

Atomerőművi blokkok létesítésének szellőzéstechnikai kérdései

Molnár Szabolcs

Pöyry ERŐTERV ZRt.

1094 Budapest, Angyal u. 1-3.

Magyarország energiabiztonságának érdekében az erőművi kapacitások fenntartása – esetleges bővítése – elkerülhetetlen. Új atomerőművi blokkok létesítése Pakson az évszázad legnagyobb hazai beruházása lehet. Egy atomerőmű tervezésének rendkívül széleskörű tudományos háttere van. Mindegyik szakterület – így a szellőztetés, klimatizálás – fontossága egy atomerőmű biztonságos üzemeltetéséhez megkérdőjelezhetetlen.

Bevezetés

Az ember fizikai és szellemi teljesítőképessége, valamint egészsége nagymértékben függ a jó levegőminőségtől.

A levegő szennyezettsége zárt helyiségekben, ahol sok ember tartózkodik, vagy üzemi helyiségekben a technológiai folyamatok következtében folytonos, vagy szakaszos légcserét tesz szükségessé. A klímaberendezések feladata a helyiség hőmérsékletét és nedvességtartalmát előírt szinten tartani, emellett a tulajdonképpeni feladat, hogy a helyiségbe friss levegő jusson, még háttérbe is szorulhat. Gyakori eset ez például ipari üzemek klímaberendezésénél (így egy atomerőművi rendszerénél is). Tágabb értelemben ezek a berendezések mégis a szellőztető-berendezések közé sorolhatóak, minthogy felépítésük és üzemeltetésük hasonló. Általánosságban elmondható, hogy akár technológiai, akár komforttérrel is beszélünk, az adott tér légállapotát, minőségét, a benne tartózkodók melegegységét a szellőztető és klímarendszerek együttes jelenléte, összehangolt működése határozza meg, melyek számtalan kombinációja lehet jelen. Végül ide tartoznak még azok a berendezések és eljárások is, amelyek csak meghatározott időjárási és egyéb, előre definiált viszonyok között cserélik ki a helyiség levegőjét.

Az adott helyiség funkciójából következően az alapvető komfortparaméterek (fűtés, hűtés, szellőztetés, klimatizálás) biztosítása mellett az épületenergetikai rendszereket úgy kell megtervezni, hogy azok az egyéb jogszabályi, vagy technológiai követelményeknek (redundancia, tűzvédelem, távfelügyelet, energia monitoring, stb.) is megfeleljenek.

A kívánt levegőparaméter értékeket a helyiség, terek funkciói (technológiai, komfort), míg a légcseré mértékét a behozott és a helyiségben felszabaduló légszennyeződések összessége határozza meg. A belső terek megkívánt mikroklíma paraméterei eltérőek. A különbségek a technológia követelményekből, a benntartózkodók komfortigényeinek eltérő mivoltából és az optimális levegőhasznosítás mértékéből adódnak.

Különösen nagy gondot kell fordítani a szellőző levegő térfogatáramok meghatározásakor azon vegyes rendeltetésű terek igényeire, melyeknek egyszerre technológiai rendeltetésük és komfort szerepük is van. Ezek jellemzői, hogy azonos időben eltérő követelmények merülnek fel.

Szellőzési módszerek osztályozása

A működtető- (ható-) erők szempontjából megkülönböztetünk:

- természetes szellőztetést;
- mesterséges szellőztetést.

A természetes szellőztetésnél a levegő áramlását és ezzel a légcserét a hőmérséklet különbsége, vagy a szélnyomás idézi elő. A levegőáramlás erőssége és iránya változó, ezért nem lehet a helyiség levegőjéről az összes számításba vehető körülmények között érvényes áramlási képet alkotni.

A természetes szellőzések közé tartozik a zárt nyílászáró szerkezetek melletti természetes szellőzés, az ablakszellőzés (rés-szellőzés, légbevezetők) és a kürtőszellőzés. Ezzel szemben a mesterséges szellőzés esetén ventilátor mozgatja a levegőt. A szellőztetett helyiségbe meghatározott levegőmennyiséget vezetünk, így legtöbbször kialakítható az előre elképzelt áramlási kép. Ebbe a csoportba tartoznak a tulajdonképpeni szellőztető- és klímaberendezések.

Légcsere a tartózkodási helyiségekben – külső levegő hányad

Az életműködés fiziológiai lefolyása következtében az emberi test a környező levegőnek állandóan hőt, széndioxidot és nedvességet (vízgőzt) ad le. Azokban a helyiségekben, ahol sok ember tartózkodik, a levegő gőzökkel és gázokkal való szennyezettség egészségügyi megfontolások alapján bizonyos határon túl nem megengedhető, és ezért az ilyen helyiségeket kielégítő mennyiségű levegő bevezetésével szellőztetni kell. Azokat a helyiségeket, amelyekben a levegő szennyezettsége túlnyomó részt az emberektől származik, „tartózkodási helyiségeknek” nevezzük, ellentétben az

„üzemi helyiségekkel”, amelyekben a levegőt döntő mértékben technológiai folyamatok szennyezik.

Komforttérben tehát alapvető a levegőminőség változását is figyelembe venni, hogy az érintett térben elvárt friss levegő hányad, így a biztonságos munkavégzés feltételei biztosíthatóak legyenek.

A szellőztető rendszerekkel kapcsolatos általános elvek

A szellőztető berendezések kifogástalan működéséhez be kell tartani néhány alapkövetelményt, amelyek: a szükséges légcseré biztosítása, a huzatmentesség, a helyiség lehetőleg egyenletes átöblítése és a ventilátorral működő berendezés zajtalan üzeme. A levegőnek a helyiség minden részében előírt cseréje és egyenletes elosztása csak kényszerzellőzéssel biztosítható. Ennek ellenére a továbbiakban felsorolt szempontok figyelembevételével a természetes szellőzés esetén is lehetséges a teljesítmény-emelés, illetve a berendezés üzemének, hatékonyságának javítása.

A légcseré biztosítása

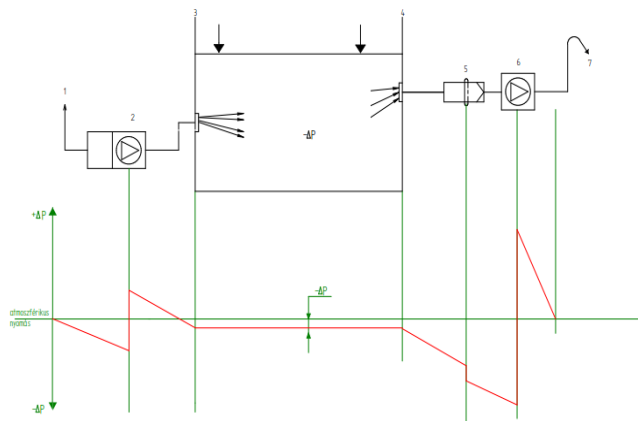
A szellőztetett helyiség és a vele szomszédos helyiség, illetve a szellőztetett helyiség és a szabad légtér között csak akkor lehetséges légcseré, ha a két tér között nyomáskülönbség van. Ennek fizikai magyarázata egyértelmű: A világon minden áramlás potenciálkülönbség hatására jön létre, mely potenciálok a légáramlásnál a nyomás értékek lesznek. Az eltérő nyomásértékek fogják biztosítani két pont között a hajtóerőt.

A két légtér közötti nyomáskülönbséget előidézhetheti a két helyiség levegőjének hőmérséklet-különbsége (kéményhatás), a szélnyomás, vagy ventilátor. E működtető erők közül legalább egynek hatnia kell ahhoz, hogy légáramlás keletkezhesék.

Az előírt légmennyiség szállításának biztosítására azonban a nyomáskülönbség egymagában nem elegendő. A levegő részére megfelelő méretű szabad áramlási utak is szükségesek, mind a bevezetésnél, mind az elvezetésnél. A ventilátor elhelyezhető mind a kifúvó, mind az elszívó vezetékben. Itt meg kell említeni, hogy fontos szempont a helyiségek nyomásviszonyainak kiválasztása. A beszűrődéses szellőzés és átszellőzés kivételével a helyiség levegőcseréjének minden fajtája szabályozható. A szabályozás biztosítja, hogy a helyiség meghatározott pontjairól állandó mennyiségű levegő távozzék, illetőleg oda beáramoljék. Ezért az említett szellőztetési módszereket túlnyomásos, vagy depressziós szellőztetésnek nevezzük. A szabályozott áramlásnál bevezetett és a kiáramoltatott levegő mennyiségének arányát a helyiség szellőztetési légmérlegének nevezzük.

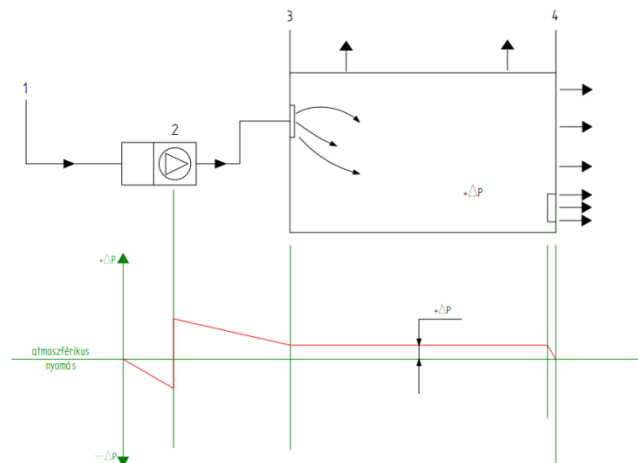
Ezen felül megvalósulhat még kiegyenlített szellőzés is, amikor is a bejutó és távozó levegő mennyisége megegyezik, vagyis a helyiségben atmoszférikus nyomás uralkodik. A túlnyomásos szellőztetést akkor alkalmazzák, amikor a helyiség légállapotát a külső hatásoktól akarjuk megvédeni. Nem használható a túlnyomásos szellőztetés, ha a helyiségben por, gáz, gőz vagy kellemetlen szagok keletkezése várható. (A létesített túlnyomás általában 10-50 Pa.) Ezzel szemben a depressziós szellőztetési módot akkor alkalmazzák, ha helyiségben keletkező szennyezőanyagoktól meg akarják védeni a szomszédos

tereket. Nem alkalmazható akkor, ha a környezetben felszabaduló káros szennyeződések beáramlásától kell tartani. A légköri nyomástól eltérő szellőztetési módok nyomásviszonyait az 1-es ábrán láthatjuk.



1/a. ábra: Depressziós szellőztetés befúvó és elszívó rendszerrel [2]

1 – levegő beszívása, 2 – szívó egység, 3 – levegő bejutása,
4 – elszívás, 5 – folyamatos légszűrő, 6 – ventilátor,
7 – levegő kiadás



1/b. ábra: Túlnyomásos szellőztetés befúvó rendszerrel [2]

Szellőztető légáram meghatározása légcseré tényezővel

Amennyiben a szennyezőanyag felszabaduló mennyisége nem ismert (nem mérhető, számítással nem, vagy nehezen követhető), akkor a gyakorlati légttechnikában a kialakított légcseré tényezőt alkalmazzák.

A légcseré-tényező

$$n = \frac{\dot{V}}{V_h} \left[\frac{1}{h} \right] \quad (1)$$

ahol, a $\dot{V} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$ az óránkénti szellőzőlevegő térfogatárama, a $V_h [\text{m}^3]$ pedig a helyiség térfogata.

Az n tényező „hivatása” tehát, hogy megmutassa, hányszor cserélődik ki a helyiség levegője óránként.

Az atomerőművi szellőztető rendszerek

Az eddigiekben leírt gondolatok alapján és egyéb technológiai igényeket figyelembe véve megfogalmazhatjuk az atomerőmű szellőztető rendszereinek fő feladatait:

- az érvényes egészségügyi előírásoknak megfelelő hőmérséklet, pára és portartalom biztosítása;
- a technológiai rendszerek által leadott hő és nedvesség felesleg eltávolítása;
- a technológiai rendszerek által igényelt szellőző levegő, illetve komfortparaméterek biztosítása;
- lépcsőzetes depresszió biztosításával a sugárbiztonság fenntartása.

Az atomerőművi szellőztető rendszerek felosztása

Az atomerőművek légtechnikájának is követnie kell az építészeti kialakítás felosztását: szabad és zárt zónák helyiségeinek osztott szellőztetését kell kialakítani új erőművi blokkok létesítésénél is. A szabad zónához tartoznak alapvetően a szekunder kör helyiségei. Ezekben a terekben a bent tartózkodókat radioaktív sugárterhelés nem érheti, a helyiségek levegője radioaktív szennyeződésektől mentes. E zóna kiemelkedő „helyisége” a turbina csarnok, vagy más néven a gépház. Ezen tér, illetve terek szellőztetésének koncepciója követi az egyéb hőerőművek gépházainak szellőztető rendszereinek megvalósítását, vagyis természetes szellőztetés kialakítására van szükség, kiegészítve egy viszonylag kis teljesítményű nyomó-szívó szellőztetéssel.

Az ellenőrzött zóna helyiségei alapvetően a primerköri helyiségek. Az általános ipari szellőztetési körülményeken felül ki kell emelni, hogy gamma-sugárzási háttérrel is számolnunk kell. Ezen felül még tömör fűtőelem burkolatok mellett is jó izotópok, aktív nemesgázok, valamint aeroszolok elkerülhetetlen jelenlétére is figyelemmel kell lennünk.

Amennyiben a szilárd szennyezőanyagok csak a levegőben találhatóak, vagyis a légtérben lebegnek, akkor aeroszol-ról beszélünk. Amennyiben az aeroszolok leülepedése időben lejajlott, akkor már aerogel-ről beszélhetünk.

Az atomerőmű zárt zónájának helyiségeit a kezelhetőség szerint osztályoznunk kell. A következő csoportokat alakíthatjuk ki:

- nem kiszolgálható helyiségek: üzemelő reaktor esetén kezelőszemélyzet nem tartózkodhat;
- korlátozottan kiszolgálható helyiségek: üzemelő reaktor esetén a kiszolgáló személyzet időszakosan tartózkodhat;
- kiszolgálható helyiségek: a kezelőszemélyzet egész műszak alatt tartózkodhat.

A túlnyomásra méretezett hermetikus tér szellőztető rendszerei

A koncepcionális kialakítás szerint a túlnyomásos helyiségek a nyomott vizes atomerőművek zárt zónáiban találhatóak. Jellemző rájuk, hogy nagy a hő- és nedvességfejlődésük, illetve hogy a légtérük és a benne található aeroszolok a neutronfluxus hatására felaktiválódnak. Ezekhez a helyiségekhez tartoznak a gőzfejlesztők, a főkeringtető

szivattyúk, a térfogatkompenzátor, a buborékoltató tartály, a hidroakkumulátorok és a nagynyomású berendezések helyiségei.

A túlnyomásra méretezett hermetikus terekben a szellőztető rendszerek feladatai a következők:

- depresszió létesítése;
- a keletkező hő- és nedvességfejlődés feleslegének eltávolítása;
- a kéménybe kibocsátandó levegő radioaktív aeroszoloktól és az aktív jód-tól való megtisztítása;
- elfogadható körülmények megteremtése a karbantartási munkák elvégzéséhez a reaktorok átrakása alatt.

A jelenleg üzemelő atomerőművünknel - normál üzemben - ezekben a helyiségekben a hőteljesítmény blokkonként kb. 1,3 MW, a nedvesség fejlődése pedig kb. 200 kg óránként. A recirkulációs rendszerek fő feladata a túlnyomásra méretezett hermetikus térben a keletkező hő és nedvesség eltávolítása.

1. táblázat Atomerőmű szellőztető rendszereinek feladatai – összefoglaló táblázat

A szellőztető rendszerek feladatai
A gőzfejlesztők boxának hűtése, hogy ott a hőmérséklet ne legyen magasabb 60°C-nál.
Recirkulációs tisztító rendszer, mely segítségével a túlnyomásra méretezett hermetikus tér levegőjét üzem közben meg lehet tisztítani a radioaktív aeroszoloktól és gázoktól.
A reaktor beton aknájának a hűtését kell ellátnia oly mértékben, hogy a beton hőmérséklete ne legyen magasabb 70°C-nál.
A főkeringtető szivattyúk villanymotor helyiségeinek hűtése, hogy ott a hőmérséklet ne legyen magasabb 40°C-nál, a villanymotorok miatt.
A 100°C-nál magasabb hőmérsékletű közeget szállító, a túlnyomásra méretezett hermetikus tér falán átmenő csővezetékek hűtése, hogy a csőátvezetés közelében a beton hőmérséklete ne legyen magasabb, mint 70°C.
A többi recirkulációs hűtőrendszer feladata, hogy egyéb, teljesen zárt hermetikus helyiségből az ott keletkező hőt és nedvességet eltávolítsa.
A nyomó-szívó rendszerekkel a légcserre (frisslevegő igény biztosítása, illetve a depresszió tartása) biztosítása (a meglévő atomerőművünknel ezek a *UH02, *UH03 és *TN02 alfanumerikájú rendszerek).

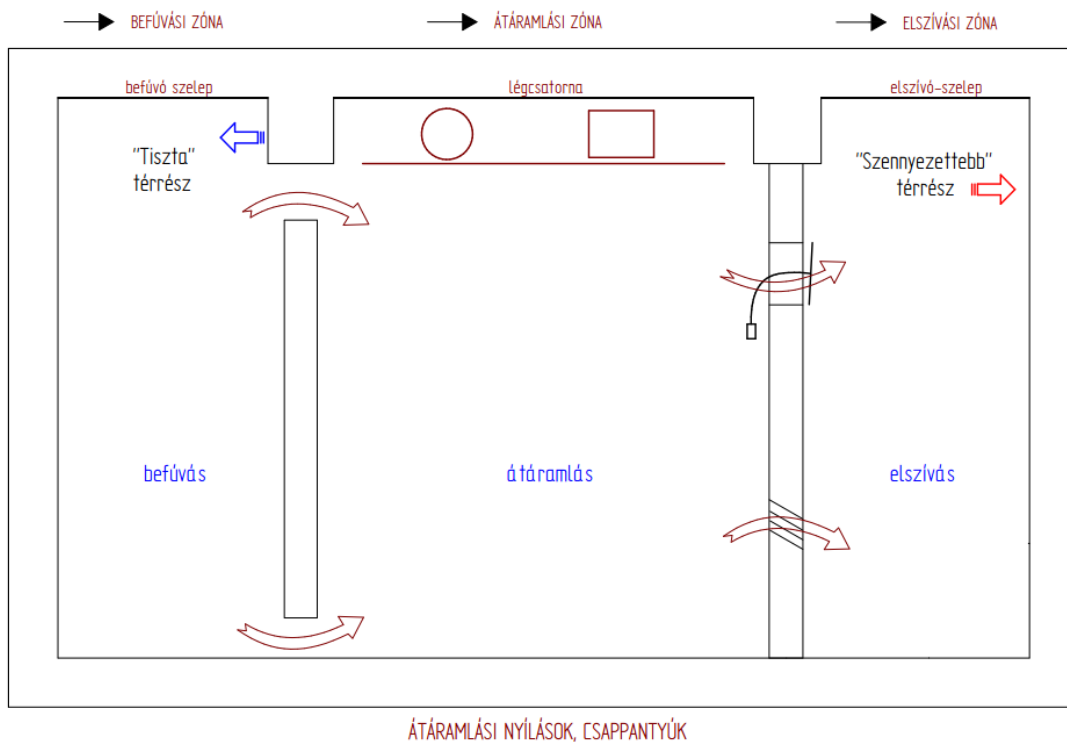
Egy atomerőmű szellőztető rendszerének kialakítását úgy kell megtervezni, hogy az több üzemállapotot ki tudjon szolgálni. Normál üzemállapot esetén és karbantartás esetén eltérő légcserét kell a nyomó-szívó rendszereknek biztosítani.

A túlnyomásra nem méretezett hermetikus helyiségek szellőztető rendszerei

Induljunk ki abból, hogy mi jellemzi ezeket a helyiségeket! Az előző szakaszban ismertetett helyiségekhez képest jelentéktelen hőfejlődés, minimális nedvességfelesleg. Néhány helyiség levegőjében radioaktív aeroszol tartalommal kell számolnunk.

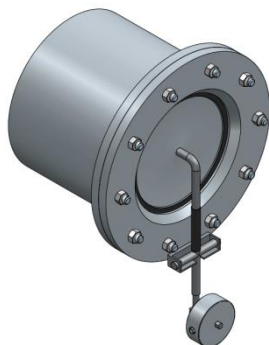
Ezen helyiségekben az alábbi feladatai vannak a szellőztető rendszereknek: depresszió létesítése (10-50 Pa körüli), a hőfelesleg és a nedvesség eltávolítása, normális egészségügyi

körülmények biztosítása a kezelő személyzet részére, szükség esetén a kéménybe kibocsátott levegő megtisztítása az aeroszoloktól és az aktív jódoktól.



2. ábra: Az irányított átáramlás és a zónázás felépítése (forrás: az ábra Káldi Tamás munkája)

A radioaktívan szennyezett terek szellőztetés befűvő-elszívás kialakításnak alapfilozófiája az, hogy mindig a „tiszta” helyeken történik a levegő befűvése, majd folyamatosan tereljük a levegőt a „szennyezettebb” térrészek felé. Az elszívás mindig a „szennyezettebb” térrészből történik. Az előkezelt levegőt a nyomórendszerek minden esetben a kiszolgálható helyiségekbe és folyósókba nyomják be, ahonnan a túlnyomást kibocsátó csappantyúkon keresztül átáramlik a korlátozottan kiszolgálható és kezelést nem igénylő helyiségekbe, a szívó szellőztető rendszerek által létrehozott depresszió hatására. Az egyirányú levegőátáramlást biztosító szelepek betervezésével kell biztosítani a levegő átáramlását, mert így ezen csappantyúkkal kizárható az, hogy - a szellőző rendszer leállítása esetén- a levegő átáramolhasson a „szennyezett” helyiségekből a kiszolgáló folyósókba és helyiségekbe. Az ellenőrzött zónából a levegő visszaáramlást motoros működtetésű, a nyomó ventilátor üzeméhez reteszelt gáztömör csappantyúk akadályozzák meg.



3. ábra: Egyirányú levegőáramlást biztosító „KID” csappantyúk (forrás: az ábra Káldi Tamás munkája)

Az atomerőmű szellőztető rendszereinek üzembiztonságát biztosító megoldások

A szellőztető rendszerekkel szemben támasztott fő követelmények, hogy azok üzembiztosak és hatékonyak legyenek. Az üzembiztonságot – mint más atomerőművi rendszerek esetében is –, a berendezések számának növelésével érik el. Ez a gyakorlatban úgy valósul meg, hogy a kiemelt rendszereknél minden rendszerben három berendezés van, melyek mindegyike külön biztonsági rendszer villamos energiáját és hűtővizét kapja meg.

Ha a rendszer nem kiemelt fontosságú, akkor általában 2 db berendezés kerül kialakításra. A filozófiája az alapvető ipari biztonsági filozófiát követi: egy üzemi, egy pedig tartalék rendszer.

Egy atomerőmű életében a klímarendszerek alapvetően az emberi tartózkodásra, munkavégzésre szolgáló helyiségek mikroklímájának biztosítására (igény szerinti hűtés-fűtés, szárítás-nedvesítés) szolgálnak. Ide tartoznak az irodák, a tárgyalók, tartózkodók, de ide soroljuk az atomerőművek üzemét biztosító blokkvezénylő és egyéb irányító helyiségeket is.

Vannak azonban olyan klímarendszerek is az atomerőműben, melyek a technológiai folyamatok során felszabaduló hőterhelések elvitelét biztosítják. Ezen klímarendszerek biztonsági osztályba soroltak és redundanciával rendelkeznek.

A szellőztető és klímarendszerekkel szembeni követelmények új blokkok létesítése esetén

A 118/2011 (VII.11) Korm. rendelet 3/A. melléklete tartalmazza az új blokkok létesítése során betartandó tervezési követelményeket. Az atomerőművek „életében” a szellőztető és klímarendszerek a segéd és kiszolgálórendszerekhez tartoznak, így a vonatkozó NBSZ 3a.4.7. fejezetének II. pontja tartalmazza mindazon tervezési követelményeket, melyek a légszűrőkkel szemben támasztottak.

Az NBSZ ide vonatkozó részének a 3a.4.7.0500. pontja leírja a szellőztető és klímarendszerekkel szembeni elvárásokat:

- az adott helyiségben a légcseré mértéke legyen arányos a levegővel mozgó radioaktív anyagok koncentrációjának mértékével;
- a légáramlatok iránya a kevésbé szennyezett helyekről a szennyezettebb helyek felé irányuljon, valamint;
- a rendszerek száma és elrendezése biztosítsa a jobban és kevésbé szennyezett helyiségek szellőzésének szétválasztását.

A jogszabályi és a szakági szakmai követelményeken túl az elmúlt 20-25 évben történt szakmai innovációkat és az üzemelő blokkokon már elvégzett fejlesztések eredményeit a

létesítendő blokkoknál is figyelembe kell venni, melyek az alábbiak:

- energetikai követelmények figyelembe vétele, energetikai optimalizáció;
- változó tömegáramú kalorikus rendszerkapcsolatok (hűtés, fűtés);
- gőzlégnedvesítők alkalmazása, melyhez lágyvízes rendszer kiépítése szükséges;
- vezérlés integráció, vizualizáció, felügyelet - távfelügyelet: ezen követelmény vonatkozásában a komplexebb felépítésű befúvó légkezelő vezérlések önálló DDC állomásként építendőek ki. Az egyszerűbb elszívás vezérlések üzemi adatainak/hibajelzéseinek továbbítása a felügyeleti rendszer irányába csoportos - DDC alapú - adatgyűjtők által történjen;
- cserélhető töltetű jódszűrők alkalmazása;
- szűrők beépítési követelményei, központi szűrőfal alkalmazása;
- biztonsági osztályba és földrengés biztonsági osztályba sorolási feltételek biztosítása;
- blokkvezénylői, tartalékvezénylői autonóm jódszűrő rendszerek;
- konténment lassú nyomáselengedés szellőztetési, hőelvonási feladatai;
- a szűrőkkel ellátott, illetve a változó légszállítás igényű rendszerek esetében a ventilátorok légmennyiség mérésen alapuló, megfelelő fordulatszabályozással rendelkezzenek;
- befúvó légkezelők esetében az előző pontban megfogalmazott igényen túl követelmény a direktajtású (ún. csigaház nélküli) radiálventilátorok alkalmazása;
- a vezérlő automatikák esetében követelmény az alábbi üzemmódok biztosítása: „AUTO” (normál) üzem - minden szabályozókör és retesz aktív, „KÉZI” üzem - DDC vagy légmennyiség mérőkör hiba esetén az üzem fenntartható, illetve az úgynevezett „DIREKT ÜZEM” - a szabályozókörök és reteszek inaktívak, a ventilátor üzemé és fordulatszáma vezérelhető.

Összefoglalás

Egy atomerőmű szellőztető és klímarendszerei újszerű feladatok elé állítják a szellőztetéssel és a klimatechnológiával foglalkozó szakembereket. A radioaktív légtechnika különleges tudományág, ahol természetesen az alapvető levegőfizikai és természettudományos definíciók ugyanúgy érvényesek.

Az eddigi – elsősorban üzemviteli - tapasztalatokat figyelembe kell venni, mert a megbízható üzemeltetés és gondos tervezés fontossága elengedhetetlen, a gyakorlatban megszerzett tudást alkalmaznunk kell az új atomerőművi blokkok tervezése, létesítése során.

Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Braxatoris Ákos – Dr. Palócz Miklós (2011): *Légtechnika, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi egyetem – építészmérnöki kar*
- [2] Molnár Szabolcs (2015): *Szellőző és klímarendszerek, OAH felügyelők betanító képzése – tanfolyami jegyzet*
- [3] Dr. Bacskó Gábor és Frigyesi Ferenc: *A Paksi Atomerőmű szellőztető rendszereinek ismertetése, üzembe helyezési és üzemviteli tapasztalatai, Energia és Atomtechnika XL. évf. 5. sz. (226-231 old.)*