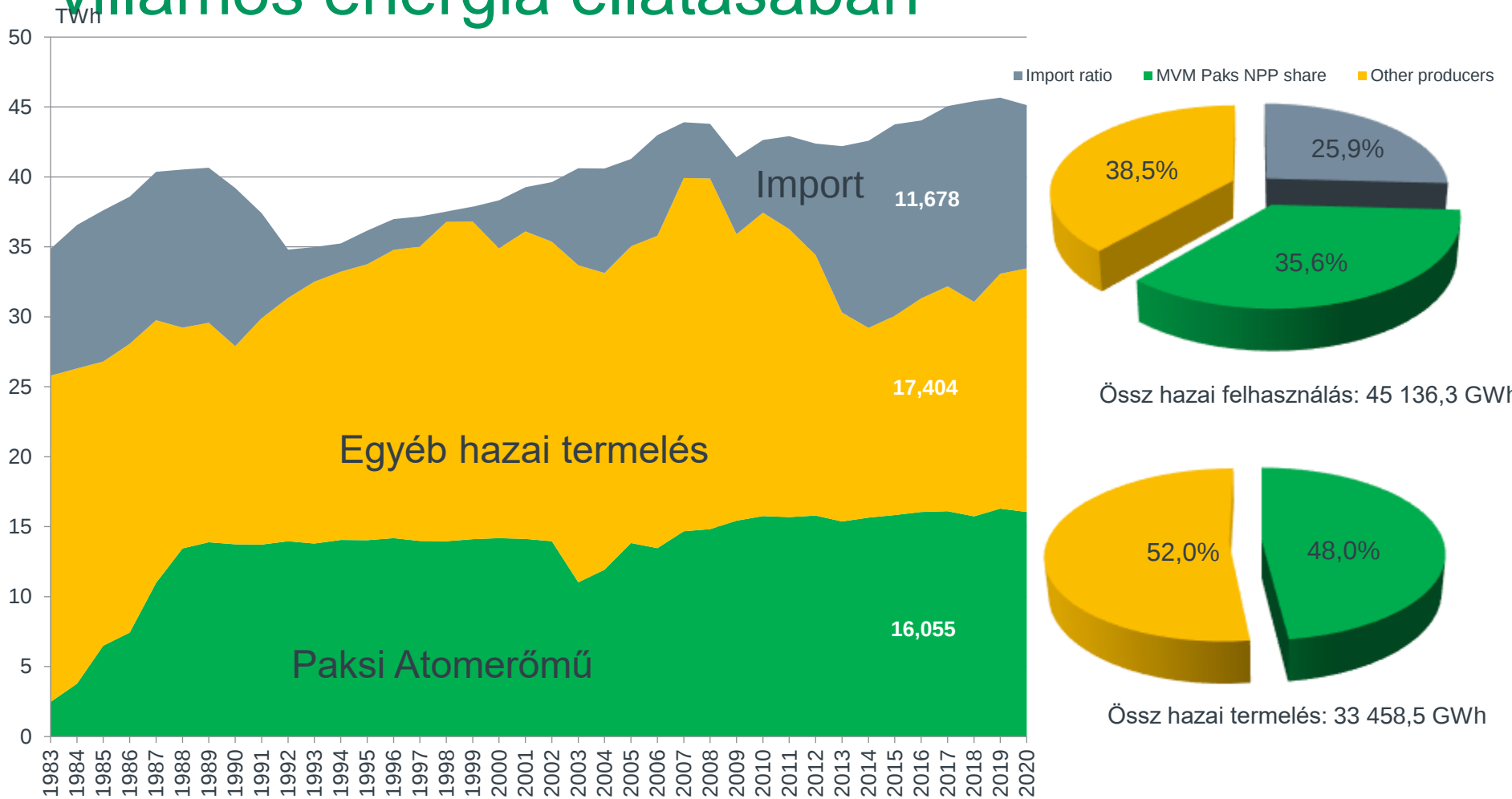
Villamos energia ár 2020

Zsinóráram átlagár (EUR/MWh) 7 napos mozgóátlag



Forrás: <https://www.hupx.hu>

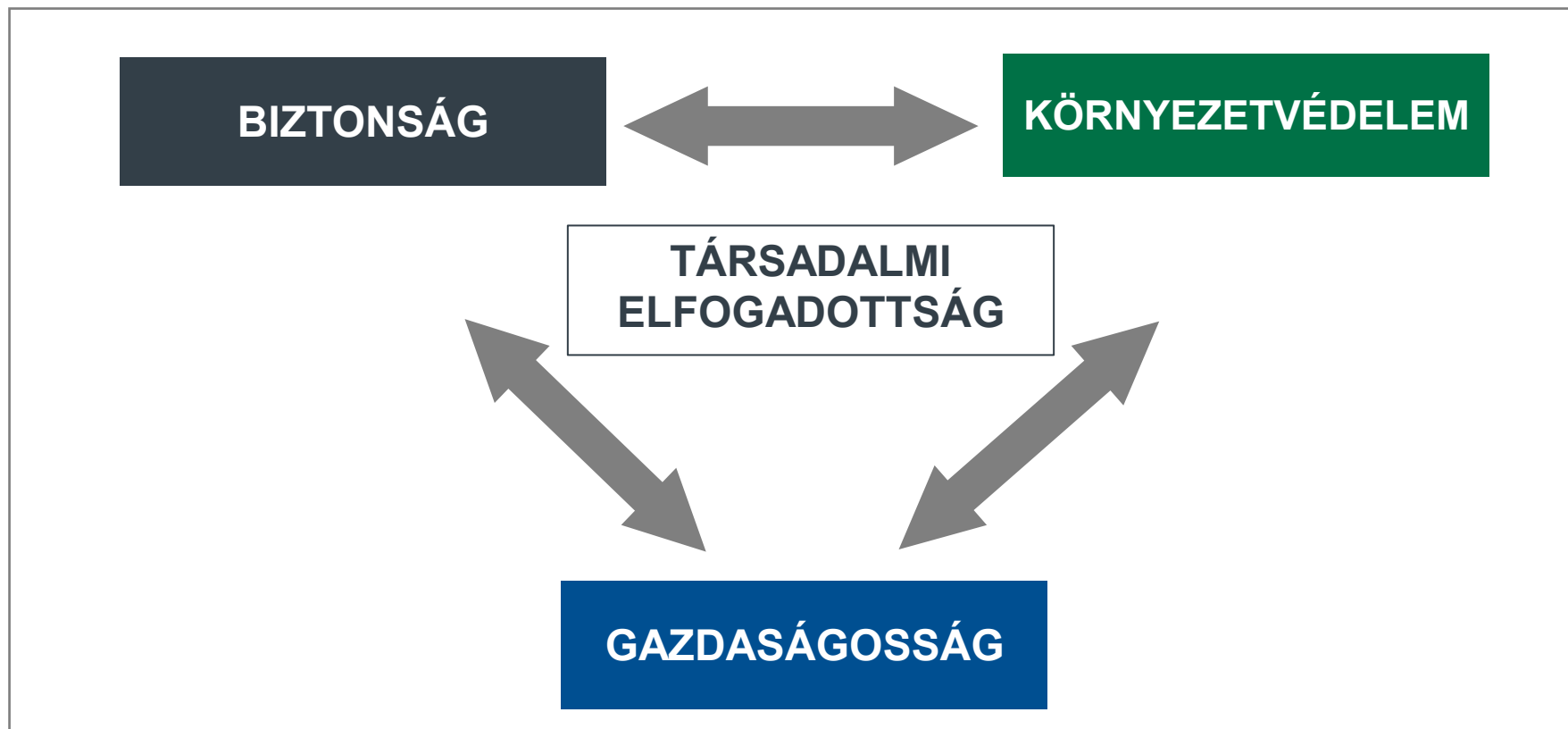
A Paksi Atomerőmű jelentősége az ország villamos energia ellátásában



10

A Paksi Atomerőmű összes villamos energia termelése az üzemelés kezdete óta: 509,6 TWh

Stratégia – az innováció keretei



A Paksi Atomerőmű küldetése a biztonságos, megbízható, olcsó és környezettudatos villamosenergia-termelés

Hozzáadott érték

BIZTONSÁG

+ innováció =

BIZTONSÁG

KÖRNYEZETVÉDELEM

+ innováció =

KÖRNYEZETVÉDELEM

GAZDASÁGOSSÁG

+ innováció =

GAZDASÁGOSSÁG

**TÁRSADALMI
ELFOGADOTTSÁG**

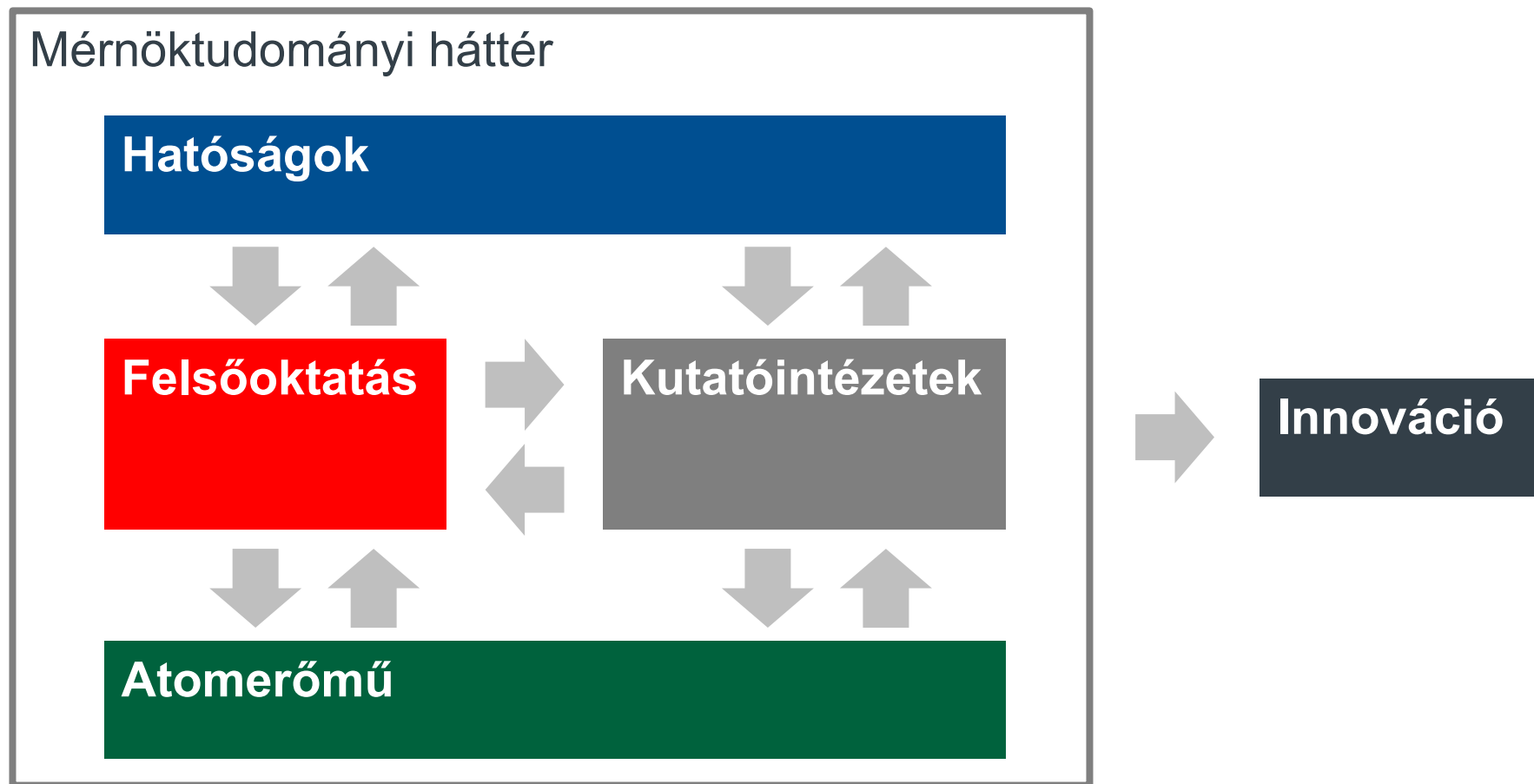
+ innováció =

**TÁRSADALMI
ELFOGADOTTSÁG**

- A Paksi Atomerőmű számára az innováció a stratégiai célokon értelmezett hozzáadott értéket jelenti.
- Az innováció képessége vállalati érték.

Oktatás

Mérnöktudományi háttér



- A múltbeli oktatásba történt befektetések teremtették meg a jelen innovációinak alapjait.
- A jelenkori befektetéseink a jövőnk záloga, ezért társadalmi felelősségünk is egyben.

MVM PA Zrt. díjak rendszere

BIZTONSÁG	KÖRNYEZETVÉDELEM	GAZDASÁGOSSÁG	TÁRSADALMI ELFOGADOTTSÁG
-----------	------------------	---------------	-----------------------------

• Törzsgárda tagság				lojalitás
• Céggyűrű kitüntetés	X	X	X	X
• Vezérigazgatói dicséret	X	X	X	X
• Igazgatósági Nívódíj	X	X	X	X
• Ezüstkártya	X			
• Műszaki Alkotói Díj	X	X	X	
• Újítások	X	X	X	
• Motivációs keret			X	
• <i>Urán toll</i>				X
• <i>Atomtoll olvasói díj</i>				X
• <i>Wigner Jenő díj</i>	X	X	X	
• <i>Héliosz-díj</i>	X	X	X	X

Motivációs rendszer

Műszaki Alkotói Díj

- Indulás éve: 1988
- 2015-ig összesen 728 pályamű
- Pályázati rendszer, 3 díjazott

Újítások

- Indulás éve: 1977
- Ajánlat a megvételre, egyedi megállapodás

Motivációs Keret

- Indulás éve: 2010
- Működési fedezetnövelő rendszer
 - egyedi fedezetnövelő javaslat
 - üzleti terven felüli többlet-termelés kivitelezése
 - biztonságnövelő intézkedés megvalósítása
- A kifizetés összege az 1 évre számított társasági többlet működési fedezet max. 10%-a

Az innovációk jellemzői

- Biztonság növelés, környezetterhelés csökkentés, versenyképesség növelés
- Jellemzően 2-5 fős kollektívák pályáznak
- Az alkotások többnyire speciális, nem továbbértékesíthető atomerőművi alkalmazások
- A bevezetés általában járulékos tervezés és hatósági engedélyezés miatt összetett folyamat
- Nagy szélsőértékek
- 50% körüli hasznosítás
- A jutalmak mértéke összhangban van a havi fizetésekkel
- Presztízs, nem az anyagi előny a fő motiváció
- Az MVM PA Zrt. számára kimutathatóan megtérülő befektetés
- Közösségformáló, kultúra formáló

Az innováció stációi

Kreatív ötlet

- Oktatási háttér
- Specifikus szakértelem
- Tudás-menedzsment
- Innovációs kultúra
- Motivációs rendszer

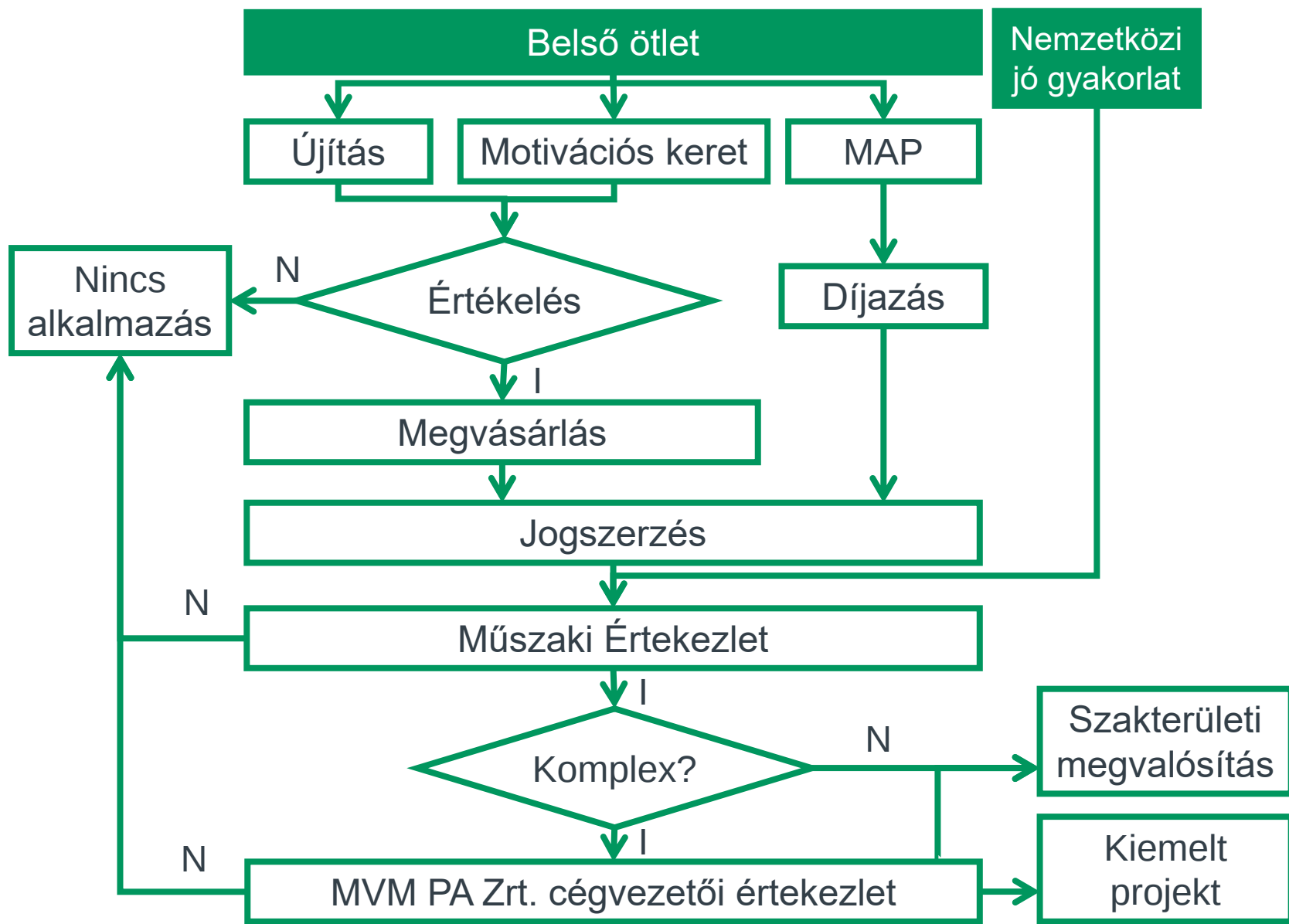


Megvalósítás

- Értékelemzés
- Döntési rendszer
- Jogszerzés
- Jogvédelem
- Mérnöktudományi támogatás
- Szervezeti felkészültség
- Komplex megoldóképeség
- Projektszemlélet

A nukleáris ipar rendelkezik az innovációk megvalósításának képességével

Az innovációk döntési folyamata

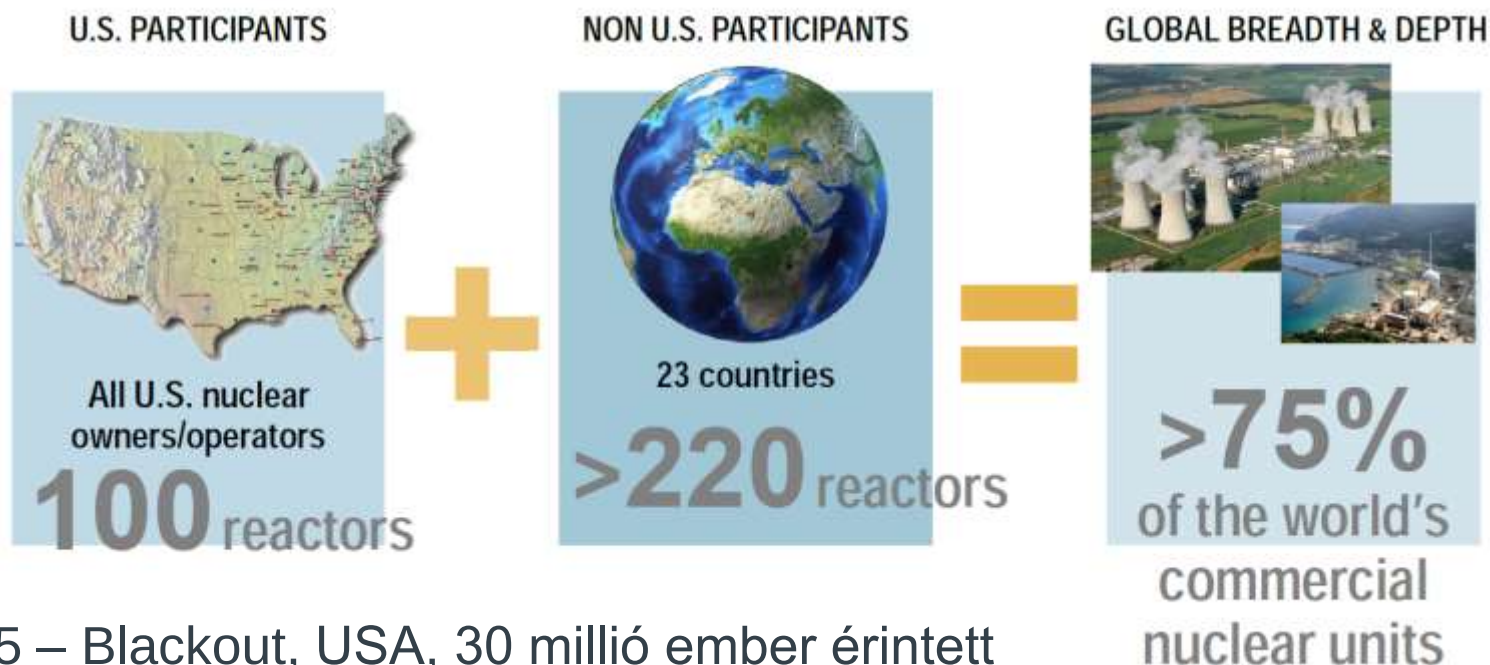


Nemzetközi jó gyakorlatok



A nukleáris iparban nyílt és tudásmegosztó a kultúra =>
Biztonság záloga

EPRI



- 1965 – Blackout, USA, 30 millió ember érintett
- Alapítás 1972, több ezer kutatási téma
- Információ megosztás alapú, globális együttműködés
- Nonprofit, független
- Éves árbevétel (2015): 118 Mrd Ft
- Tagi befizetések visszaforgatása a kutatásokba
- MVM tag, NMETT: szisztematikus tudásfeldolgozás

Biztonságot érintő jelentős innovációk

1984 – 1987	Teljes léptékű blokkszimulátor létesítése
1991 – 1994	AGNES jelentés (Advanced General and New Evaluation of Safety)
1996 – 2000	Biztonságnövelési intézkedési program Blokkszámítógép rekonstrukció PSA alkalmazásának bevezetése Biztonsági rendszerek megbízhatóságának növelése
1993 – 2002	Földrengés veszélyeztetettség vizsgálata, az erőmű földrengésvédelmi megerősítése
1993 – 2004	Reaktor védelmi rendszer rekonstrukció
2008 – 2014	Súlyos baleseti önálló mérőrendszert és villamos betáplálás Reaktortartály külső alternatív hűtés, olvadék visszatartás RT nyomáscsökkentési rendszer kidolgozása Passzív katalitikus hidrogén rekombinátorok
2011 –	Célzott Biztonsági Felülvizsgálat (CBF)

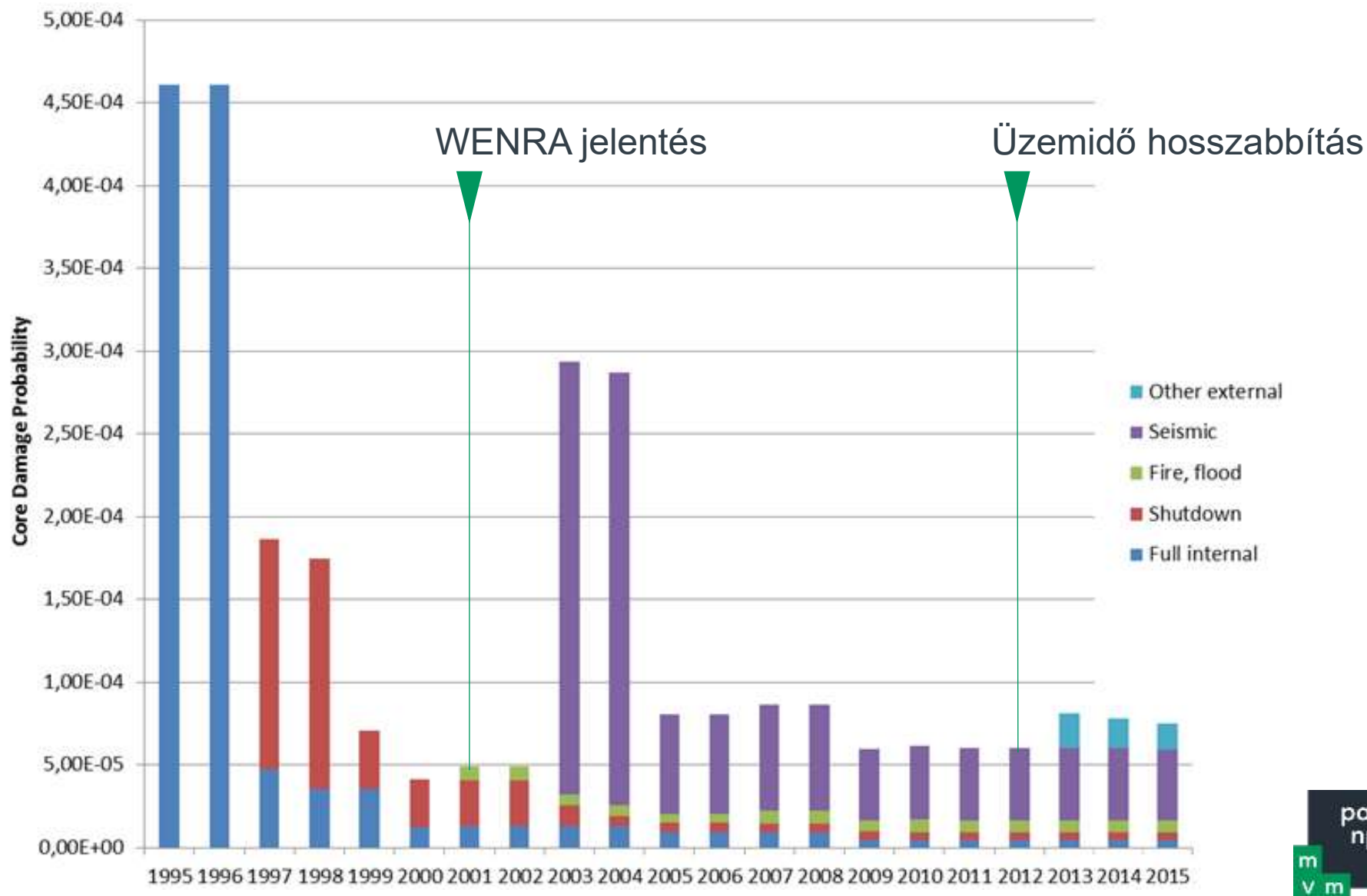
A paksi atomerőmű továbbüzemeltethetősége

- 2001 Western European Nuclear Regulators Association jelentés
- EU csatlakozás, 2004. május 1. (VVER-440: Kozloduy 1-4 és Bohunice V-VI)
- 30 éves tervezett üzemidő lejártá utáni üzemidő hosszabbítás
 - 1. blokk 2012. 12. 31. => 2032. 12. 31.
 - 2. blokk 2014. 12. 31. => 2034. 12. 31.
 - 3. blokk 2016. 12. 31. => 2036. 12. 31.
 - 4. blokk 2017. 12. 31. => 2037. 12. 31.
- Visszamérések: VBJ, IBJ, 1997, 2007, 2017

A múlt innovációi teremtik meg az alapot a jelen biztonságos működéséhez és a jövőbeli innovációk megvalósíthatóságához

- Paks 2

Innovációk biztonsági hatása (PSA)



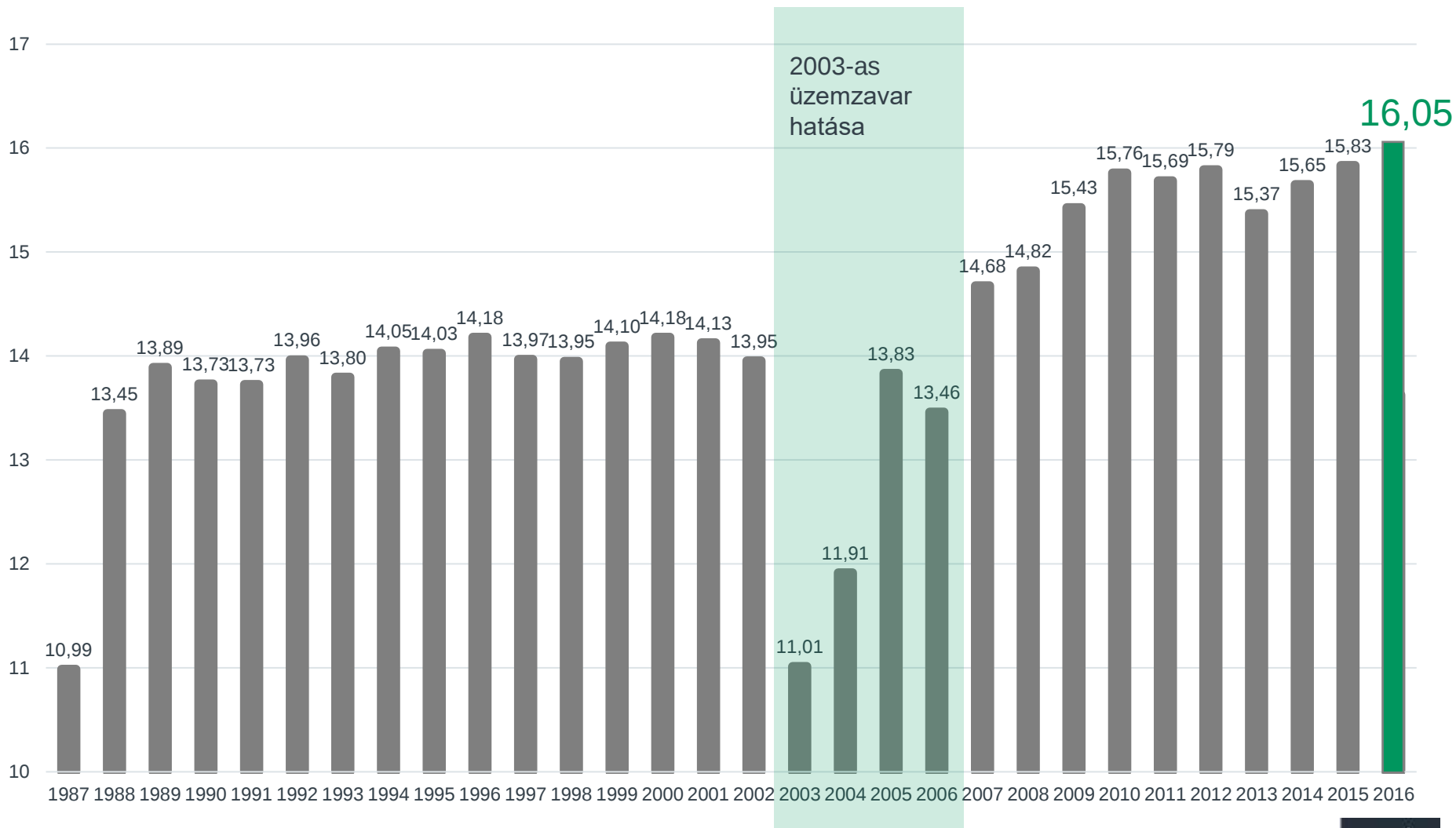
VVER-440 reaktortípus

Atomerőmű	Ország	Típus	Épített	Üzemelő
Bochunice	Szlovákia	VVER-440/230	2	0
		VVER-440/213	2	2
Mochovce		VVER-440/213	2	2
		VVER-440/213	2	0
Dukovany	Csehország	VVER 440/213	4	4
Greifswald	Németország	VVER-440/230	4	0
		VVER-440/213	1	0
		VVER-440/213	3	0
Kola	Oroszország	VVER-440/230	2	2
VVER-440/213		2	2	
Novovoronyezs		VVER-440/179	2	2
Kozloduy	Bulgária	VVER-440/230	4	0
Loviisa	Finnország	VVER-440/213	2	2
Metsamor	Örményország	VVER-440/270	2	1
Paks	Magyarország	VVER-440/213	4	4
Rovno	Ukrajna	VVER-440/213	2	2
Összesen			40	23

Versenyképességet érintő jelentős innovációk

– 1996	Teljesítménynövelés 1. fázis: 440 MW => 470 MW kondenzátorok és szeparátorok cseréje, turbina átalakítások
2002 – 2009	Teljesítménynövelés 2. fázis: 470 MW => 500 MW reaktor hőteljesítmény növelés, Gd-2n üzemanyag alkalmazása
2002 – 2011	ASME szabványrendszer alkalmazásának bevezetése
2002 – 2017	Üzemidőhosszabbítás
2012 – 2014	Rendelkezésre állás növelés (RÁN) projekt
2013 – 2016	15 hónapos üzemeltetési ciklusok bevezetése (C15)
2011 – 2017	Üzemközbeni karbantartások bevezetése
2012 – 2019	Teljesítménynövelés 3. fázis: 500 MW => 509 MW turbina 7. fokozat beépítése
2016 – 2021	További üzemanyag fejlesztés - SLIM

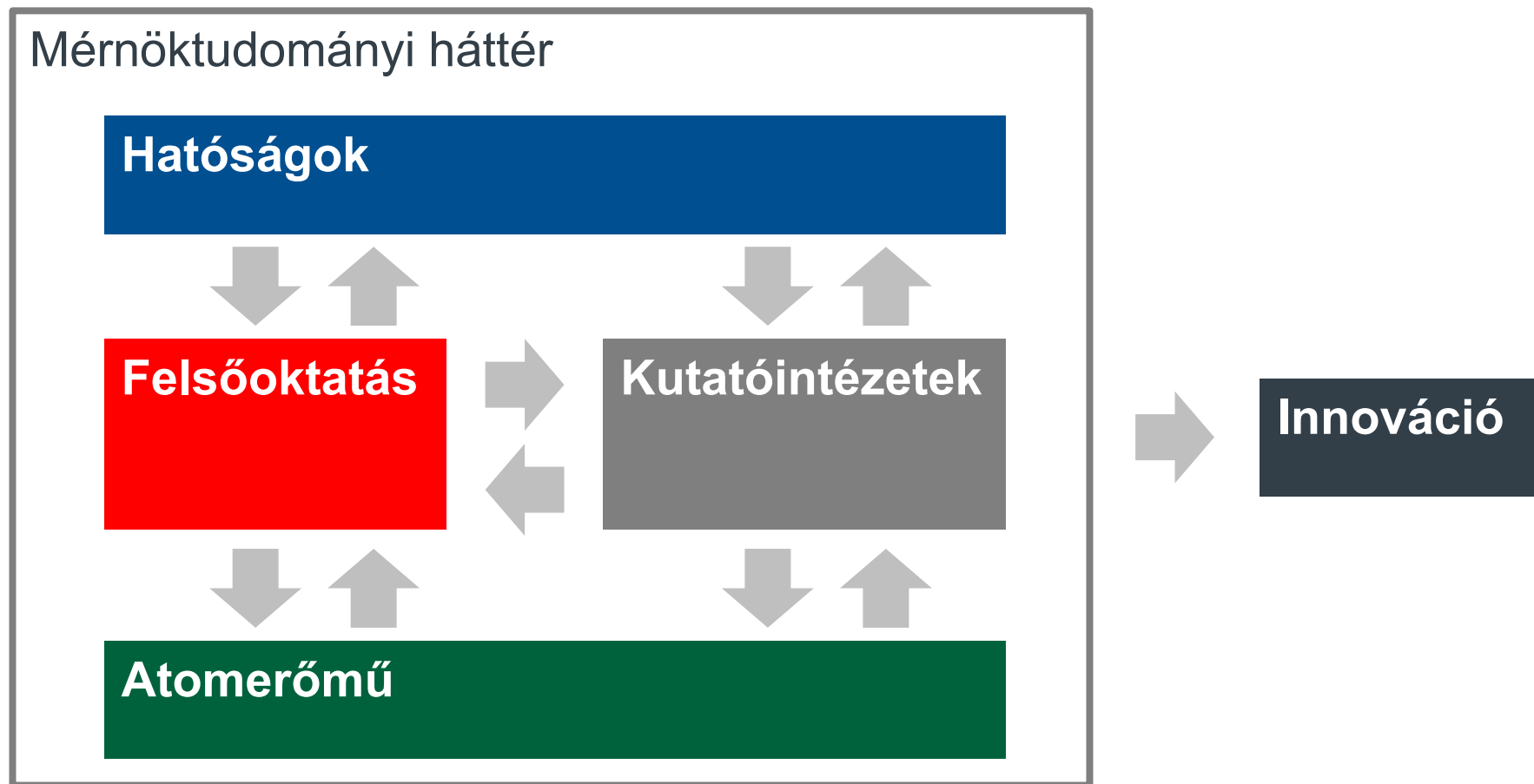
Villamos energia termelés



Innováció kultúra

Oktatás

Mérnöktudományi háttér



- A múltbeli oktatásba történt befektetések teremtették meg a jelen innovációinak alapjait.
- A jelenkori befektetéseink a jövőnk záloga, ezért társadalmi felelősségünk is egyben.

C15 üzemanyag fejlesztés

Előzmények

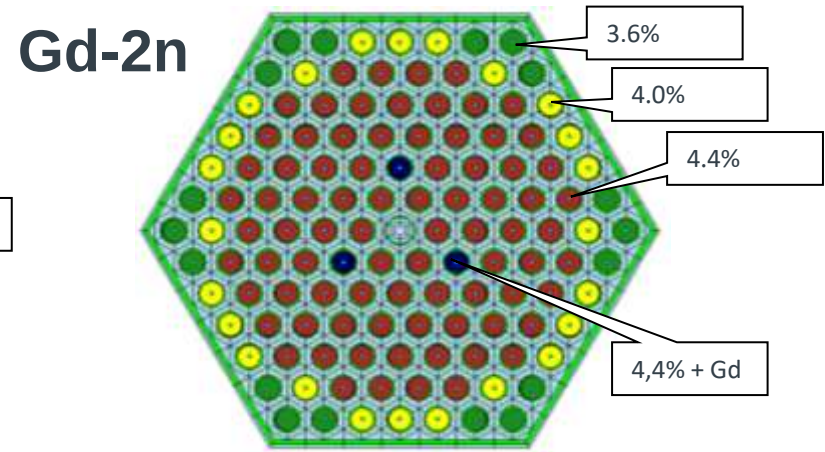
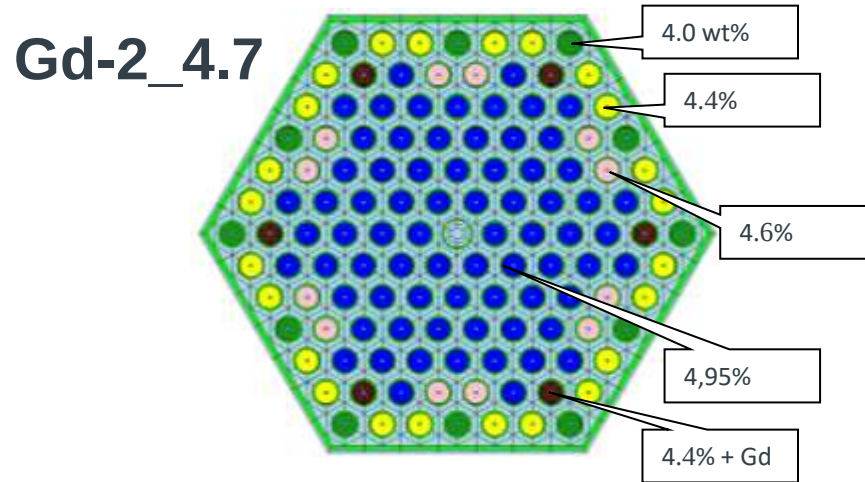
- 108%-os teljesítménynövelés pozitív tapasztalatai
- 2. generációs üzemanyag alkalmazásában rejlő esetleges fejlesztési irányok felülvizsgálata
- 2009-től az üzemanyag gyártó (TVEL) kínálatában megjelentek a magasabb átlagdúsítású (4,87%) Gd tartalmú kazetták
- A magas dúsítású VVER-440 kazetták pálca dúsítás maximuma 4,95%
- A 4,87 átlagdúsítású üzemanyag kazettákat a Bochunice, Mochovce VVER-440 atomerőművek alkalmazzák, 12 hónapos kampányban
- 2011-től zóna és üzemanyag terv számítások egy lehetséges üzemanyag fejlesztés megvalósítására, konfiguráció szimulációk a reaktorfizikai szoftveren
- Közel 100 opció vizsgálata történt meg

A Gd-2_4.7 üzemanyag

Az új kazetta alkalmazása nem csökkenthette a biztonsági tartalékokat, nem nöhetett a reaktor tartály falat érő neutron fluxus

- Számos opció vizsgálata után RFO a 4,7%-os átlagdúsítású üzemanyag és a 15 hónapos üzemanyagciklus megvalósítása mellett döntött
- Az erre alapozott 415 napos egyensúlyi töltet kampányonként 102 friss üzemanyag kazettát igényel (66 db 4,7%, 36 db 4,2%)
- A vegyes alkalmazás előnye:
 - rugalmasság,
 - nagy mennyiségű 4.2% dúsítású tartalék üzemanyag elhasználása
- Megállapodás a TVEL-lel az üzemanyag gyártásról
- 12 tesztkazetta beszállítása megtörtént, továbbiak gyártás alatt
- Tesztüzem kezdete: 2014. november 4. 3. blokk (365 napos kampány)

Pálca elrendezés



Új üzemanyag kazetta

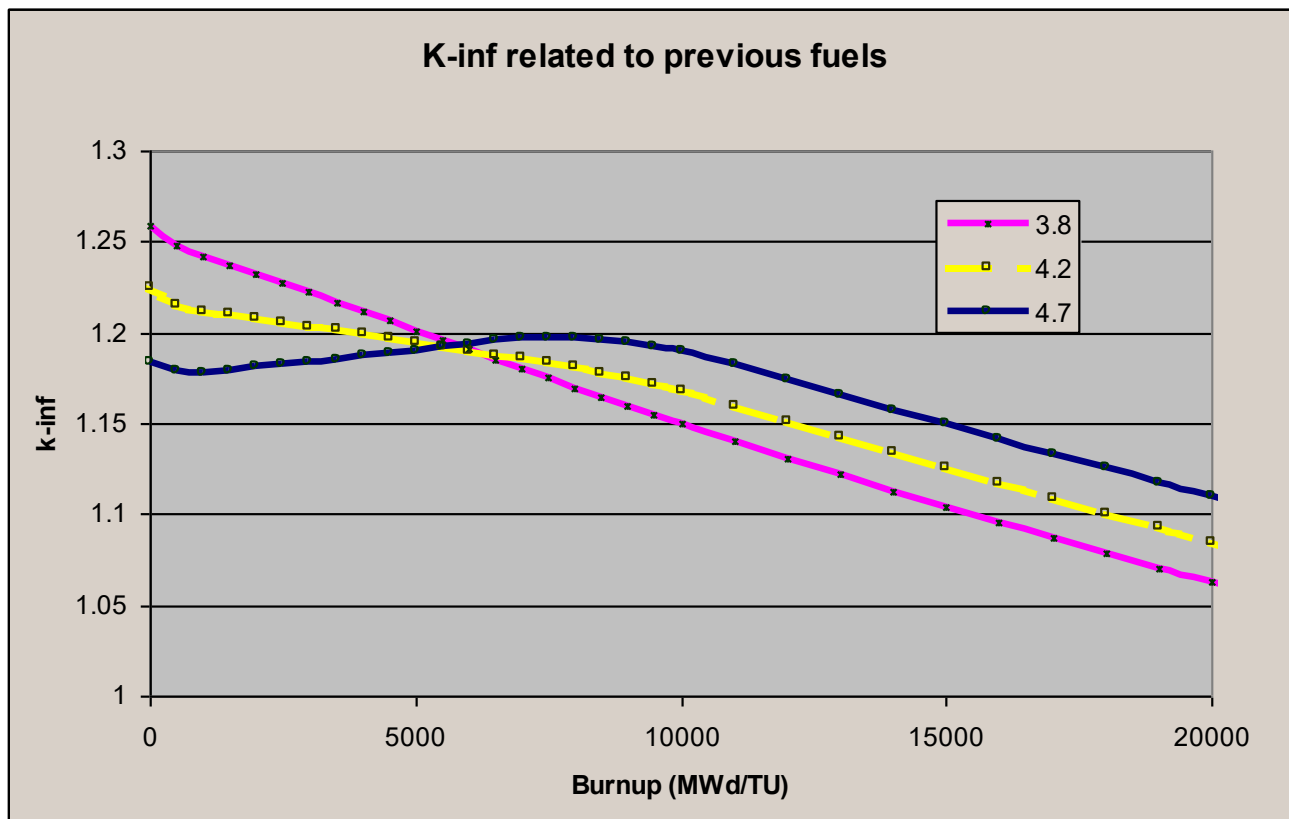
	dúsítás	db	UO2
	4%	12	48
	4,4%+Gd	30	132
	4,6%	12	55,2
	4,95%	72	356,4
Σ	-	126	591,6
átlag	-	4.695238%	

Jelenleg alkalmazott üzemanyag kazetta

	dúsítás	db	UO2
	3,6%	18	64,8
	4,0%	24	96
	4,4%+Gd	84	369,6
Σ	-	126	530,4
átlag	-	4.209524%	

Üzemanyag kiégés

A Gd-2_4.7, a jelenlegi Gd-2n és az 1. generációs 3,8%-os üzemanyag neutron sokszorozási tulajdonságai



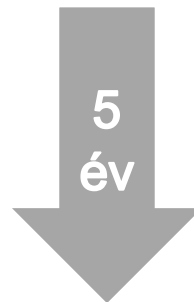
HELIOS számítás, végtelen kazetta rács

Üzemanyag gazdálkodás

C15 üzemanyag felhasználás

1. kampány: 102 db
2. kampány: 102 db
3. kampány: 102 db
4. kampány: 102 db

Összesen: 408 db



C12 üzemanyag felhasználás

1. kampány: 84 db
2. kampány: 84 db
3. kampány: 84 db
4. kampány: 84 db
5. kampány: 84 db

Összesen: 420 db

A kiégett fűtőelemek száma a teljes üzemidőre vonatkoztatottan csökken

A Gd-2n kazetták felhasználását követően a 102 db kazetta csere kampányonként csökkenthető, gazdaságosabb felhasználás, még kevesebb kiégett fűtőelem.

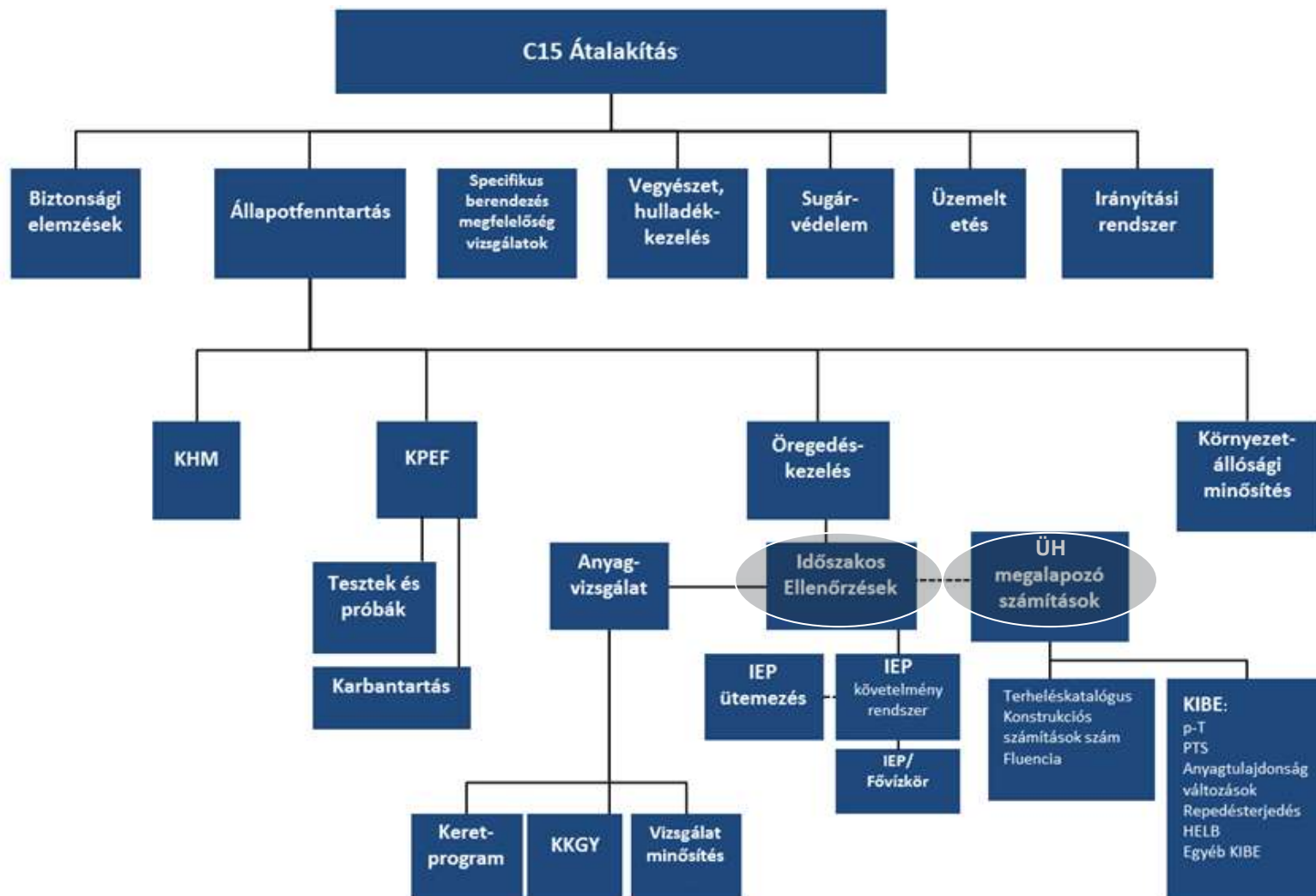
C15 által okozott változások

A Gd-2_4.7 üzemanyag alkalmazása, valamint a 15 hónapos üzemeltetési ciklus bevezetése az atomerőmű üzemeltetését érintően három alapvető változást jelent:

- Gd-2_4.7 üzemanyag alkalmazása
- A folyamatos blokk üzem 3 hónappal nő
- Az időszakos ellenőrzések és karbantartások ciklusideje jellemzően 8 évről 10 évre* változik

*12 hónap egész számú többszöröseiről 15 hónap egész számú többszöröseire

Érintett szakterületek



ÜH megalapozások újraszámítása

A módosított üzemanyag bevezetése nem kerülhetett ellentmondásba az Üzemidő Hosszabbítás megalapozásaival.

- Terheléskatalógus felülvizsgálata
- Szilárdsági számítások felülvizsgálata
- Fluencia számítások felülvizsgálata
- Érintett korlátozott időtartamra érvényes biztonsági elemzések (KIBE) felülvizsgálata:
 - Fővízkör ridegtörés elleni védelmét biztosító nyomás-hőmérséklet határgörbék normál üzemhez, nyomáspróbához és üzemzavari állapotokhoz
 - Reaktortartályok PTS (Pressurized Thermal Shock) elemzése
 - Repedésterjedés elemzések
 - HELB (High Energy Line Break) elemzések
 - Reaktor belső szerkezetek anyagtulajdonság változásának elemzése

Fluencia számítás

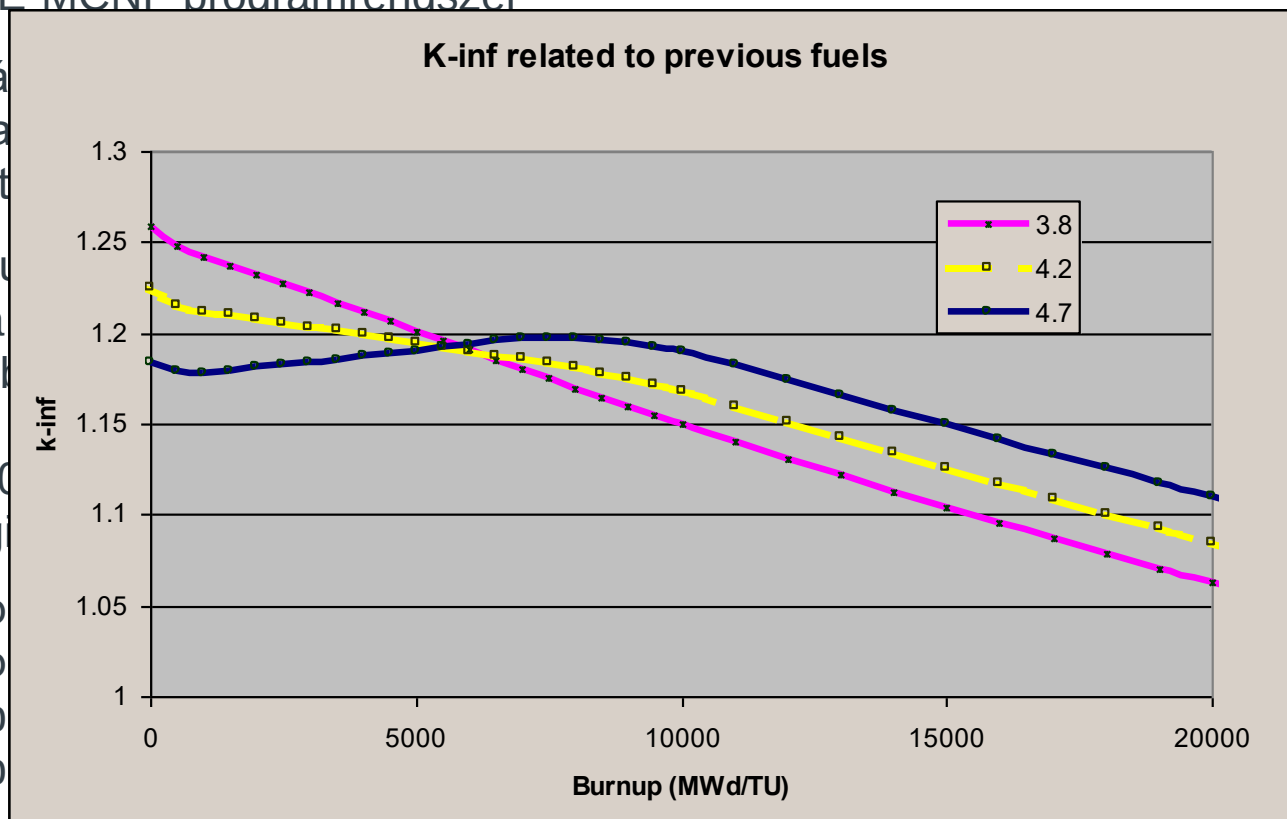
- KARATE-MCNP programrendszer

- 6 Gd párt tartalmazó tartályfal tervezet

- Egyensúlyos fluencia terheléssel való kísérlet

- 50 és 60 Gd jelenleg

- 1. b
- 2. b
- 3. b
- 4. b



A teljes üzemidőre vetítve a tartályfalban a fluencia nem nő, a fluxus csökken.

ASME BPVC

Az ASME kód adaptálása (2011)

ASME kód – amerikai
tervezéséhez, gyártásához

ASME BPVC III – R
MSZ 27003 - Atome

ASME BPVC XI – R
Components

MSZ 27011 - Atome

ASME OM Code – C

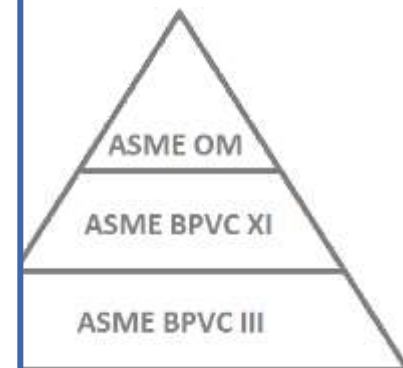
MSZ 27020 – Atome

TABLE IWB-2412-1
INSPECTION PROGRAM B

Inspection Interval	Inspection Period, Calendar Years of Plant Service Within the Interval	Minimum Examinations Completed, %	Maximum Examinations Credited, %
All	3	16	50
	7	50 ¹	75
	10	100	100

Note:

(1) If the first period completion percentage for any examination category exceeds 34%, at least 16% of the required examinations shall be performed in the second period.



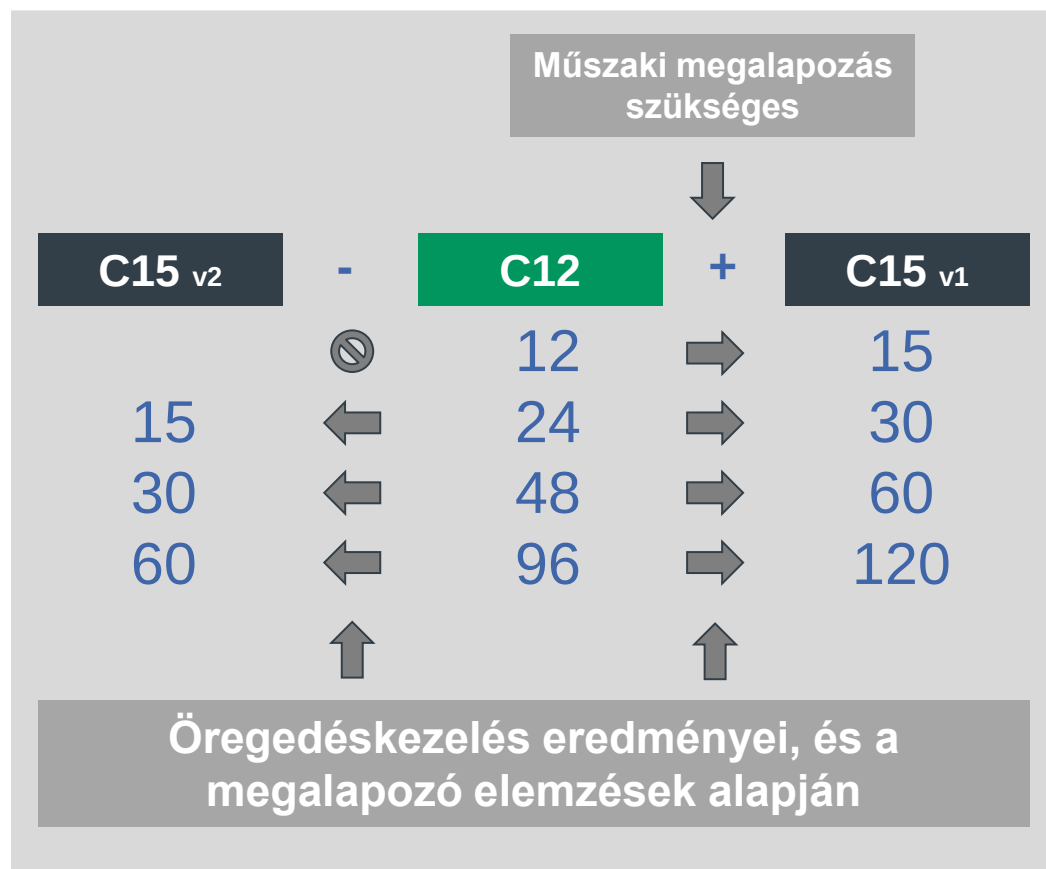
Az ASME kód adaptálása teremtette meg a feltételeit a 10 éves üzemeltetési periódusok bevezetésének

Ciklusidő változások

- Anyagvizsgálatok
- Szerkezeti vizsgálatok
- Tömörség és nyomáspróbák
- Nyitónyomás ellenőrzések
- Ütemezett cserék
- Kalibrálások és hitelesítések
- Ciklikus karbantartások
- Tesztelések és próbák

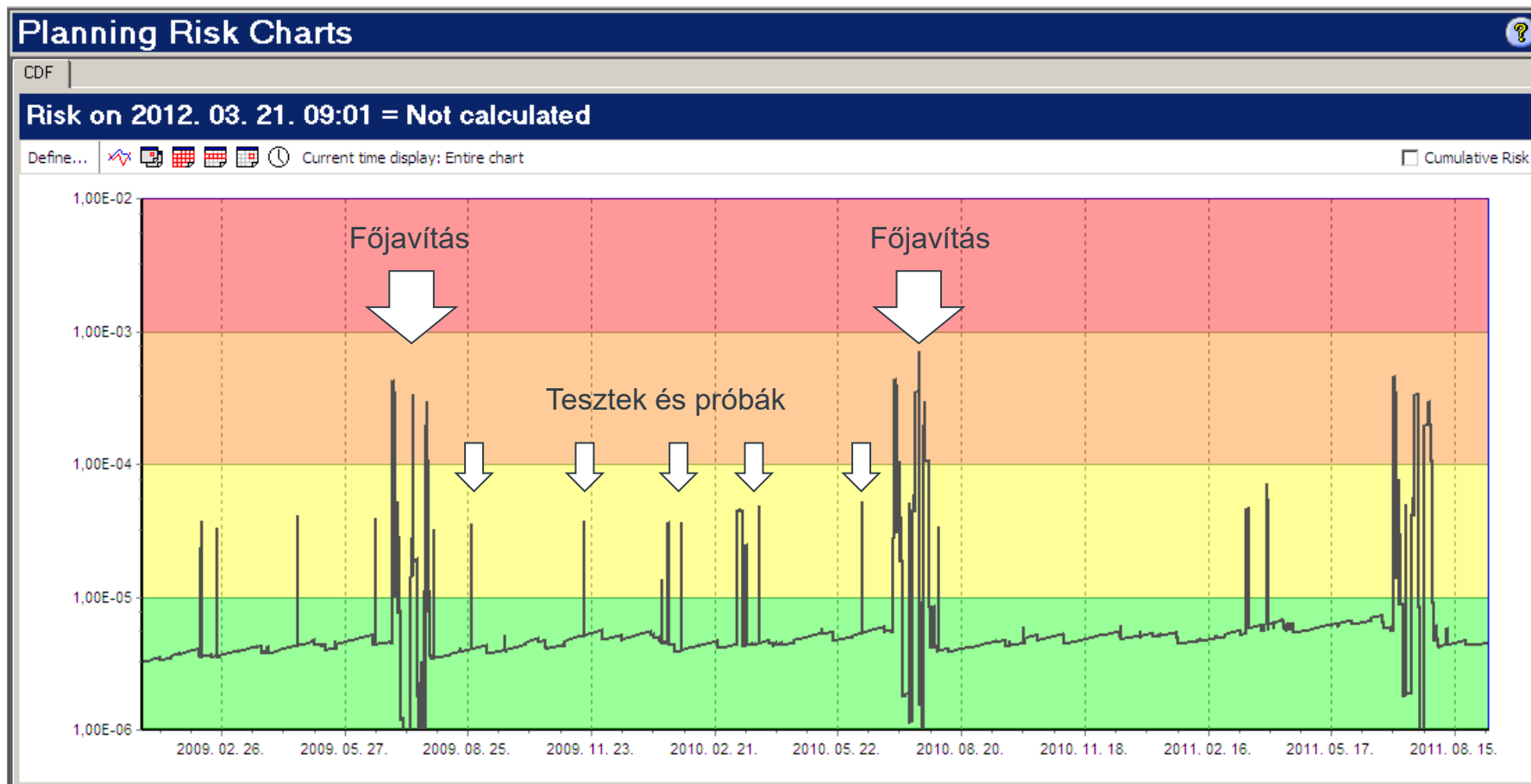


Kritériumok felülvizsgálata



A ciklusidő változások során mérlegelésre került, hogy a C12 során alkalmazottnál gyakrabban vagy ritkábban legyenek végrehajtva az ellenőrzések

Online PSA kockázat monitor



Teljes üzemidőre vetített CDF értékek nem romlanak

C12 és C15 ciklusok összehasonlítása

C12

Blokk	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
1	26	26	26	56	26	26	26	42	26	26	26	56	26	26	26	42	26
2	42	26	26	26	56	26	26	26	42	26	26	26	56	26	26	26	42
3	26	42	26	26	26	56	26	26	26	42	26	26	26	56	26	26	26
4	26	26	42	26	26	26	56	26	26	26	42	26	26	26	56	26	26
Σ	120	120	120	134	134	134	134	120	120	120	120	134	134	134	134	120	120



C15

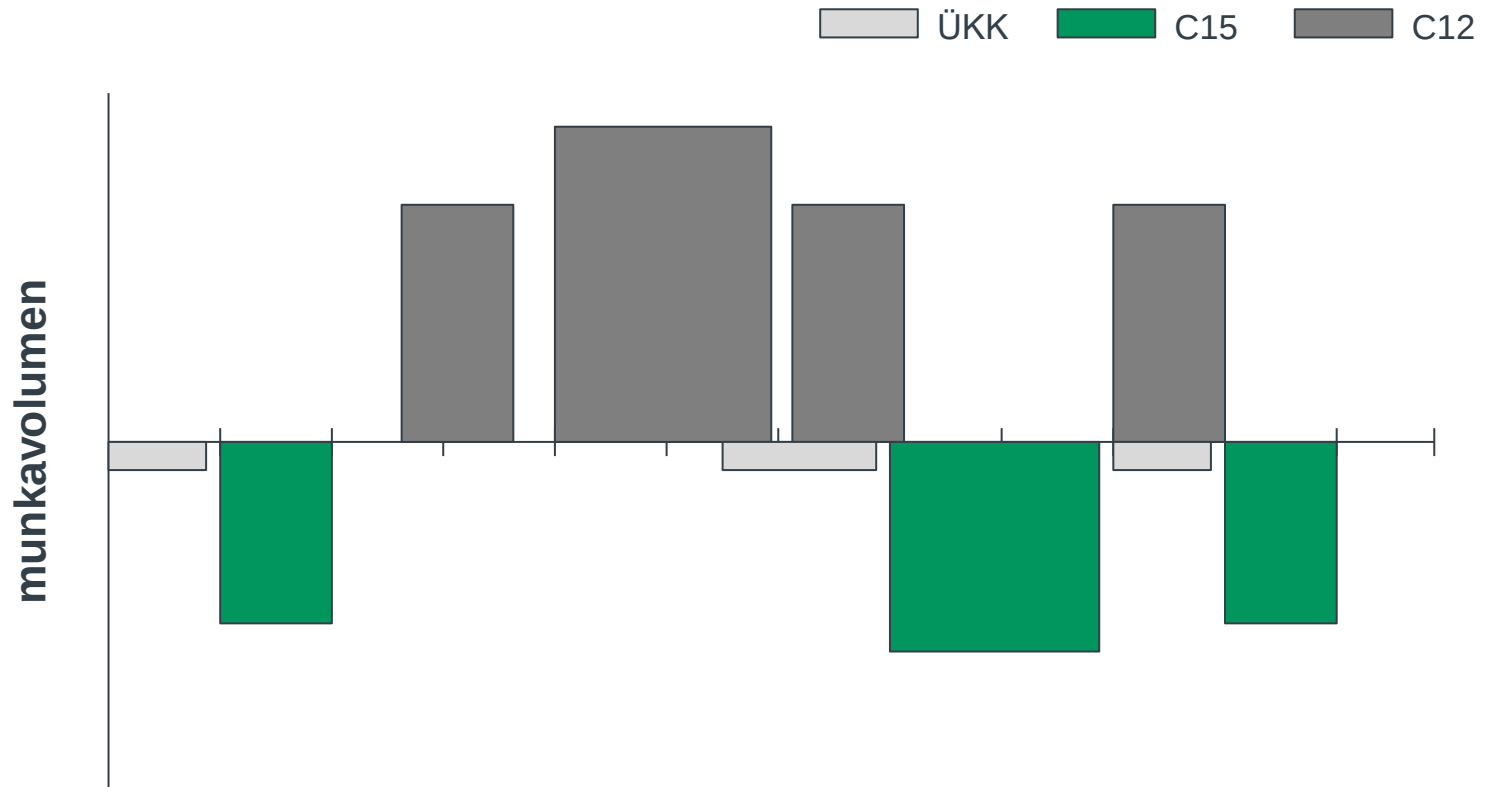
Blokk	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
1	26	56	26		26	26	42	26		26	26	56	26		26	26	42
2	42		26	26	26	56		26	26	26	42		26	26	26	56	
3		26	42	26	26		26	56	26	26		26	42	26	26		26
4	26	26		42	26	26	26		56	26	26	26		42	26	26	26
Σ	94	108	94	94	104	108	94	108	108	104	94	108	94	94	104	108	94
Év	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Δ	26	12	26	40	30	26	40	12	12	16	26	26	40	40	30	12	26

5 év alatt blokkonként 1 főjavítás megtakarítható; ez évente 12-40, átlagosan 25,88 nappal, közel 2%-al növeli az erőmű rendelkezésre állását

Főjavítások munkavolumene

C12

ref. év: 2014



C15

ref. év: 2017

A főjavítások munkavolumene a C15 bevezetésének következtében a ciklikus karbantartási munkák vonatkozásában csökken

Nemzetközi kitekintés

Üzemeltetési ciklus, nemzetközi kitekintés

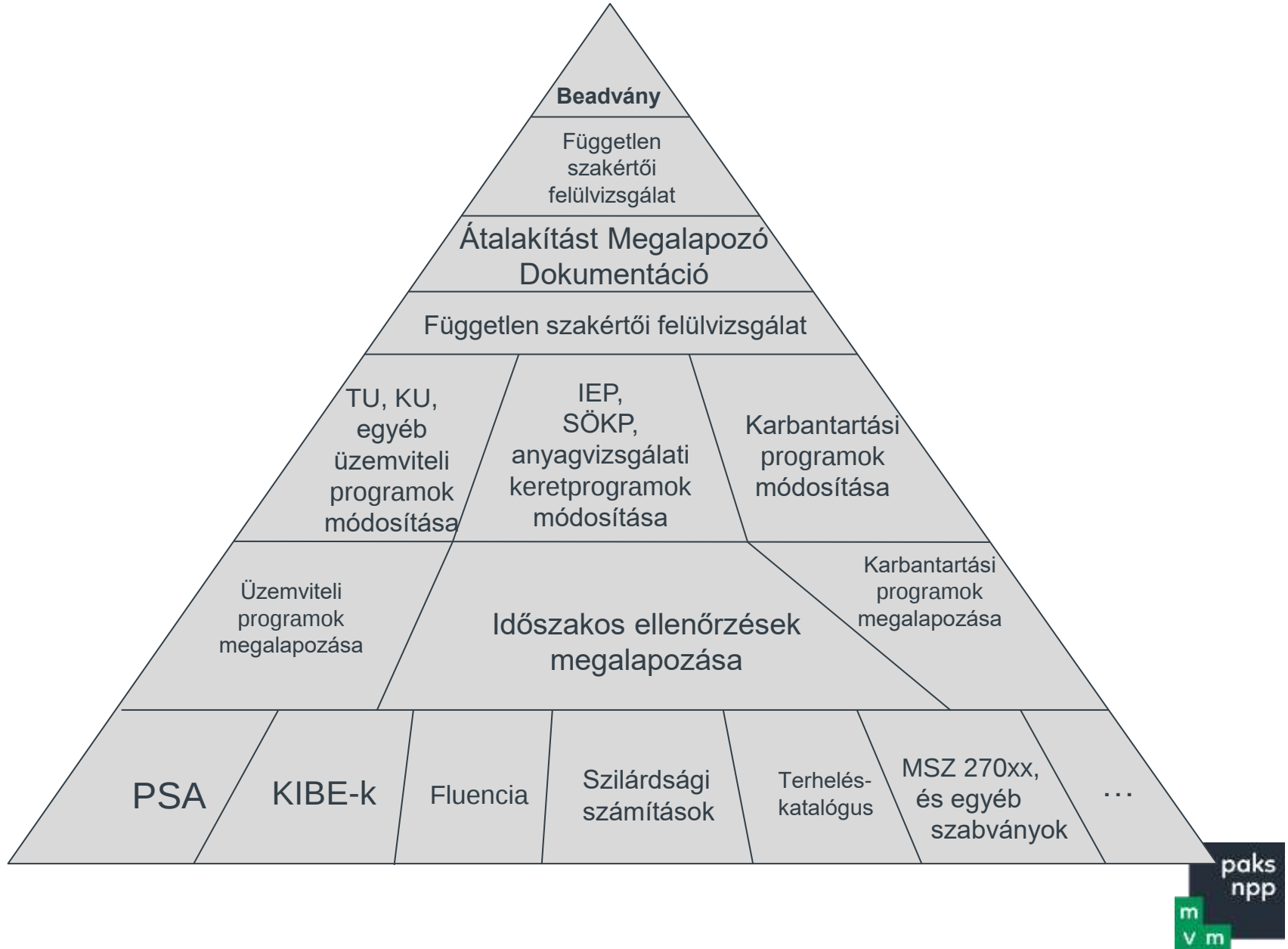
- Nyugati típusú PWR-ekben 12 => 18, 12 => 24 hónap, pl. Krsko, 1981 – 12 hónap 2004-től 18 hónap, 696 MW => 730 MW
- A 3. generációs orosz blokkok esetében, így a Paks II AES 2006 blokkon is tervezetten 18 hónap

Konklúzió

- A 12 hónapnál hosszabb üzemelési ciklust VVER-440 blokkok esetében sehol nem valósítottak meg
- A C15 és a Gd-2_4.7 üzemanyag terve magyar innováció: Dr. Nemes Imre

VVER-440 atomerőmű	Blokk	Ciklus
Novovoronyezs	2 db	12 hónap
Kola	4 db	12 hónap
Rovno	2 db	12 hónap
Loviisa	2 db	12 hónap
Paks	4 db	12 hónap
Bohunice	2 db	12 hónap
Dukovany	4 db	12 hónap
Mochovce	2 db	12 hónap
Metsamor	1 db	12 hónap
Összesen	23 db	-

C15 OAH engedélyezés logikai struktúrája



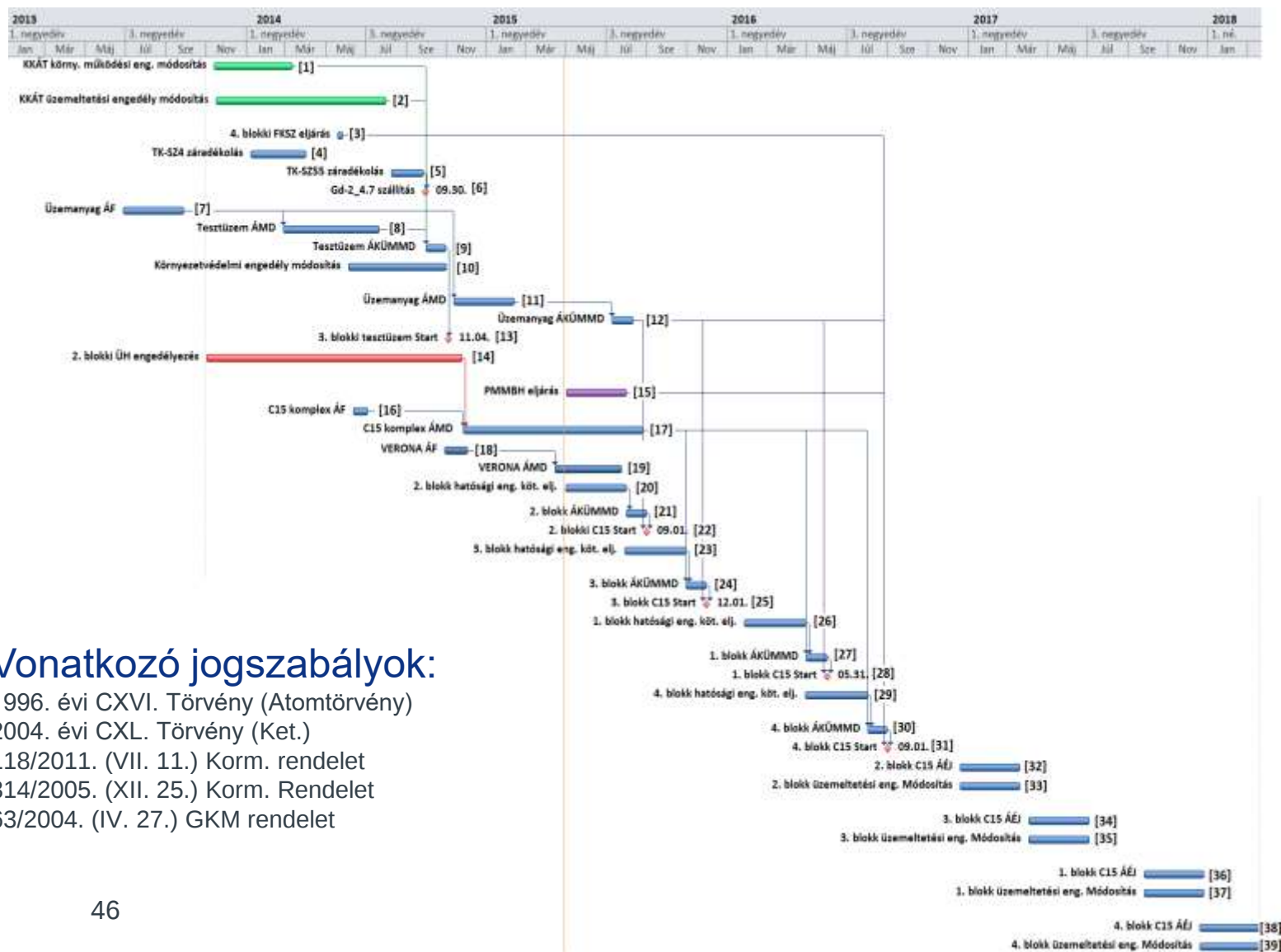
C15 megalapozó dokumentumok

C15 Átalakítási Műszaki Dokumentáció (AMD)

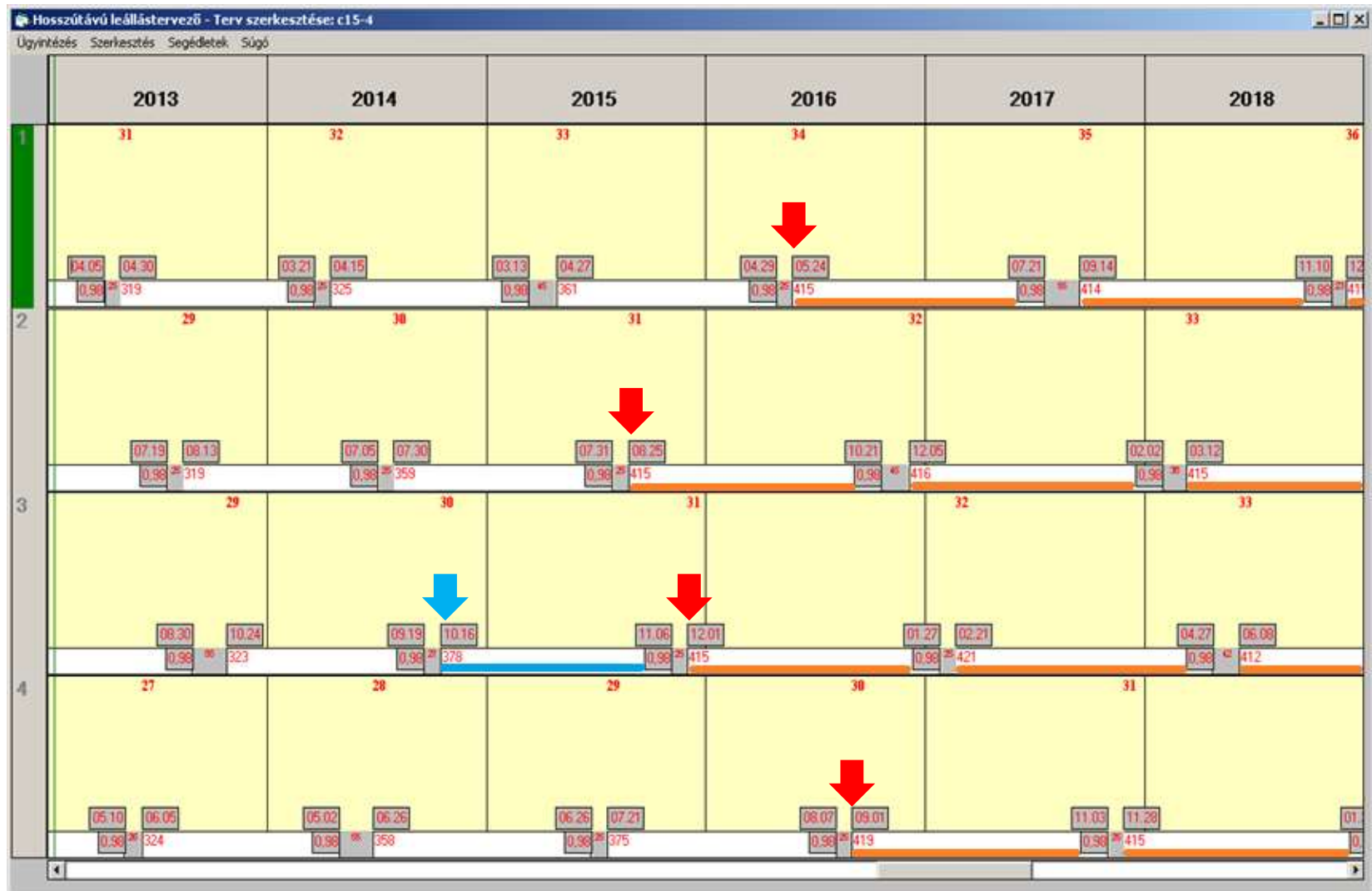


Átalakítás megalapozó Dokumentáció: 230 oldal
Megalapozó dokumentumok: közel 30.000
1200+ dokumentum

C15 engedélyezési eljárások

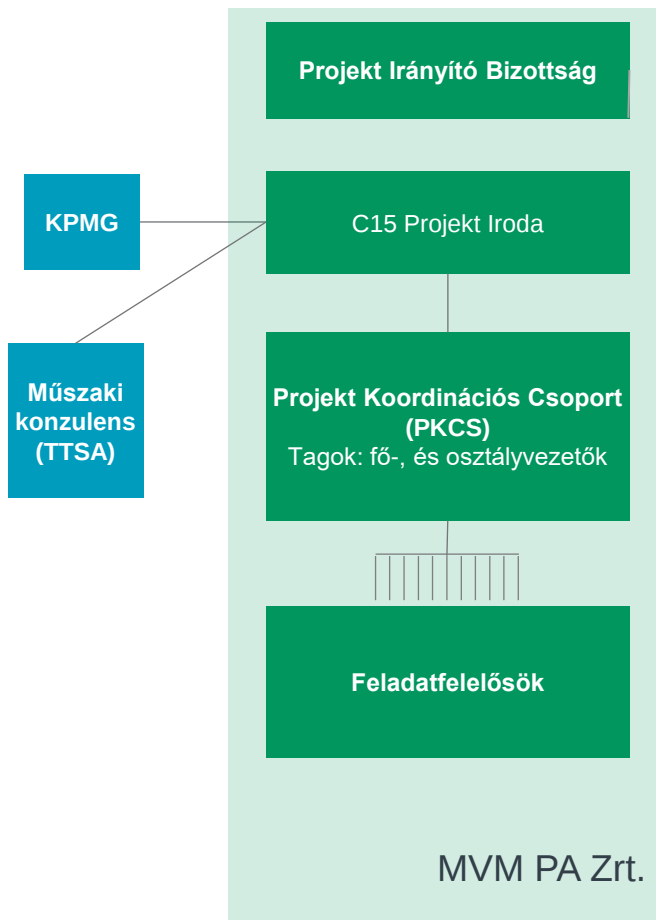


C15 bevezetés ütemezése



A C15 kiemelt projekt

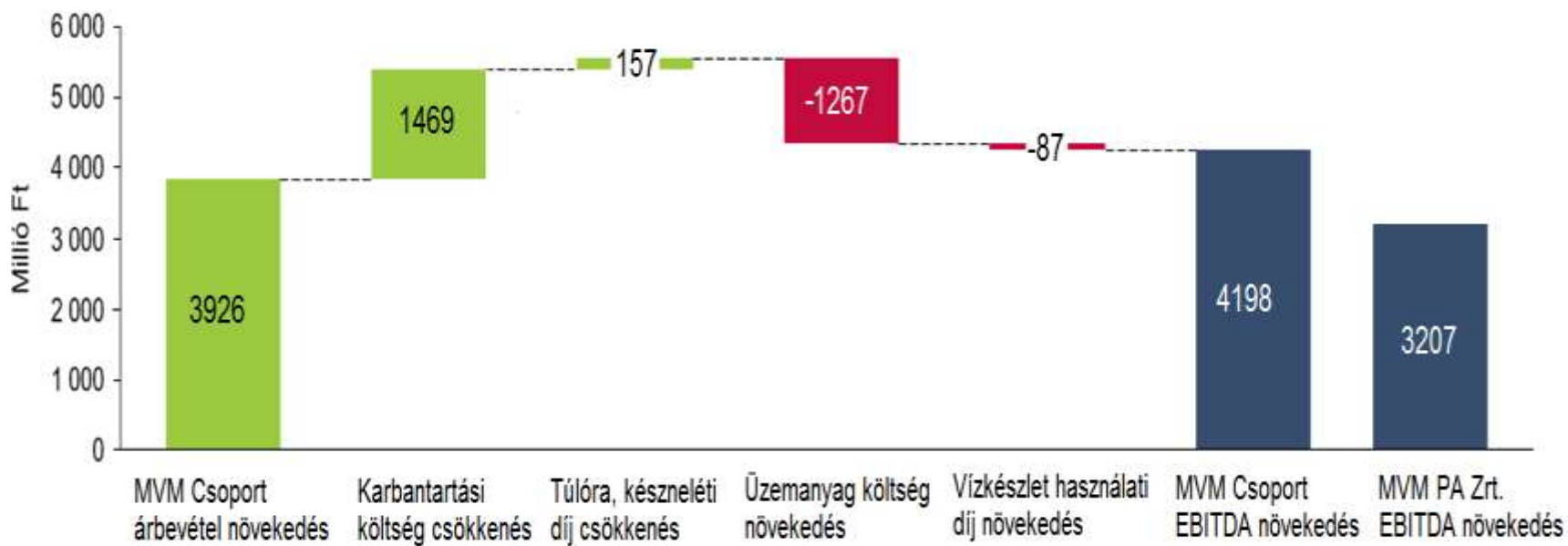
Projekt szervezet



Projekt Iroda feladatai

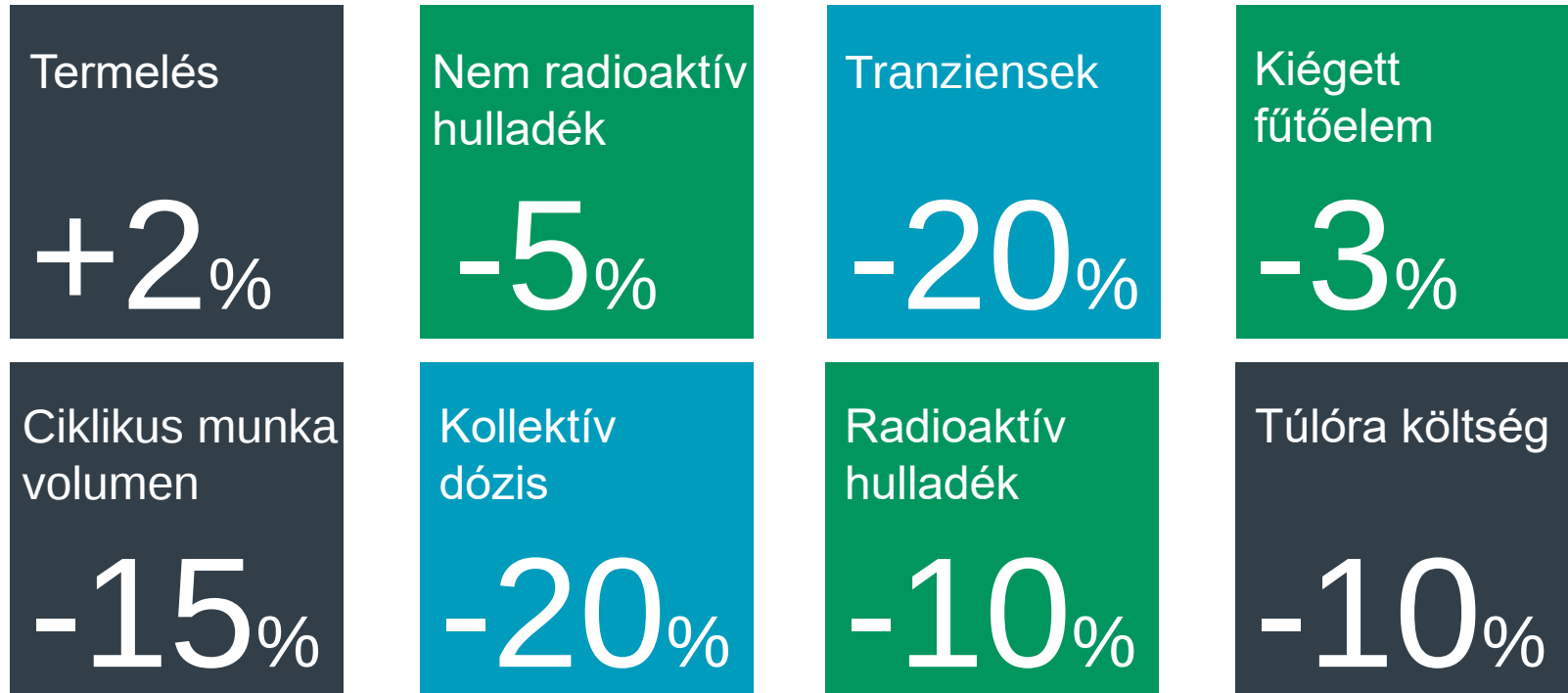
Projekt – menedzsment	Kockázat kezelés	Egyéb támogató tevékenységek
- Stratégia - Változáskezelés - Projekt terv és feladatlista összeállítása - Feladatfelelősök státuszoltatása és PIB és PKCS ülések szervezése, napirend és emlékeztető készítése - Támogató dokumentumok összeállítása	- Minden kritikus feladat, folyamat, fázis és projekt határidő (technikai, pénzügyi, és adminisztrációs projekt terv elemek) azonosítása - Projekt terv és az OAH-tól kapott feladatok monitorozása - Kockázat monitorozás - Státusz monitorozás - Költségvetés monitorozás	- OAH igény szerint a sztenderd folyamatok melletti dokumentumok elkészítése (technikai, adminisztratív, stb.) - Az összes érintett hazai és nemzetközi hivatal - Szerződéskötés felügyelet

A C15 értékteremtő hatása – referencia év 2016



15 hónapos üzemeltetési ciklus előnyei

Determinisztikus hatások:



Valószínűségi hatások

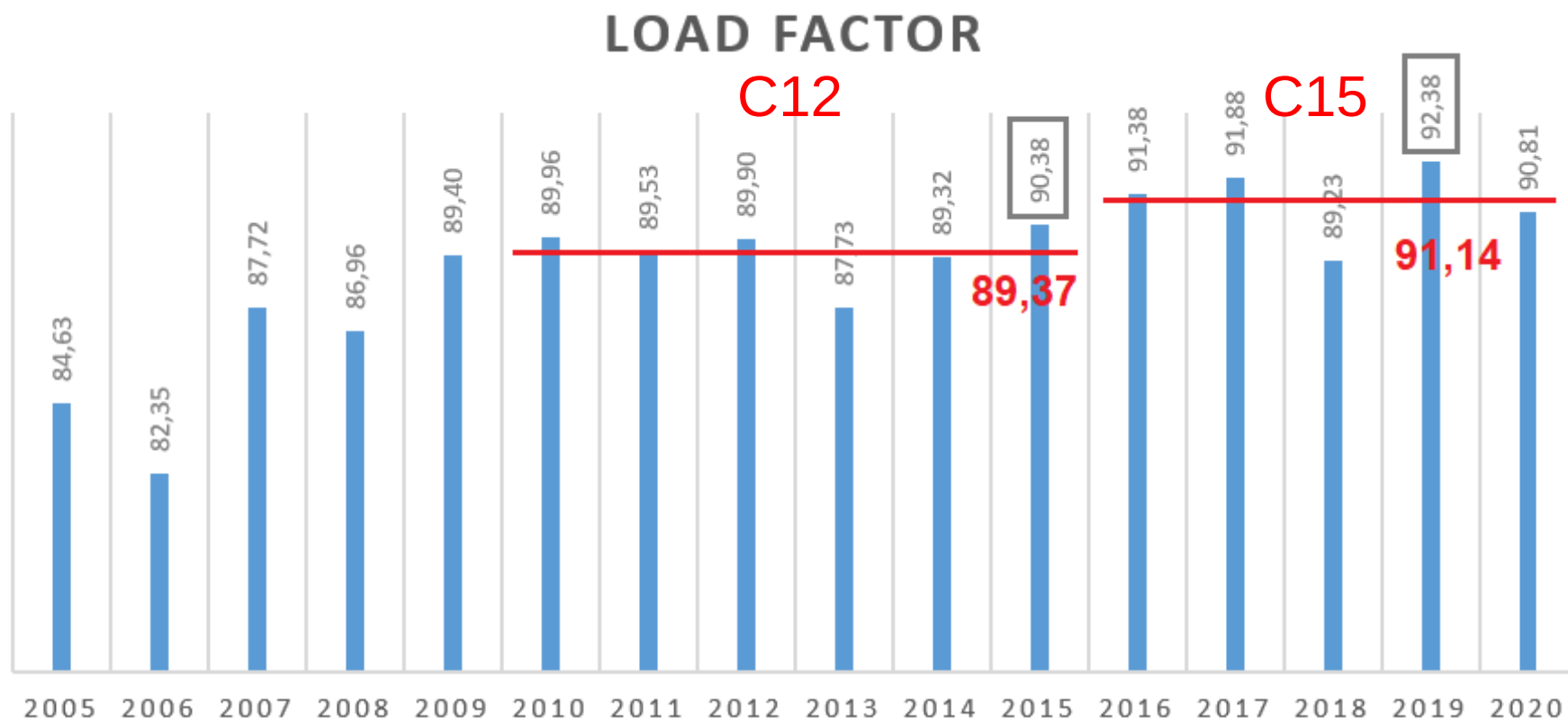
CDF– csökken

Munkabaleset kockázat - csökken

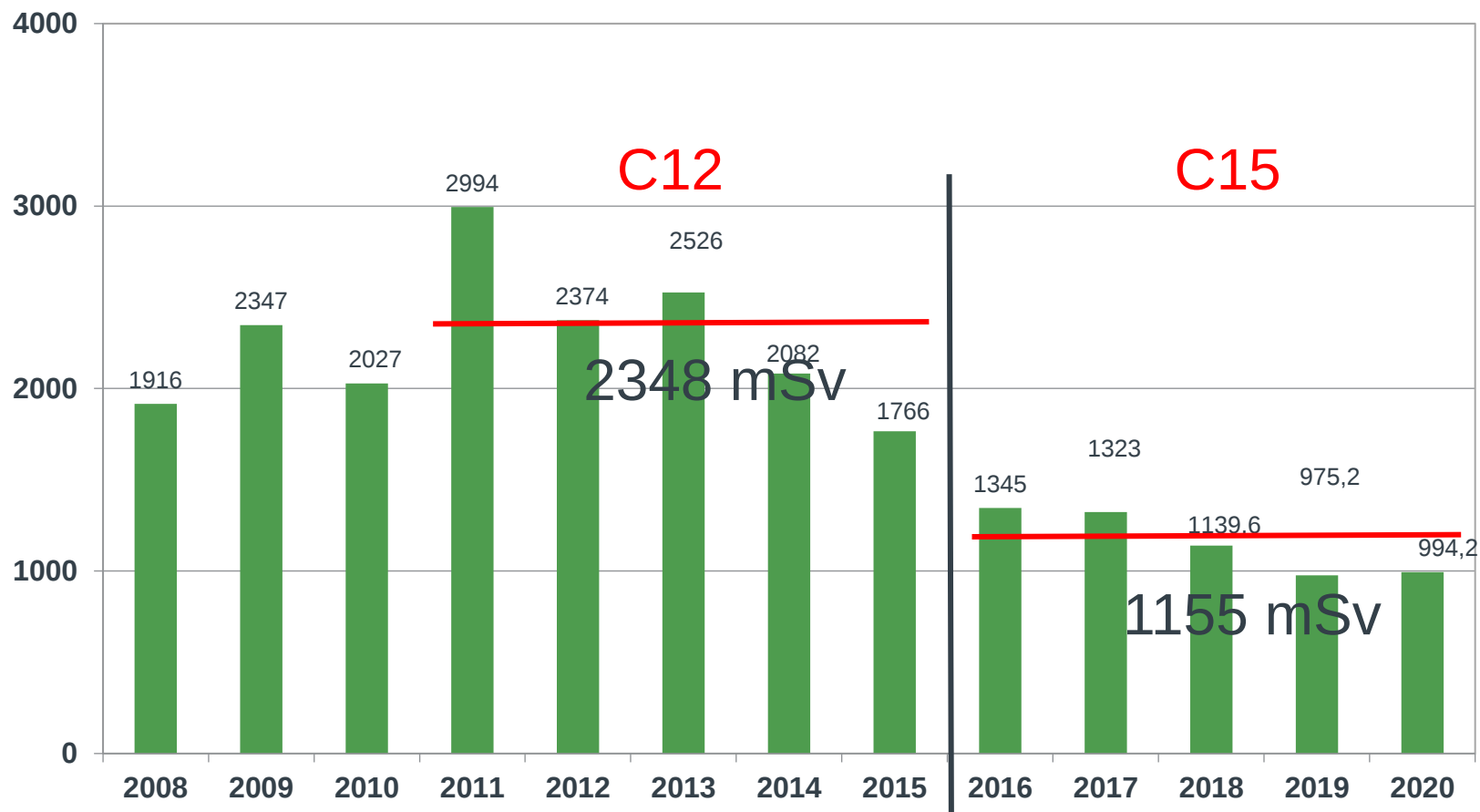
Karbantartási emberi hiba kockázat – csökken

PR érték

Rendelkezésre állás változása a C15 hatására 2005-2020, 1-4 blokk éves átlag



Éves kollektív dózis (2008-2020) mSv, 1-4 blokk

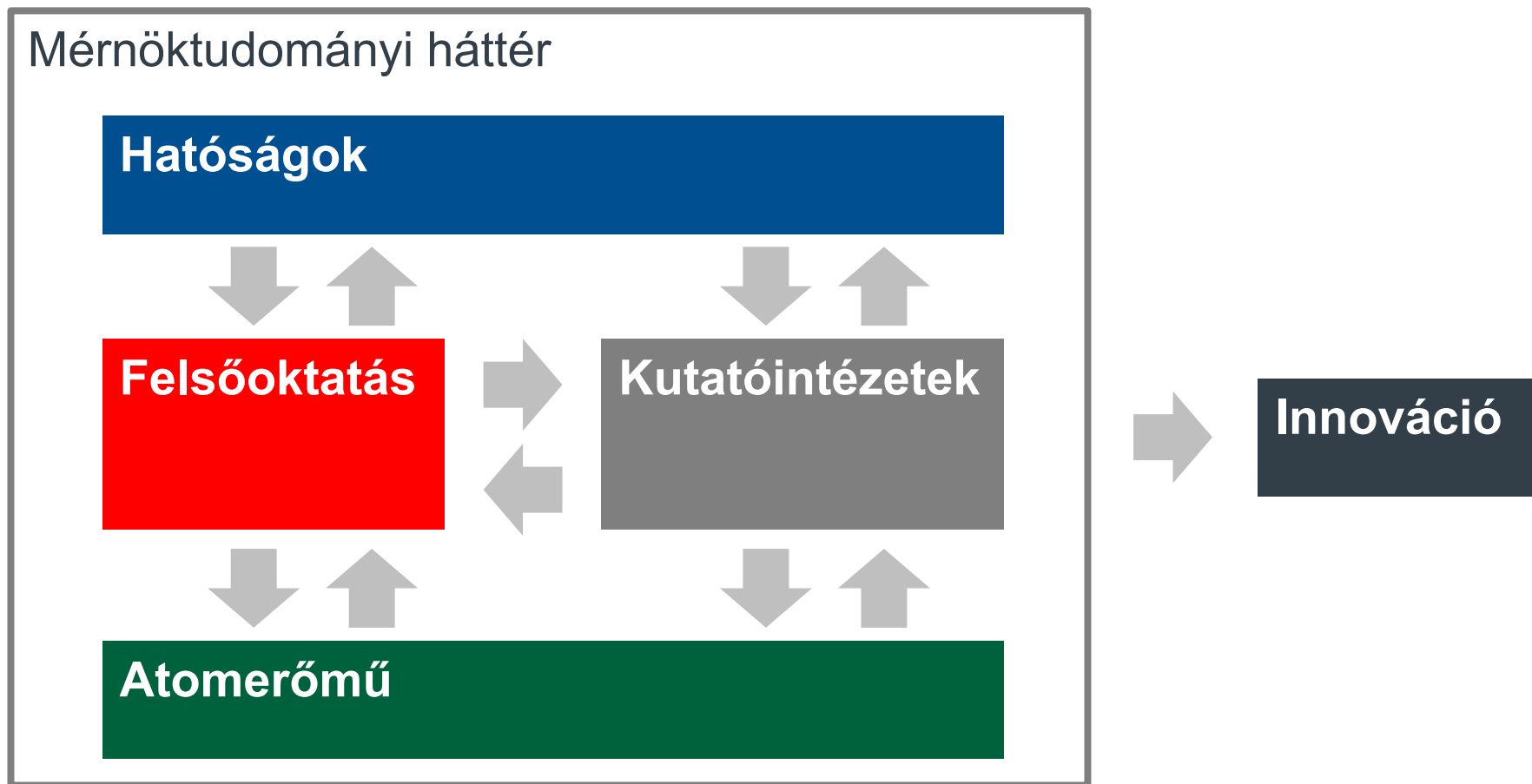


Az innovációk egymásra épülnek => kultúra



Oktatás

Mérnöktudományi háttér



- A múltbeli oktatásba történt befektetések teremtették meg a jelen innovációinak alapjait.
- A jelenkori befektetéseink a jövőnk záloga, ezért társadalmi felelősségünk is egyben.

Köszönöm a figyelmet!