



## **ALLEGRO: Gázhűtésű gyorsreaktor Közép-Európában**

2013. október 3-án rendezte meg az Energetikai Szakkollégium a Jendrassik György emlékfélévének második előadását, melynek címe ALLEGRO: Gázhűtésű gyorsreaktor Közép-Európában. Az előadást Dr. Czifrus Szabolcs tartotta, a BME Nukleáris Technikai Tanszékének vezetője, aki maga is részt vesz az ALLEGRO-val kapcsolatos projektekben.

Az ALLEGRO projekt egy olyan tervezet, melyben célul egy demonstrációs gázhűtésű gyorsreaktor megépítése lett kitűzve. Demonstrációs erőműnek nevezzük azokat a reaktorokat, amiket azért építenek, hogy igazolják a tervezőasztalon megálmodott elképzelések működőképességét, valamint az üzemeltetésből megszerzett tapasztalatok alapján változtatni tudják a majd kereskedelmi forgalomba kerülendő erőművet. Azonban egy ilyen demonstrációs erőmű létrejöttéig is rengeteg feladatot kell megoldani. Az előadás elején az előadó ezen újfajta reaktortípusok szükségességéről, előnyeiről valamint a bennük rejlő kihívásokról beszélt.

Jelenleg a világban üzemelő körülbelül 440 reaktornak a döntő többsége második generációs, vízhűtésű reaktor. Mostanság kezdenek a 3., 3+ generációs erőművek elterjedni, ezek azonban nem szakítanak a második generációs erőművek alapkonceptiójával. A 3. generációs erőművek a 2. generációsok szisztematikus továbbfejlesztésével jöttek létre. Legnagyobb javulás a biztonság területén jelenik meg bennük. A ma épülő reaktorok zónaolvadási valószínűsége  $10^{-6}$ /év alatt van, amely több mint egy nagyságrenddel jobb az előző konstrukciókhoz képest. Ennek oka a biztonsági rendszerek megtöbbszörözése, valamint hogy több olyan esemény is tervezési alapba került, amelyet eddig, azok csekély előfordulási valószínűségük miatt, nem vettek figyelembe.

Reaktorfizikailag azonban a két generáció azonos, hiszen vízhűtésű reaktorokban termikus neutronok okozzák a hasadásokat. Ez egy jól bevált módszer, azonban alkalmazása számos hátránnyal jár, pontosabban fogalmazva kevesebb előnnyel kecsegtet, mint a negyedik generációs erőművekben rejlő lehetőségek.

A jelenlegi reaktorok üzemanyaga U-235, mely az urán természetben is megtalálható két izotópjának az egyike. A problémát az okozza, hogy a Földön található urán 99,3%-a U-238, amely a jelenlegi technológiát alkalmazva nem hasznosítható. Ennek az a következménye, hogy a Föld uránkészletének maximum a 0,7%-a hasznosítható. Negyedik generációs erőművekkel az U-238-as is hasznosítható lenne energetikailag, így érthető, hogy a fejlesztések egyik hajtóereje az üzemanyagkészlet kibővítése.

Másik hajtóerő a radioaktív hulladékkal kapcsolatos. A jelenlegi nukleáris üzemanyagciklus a következőképpen néz ki: bányászás, üzemanyaggyártás, felhasználás 2., 3. generációs reaktorokban, majd hulladéktárolás. Néhány ország, főleg Franciaország kidolgozta a reprocessálásnak nevezett eljárást, mely során a kiégett üzemanyagból még felhasználható üzemanyagot nyer ki, így részben újrahasznosítja a hulladékot, azonban döntően ez sem csökkenti annak mennyiségét.

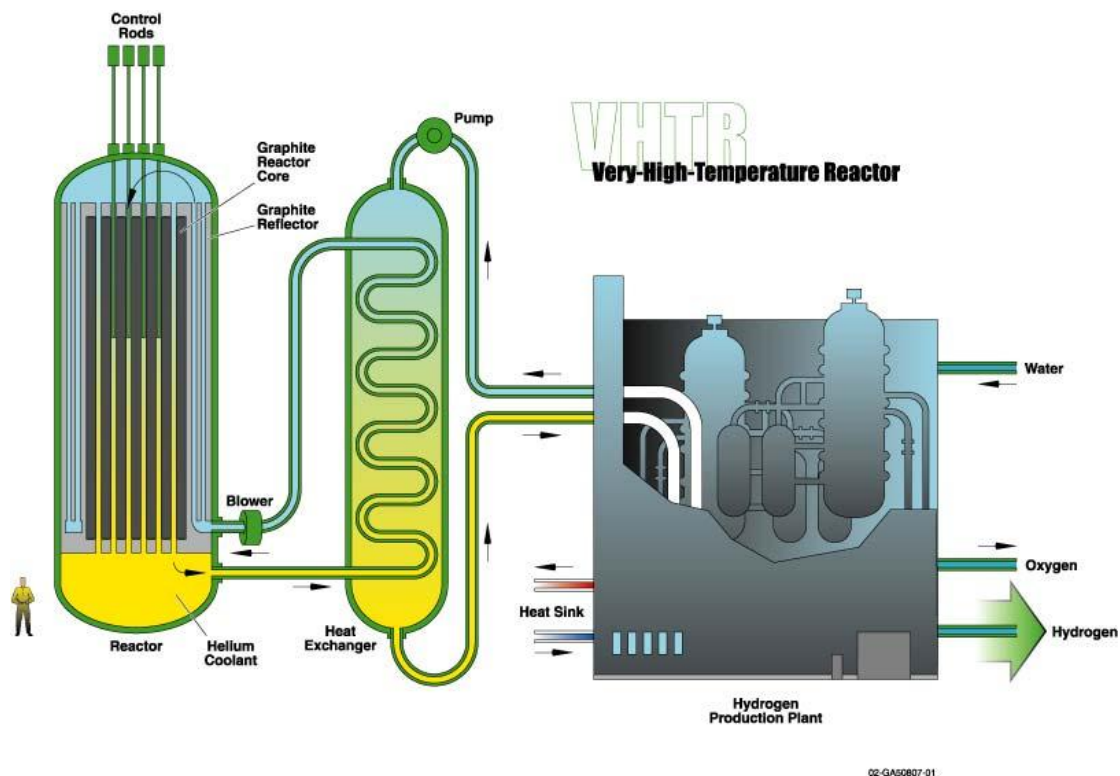
Negyedik generációs gyorsreaktorokkal azonban egy másik, úgynevezett zárt üzemanyagciklus is megvalósítható lenne. A második, harmadik generációs erőművek hulladékai üzemanyagként még a negyedik generációs erőművekben felhasználhatóak lennének, hiszen, az U-238-as az újfajta reaktorban üzemanyagként alkalmazható.

A harmadik hajtóerő, ami motiválja a kutatókat a negyedik generációs erőművek fejlesztésére, a tágabb felhasználási terület. Jelenleg az atomerőművek majdnem kizárólag csak villamos energiát állítanak elő. Új konstrukciók képesek lennének magas hőmérsékleten üzemelni, amely lehetővé tenné technológia hő biztosítását, termokémiai vízbontást létrehozását. Ezáltal nem csak árammal, hanem egyéb termékekkel is beléphetnének a piacra.

A fejlesztések és kutatások összefogására, valamint egységes fejlesztési irányok kitűzésére alakult a Generation IV International Forum (GIF), mely egy nemzetközi együttműködést helyez előtérbe. A meglehetősen sokfajta új, innovatív erőmű-konceptióból a GIF kijelölt hatot, hogy azok képviseljék a fő fejlesztési irányokat a közeljövőben. Ezen hat típushoz tartozik a gázhűtésű gyorsreaktor (GFR = Gas cooled Fast Reactor), melynek a demonstrációs reaktora lesz az ALLEGRO. Ezen hat típust mutatta be az előadó, mielőtt rátért volna az ALLEGRO-ra.

## 1, Nagyon magas hőmérsékletű reaktor (Very High Temperature Reactor = VHTR):

Ezen reaktortípus elképzelt sémája látható az első ábrán. A különleges üzemanyag-kialakításnak és a héliumhűtésnek köszönhetően a reaktorban 1000 °C is elérhető. Az ilyen magas hőmérsékletre felmelegedett hélium a hőjét egy hőcserélőben adná le, a hőcserélő szekunder közegének hőjét pedig nagy hatásfokú villamosenergia-termelésre vagy termokémiai vízbontásra lehetne felhasználni.



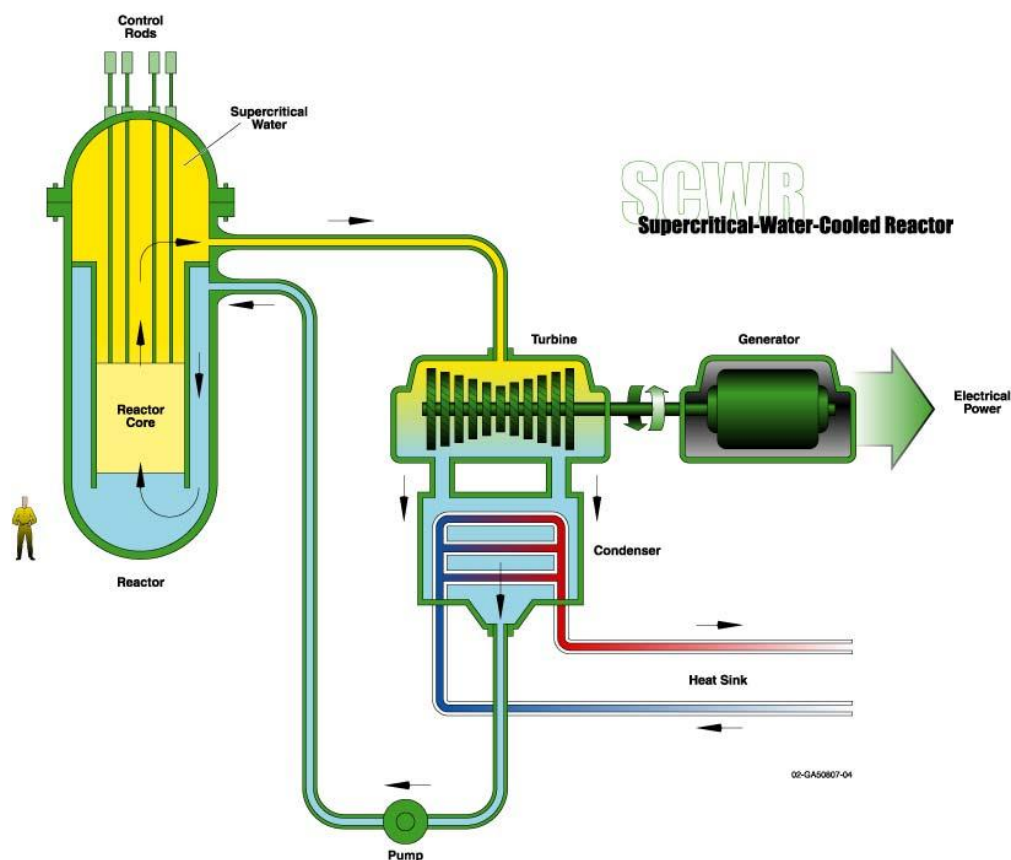
1. ábra, Nagyon magas hőmérsékletű reaktor

Hasonlóan magas hőmérsékletű, gázhűtésű reaktorok létesültek már az USA-ban és Németországban. Ez a fajta koncepció ugyanúgy termikus neutronokat használna a láncreakció fenntartásához, mint a meglévő reaktorok, ezért az üzemanyagciklus zárását ez nem teszi lehetővé. Erőssége, hogy nagy mennyiségben és magas hőmérsékleten tud hőt előállítani.

## 2, Szuperkritikus atomreaktor (SCWR = Supercritical water reactor)

Ez a koncepció tér el a legkevésbé a ma is használt reaktortípusoktól. Az elképzelés az, hogy olyan magas nyomást hoznak létre a primer körben, hogy a víz fázisátalakulása ne okozza a víz tulajdonságainak drasztikus változását. A kritikus nyomás fölött tehát nem lehet különbséget tenni a víz és a gőz között. Ezáltal lényegesen magasabb hőmérsékletet lehet megengedni a primer körben, így kedvezőbb gőzparamétereket lehet elérni a szekunder oldalon, ennek megfelelően az erőmű hatásfoka is nagyobb lesz. Az erőmű

kapcsolási rajza a 2. ábrán látható, a reaktorból kilépő forró, szuperkritikus víz egyből a turbinára jut, majd az expanzió és a kondenzáció után visszakerül a reaktorba.

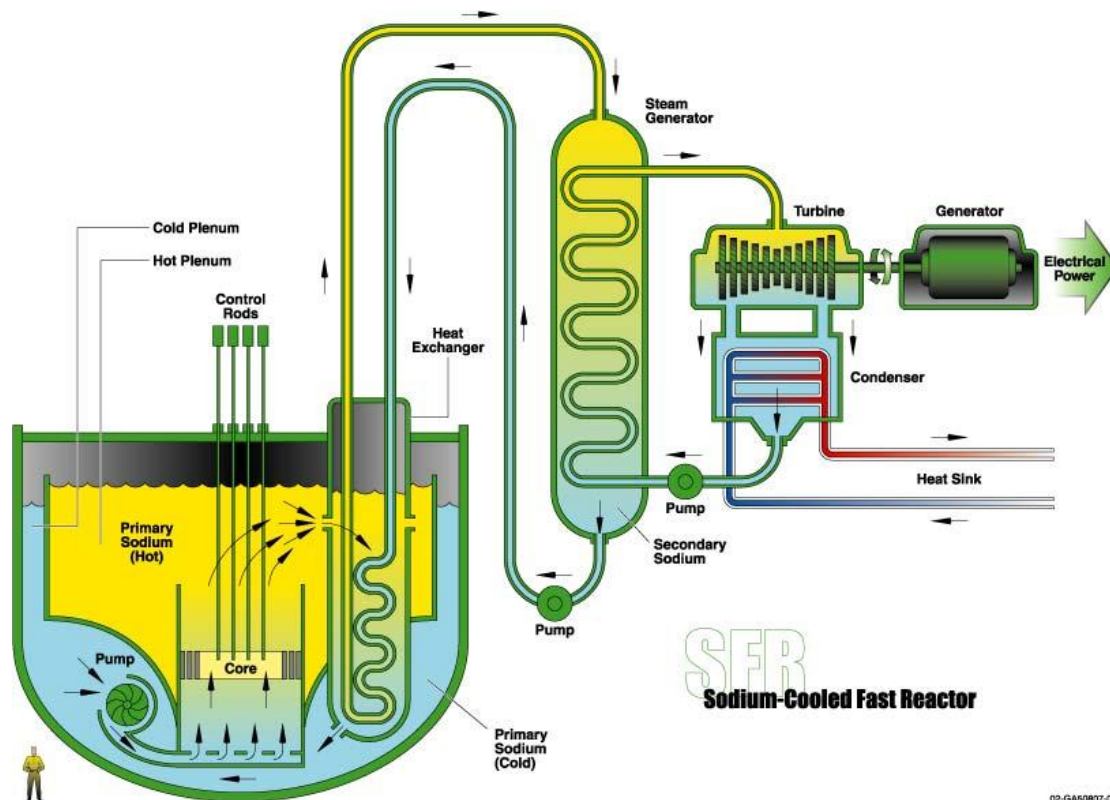


**2. ábra, Szuperkritikus atomerőmű**

Az erőmű megtervezhető gyorsreaktornak is, mellyel a már feljebb említett kedvezőbb üzemanyagciklus is kialakítható. A technológia nehézségei, hogy szuperkritikus közegben kell egyrésztől a hőátadási tényezőket pontosan megjósolni, másrésztől olyan anyagokat kell kidolgozni, amelyek kibírják a szuperkritikus körülményeket.

### **3, Nátriumhűtésű gyorsreaktor (SFR = Sodium cooled Fast Reactor)**

Ennél a reaktorkonfeciójánál a gyorsneutronok által okozott hasadásokból származó hő nátrium vinné el a fűtőanyagról. A nátrium-víz heves reakciójának elkerülése végett a rendszer három körösre van tervezve, ami a 3. ábrán is látható. A koncepció előnye, hogy a nátrium nagy hőkapacitásának köszönhetően nagyok a rendszer időállandói, lassúak a tranziensek, melyek elég időt adnak a beavatkozásra. Közel atomszférikus nyomáson is üzemelhet, hiszen a nátrium forráspontja nagyon magas hőmérsékleten van. Hátrány azonban, hogy a nátrium ég, robban, ha levegő vagy víz éri, éppen ezért ennek elkerülése okozza az egyik legnagyobb nehézséget is.

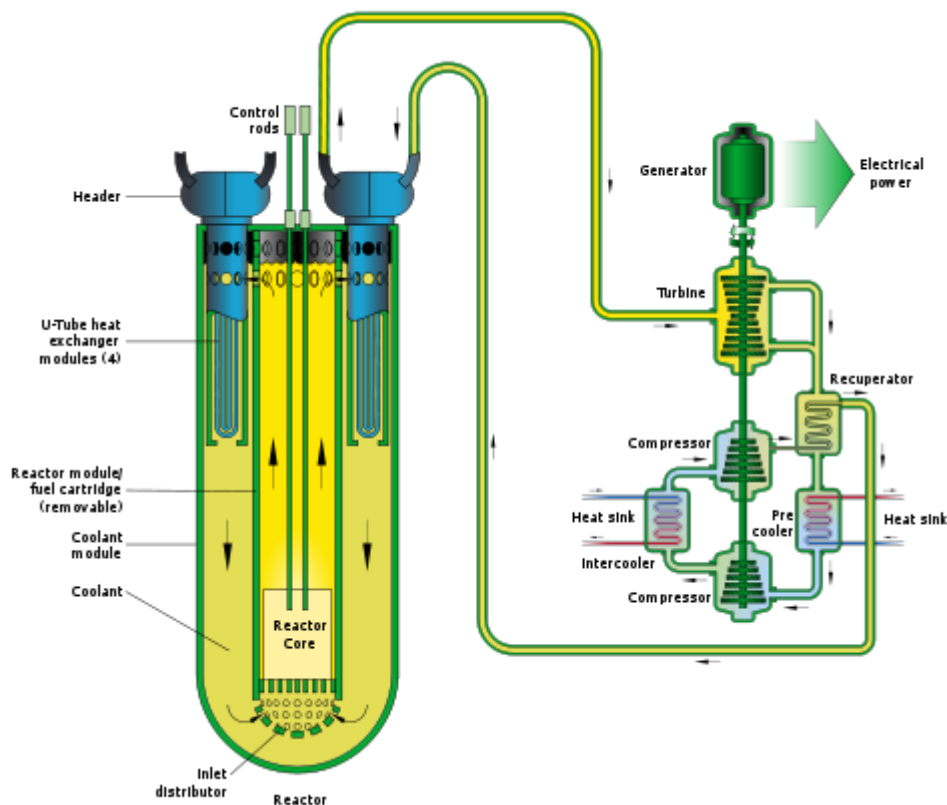


3. ábra, Nátriumhűtésű gyorsreaktor

Nátriumhűtésű gyorsreaktorok üzemeltek Nagy-Britanniában, Franciaországban és Oroszországban, jelenleg az oroszok az úttörői ennek a technológiának.

#### 4, Ólomhűtésű gyorsreaktor ( LFR = Lead cooled Fast Reactor)

Ólomhűtésű reaktoroknál a hasadástól származó hőt ólom vinné el, majd egy hőcserélőn azt leadva újra lehűlné és ismét a zónába kerülne. Az ólom a neutronok számára gyakorlatilag átlátszó, ezért alkalmas gyorsreaktorok hűtőközegének. Az ólom nagy sűrűsége ennél a koncepciónál előnyként és hátrányként is megjelenik. A nagy sűrűségből adódik, hogy jó természetes cirkuláció alakulhat ki hőmérsékletkülönbség hatására, ezért leállított reaktor esetén szivattyúk nélkül is képes a remanens hőt eltávolítani, mely biztonsági szempontból rendkívül előnyös. A nagy sűrűség miatt azonban hatalmas tömeg koncentrálnálódik a tartályban, amely megtartására komoly szerkezeteket kell kiépíteni. A hőcserélőben leadott hőt hasonlóan az előző koncepciókhoz villamosenergia előállításra, technológia hő biztosítására lehet alkalmazni. Az erőmű kapcsolási sémája a 4. ábrán látható.

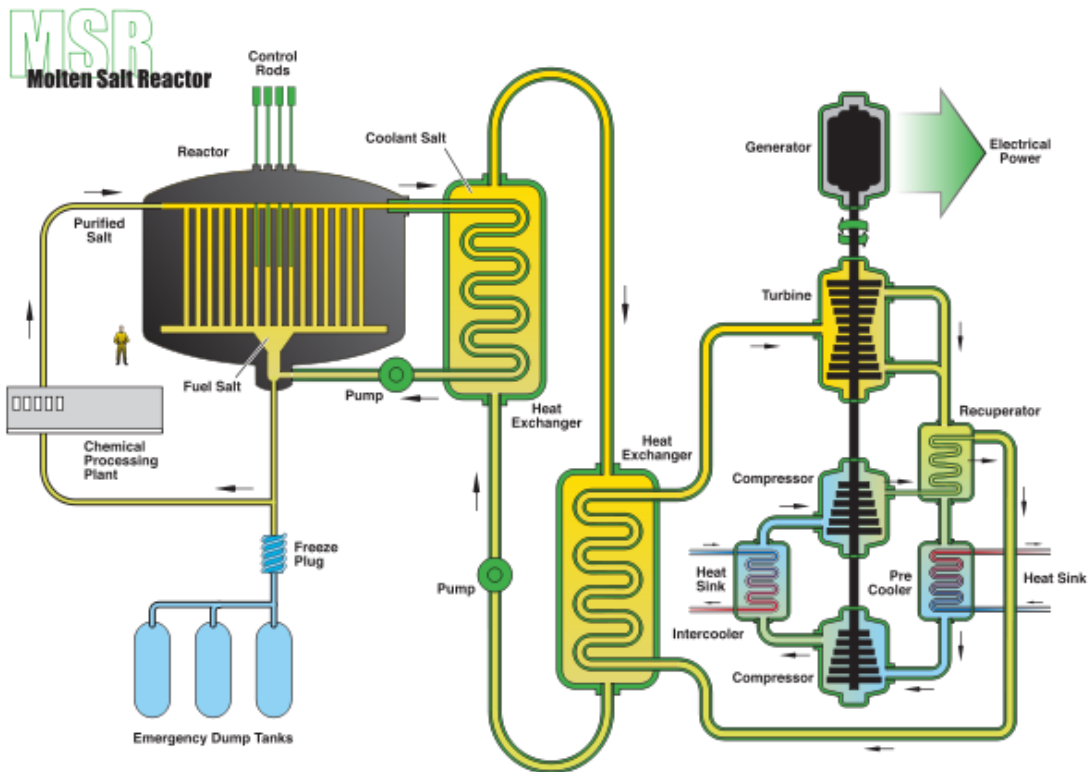


4. ábra, Ólomhűtésű gyorsreaktor

Ilyen típusú reaktorok elsősorban szovjet atom-tengeralattjárókon üzemeltek, az azokból levont tapasztalatok képzik az erőművi fejlesztések alapját.

#### 5, Folyékony sóolvadékossal reaktor (MSR = Molten Salt Reactor)

Ezen reaktortípus különlegessége, hogy az üzemanyag és a hűtőközeg nem különül el egymástól, hanem a fűtőanyag fel van oldva a megolvasztott sóban és így úgynevezett homogén reaktort alkot. Így tehát üzemanyag nem csak a reaktorban található, az kering a hűtőközeggel együtt is, de a rendszer csak a reaktorban lesz kritikus, így a hőfelszabadulás jelentős része ott játszódik le. Az ott felmelegedett közeg továbbáramlik, a továbbáramlott közegben leállnak a hasadások és a keletkezett hő egy hőcserélőben leadja. Biztonsági okokból itt is háromkörös rendszert képzelnek, mely az 5. ábrán is látható. A kialakítás előnye, hogy alacsony nyomáson is üzemeltethető, valamint inherens biztonság érhető el vele. Hátrány, illetve kihívás, a megfelelő anyagok kiválasztása. Ilyen kísérleti reaktorok üzemeltek már az USA-ban, Oroszországban, de több országban is fejlesztés alatt állnak.



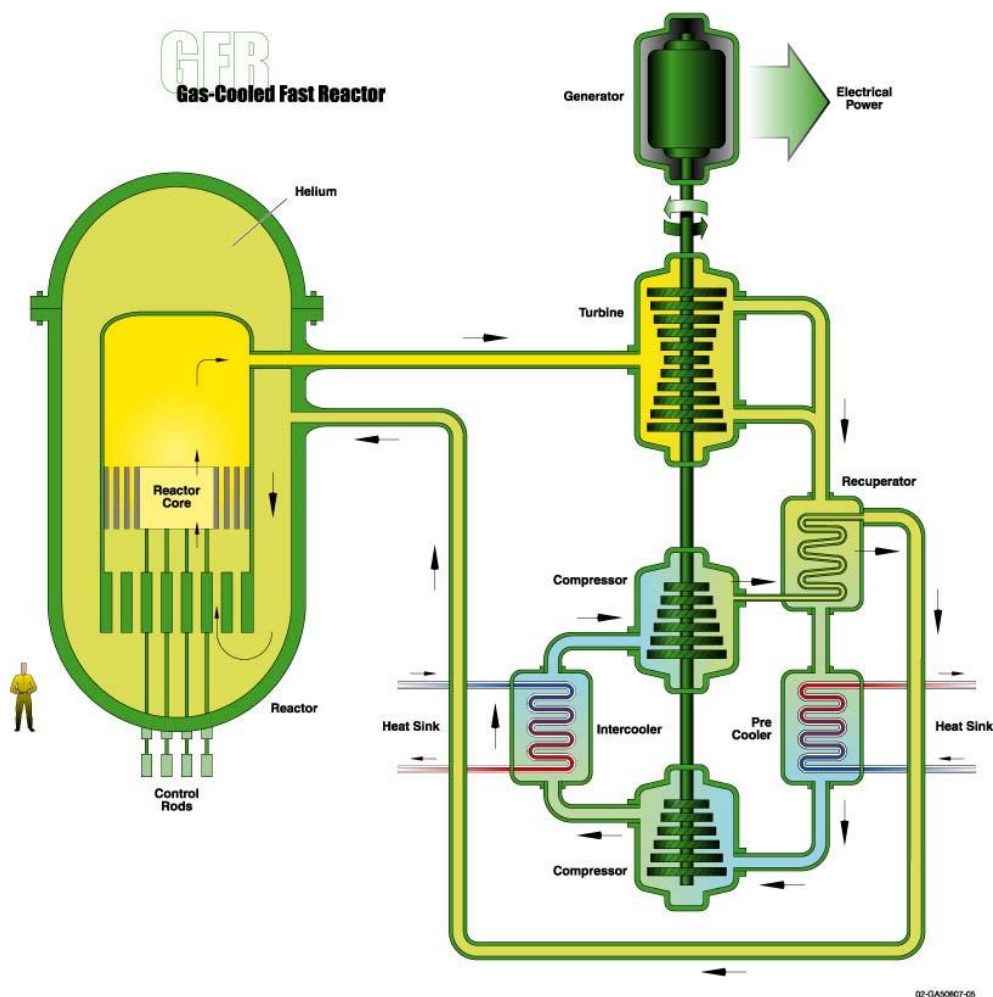
5. ábra, Sóolvadék hűtésű reaktor

## 6, Gázhűtésű gyorsreaktor (GFR = Gas cooled Fast Reactor) és az ALLEGRO

Héliumhűtés esetén a hűtőközeg neutronlassító hatása elhanyagolható, ezért alkalmas többek között a hélium gyorsreaktor hűtőközegnek. A reaktorba belépő hélium a zónán áthaladva felmelegszik, majd akár rögtön egy turbinára juthat, így Joule-Brayton körfolyamat is megvalósítható ezzel a kialakítással. (6. ábra.) Ezáltal magasabb termikus hatásfok érhető el. Mindemellett a gyorsreaktor előnyei is kihasználhatók lennének: üzemanyagkészlet kibővítése, radioaktív hulladékmennyiség csökkentése.

A világon ilyen erőmű még nem létesült. Gázhűtésű és gyorsreaktor külön-külön már üzemelt a világon, azonban gázhűtésű gyorsreaktor még soha. Éppen ezért van komoly tudományos jelentősége az ALLEGRO projektnek, melynek célja, hogy igazolja a GFR-ek működőképességét, valamint hogy választ adjon a még nyitott kérdésekre: Hogy lehet megoldani/kiküszöbölni a hélium szivárgását? A hélium ugyanis az illesztéseknél, tömítéseknél relatív könnyen el tud szökni. A nyomáscsökkenés pedig a hűtőközeg hőelvonóképességét csökkenti. Ahhoz, hogy megfelelő mennyiségű hő elvihető legyen a zónából, nagy áramlási sebességekre van szükség, amelyek a rendszerben a nyomásesést csak növelik. A nagy sebességeknek köszönhetően a helyi lokális ellenállások komoly hőmérsékletkülönbségeket tudnak létrehozni a zónában. Ezek kiküszöbölésére különböző dúsítású fűtőanyagot lehet célszerű alkalmazni. A különböző hűtőközeg-vesztéses balesetekre is ki kell találni a

megfelelő elhárítási eljárást. Nehézséget okoz, hogy a vízhűtésű reaktorok esetében használt elemzési módszerek gázhűtés esetén nem, vagy ellenőrzés nélkül nem alkalmazhatóak.



6. ábra, Gázhűtésű gyorsreaktor

A problémákra adott ötletek is mind csak javaslatok, melyek az mutatják, hogy a még sok mérnöki feladat van hátra a megvalósulásig. Éppen ezen kérdések vizsgálatának céljából épül, a tervek szerint a 2020-as években egy 75 MW termikus teljesítményű demonstrációs reaktor. Az erőműben termelt energiát nem használnák semmire, tehát a berendezés csak a primer körű folyamatok elemzésére épülne.

Az előadás betekintést nyújtott az atomenergetika távlati terveibe, melyek sok pozitívummal kecsegtetnek, azonban megvalósulásukig még rengeteg kutatási/fejlesztési munka van hátra. Az ALLEGRO gázhűtésű demonstrációs gyorsreaktor létrejötte csak egy lépés lenne a negyedik generációs atomerőművek felé, azonban mivel az előzetes tervek szerint cseh, szlovák vagy magyar földön létesülne a reaktor, a környező országok és a hazai tudományos életet biztosan felpezsdíti majd ez a kezdeményezés. A fentebb vázolt kutatási irányok kiteljesüléséig még sokat kell várni. Piacon elérhető



negyedik generációs reaktorokra csak 2050 után lehet számítani, de hogy akkor valóban működhessenek ezen konstrukciók, ahhoz a kutatás/fejlesztéseket már ma el kell kezdeni.

**Lovász Líviusz**  
**Energetikai Szakkollégium tagja**