



A paksi kapacitás-fenntartási projekt

Prof. Dr. Aszódi Attila

Paksi Atomerőmű kapacitásának fenntartásáért felelős kormánybiztos
Miniszterelnökség

Fórum az atomerőművi kapacitás fenntartásáról
BME Energetikai Szakkollégium
2014. november 12.

Jövőkutatás

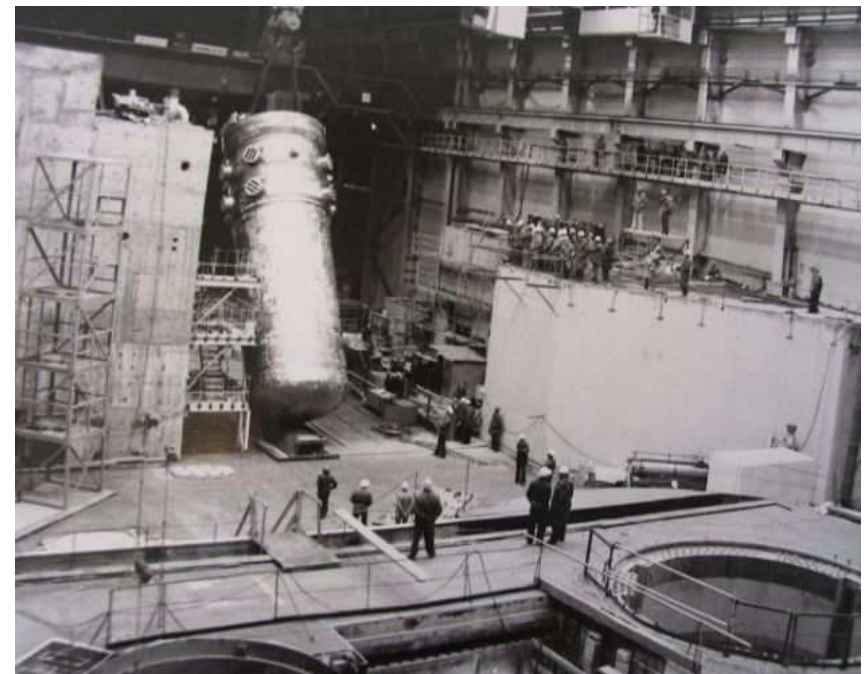
- Negyven évvel ezelőtt...
- ...megkezdődött a paksi atomerőmű 1. és 2 blokkjának építése.
- Az ország legnagyobb beruházása a XX. században
 - Komoly dilemma volt, szüksége van-e rá az országnak
 - Ma már biztosan állíthatjuk, igen!
- És most újra ebben a helyzetben vagyunk.



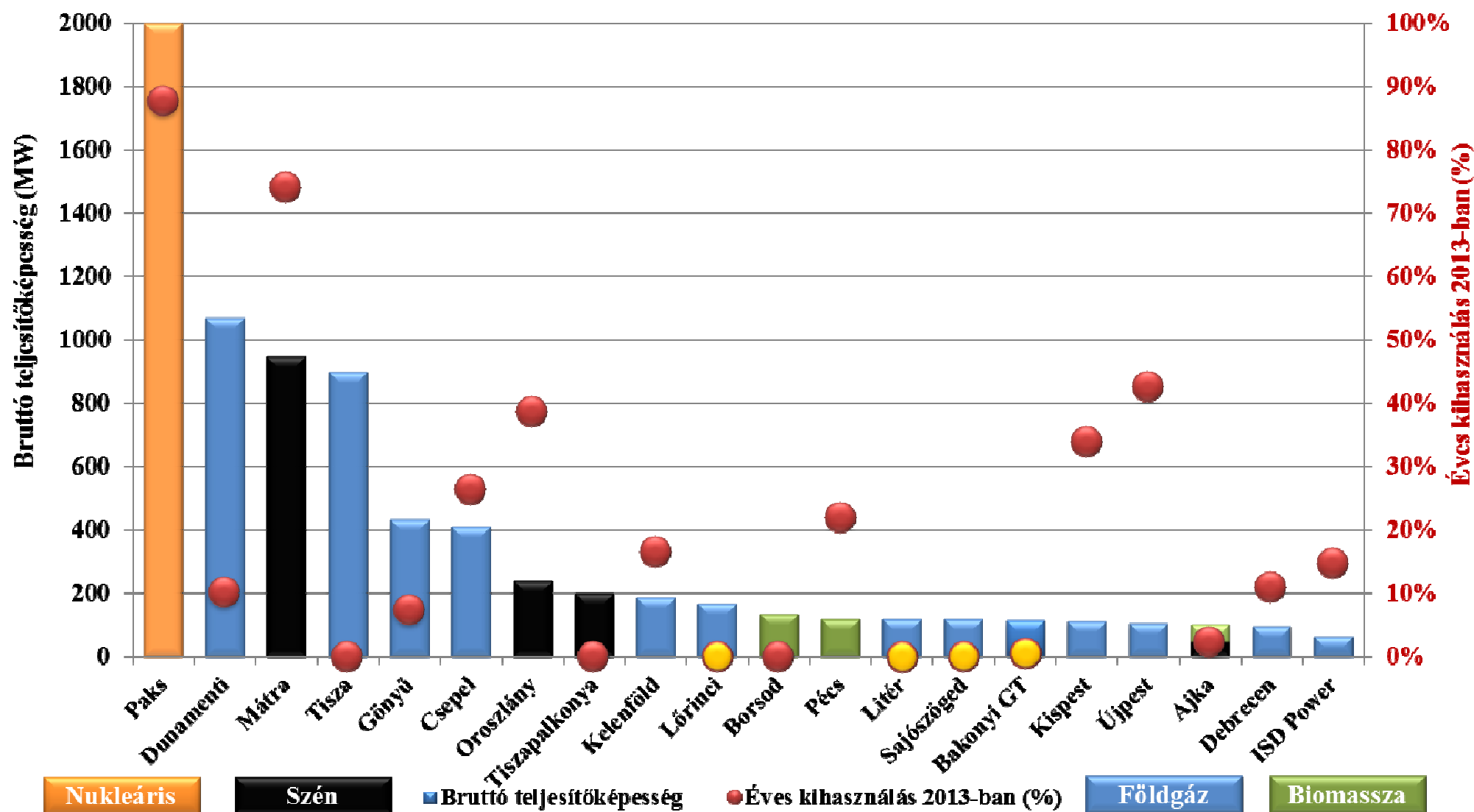
Csúcsidőben 10 000 ember dolgozott az építkezésen



A mostani blokkok építése

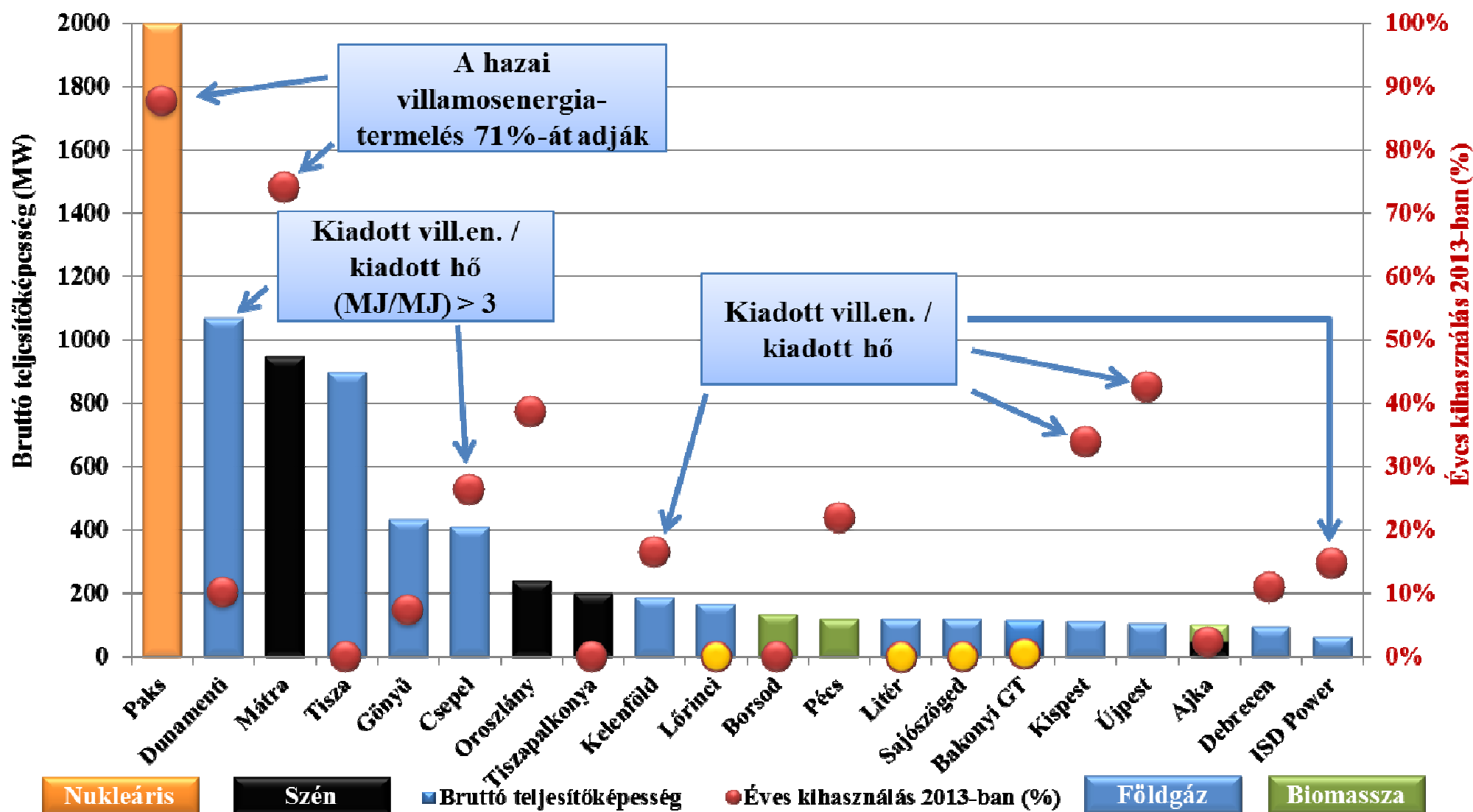


A hazai nagyerőművek működése 2013-ban



Forrás: Mavir (2014): A magyar villamosenergia-rendszer közép- és hosszú távú forrásoldali kapacitásfejlesztése 2014

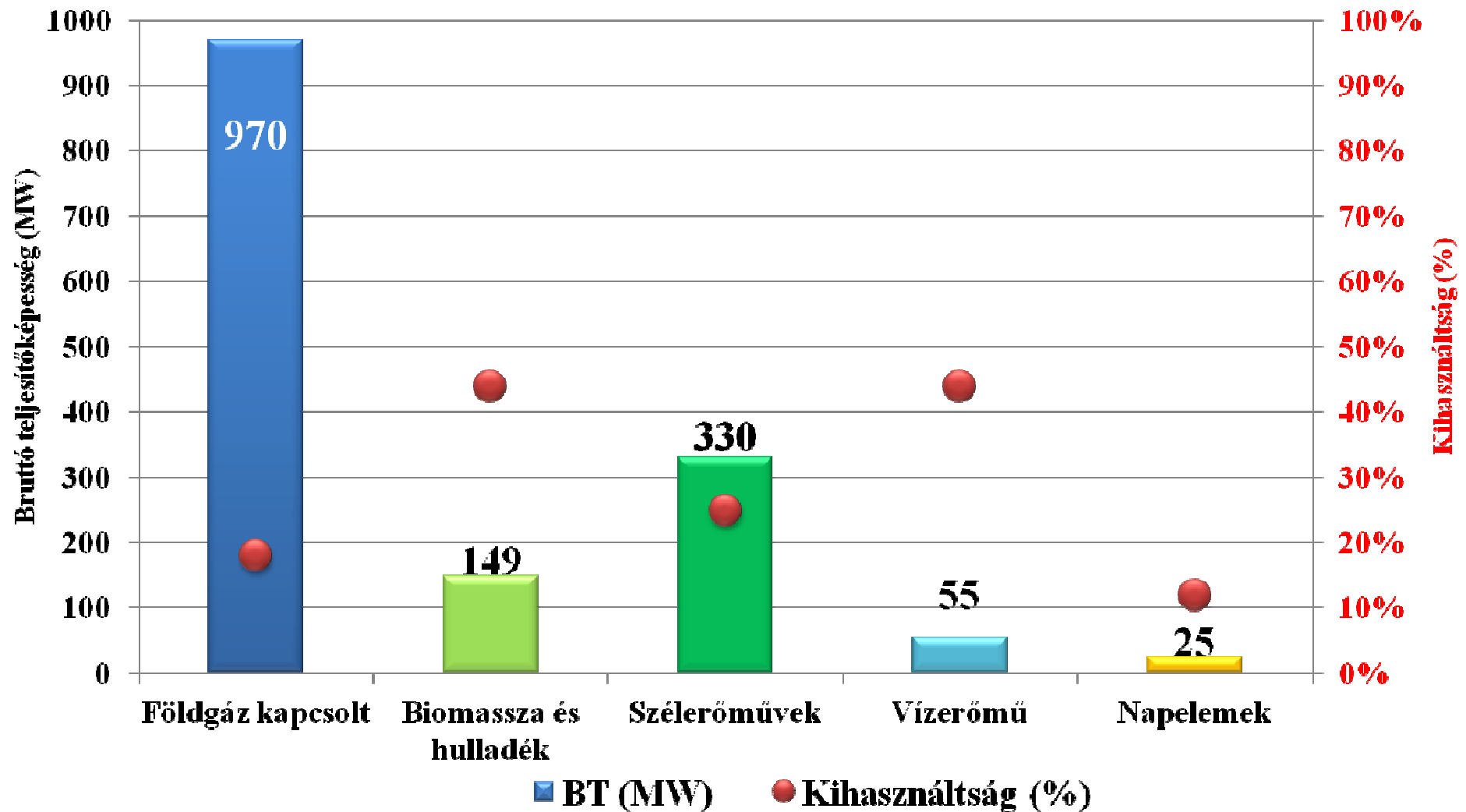
A hazai nagyerőművek működése 2013-ban



Forrás: Mavir (2014): A magyar villamosenergia-rendszer közép- és hosszú távú forrásoldali kapacitásfejlesztése 2014

A hazai kiserőművek működése 2013-ban

A hazai kiserőművek működése 2013-ban

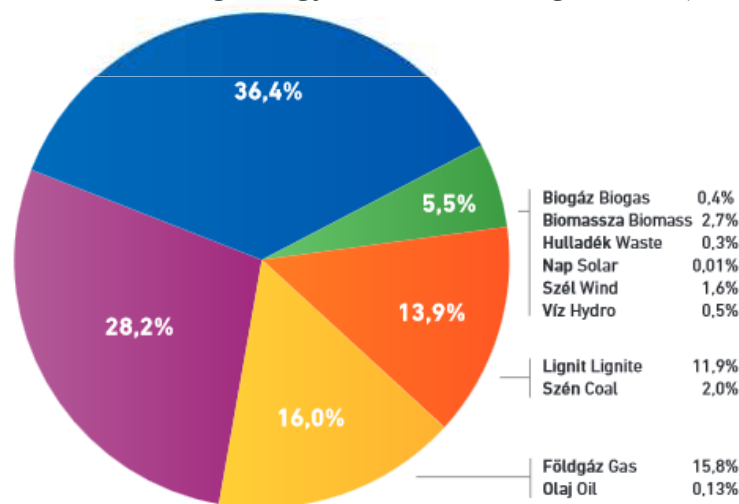


Forrás: Mavir (2014): A magyar villamosenergia-rendszer közép- és hosszú távú forrásoldali kapacitásfejlesztése 2014, saját számítások

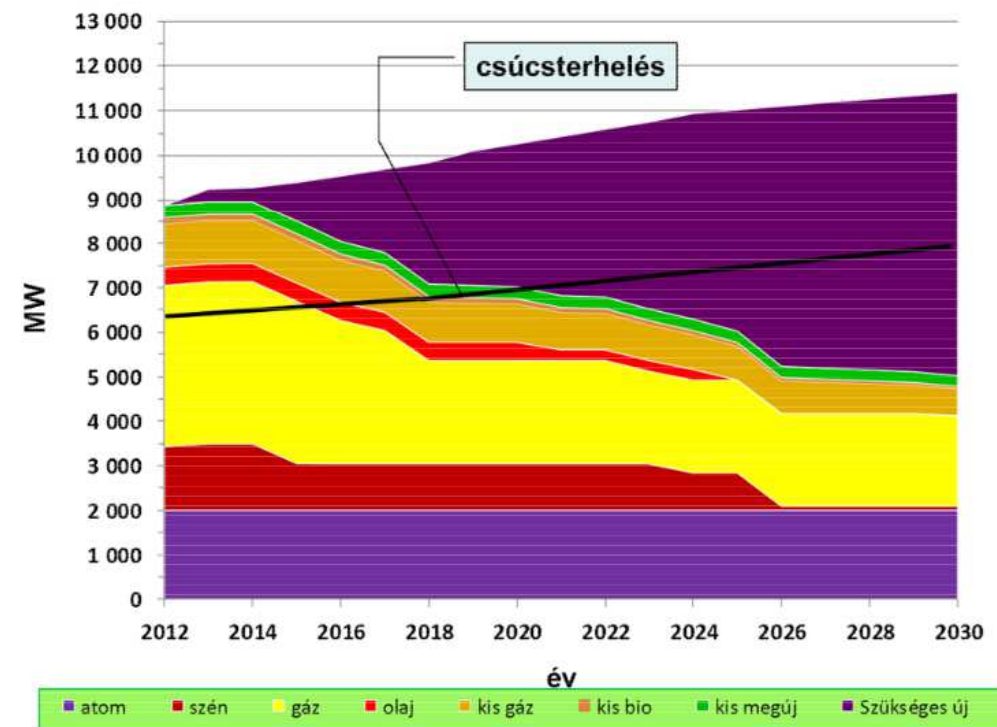
A hazai villamosenergia-fogyasztás

- 2013: Teljes bruttó villamosenergia-felhasználás: 42 189,2 GWh
 - Hazai termelés: 30 311,5 GWh
 - Import energia: 11 877,7 GWh
- Várható energiaigény-növekedés: 1,3%/év (később 1%/év)
- 2030-ig kb. 7300 MW új termelő kapacitást kell létesíteni
 - Ebből 3100-6500 MW-nyi lehet a nagyerőművek kapacitás (pl. atomerőmű), 1600 MW megújuló alapú kiserőmű

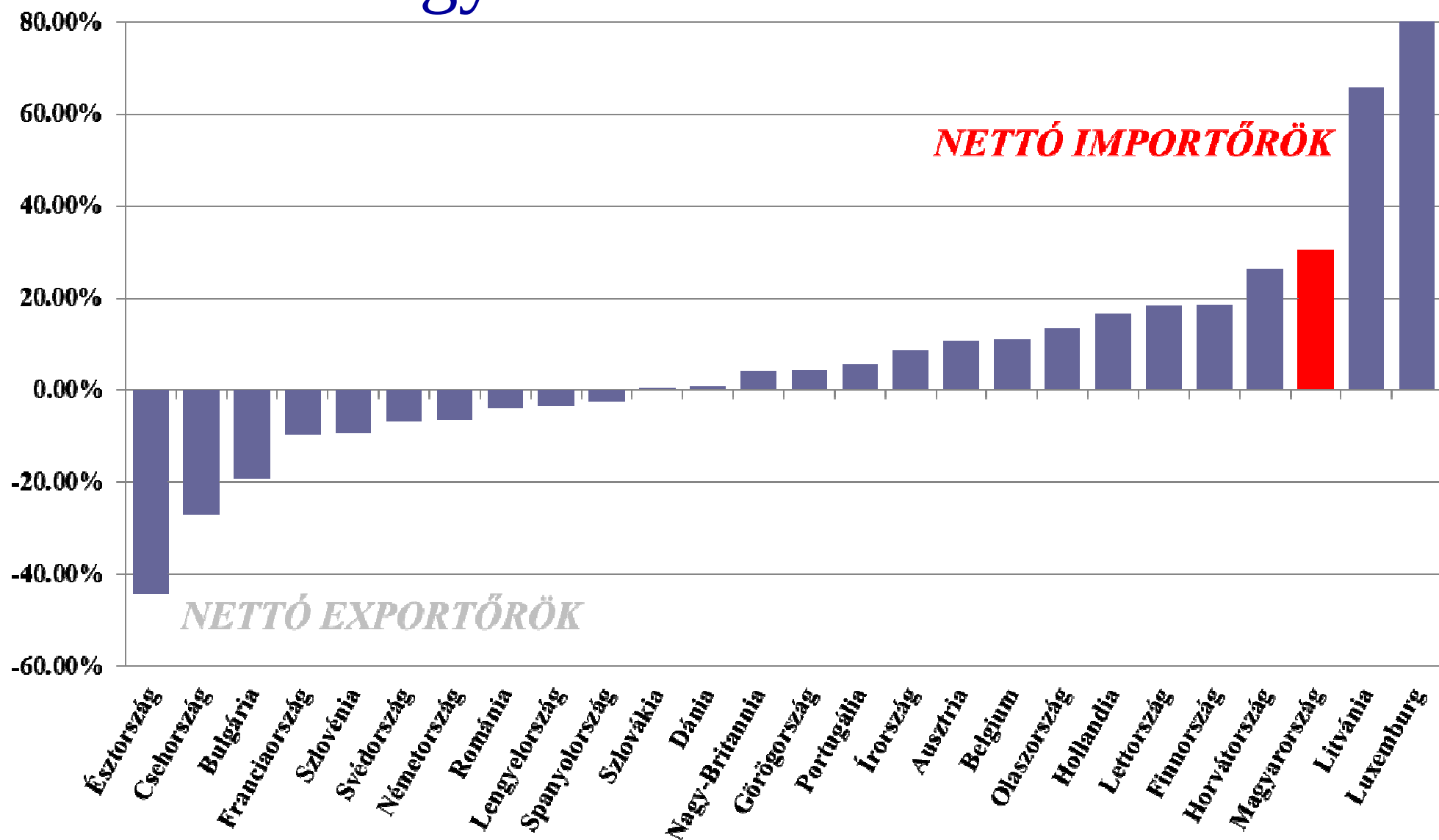
A bruttó villamosenergia-fogyasztás forrásmegoszlása (MAVIR)



B Import-Export szaldó Import-Export balance Nukleáris Nuclear Szén és Lignit Coal and Lignite Szénhidrogén Hydrocarbon Megújuló Renewable

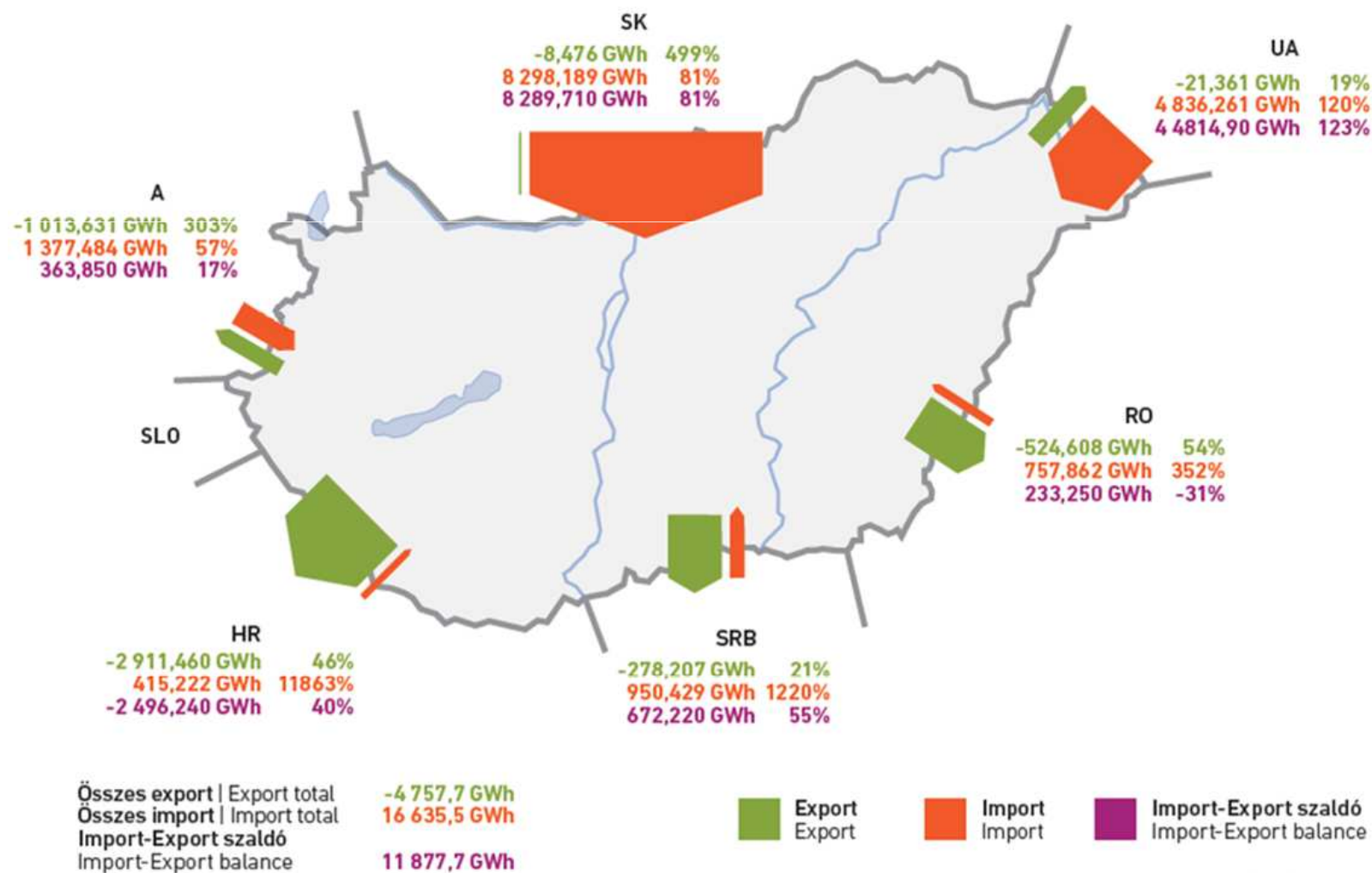


Nettó villamosenergia-import aránya a fogyasztásban 2013-ban



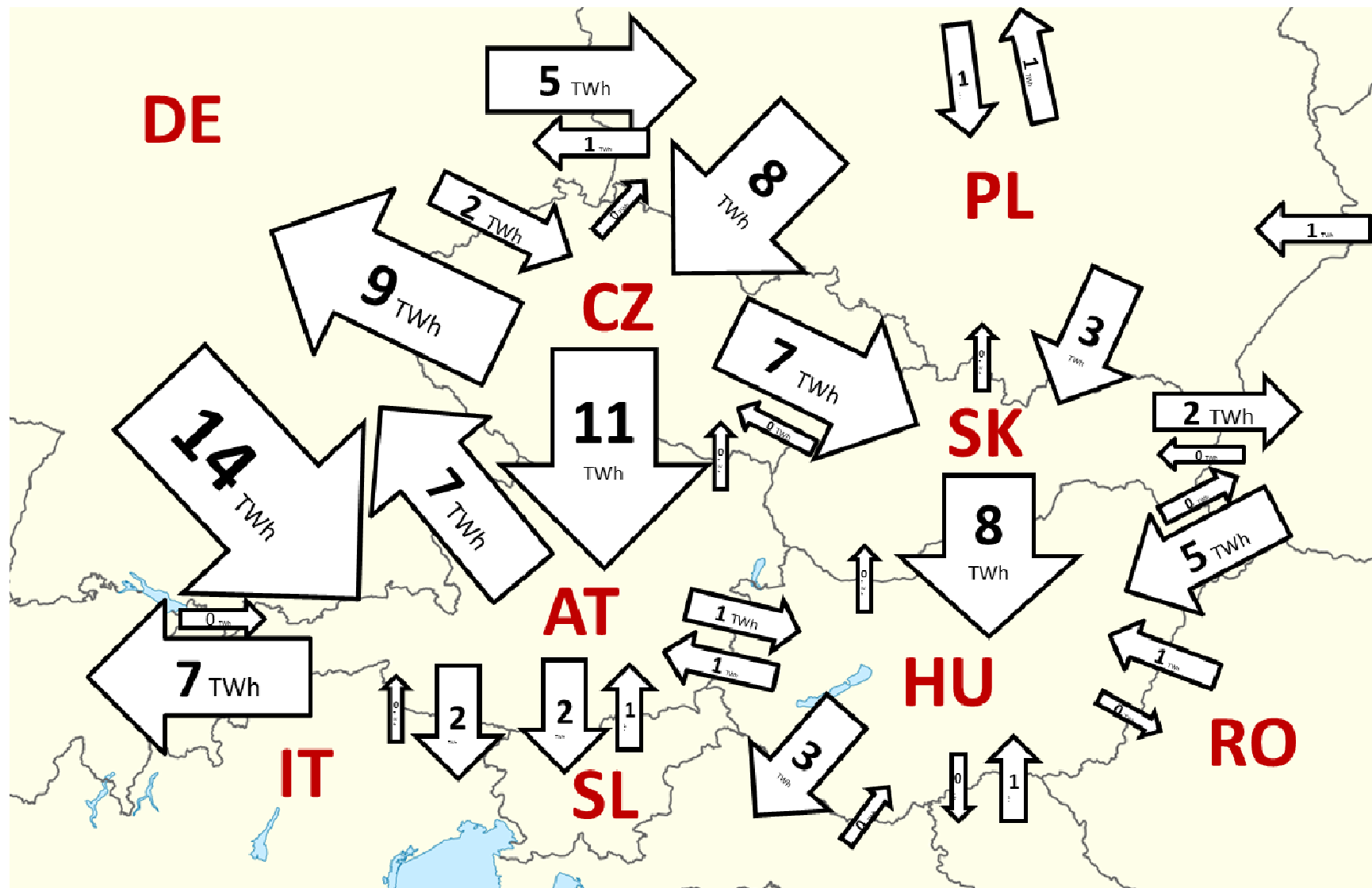
Forrás: ENTSO-E adatok

Nemzetközi fizikai villamosenergia-forgalom 2013-ban



Forrás: Mavir (2014): A magyar villamosenergia-rendszer adatai 2013

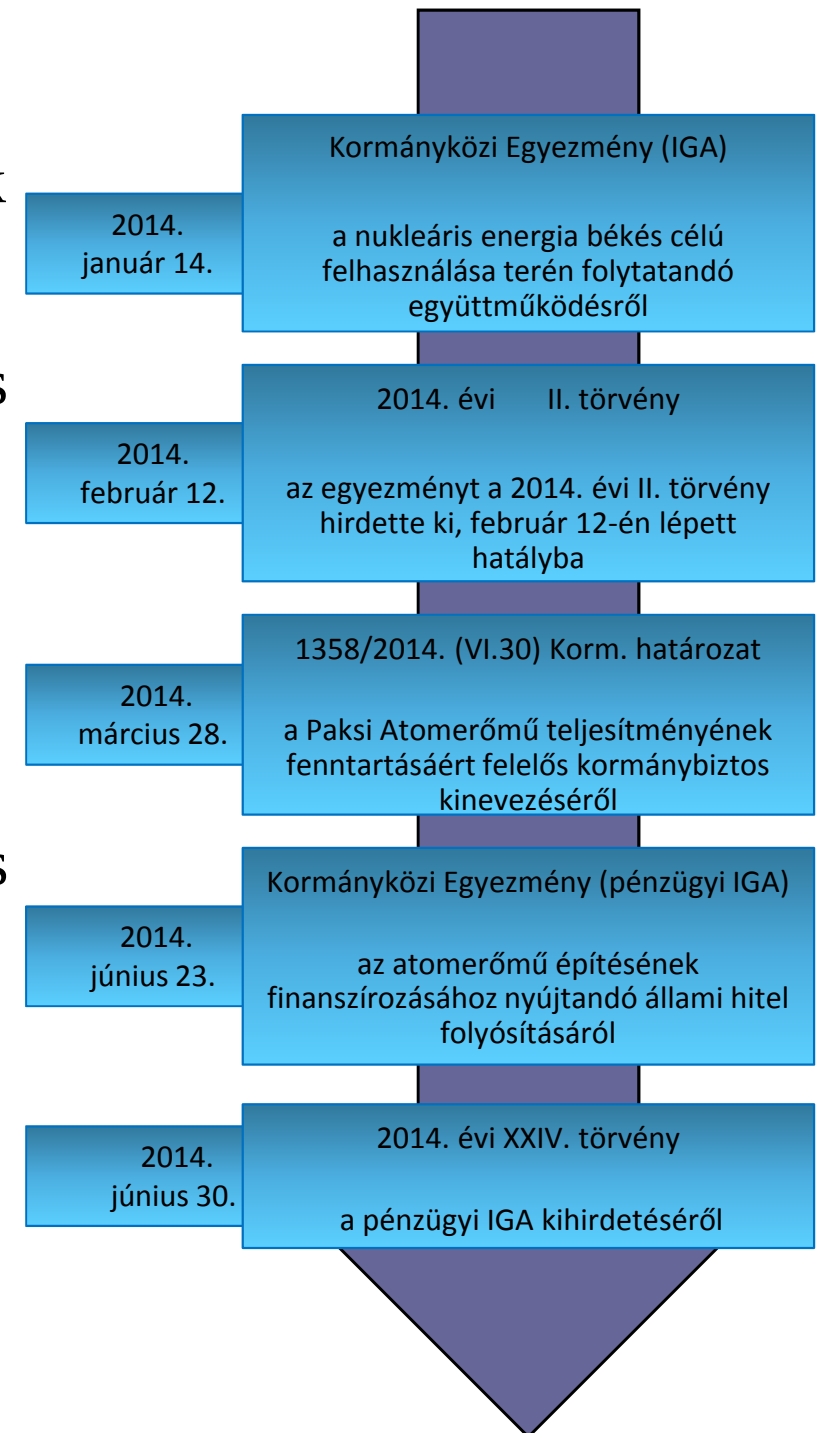
A CEE régió villamosenergia-kereskedelme 2013-ban



Forrás: ENTSO-E adatok, saját ábrázolás

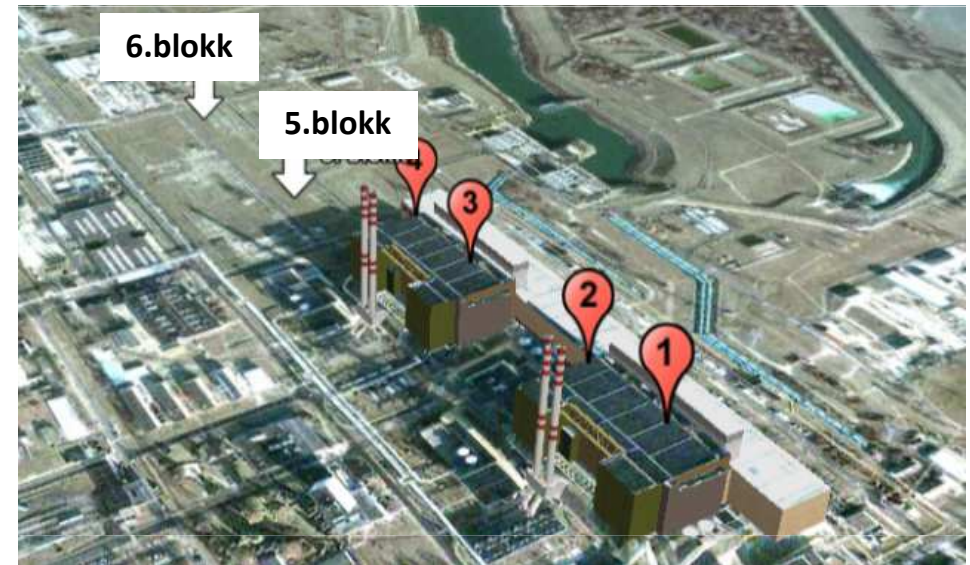
Előzmények

- A paksi bővítés gondolata a nyolcvanas évek óta fel-felbukkan (az eredeti telephelyen további 2*1000 MW-os blokkot terveztek)
- 90-es évek: kapacitásbővítési tender, győztes nélkül
- 2008: energiapolitikai koncepció: ellátás-biztonsági és klímavédelmi célok alapján döntéselőkészítő munka kezdődött
- 2009. március 30.: Parlament elvi jóváhagyása
- 2014. január 14: magyar-orsz megállapodás
 - A Roszatom két új, egyenként 1200 MW-os atomerőművi blokkot építhet Pakson
 - Az orosz fél a beruházási költségek 80%-át biztosítja államközi hitel segítségével
- Tárgyalások magas politikai szinten történtek, korábban előkészületek tenderre



Magyar-orosz kormányközi egyezmény

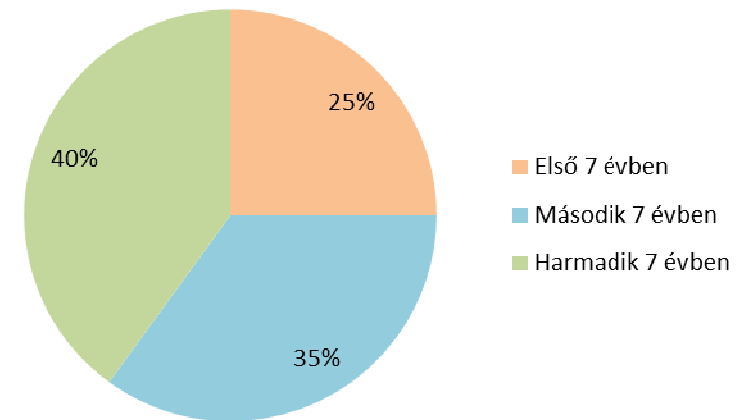
- Az 1966-os magyar-szovjet atomenergetikai együttműködési egyezményen alapul
- Az együttműködés fő célja:
 - két új reaktor építése egyenként „legalább 1000 MW kapacitással”
- Az egyezmény kulcseleme a 40%-os lokalizációs szint célkitűzése
- Az orosz fél a tervezésben (dokumentáció, előzetes biztonsági jelentés), építés kivitelezésben, üzembe helyezésben, oktatásban segít
- A nukleáris üzemanyaggal kapcsolatban:
 - Az orosz fél szállítja az üzemanyagot az első 20 évben.
 - Szerződés a kiégett üzemanyag kezeléséről (ideiglenes tárolás vagy reprocesszálás).
 - A kiégett üzemanyag vagy a reprocesszálási maradék visszakerül Magyarországra.



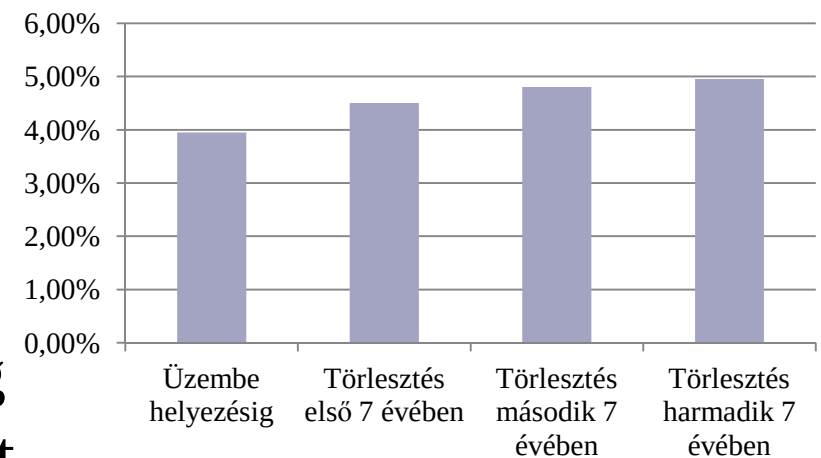
Az új blokkok telephelye

Finanszírozás

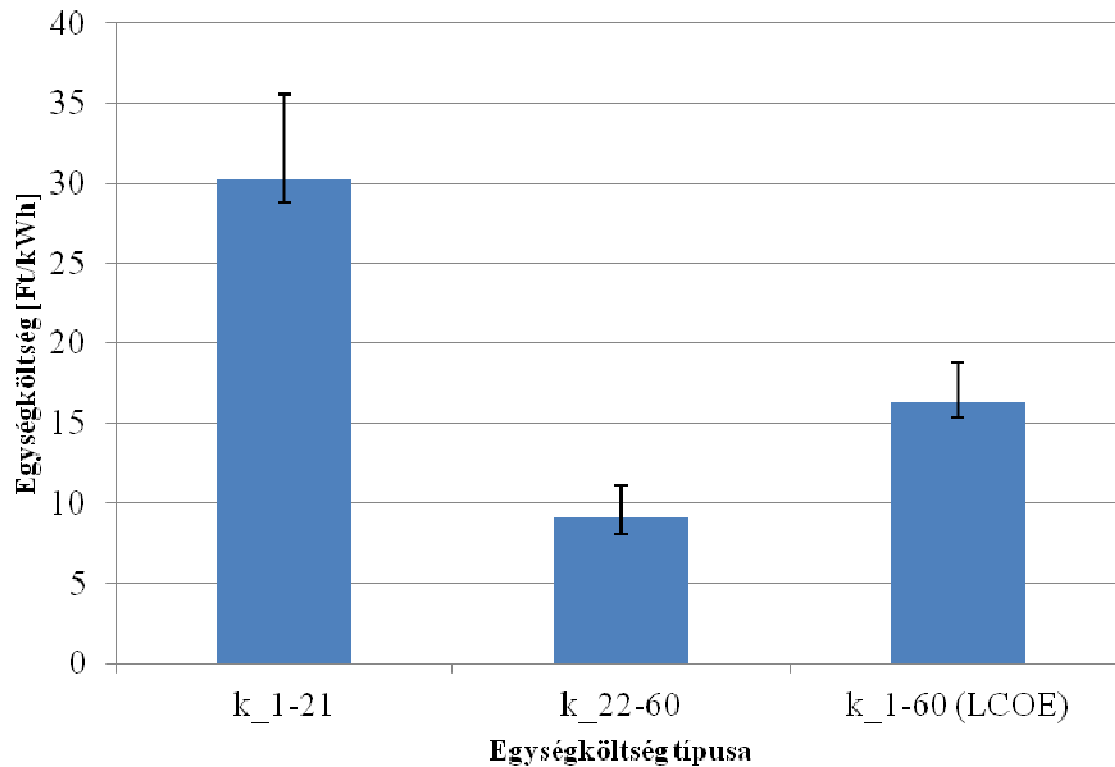
- A finanszírozásról külön orosz-magyar kormányközi egyezmény
- Oroszország max. 10 milliárd euró állami hitelt nyújt a beruházáshoz (80%), 20%-ot a magyar fél biztosít
- A hitel 2014-2025 között áll rendelkezésre
- Törlesztés:
 - Az első blokk üzemének kezdetekor, de legkésőbb 2026. március 15-én kezdődik
 - Évente kétszer
 - A törlesztési időszak 21 év, változó törlesztési összegekkel 3*7 évre
 - Lépcsős kamatozás 3,95%-tól 4,95%-ig
- A kedvezményes hitel az orosz ajánlat fő vonzereje!



A visszafizetendő részletek (fent) és a kamatlábak alakulása (lent)



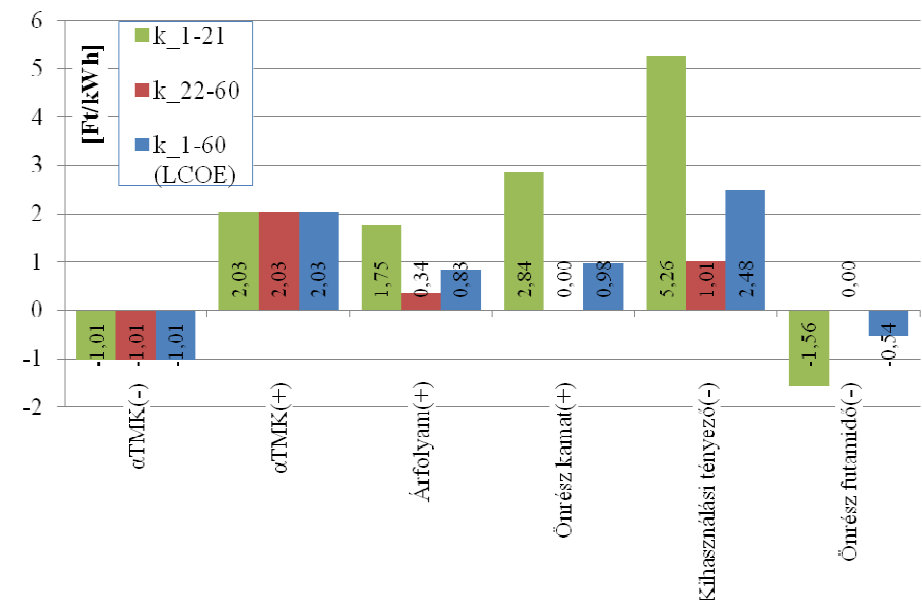
Paks2 költségelemzése - érzékenységvizsgálat



A villamosenergia-termelés egységköltsége lépcsős kamatozású (3,95% - 4,9%) orosz hitel és fix kamatozású önrész hitel esetén, továbbá az érzékenységvizsgálat során tapasztalt legnagyobb eltérések okozta bizonytalanság

Egyszerű egységköltség-számítások szerint teljes (60 éves) üzemidőre számított villamosenergia-termelési egységköltség (LCOE) jelenértéken 15-17 Ft/kWh

Változtatott paraméter	Változtatás mértéke	k_{1-21} [Ft/kWh]	k_{22-60} [Ft/kWh]	k_{1-60} (LCOE) [Ft/kWh]
α_{TMK}	1,00%	29,29	8,05	15,36
	1,50%	30,30	9,07	16,38
	2,00%	31,31	10,08	17,39
	2,50%	32,33	11,09	18,40
Árfolyam	300	30,30	9,07	16,38
	310	31,18	9,24	16,79
	320	32,05	9,41	17,20
Önrész hitelkamat	8%	30,30	9,07	16,38
	10%	31,61	9,07	16,83
	12%	33,14	9,07	17,35
	96%	30,30	9,07	16,38
Kihasztnálási tényező	92%	31,44	9,29	16,92
	90%	32,05	9,41	17,20
	85%	33,71	9,72	17,98
	80%	35,56	10,08	18,85
	21	30,30	9,07	16,38
	15	29,42	9,07	16,07
	10	28,74	9,07	15,84



További tárgyalások

- A két államközi szerződés az együttműködés kereteit illetve a finanszírozás feltételeit rögzítik
- Tárgyalások a Roszatommal három fő területen (Megvalósítási Megállapodások):
 - Új blokkok tervezési, beszerzési és kivitelezési kérdései (EPC szerződés);
 - Blokkok üzemeltetési és karbantartási támogatása;
 - Nukleáris üzemanyag ellátás, kiégett üzemanyag kezelés;



A Leningrád-II építése

Forrás: Titan2.ru

Mit szól ehhez az EU?

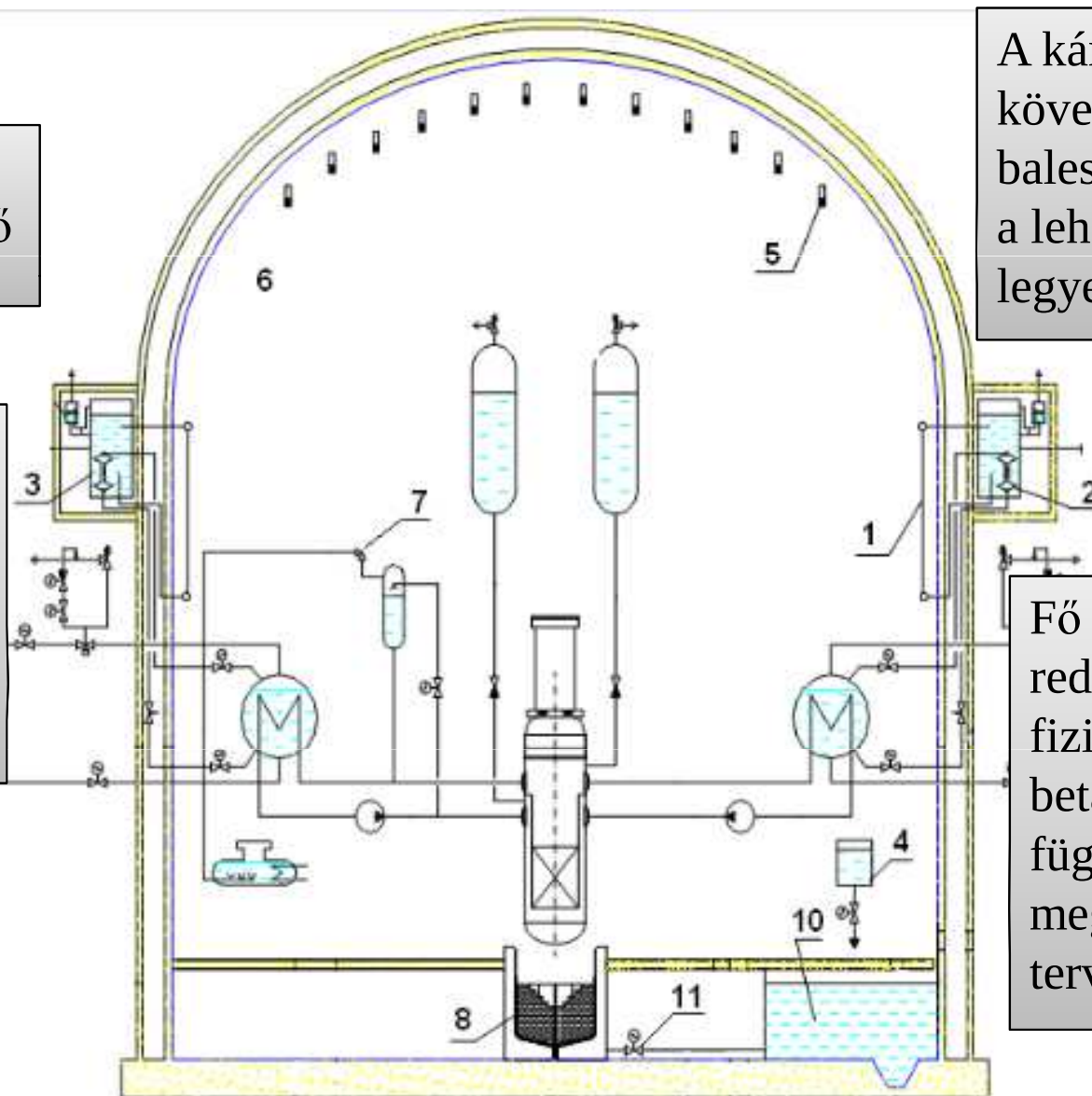
- Az EU-t előre meghatározott esetekben kell értesíteni (EURATOM szerződés alapján, az EURATOM hatálya alá eső témáknál)
 - Ez pl. a kormányközi egyezmények esetében is megtörtént
- Folyamatos egyeztetés az EU illetékes szerveivel több területen



Milyen reaktort akar a magyar fél?

A nukleáris biztonság a fő prioritás!

A típusnak meg kell felelnie a hazai követelményeknek (NBSZ) és a nemzetközi ajánlásoknak

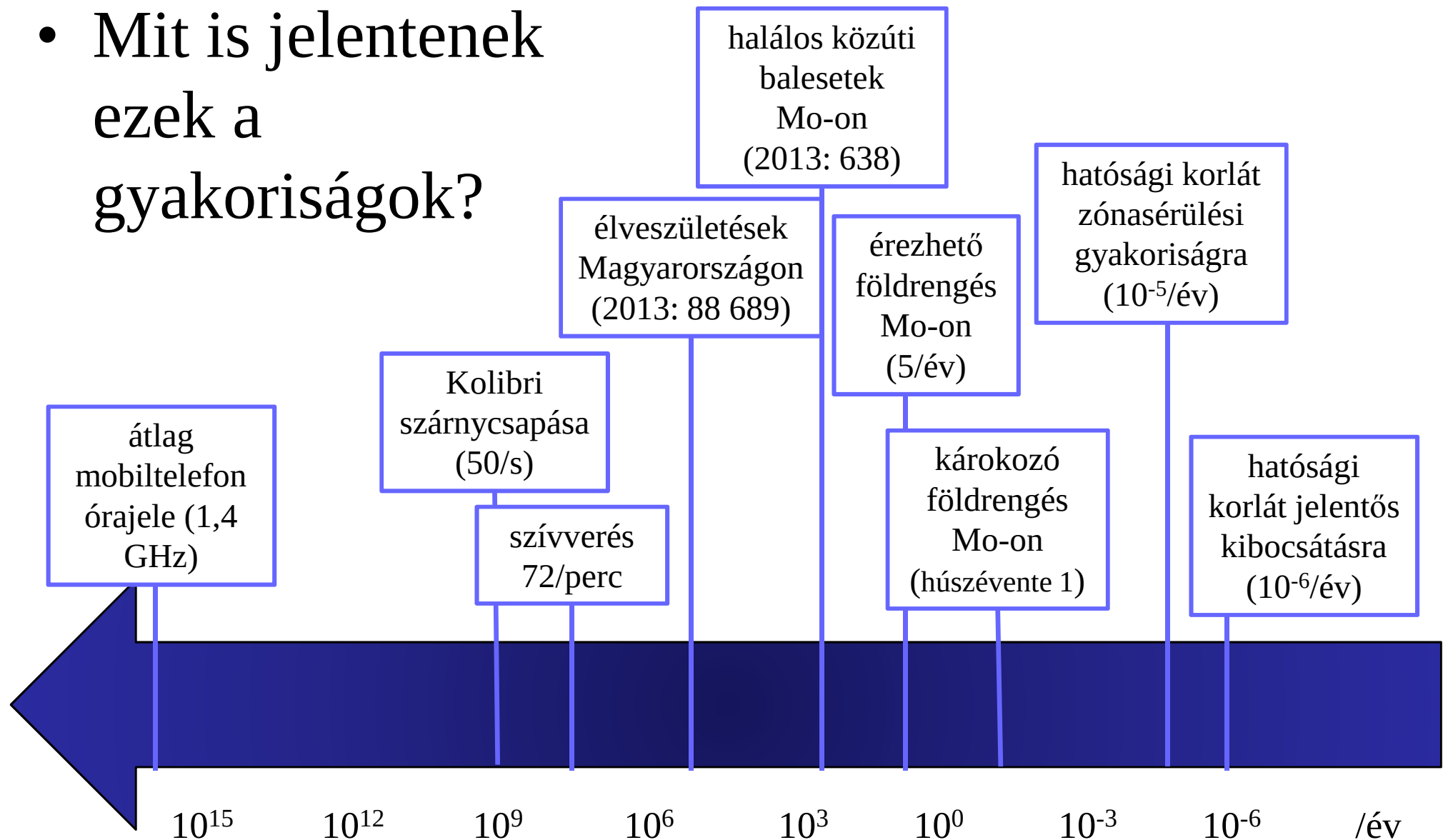


A káros következményekkel járó balesetek valószínűsége a lehető legkisebb legyen

Fő szempontok: redundancia, diverzitás, fizikai és villamos betáplálás elválasztása, függetlenség, meghibásodás-védett tervezés

Biztonsági követelmények új atomerőművekkel szemben

- Mit is jelentenek ezek a gyakoriságok?



Biztonsági követelmények új atomerőművekkel szemben

- A hazai szabályozás (118/2011. kormányrendelet mellékletei – Nukleáris Biztonsági Szabályzatok) szerinti üzemállapot meghatározások:

Tervezési alap				Tervezési alap kiterjesztése	
Normál üzemi állapot	Tervezési alapba tartozó események			Tervezési alapot meghaladó események	
		Tervezési üzemzavarok			
Normál üzem	Várható üzemi események	Kis gyakoriságú tervezési üzemzavarok	Nagyon kis gyakoriságú tervezési üzemzavarok	Tervezésen túli üzemzavarok	Súlyos balesetek
TA1	TA2	TA3	TA4	TAK1	TAK2

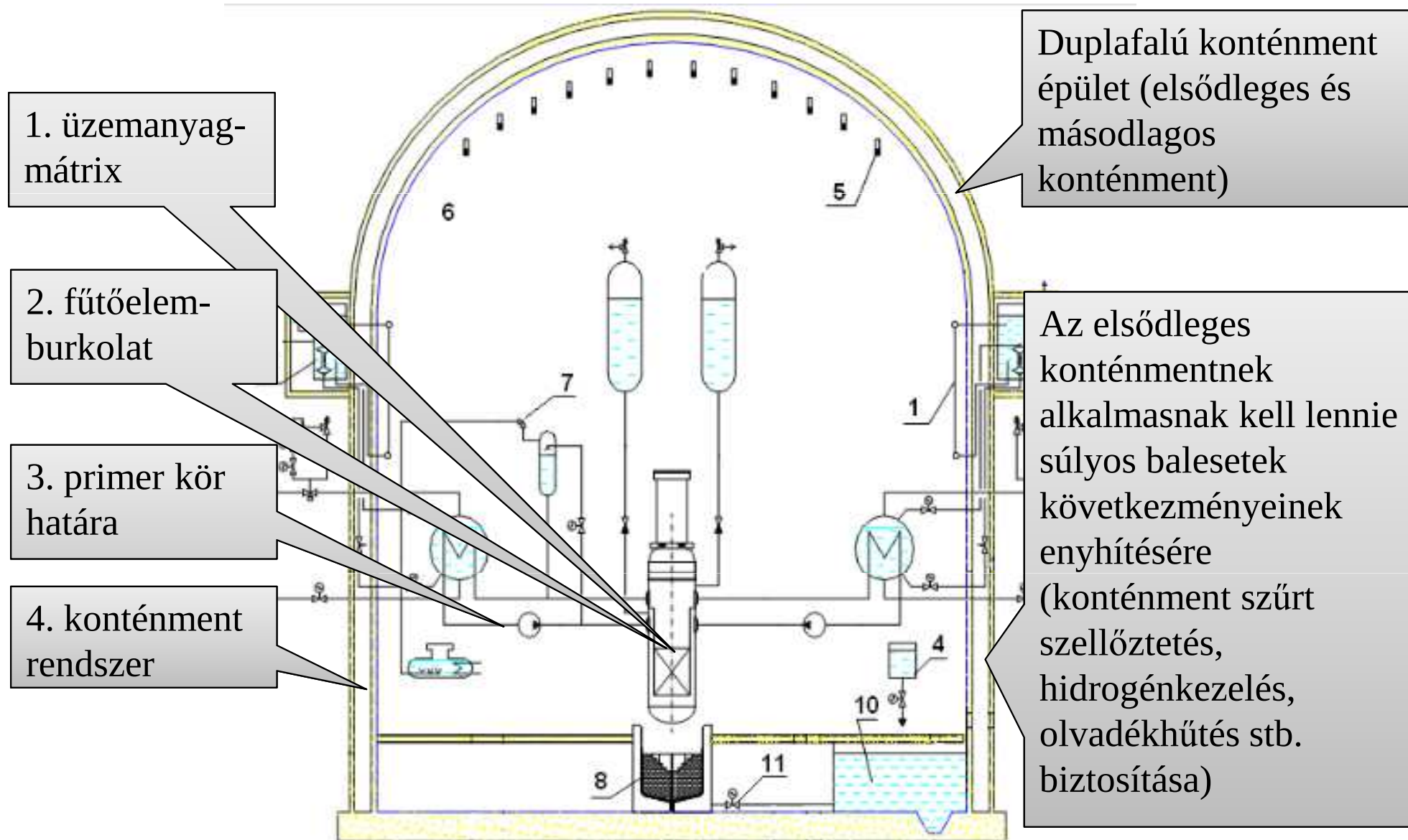
Biztonsági követelmények új atomerőművekkel szemben

- A vizsgált kezdeti eseményeket gyakoriságuk alapján a fenti üzemállapotokhoz kell rendelni:

Üzemállapot	Megnevezés	Gyakoriság (f [1/év])
TA1	normál üzem	1
TA2	várható üzemi események	$f > 10^{-2}$
TA3	kis gyakoriságú tervezési üzemzavarok	$10^{-2} > f > 10^{-4}$
TA4	nagyon kis gyakoriságú tervezési üzemzavarok	$10^{-4} > f > 10^{-6}$

- A zónasérülési gyakoriság új blokk esetén nem haladhatja meg a 10^{-5} /év értéket
- A nagy kibocsátással járó események gyakorisága nem haladhatja meg a 10^{-6} /év-et
- Az elemzésekben kiszűrhetők a
 - belső kezdeti események 10^{-6} /év gyakoriság alatt,
 - külső kezdeti események 10^{-7} /év gyakoriság alatt.

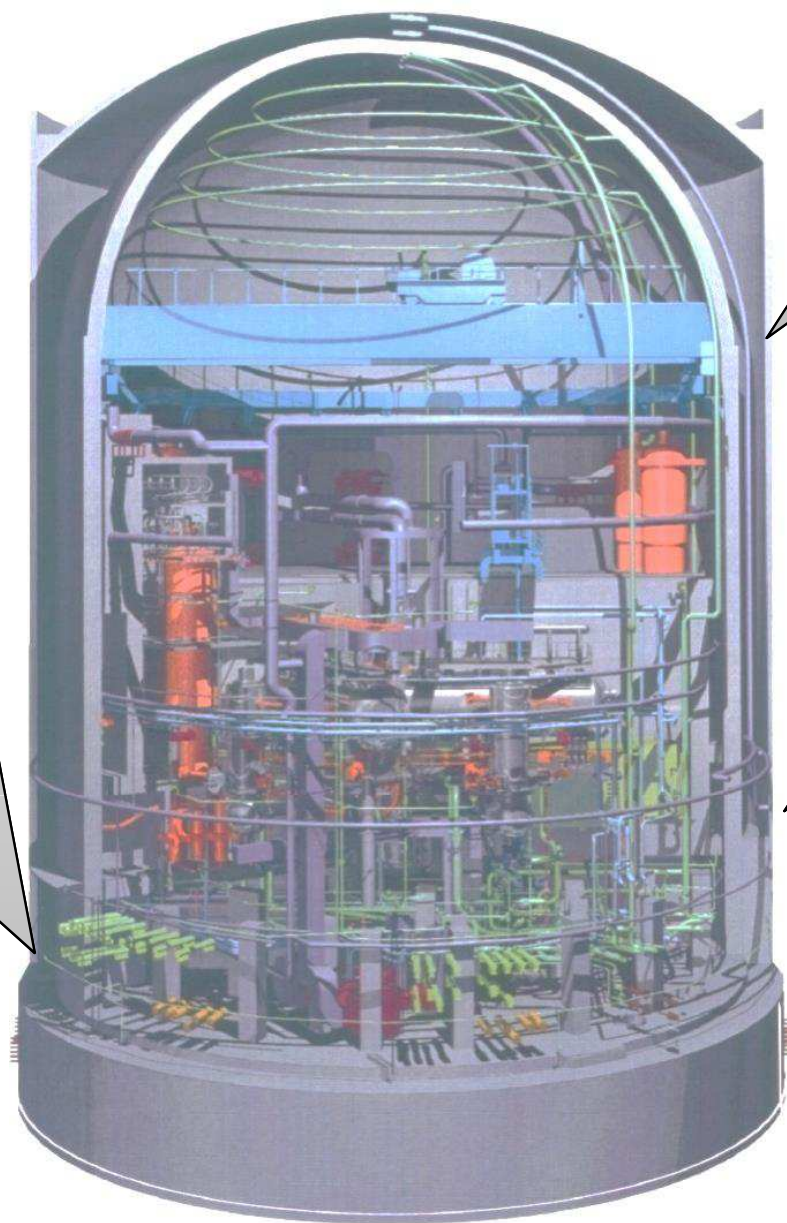
Milyen reaktort akar a magyar fél?



Milyen reaktort akar a magyar fél?

Külső és belső veszélyeztető tényezők meghatározása

- Meteorológiai szélsőségek
- Földrengés
- Áradások
- Repülőgép-becsapódás
- Tűz
- Villamos betáplálás elvesztése
- Emberi tevékenységből eredő hatások
- Stb.



Földrengésre méretezés: legalább 0,25 g maximális vízszintes talajfelszíni gyorsulás

Külső események elleni védelem a konténment rendszer tervezésével (külső konténment)

Milyen reaktort akar a magyar fél?

Terheléskövető
üzemmód lehetősége

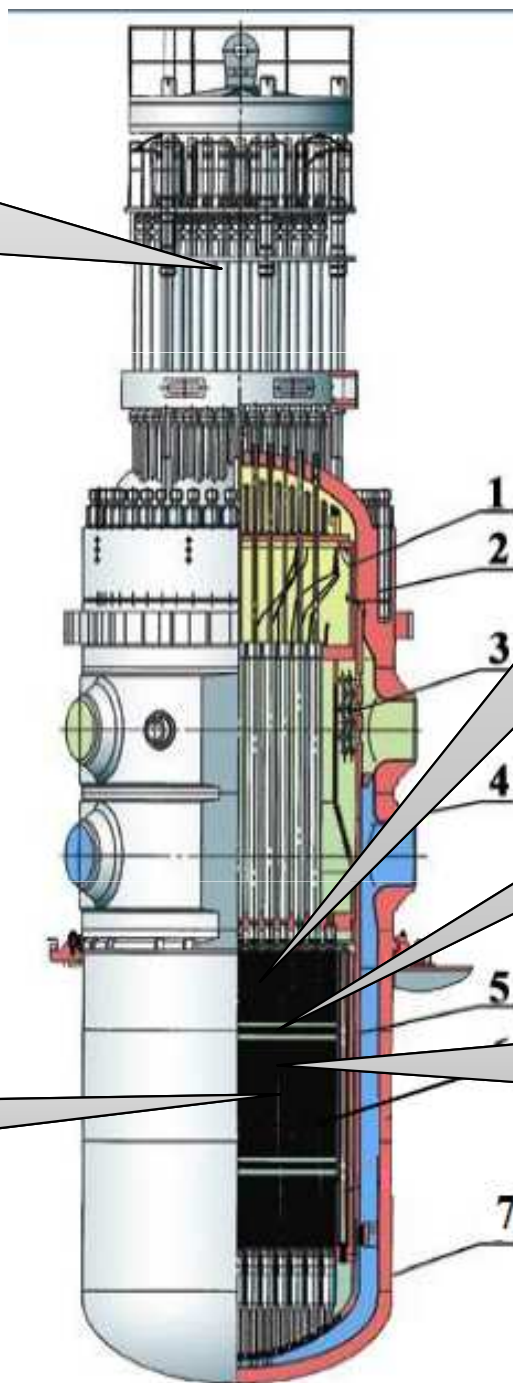
- Folyamatos üzem
- P_{nom} 50-100%
között

Újrafeldolgozás és
közvetlen elhelyezés is
lehetséges legyen

Két független leállító
rendszer

A teljesítménytényező
minden
üzemállapotban negatív
legyen

MOX és ERU kazetták
alkalmazhatósága



Hűtés

- Mihez kell víz egy atomerőműnél? (Zárójelben a jelenlegi blokkok igénye)

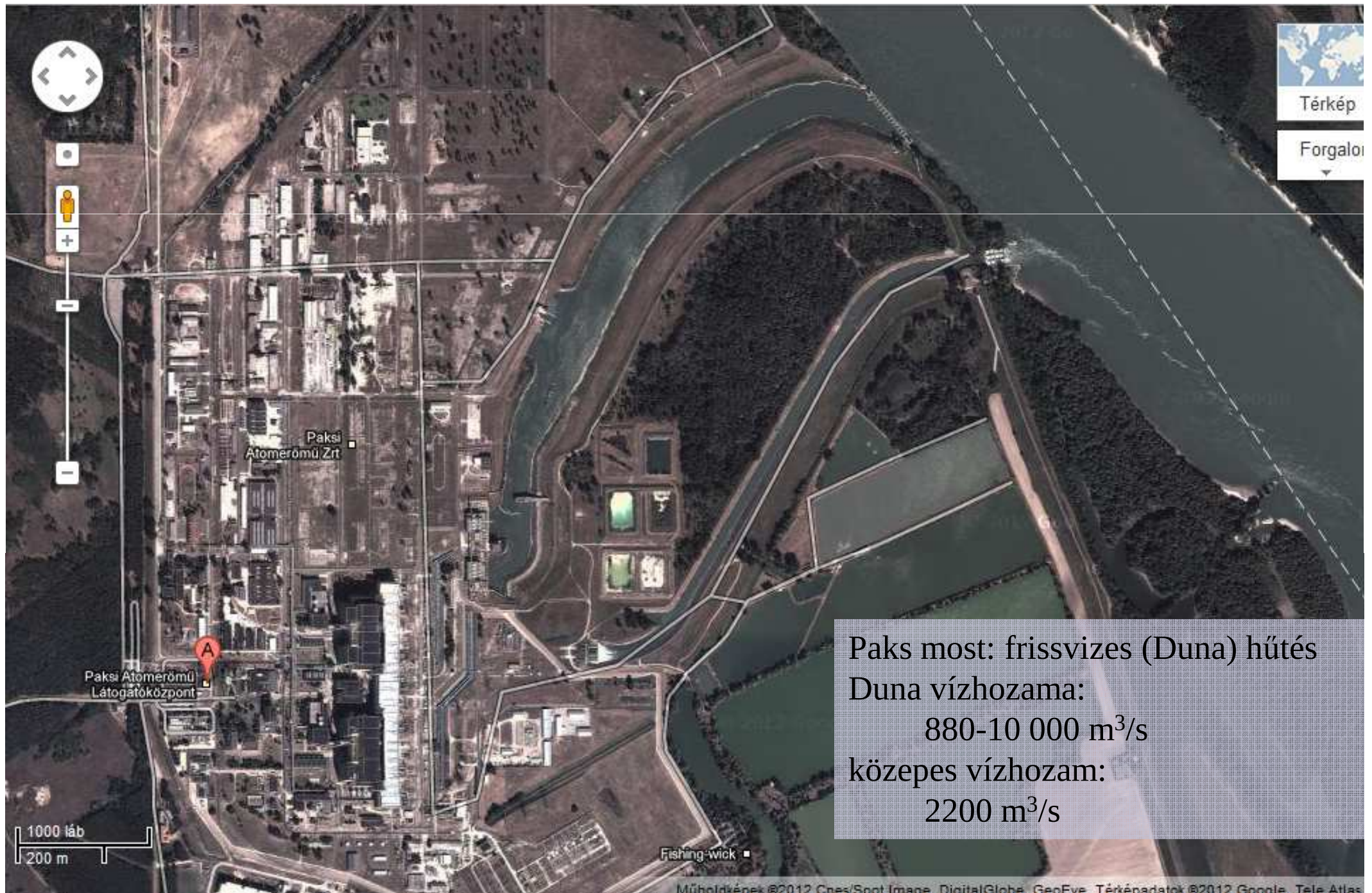
Rendszer	Leírás	Vízigény
kondenzátor hűtővíz	Hűtővíz biztosítása a turbinák kondenzátoraihoz	105 m ³ /s
biztonsági hűtővíz	Létfontosságú biztonsági fogyasztók ellátása hűtővízzel (pl. dízelek hűtése)	3 m ³ /s
technológiai hűtővíz	Egy különleges fontosságú rendszer!	2 m ³ /s
tűzivíz		0,21 m ³ /s
ivó- és szennyvíz		0,01 m ³ /s

Hűtés

- Lehetőségek:
 - Frissvíz-hűtés
 - Hűtőtavas hűtés
 - Nedves hűtőtornyos hűtés
 - Száraz hűtőtornyos hűtés
 - Szóróhűtés (biztonsági hűtővízhez)



Hűtés - Paks



Hűtés - Paks

Melegvíz-csatorna (Fotó: AA)



Hatósági korlátok:

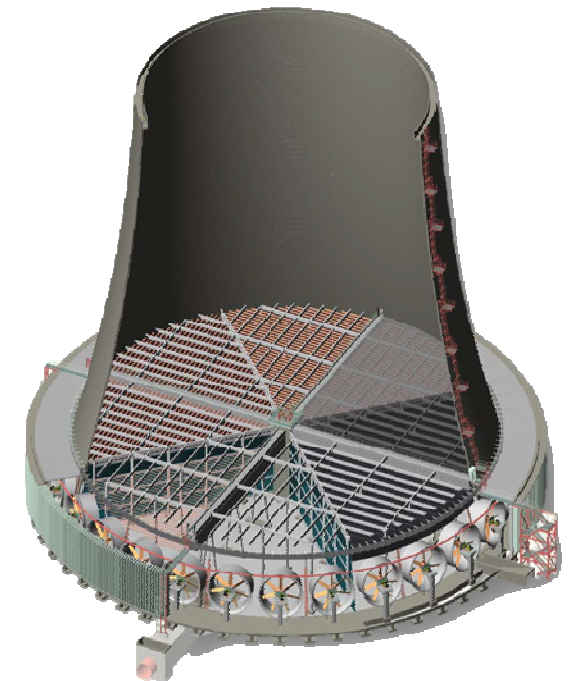
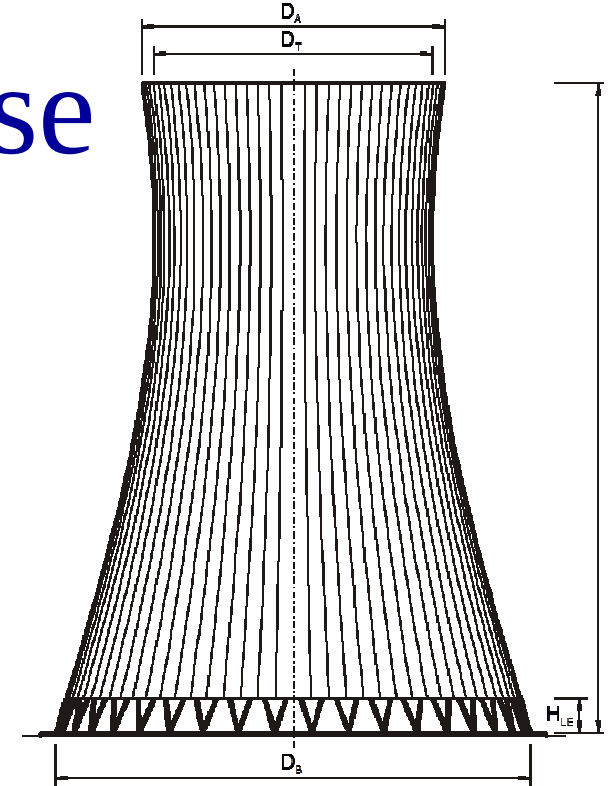
- a visszavezetett hűtővíz és a Duna vízhőfokának különbsége max. 14 ill. 11 °C lehet (Dunavíz hőm. $<$ vagy > 4 °C)
- az energiatörő műtárgytól 500 m-re a Dunavíz hőmérséklete sehol sem lehet 30 °C-nál magasabb.



Kondenzátorhűtővíz-vezeték (Fotó: AA)

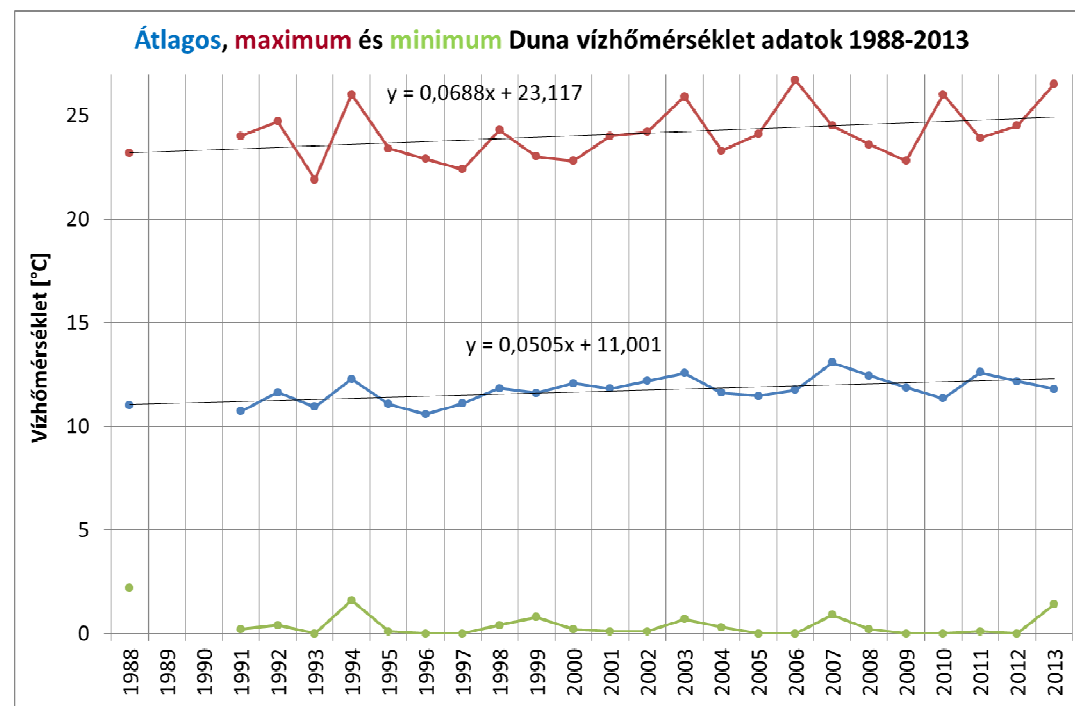
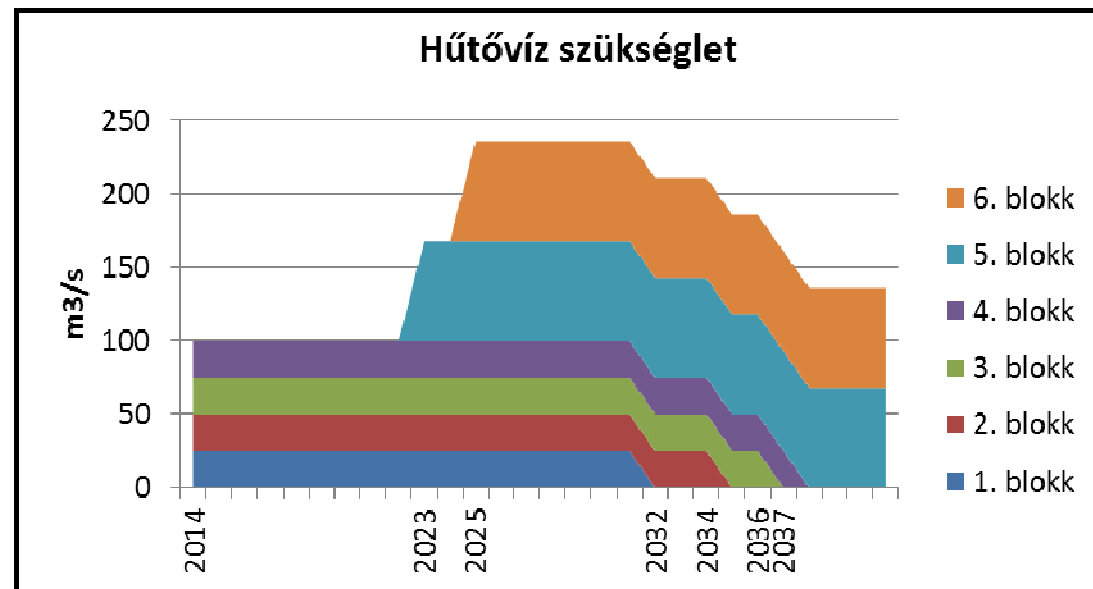
Az új blokkok hűtése

- Mind a frissvizes, mind a hűtőtornyos hűtésre készültek vizsgálatok
- Vizsgálati szempontok: műszaki-tervezési (biztonsági!), környezetvédelmi, gazdasági szempontok
- Vizsgált lehetőségek:
 - hűtőtorony: természetes huzatú nedves (ld. fent), hibrid (páraelnyomásos) hűtőtorony, ventilátoros rásegítésű nedves hűtőtorony (ld. alul)
 - frissvizes hűtés
 - különböző elrendezések hidegvíz- és melegvíz-csatornára



Az új blokkok hűtése – frissvíz-hűtés

- Figyelembe kell venni a klímaváltozás hatásait (Dunavíz-hőmérséklet növekedése)
- Vizsgálni kell az új hideg- és melegvíz-csatornák nyomvonalait, a kiépítés hatásait
- Csúcshűtés megoldása (kibocsátási hőmérséklet korlát miatt). Lehetséges megoldások:
 - Blokkok visszaterhelése
 - Hűtővíz térfogatáram növelése
 - Hűtőcellák alkalmazása



Az új blokkok hűtése

Hűtőtorony

Frissvizes hűtés

ELŐNY

Jelenleg nincs jogszabályi korlátozás a levegő hőterhelésére vonatkozóan

Tiszta „tercier” kör, a biológiai és kémiai szennyeződések kezelése egyszerű

Közel azonos beruházási költség a teljes rendszerre vonatkozóan

Közel azonos szivattyúzási munka

Magas üzemeltetési és karbantartási költségek a pótvíz-rendszer miatt

Tájképbe illeszthetősége problémás (FAND rendszer a NDCT helyett)

Jelentős termeléskiesés az általánosan magasabb kondenzátornyomás miatt

A hűtővíz utánpótlás és a vegyszeres kezelés jelentősen megnöveli az élettartam-költséget!

HÁTRÁNY

HÁTRÁNY

Szigorú előírások a Duna hőterhelésére vonatkozóan

A kémiai/biológiai szennyeződések eltávolítása megfelelő technológiai megoldásokat igényel

Mérsékelt üzemeltetési és karbantartási költségek

Nincs tájképbe illesztési probléma

Minden környezeti hőmérséklet mellett legalacsonyabb kondenzátornyomás

A vízkészletjárulék a hűtőtornyok pótvíz-költségéhez képest alacsony, lényegesen kedvezőbb élettartam-költség

ELŐNY

Javasolt hűtővíz-rendszer nyomvonal

Öblözeti vízkivétel:

- Alacsony élettartam-költség
- Legkedvezőbb területgazdálkodás és környezetvédelem

Hidegvíz-csatorna szinteltolósá keresztelése:

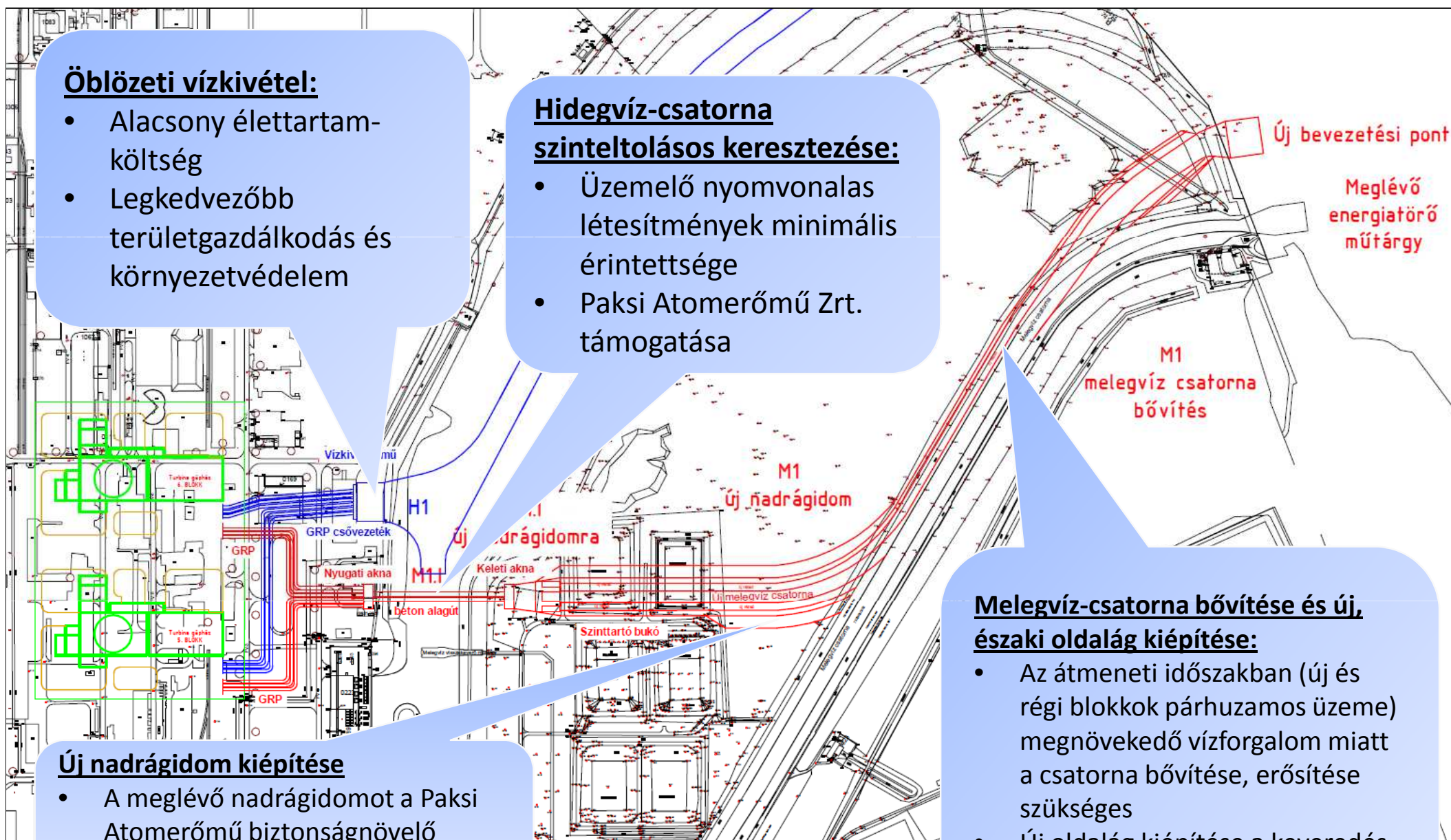
- Üzemelő nyomvonalas létesítmények minimális érintettsége
- Paksi Atomerőmű Zrt. támogatása

Melegvíz-csatorna bővítése és új, északi oldalág kiépítése:

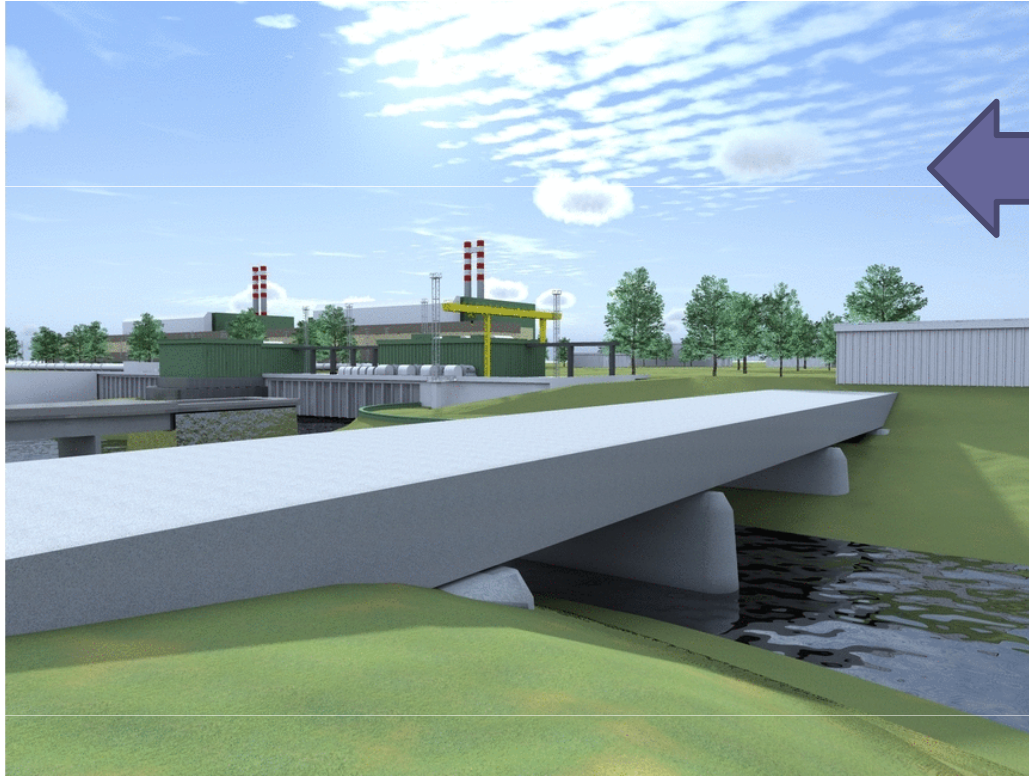
- Az átmeneti időszakban (új és régi blokkok párhuzamos üze) megnövekedő vízforgalom miatt a csatorna bővítése, erősítése szükséges
- Új oldalág kiépítése a keveredés elősegítése érdekében

Új nadrágidom kiépítése

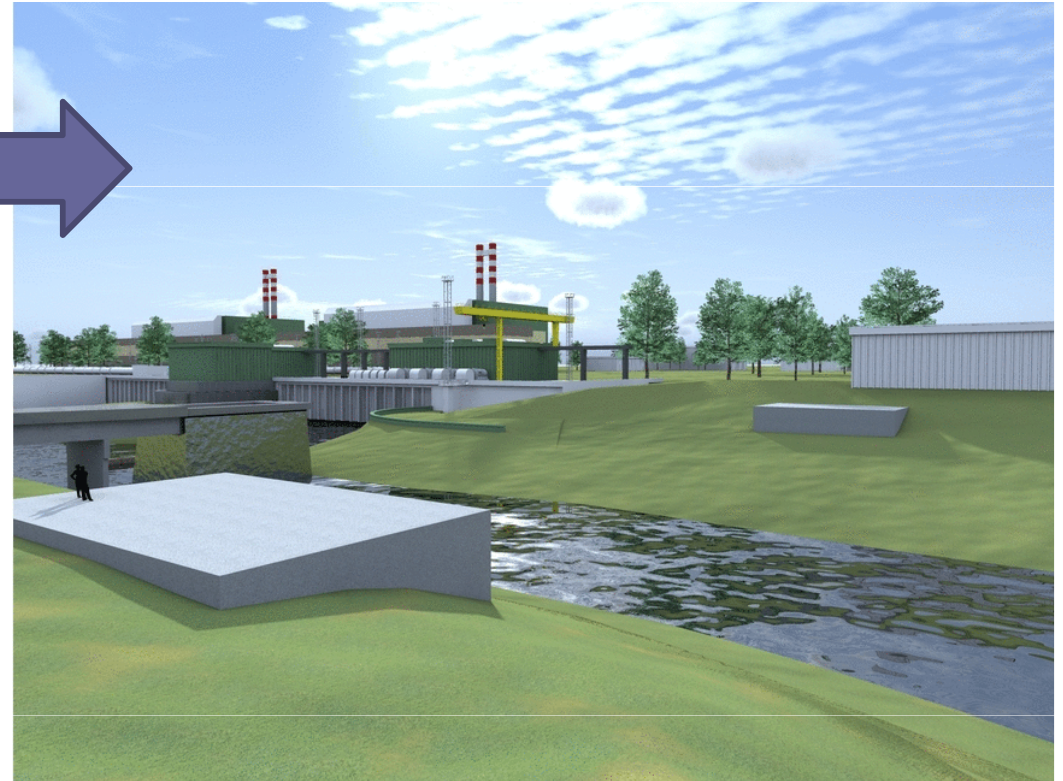
- A meglévő nadrágidomot a Paksi Atomerőmű biztonságnövelő intézkedés keretén belül kívánja felhasználni



Javasolt hűtővíz-rendszer nyomvonal



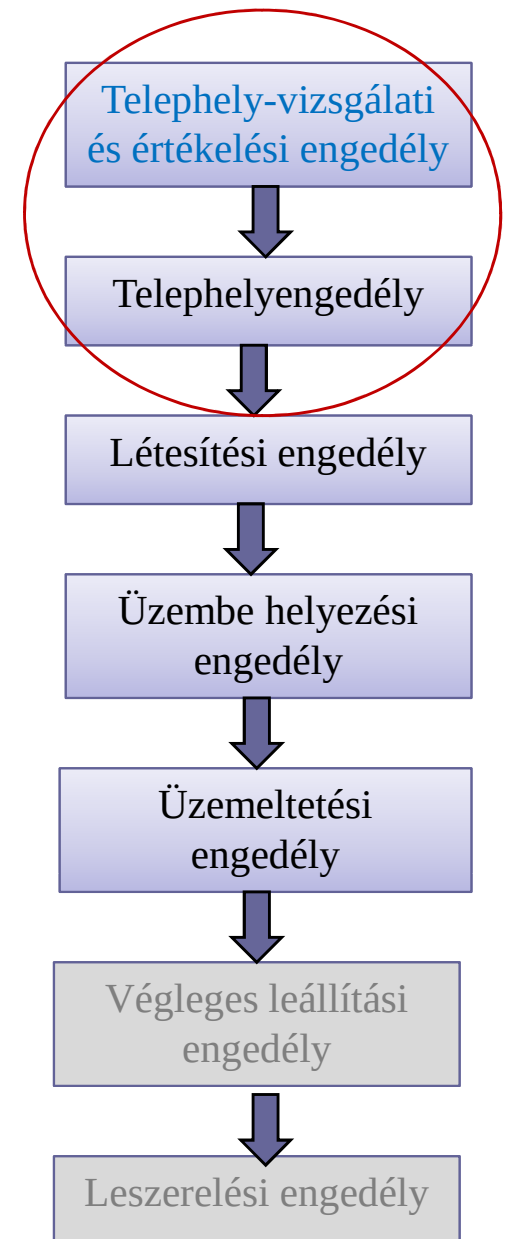
Csatornahíd



Sajtolt GRP vagy betonlagút

Az építés-előkészítés jelenlegi státusza

- Az engedélyezési folyamat:
- Kétlépcsős telephely-engedélyezés
 - Az első eljárásban a telephely vizsgálatára és értékelésére vonatkozó program önálló eljárásban történő hatósági jóváhagyása – ez garantálja a telephelyjellemzők szisztematikus meghatározását
 - A második eljárás a jóváhagyott programban előírt vizsgálatok és értékelések végrehajtását követően nyújtható be



Miért kell telephely-vizsgálat?

- „.... hiszen már üzemel ott erőmű...”
- Az új blokkoknak saját engedély kell, ezt mai műszaki-tudományos színvonalon kell megalapozni
- A telephely-vizsgálat célja: egyrészt a telephely alkalmasságát kizáró esetleges körülmények feltárása, másrészt a tervezés és elemzések során figyelembe veendő, a telephelyre jellemző külső veszélyek mértékének meghatározása.
- Geológiai, geotechnikai, hidrológiai, meteorológiai, stb. vizsgálatokat kell végezni
- Vizsgálni kell az erőmű szerkezeti épségét veszélyeztető külső hatásokat (pl. repülőgéprázuhanás, tűz, stb.)
- Feladatok:
 - Igazolni, hogy nincs maradó felszíni elmozdulást okozni képes aktív vetődés a telephely alatt.
 - Meg kell határozni a biztonsági földrengés mértékét (PGA, megrázottság).
 - Meg kell határozni az alapozáshoz szükséges geotechnikai paramétereket.

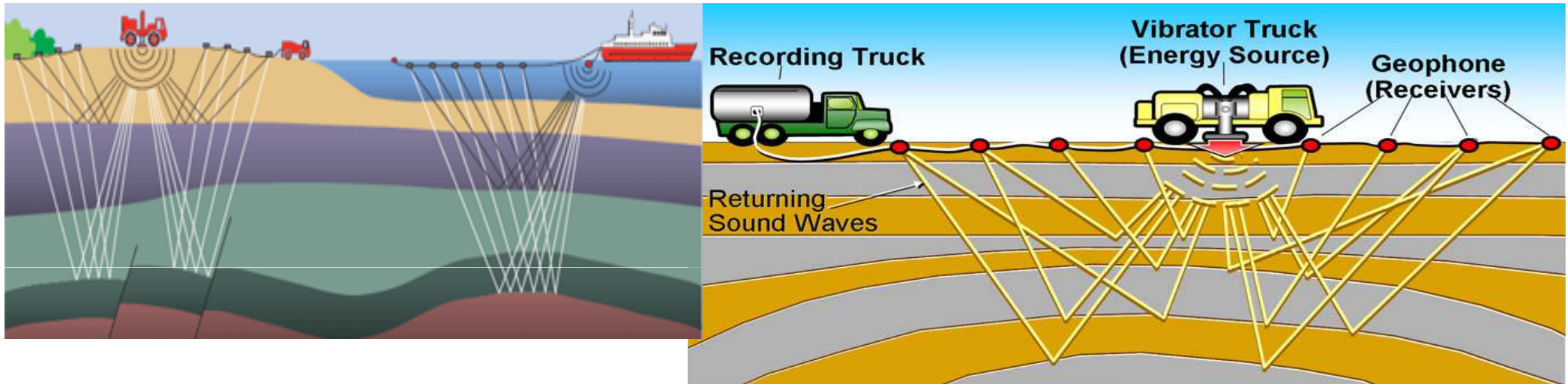


Új-Zéland (2010, Canterbury földrengés – felszínre futó vetődés)



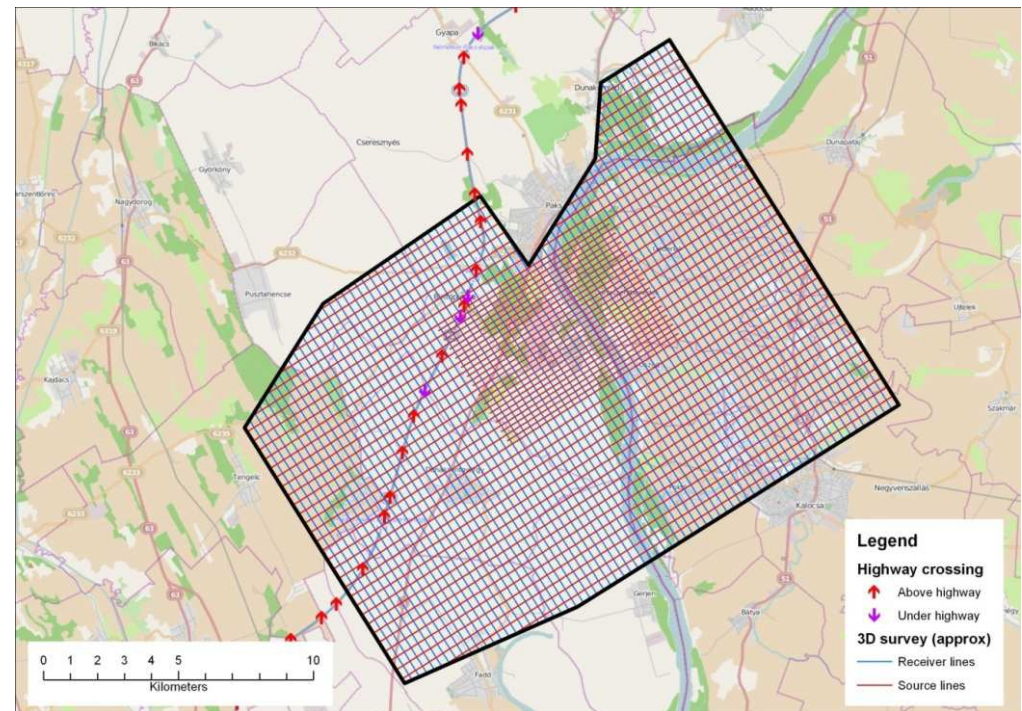
Japán (1964, Niigata-földrengés, talajfolyósodás)

Az építés-előkészítés jelenlegi státusza



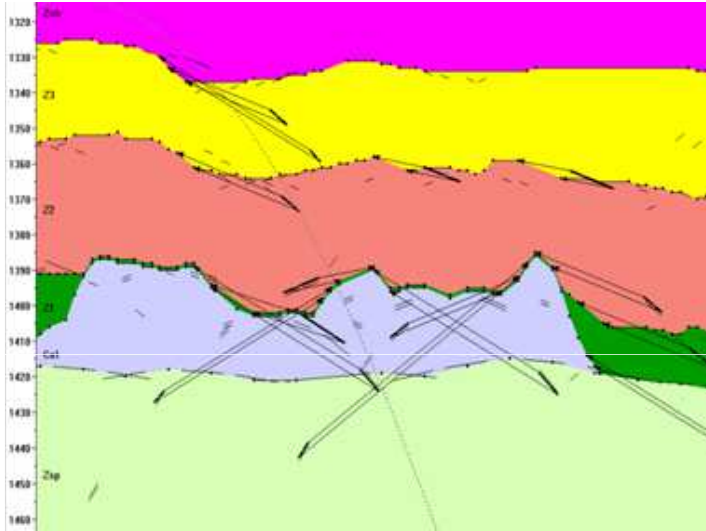
A mérés elve

- Telephely-vizsgálati program
- 3D szeizmikus mérések 2014. augusztus-szeptemberben lezajlottak
- 294 km² terület
- 400x300 m-es (200x300 m) háló, 50 méterenként elhelyezett geofonok
- 300 m osztásban a geofonvonalak, 400 m-enként jelgerjesztés, a központi részen 200 m-re besűrítve
- Talajvibrációk előidézése önjáró vibrátorokkal a geofon sorokra merőleges vonalak mentén
- Nehezen megközelíthető helyeken kisebb robbantásokkal, vízen „airgun” segítségével

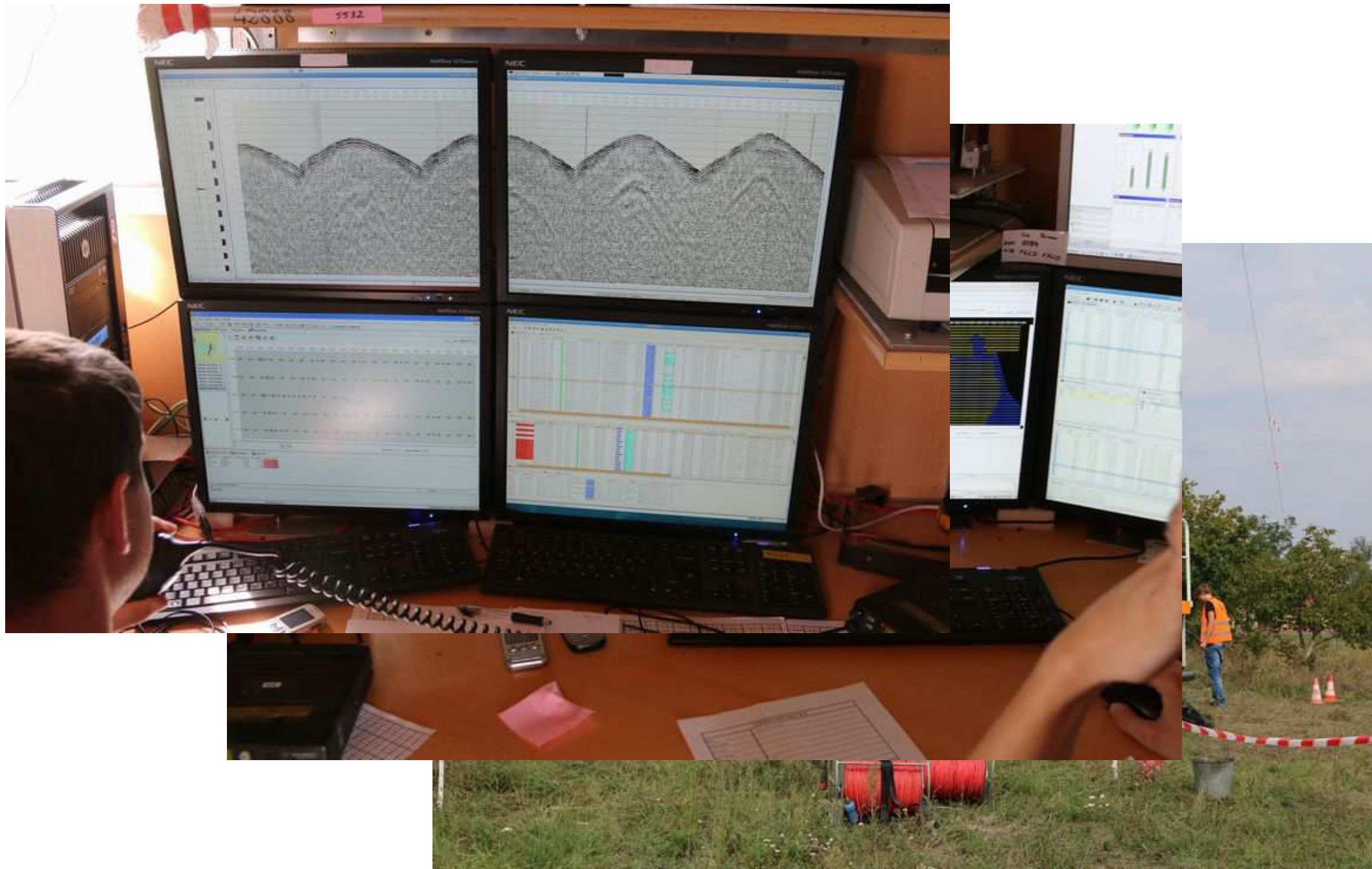


A vizsgált terület

3D szeizmikus mérések

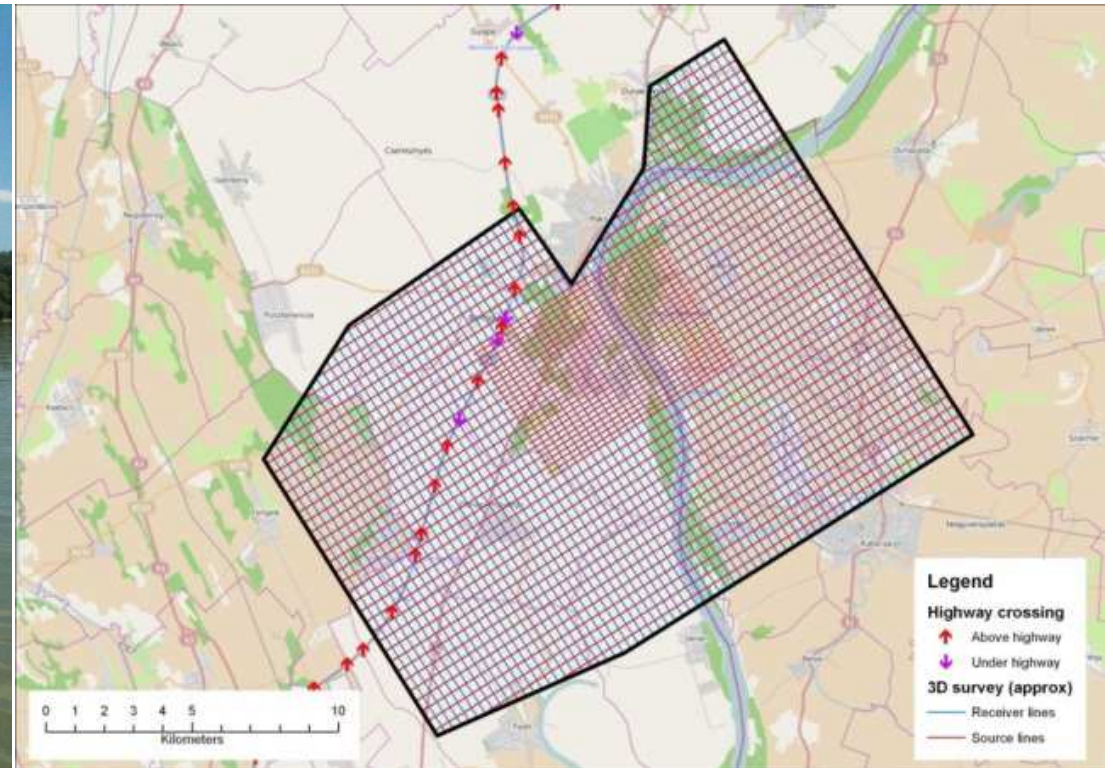


3D szeizmikus mérések



3D szeizmikus mérések

3 m mélyre a vízbe leereszthető airgunok. 2*4 db tartály, ~150 bar.



3 m, 5 m és 7 m-es fúrlyukakat használtak a robbantásokhoz. 80 dkg robbanótölteteket használtak, a veszélyeztetett területeken (épületek közelében stb.) 40 dkg-t.



3D szeizmikus mérések



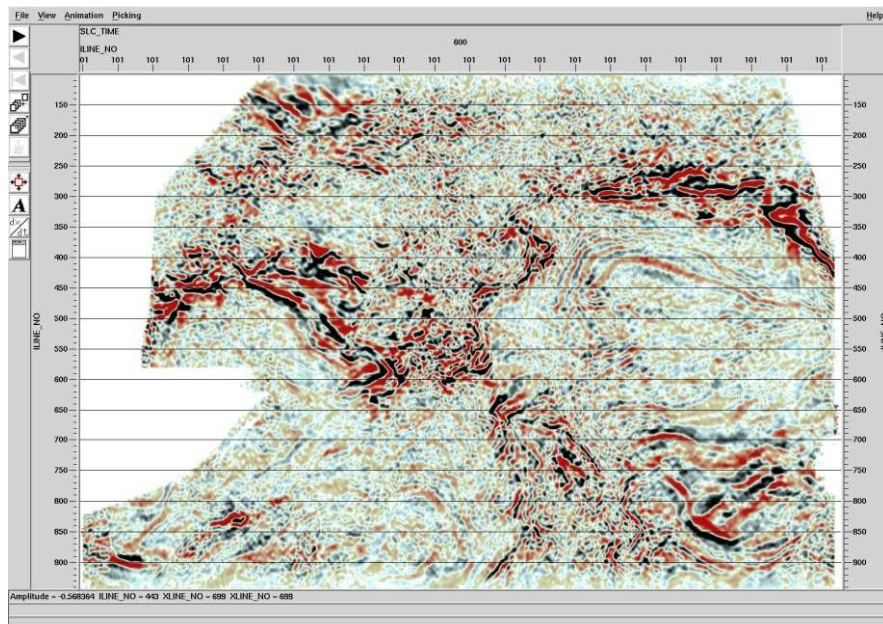
3 db vibrátor végezte a jelgerjesztést a jelgerjesztési vonalak mentén 50 méterenkénti letalpalásokkal. Általánosan 2 gerjesztést végeztek 16 s időtartammal (sweep v. jelalak: 8-96 Hz). Néhány földtani szerkezet által indokolt helyen 4x végezték el a jelgerjesztést.

HEMI 50 VIBRATOR

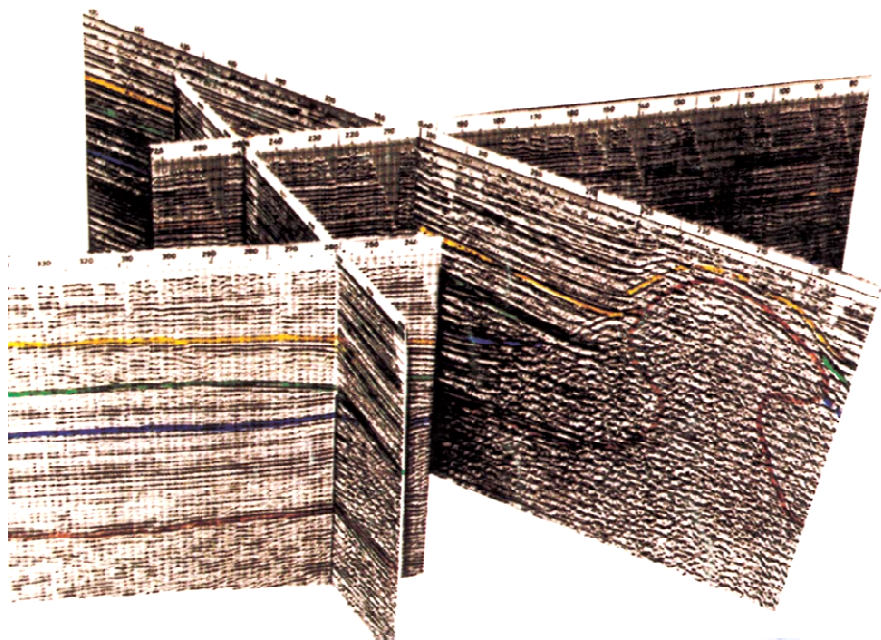
- Overall length 9,0 m
- Overall width 2,6 m
- Overall height 3,2 m
- Max Peak Force 50 160 lb
- Total weight 22 850 kg



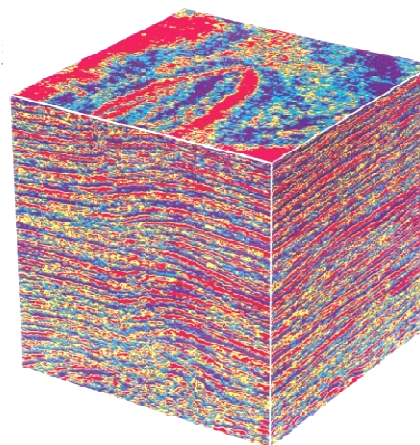
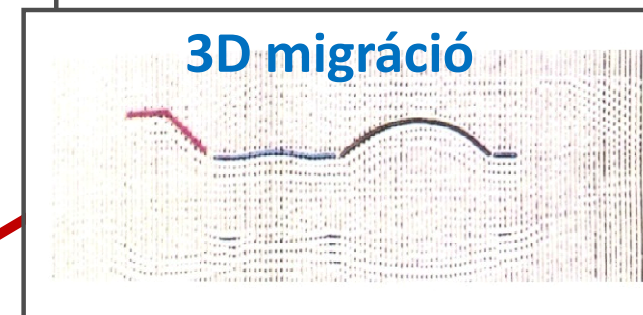
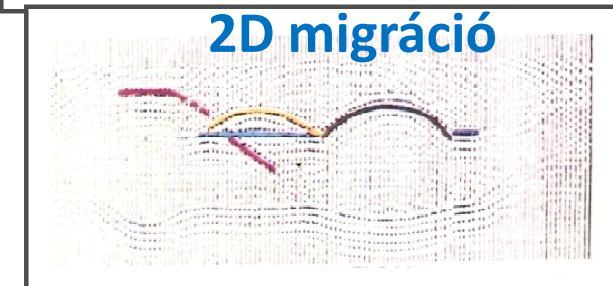
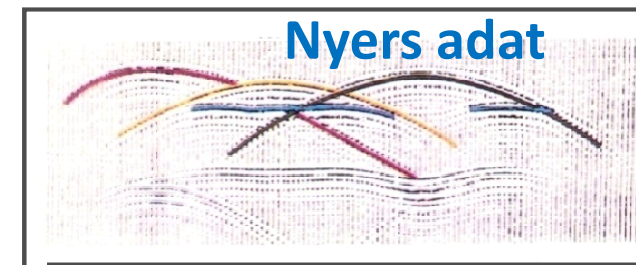
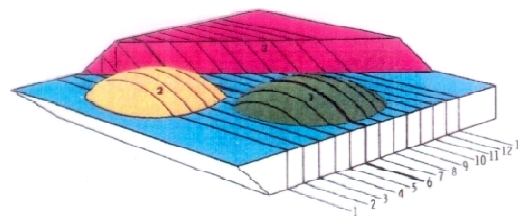
3D szeizmikus mérések



Időszelvény 700 ms.



2D szeizmikus szelvények hálózata.



Geológiai tulajdonságok meghatározása a mérési eredményekből

Környezeti hatástanulmány (KHT)

- A létesítési engedélyeztetés előfeltétele a telephelyengedély és a környezetvédelmi engedély (illetve további engedélyek) megléte
- Az előzetes konzultációs dokumentációt (EKD) már 2012. végén benyújtották az illetékes hatóságnak, jelenleg a KHT véglegesítése zajlik
- Milyen környezeti hatások várhatóak az új blokkoktól?
 - Az építés során: zajterhelés, levegőszennyezés, rezgések
 - Üzemelés során: hőterhelés normál üzemi radioaktív kibocsátás (üzemzavari, baleseti kibocsátást is vizsgálni kell)

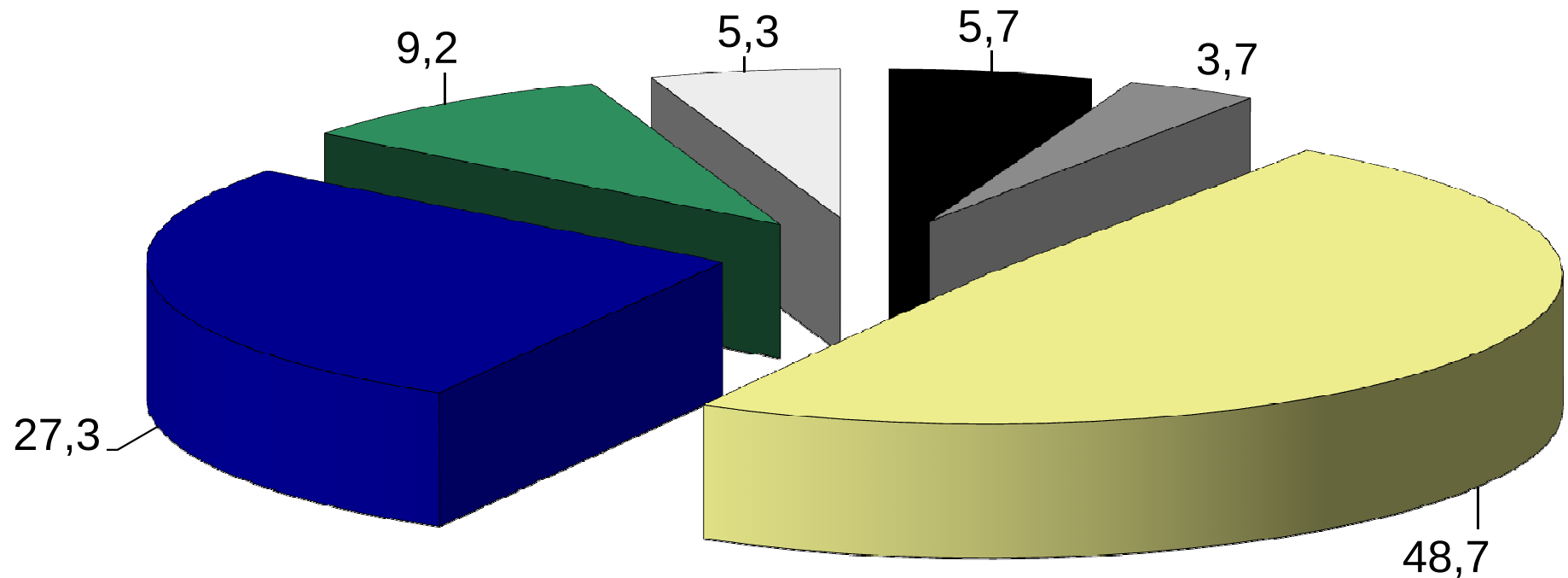


KHT fő részei:

- a beruházás alapinformációi (telephely, hűtés, műszaki jellemzők stb.);
- az új blokkok környezeti hatásai;
- a Duna hőterhelésének és vízminőségének vizsgálata;
- földtani vizsgálat;
- levegő vizsgálatok;
- zaj-, és rezgésterhelés vizsgálatok;
- radioaktív hulladékok vizsgálata;
- az élővilág és az ökoszisztéma vizsgálata;
- környezeti sugárzások, a lakosság sugárterhelésének vizsgálata;
- a beruházás társadalmi-gazdasági hatásainak vizsgálata.

Lakossági támogatottság – 2014. szeptember

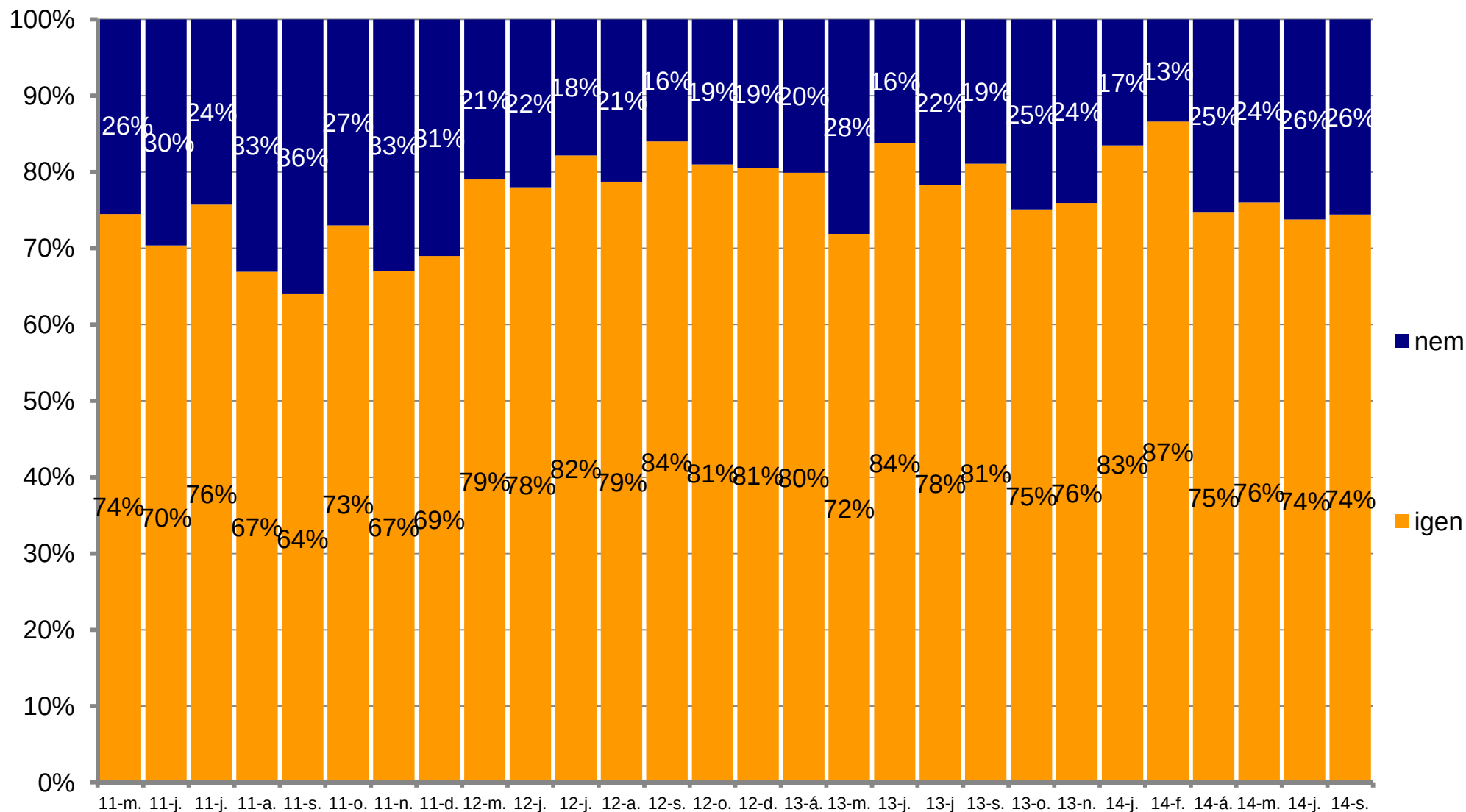
Ön szerint az ország és a lakosság árammal való biztonságos ellátását melyik energiaforrás biztosítja ma leginkább? (%)



■ Szén ■ Olaj ■ Atom ■ Gáz ■ Megújuló energiák □ Nem tudja/Nincs válasz

Lakossági támogatottság – 2014. szeptember

Egyetért Ön azzal, hogy Magyarországon működik atomerőmű? – idősor*



* Idősoros elemzés módszertana: idősoros elemzésnél csak a témát megítélni tudók és véleményt nyilvánítók kerülnek figyelembe vételre. Ennek célja a tendenciák lehető legtisztább, minden bizonytalansági és válaszmegtagadási faktortól mentes megfigyelése.

Jövőkutatás

