

# A VVER REAKTORCSALÁD FEJLŐDÉSE

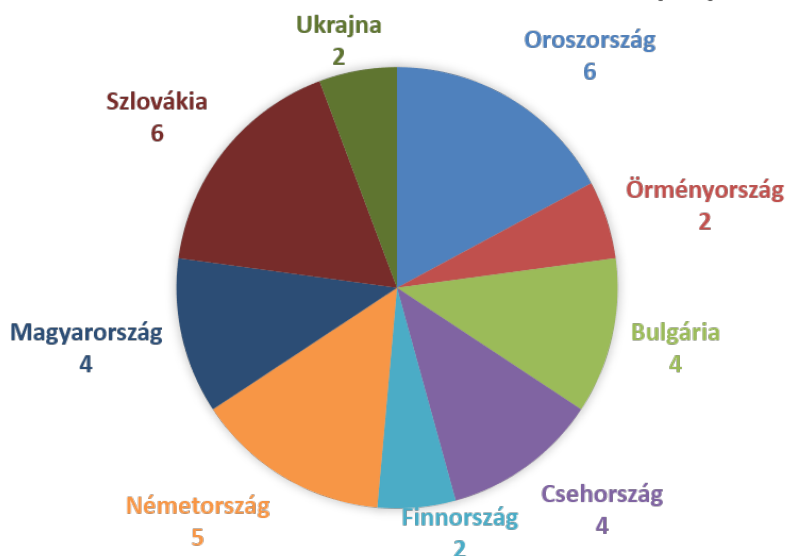
Géczy Gábor, Dr. Hugyecz Attila – 2020. szeptember 21.

A médiában időnként azzal az indokolatlan kritikával illetik a Paks II. atomerőművi projektet, hogy annak keretei közt „prototípus” reaktor épül. Jelen cikkünkben a VVER-reakortípusok fejlődését, az egyes típusokat és a már megszerzett VVER-reaktorévek számosságát járjuk körül.

A VVER-reaktorok valójában egy evolúciós reaktorcsaládot jelentenek, az egyes típusok a korábbiak továbbfejlesztett változatai. Az első VVER reaktorral szerelt atomerőművet Oroszországban 1964-ben helyezték üzembe, ez VVER-210-es típusú volt, bruttó villamos teljesítménye 210 MW volt (a reaktortípusok elnevezése rendszerint a névleges bruttó villamos teljesítményt is jelöli), ez a novovoronyezi első reaktor, ebből a típusból ez az egyetlen épült meg. A második VVER-típusú reaktor Kelet-Németországban lépett üzembe 1966-ban (VVER-70), ebből a típusból is ez volt az egyetlen megépített, 70 MW-os blokk. Ezt követte a Novovoronyezs-2 1969-ben, immár VVER-365-ös blokk típussal, ebből sem épült több példány. A fenti 3 blokk típus egyenként 21-23 évig volt üzemben, ezek összesen 68 reaktorévnyi tapasztalatot biztosítottak.

**Elsősorban a két novovoronyezi blokkban szerzett tapasztalok alapján készült el a VVER-440-es reaktortípus (az első sorozatgyártású VVER-reaktor), amelynek első megépült változata a V179-es altípus volt (Novovoronyezs 3-4, 1971-72), és amelyből máig összesen 35 blokk épült.**

## A MEGÉPÜLT VVER-440-ES BLOKKOK ORSZÁGONKÉNTI CSOPORTOSÍTÁSBAN (DB)



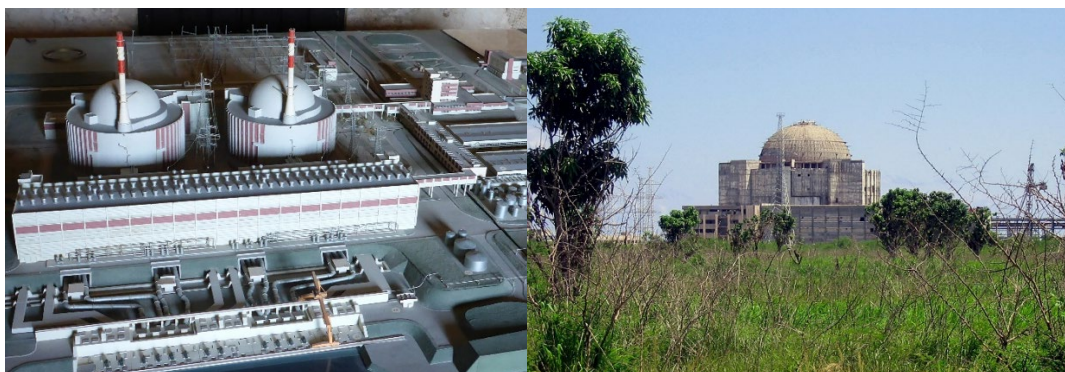
1. ábra: A megépült VVER-440-es blokkok darabszáma országonként. (Forrás: IAEA PRIS adatbázis)

A V-179-es altípust követte a gyakoribb V-230-as altípus, melynek első példányai az oroszországi Kola atomerőműben és a németországi Greifswaldban található meg (2-2 blokk), és amelyek 1973-1974-ben csatlakoztak először a villamosenergia-hálózathoz. A V-230-as altípusból további blokkok épültek, kettő a greifswald-i telephelyen, kettő pedig a szlovákiai Bohunicében, további 4 pedig a bolgár Kozloduj atomerőműben. Ma a V-230-as típusok közül már csak a két oroszországi blokk üzemel (Kola 1-2), a német blokkokat Németország újraegyesítése idején állították le, a szlovák és bolgár blokkok a két ország európai uniós csatlakozásának feltételeként kerültek üzemben kívülre. A korabeli tervek szerint a lengyelországi Zarnowiec atomerőműben is ez a blokk típus épült volna meg, a tervek között 4 blokk szerepelt, az építkezés megkezdődött, de a blokkok nem készültek el. Innen származik a paksi Karbantartó és Gyakorló Központban látható eredeti reaktortartály és gőzfejlesztő.

Eredetileg Paksra is a VVER-440/V-230-as blokk típust tervezték, azonban amikor a '70-es években a paksi építkezés ideiglenesen leállt, az orosz tervező a blokkokat áttervezte, így végül hazánkban a nukleáris biztonsági szempontból továbbfejlesztett V-213-as altípusból épült meg mind a 4 blokk. A V-230-as altípushoz képest a V-213-as blokkok esetében már figyelembe vették az aktív és passzív biztonsági rendszerek fontosságát. Alkalmazták a mélységi védelem elvét, s már az amerikai általános atomerőmű-tervezési kritériumok is felismerhetők benne, a reaktortípus megfelel az abban rögzített biztonsági elveknek. A V-213-as blokkok rendelkeznek üzemzavari esetekre lokalizációs megoldással, az orosz vegyiparból átvett, ún. lokalizációs toronnyal, melynek megfelelőségét a NAÜ irányítása alatt teljes mértékű tornyon, Phare program keretében igazolták is. Alapfelszereltség bennük a nagy (500 mm, helyenként 550 mm) csőtöréses üzemzavari állapotokra (ún. LOCA: loss-of-coolant accident) méretezett kis- és nagynyomású zónaüzemzavari hűtőrendszer (vö. V-230: 200mm-es főgőzvezeték-törésre méretezve). A V-213 folyamatos zónamonitorozó rendszerrel üzemel (a korábbi modell időszakos monitoringrendszeréhez képest). A V-230-as modellhez képest a V-213-as főkeringető szivattyúja sokkal nagyobb inerciával rendelkezik (lendkeres megoldás, feszültségvesztés esetén 190 s alatt áll le, a korábbi változat 10 s-sével szemben), ami nagy előny, hisz több időt hagy a beavatkozásra. A V-230-as altípusú blokkból összesen 12 darab épült meg (ebbe beleszámoltunk egy V-231-es típust is, mely a kozloduj-i 2-es blokk).

Ezek mellett létezett egy kizárólag Örményországba eladott, megnövelt földrengés-állóságra méretezett altípus is, ez a VVER-440/V-270-es, ebből két blokk készült el, a Metsamor 1-2.

Az első, paksihoz hasonló VVER-440/V-213-as blokk 1977-ben készült el Finnországban, ez a Loviisa-1-es blokk, ezt 3 évvel később követte az ugyanilyen típusú második blokk, szintén a Loviisa-i telephelyen. **A finn blokkok különlegessége, hogy már akkor, az 1970-es évek végén nyugati típusú konténmenttel épültek meg, máig ezek az egyedüli, ilyen típusú konténmenttel rendelkező VVER-440-es blokkok.** További érdekesség, hogy a '80-as években Kubában is megkezdődött egy orosz atomerőmű építése (VVER-440/V-318-as és V-319-es altípuszámmal), melyek szintén nyugati típusú konténmenttel épültek volna meg, de építésük soha nem fejeződött be.



A kubai Juragua atomerőmű VVER-440-es blokkjainak látványterve és a félig megépült blokk  
 Forrás: Wikipedia

A VVER-440-es típusból a legnagyobb számban a paksihoz hasonló V-213-as altípus épült meg (19 db), e blokkok egy kivételével máig üzemben is vannak, a legidősebb a két Loviisa-i blokk. (Az egyetlen kivétel a kelet-németországi greifswald-i 5-ös blokk, mely mindössze 24 napot üzemelt.)

Ilyen blokkok épültek a már említett Németországon (Greifswald-5) és Finnországon (Loviisa 1-2) kívül Oroszországban (Kola 3-4), Ukrajnában (Rovno 1-2), Szlovákiában (Bohunice 3-4, Mohi 1-2), Csehországban (Dukovány 1-4) és Magyarországon (Paks 1-4). Ilyen blokkok építése van folyamatban Szlovákiában: a Mohi Atomerőmű 3-4-es blokkjai a közeljövőben készülhetnek el. A VVER-440 kialakításának nagy biztonsági tartalékai kellő alapot jelentenek a blokkok biztonságos üzemeltetéséhez és élettartam-hosszabbításához is.

A '90-es évek elején az ún. AGNES projekt (Advanced General New Evaluation of Safety) keretein belül a Paksi Atomerőmű számtalan biztonságnövelő intézkedést (BNI) azonosított. A BNI-lista 110 elemből állt, mely intézkedések közül a legtöbbet az erőmű 2004 előtt, hazánk EU-csatlakozásának feltételeként végrehajtott (a fennmaradókat később). A VVER-440/V-213-as blokkot üzemeltető, uniós csatlakozásra ácsingózó többi kelet-európai tagország hasonló fejlesztéseket hajtott végre.

## A VVER-440-es típusú blokkok működésével máig közel 1100 reaktorév tapasztalat gyűlt össze

(egészen pontosan 1088 év).

### VVER GENERATIONS

| GEN I<br>VVER  | GEN II<br>VVER-440   | GEN II/GEN III<br>VVER-1000  | GEN III+<br>VVER-1200  |
|--|--|--|--|
| <b>V-210</b><br><b>RUSSIA:</b><br>Novovoronezh 1<br><i>(decommissioned)</i><br><br><b>V-365</b><br><b>RUSSIA:</b><br>Novovoronezh 2<br><i>(decommissioned)</i> | <b>V-179</b><br><b>RUSSIA:</b><br>Novovoronezh 3-4<br><br><b>V-230</b><br><b>RUSSIA:</b> Kola 1-2<br><br><i>Decommissioned:</i><br><b>EAST GERMANY:</b><br>Greifswald 1-4<br><b>BULGARIA:</b><br>Kozloduy 1-4<br><b>SLOVAKIA:</b><br>Bohunice I 1-2<br><br><b>V-213</b><br><b>RUSSIA:</b> Kola 3-4<br><b>UKRAINE:</b> Rovno 1-2<br><b>HUNGARY:</b> Paks 1-4<br><b>CZECH REP.:</b><br>Dukovany 1-4<br><b>FINLAND:</b> Loviisa 1-2<br><b>SLOVAKIA:</b><br>Bohunice II 1-2<br>Mochovce 1-2<br>Mochovce 3-4<br><i>(under construction)</i><br><br><b>V-270</b><br><b>ARMENIA:</b><br>Armenia-1<br><i>(decommissioned)</i><br>Armenia-2 | <b>V-187</b><br><b>RUSSIA:</b> Novovoronezh 5<br><br><b>V-302</b><br><b>UKRAINE:</b> South Ukraine 1<br><br><b>V-338</b><br><b>UKRAINE:</b> South Ukraine 2<br><b>RUSSIA:</b> Kalinin 1-2<br><br><b>V-320</b><br><b>RUSSIA:</b> Balakovo 1-4, Kalinin 3-4,<br>Rostov 1-2, Rostov 3-4 <i>(under construction)</i><br><b>UKRAINE:</b> Rovno 3-4, Zaporozhe 1-6,<br>Khmelnytski 1-2, South Ukraine 3<br><b>BULGARIA:</b> Kozloduy 5-6<br><b>CZECH REP.:</b> Temelin 1-2<br><br><b>V-428</b><br><b>CHINA:</b> Tianwan 1-2,<br>Tianwan 3-4 <i>(under construction)</i><br><br><b>V-412</b><br><b>INDIA:</b> Kudankulam 1,<br>Kudankulam 2 <i>(under construction)</i><br><br><b>V-466</b><br><b>IRAN:</b> Bushehr 1 | <b>V-392M</b><br><b>RUSSIA:</b> Novovoronezh II 1-2<br><i>(under construction)</i><br><br><b>V-491</b><br><b>RUSSIA:</b> Baltic 1-2<br><i>(under construction)</i><br>Leningrad II 1-2<br><i>(under construction)</i><br><b>BELARUS:</b> Belarus 1 <i>(under construction)</i> |
| 1960   | 1970   | 1980   | 2010   |

2. ábra: A VVER típusú reaktor blokkok generációja [forrás: Roszatom]

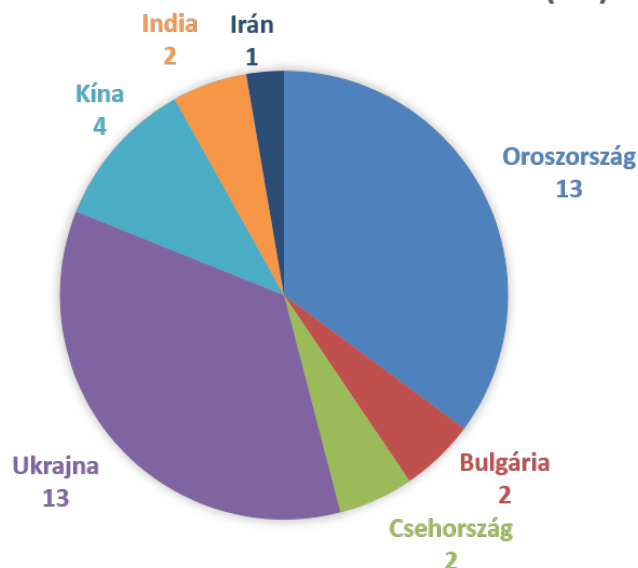
A VVER-440-es generációt követte az annak alapján kifejlesztett VVER-1000-es reaktorcsalád, melynek tervezését az 1980-as évek elején fejezték be, és amelyből számtalan altípus született (a leggyakoribb a V-320-as). A VVER-1000 mérföldkő volt nemcsak teljesítőképessége szempontjából (1000 MW), hanem a beépített számos biztonsági újítás miatt is. Csökkent a zónaolvadás és a nagy radioaktív kibocsátás valószínűsége is. A VVER-1000 típus teljesítménysűrűsége is nagyobb: a reaktortartály térfogatára számítva a VVER-440 típusra jellemző 84 kW/l-hez képest 111 kW/kW/l)<sup>1</sup>.

A VVER-1000 üzemekkel szerzett biztonsági tapasztalatok jók, nem fordult elő olyan esemény, amely jelentős biztonsági hatással lett volna.

A VVER-1000-es blokk típusból 37 darab született, ebből 17 darab 1980-1989 között készült el (ebből 10 darab Ukrajnában), 17 darab 2000 után lépett üzembe, és csak 3 darab kezdte meg kereskedelmi üzemét a '90-es években. Ma a megépült blokkok mindegyike üzemel. A kínai, iráni, indiai blokkok 2005 után kezdték meg kereskedelmi üzemüket, ezt megelőzően VVER-1000-es blokkok csak az orosz és európai térségben épültek.

<sup>1</sup> Forrás: Cserhádi András előadása az MNT szemináriumán 2014. március 20-án, címe: A VVER fejlődése, az AES-2006 típus általános bemutatása, röviden az orosz atomiparról

## A MEGÉPÜLT VVER-1000-ES BLOKKOK ORSZÁGONKÉNTI CSOPORTOSÍTÁSBAN (DB)



3. ábra: A megépült VVER-1000-es blokkok darabszáma országonként. (Forrás: IAEA PRIS adatbázis)

### **A Paks II. projektben épülő VVER-1200-as blokk közvetlen elődjének számító VVER-1000-es blokkok működéséből máig 849 reaktorév tapasztalat gyűlt össze.**

**A VVER-1000-es blokkok alapjain, azok továbbfejlesztésével** – például az üzemanyag-felhasználás hatékonyságának javításával, a kiégés és a hatásfok növelésével, az üzemeltetéshez szükséges létszám csökkentésével – **alakult ki a VVER-1200-as blokk típus.** A paksi új blokkok technológiája nukleáris biztonság terén is továbblépett elődjénél, a passzív konténment hőelvonó rendszer itt már alapfelszereltség (a VVER-1000-es blokkok esetében ez csak az indiai bloknál valósult meg), a zónaolvadás és a nagy radioaktív kibocsátás valószínűsége tovább csökkent.

Ebből a típusból **elsőként a Novovoronyezs II-1 kezdte meg kereskedelmi üzemét**, a hálózatra először 2016 augusztusában csatlakozott. Azóta (időrendben) **elkészült a Leningrád II-1-es blokk is, és a Novovoronyezs II-2-es is** üzembe lépett. **A máig e blokkokkal megszerzett üzemi tapasztalat 8 év.** Ilyen típusú blokkok építése van folyamatban Fehéroroszországban (Osztrovec 1-2), Finnországban (Hanhikivi-1), Bangladesben (Rooppur 1-2) és Törökországban (Akkuyu 1-4). További 10 ilyen típusú blokkok építése van előkészítés alatt Kínában (Tianwan 7-8, Xudabao 3-4), Egyiptomban (Eldaba 1-4) és Magyarországon (Paks 5-6).

**A VVER-reaktorcsalád az építési és üzemeltetési tapasztalatok beépítésén alapuló, folyamatosan továbbfejlesztett, rendszeresen biztonságnövelt, megújuló reaktortípus.** A VVER-blokkokat ezért gyakran evolúciós reaktoroknak is nevezik (angolul: evolutionary reactors). Az orosz technológia hatalmas előnye, hogy a nyugati szállítóktól eltérően az orosz fejlesztések és atomerőmű-építések az elmúlt években, évtizedekben sem álltak le, így a fejlesztési kompetencia az orosz atomenergia-iparban továbbra is rendelkezésre áll. A VVER-reaktorokkal máig megszerzett üzemeltetési tapasztalat meghaladja a 2000 évet (2014 év).

### **A VVER-1200-as reaktor ezek alapján egy több mint 2000 reaktorévnyi tapasztalatra épülő ún. evolúciós reaktor, amelyből már a konkrét típusnak is kereskedelmi üzemben lévő példányai működnek Oroszországban.**