

A reaktorcsarnoki szellőztetés hatása súlyos atomerőműi balesetnél

Deme Sándor^{1*}, Pázmándi Tamás¹, C. Szabó István², Szántó Péter¹

¹MTA Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest

²MVM Paksi Atomerőmű Zrt., Paks

*deme@aeki.kfki.hu

Effect of the reactor hall ventilation in the case of a severe NPP accident

The paper deals with the role of the reactor hall ventilation on the radiation situation in the reactor hall and in the environment in the case of a severe accident of the VVER-440/V-213 type NPP. In case of no voltage blackout there is an opportunity to ventilate the reactor hall using the ventilation system of the containment which has high, up to 99.9 percent of filtration efficiency for aerosols and iodine. The volume activity concentration of the air released via the ventilation stack will be about one thousand times lower than that for leakage without filtration.

Keywords: Accident, contamination, dose, NPP, reactor hall, ventilation.

Kivonat. A közleményben ismertetjük, hogy egy VVER-440/V-213 típusú atomerőműben bekövetkező súlyos baleset esetén a reaktorcsarnok szellőztetése milyen hatással van a reaktorcsarnokban és a környezetben kialakuló sugárzási helyzetre. Amennyiben a baleset nem jár teljes feszültség kimaradással, akkor mód van a reaktorcsarnok szellőztetőrendszerének üzemeltetésére. A reaktorcsarnok normálüzemi szellőztetőrendszere nem tartalmaz szűrőket, ugyanakkor mód van arra, hogy a hermetikus tér átszellőztetéséhez használt szellőzőrendszert a reaktorcsarnok szellőztetésére alkalmazzák. E szellőzőrendszer 99,9%-os hatásfokú aeroszol és jódszűrővel rendelkezik, így üzeme révén a környezetbe kikerülő levegő aeroszol- és jód-aktivitáskoncentrációja ezerszer kisebb lesz, mint a szűrés nélkül kiszivárgó levegőé.

Kulcsszavak. Atomerőmű, baleset, dózis, reaktorcsarnok, szellőztetés, szennyeződés.

A REAKTORCSARNOK SZELLŐZTETÉSE SÚLYOS BALESETNÉL

A VVER-440/V-213 típusú atomerőmű súlyos baleseténél a megolvadt reaktorzónából kilépő radionuklidok nagy aktivitáskoncentrációt hoznak létre a hermetikus térben. A jelentős hőmennyiség felszabadulása következtében a hermetikus térben túlnyomás alakul ki. A hermetikus térből szivárgás révén az ott lévő radioaktív anyag egy része a hermetikus tér környezetébe, ezen belül elsősorban a reaktorcsarnokba jut ki. A kikerülő aktivitás a hermetikus téri levegő aktivitáskoncentrációjának és a kikerülő levegő mennyiségének szorzata. A reaktorcsarnokba jutó szennyeződés működő szellőztetés esetén a szellőzőkéményen át a környezetbe kerül, szellőztetés hiányában egy része a reaktorcsarnok és a környezet közötti tömítetlenségeken keresztül a szabadba jut. A csarnokban maradó aeroszolk és elemi jód fokozatosan kiülednek a csarnok falára, ennek és a bomlásnak következtében a légtérben aktivitásuk csökken. A nemesgázok esetében a szivárgáson felüli csökkenés csak a bomlás eredménye.

Normál üzemnél a reaktorcsarnokból a szűrők nélküli TN13 szellőzőrendszerek továbbítják a levegőt a szellőzőkéményen át a környezetbe [1]. A TN13 rendszer mellett a csarnokban lévő levegő elszívására rendelkezésre áll két, általában a hermetikus tér átszellőztetésére szolgáló, aeroszol- és jódszűrővel ellátott TN01 szellőzőrendszer is. E rendszerek egyik lehetséges üzemzavari feladata a reaktorcsarnoki levegő szűrt elszívása, depresszió tartása. A depresszió biztosítása érdekében a befűjt levegő mennyisége kevesebb kell legyen, mint az

elszívotté. Az így létrejövő depresszió biztosítja, hogy a radioaktív szennyeződés a reaktorcsarnokból a kapcsolódó helyiségek felé és a környezetbe ellenőrizetlenül ne juthasson ki.

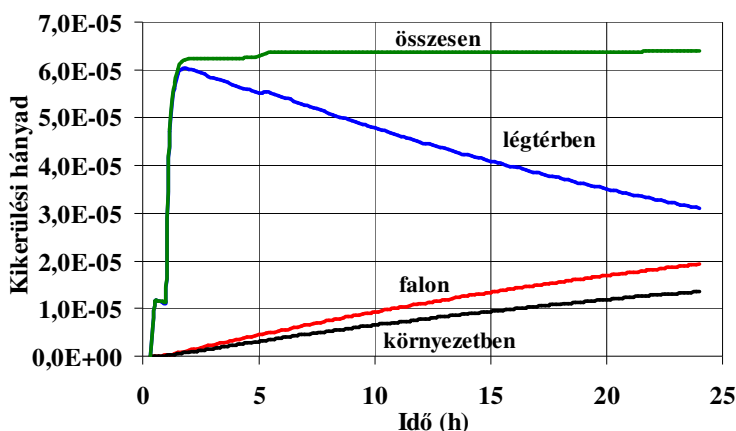
Megvizsgáltuk, hogy a TN01 rendszer alkalmazása révén milyen javulás érhető el a reaktorcsarnokban és a környezetben kialakuló sugárzási adatokban. Példaként egy adott súlyos baleseti szituációra vonatkozóan végeztük el a számításokat, de a számítás módszere más esetekre is alkalmazható abban az esetben, ha a reaktorcsarnok fala nem sérül és a szellőzőrendszerek üzemeltetéséhez szükséges tápfeszültség rendelkezésre áll.

SZÁMÍTÁSI PÉLDA EGY SÚLYOS BALESETRE

Kiindulási adatok szellőztetés nélkül

Számítási példánkban feltételezzük, hogy a nagy csőtörés következtében létrejövő baleset bekövetkezése utáni 20. percben a fűtőelemek részaktivitása a hermetikus térbe kerül, a 30. percben megkezdődik a zónaolvadás és a 90. percben sikerül helyreállítani a zóna hűtését [2, 3].

Kiindulási adatként ismertük a reaktorcsarnok légterében és falán lévő aktivitás mennyiségét és a környezetbe történő aktivitásszivárgást szellőzés nélkül (1. ábra). A feltételezések szerint a környezeti szivárgás 40 m magasan történik a reaktorcsarnok és a csarnok fala közötti tömítetlenségen át.



1. ábra. A hermetikus térből kikerülő aktivitás a reaktorcsarnok légterében és falán, valamint a környezetben és ezek összege a zónakészlet hányadában.

A szellőztetés hatása a reaktorcsarnok szennyezettségére és a környezeti kibocsátásra

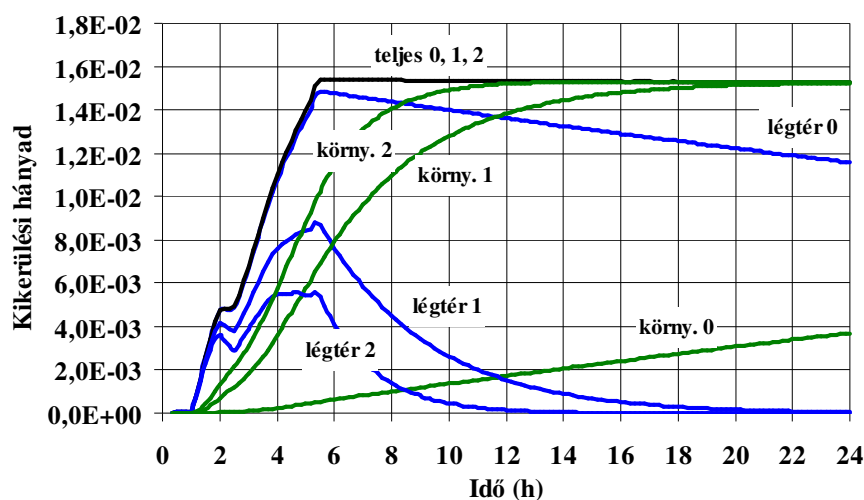
A szellőztetés hatásának számításakor feltételeztük, hogy

- a reaktorcsarnokba beáramló radioaktív anyagok a csarnok légterében mindig egyenletesen elkevert állapotban vannak,
- az elszívás 1 vagy 2 db, egyenként 40 000 m³/h szívóteljesítményű TN01 rendszerrel történik,
- a TN01 rendszer aeroszol- és jódszűrőinek hatásfoka egyaránt 99,9%,
- a reaktorcsarnok térfogata 160 000 m³ [1].

A felhasznált adatok [3] analízise révén megállapítottuk, hogy a csarnok légterében lévő aeroszokok falra történő átlagos kiülepedési sebessége $5 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, az átlagos környezeti kiáramlási sebesség a csarnok légterében lévő aktivitás hányadában $3,6 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$.

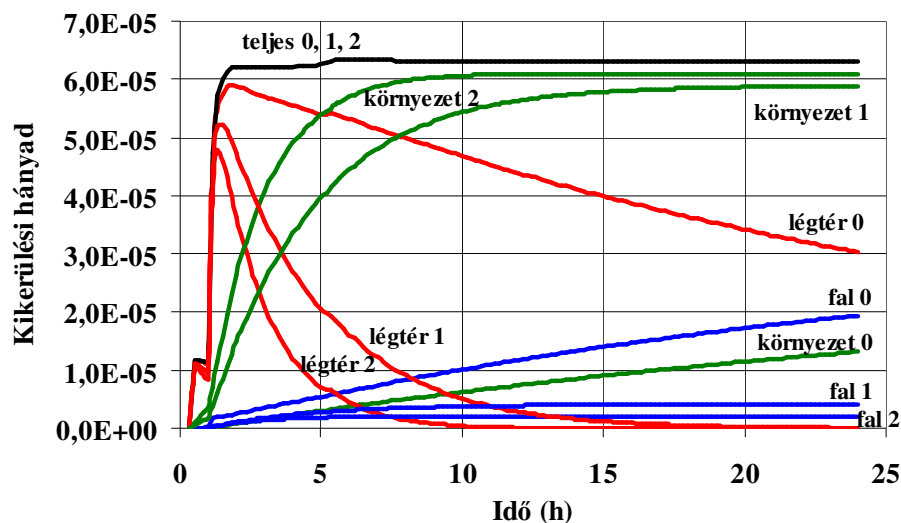
Az előzőekben meghatározott paramétereket felhasználva kiszámítottuk, hogy a csarnokból egy vagy két TN01 rendszerrel történő szűrt elszívás milyen hatással van a csarnok légterében és a falán lévő aktivitásra, valamint a környezeti kikerülésre. A nemesgázok esetében nincs kiülepedés, ezért csak az elszívás hatása jelentkezik.

A nemesgázokra vonatkozó, kikerülési hányadban megadott légtér aktivitást a 2. ábra mutatja. Megállapítható, hogy elszívás esetén a légtérben lévő nemesgázok maximális mennyisége az elszívás nélküli esethez képest jelentősen csökken, 1 db TN01 üzeme esetén az eredeti érték 0,6, 2 db TN01 üzeme esetén pedig az eredeti érték 0,4-ed részére. A maximális érték elszívás nélkül csak lassan csökken, elszívással viszont gyors csökkenés érhető el. Ha egy TN01 rendszert alkalmazunk, akkor 21, kettő esetén pedig 12 óra múlva csökken a csarnok nemesgáz aktivitáskonzentrációja a szellőztetés nélküli érték 1%-ára. Meg kell jegyezni, hogy ezeket az adatokat – főként a maximum értékét – a hermetikus téri kiáramlás időfüggése szabja meg.



2. ábra. A nemesgázok kikerülési hányada a csarnok légterében és a környezetben. A görbéknél szereplő számok (0, 1 és 2) az üzemelő TN01 szellőzőrendszerek számát jelölik.

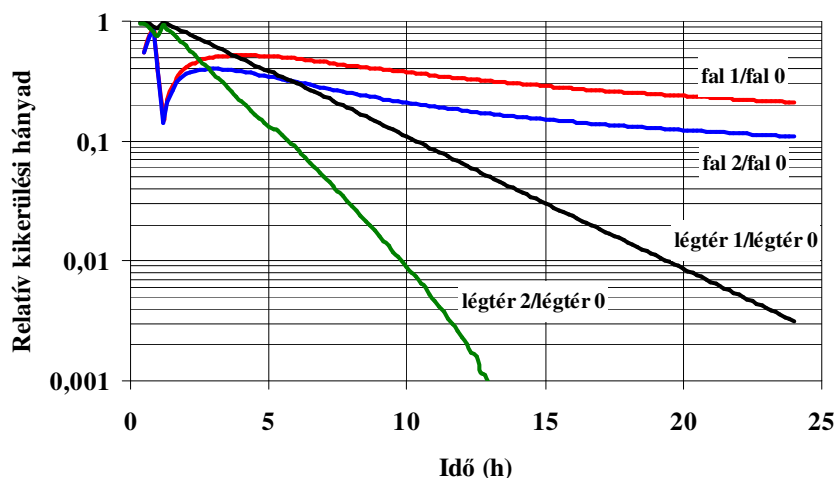
A továbbiakban példaként az aeroszol formájú jódra vonatkozó számszerű adatokat határoztuk meg. (A [3] csak aeroszol formájú jódot ad meg). Az aeroszokok, így az aeroszol formájú jódot is a csarnok falára történik a kiülepedés. A 3. ábra a falra kiülepedő jódot zónakészletben megadott kikerülési hányada mellett a légtérben maradó és a szűrőhatás figyelembe vétele nélkül a környezetbe kerülő, valamint a teljes jódmennyiséget is mutatja.



3. ábra. A reaktorcsarnok szellőztetésének hatása a légtérre, a falra és a környezetre vonatkozó jódk kikerülési hányadokra. Az adatoknál szereplő számok az üzemelő TN01 szellőzőrendszerek számát jelölik. A teljes mennyiség független a szellőztetéstől.

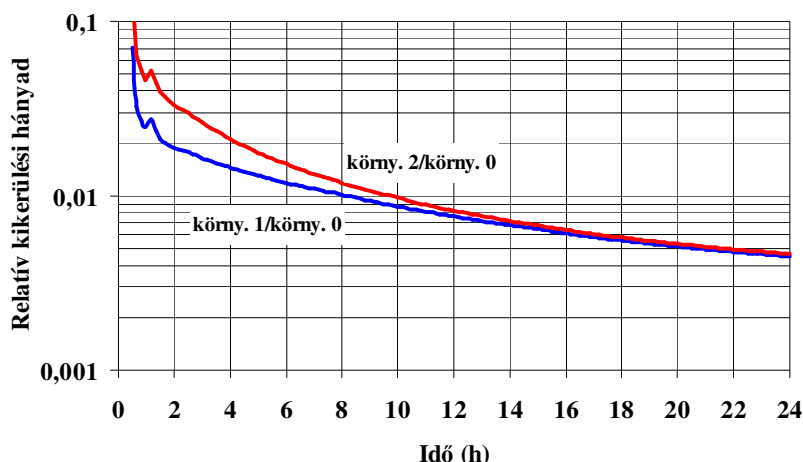
A falra kerülő jódmennyiség, azaz a kiülepedés két TN01 rendszer üzele esetén csak a fele az egy rendszerre vonatkozó adatnak. A falra ülepedés sebessége (a görbe emelkedése) arányos a légtér aktivitáskoncentrációjával, ennek megfelelően szellőztetés nélkül a fal aktivitása (kikerülési hányada) kissé csökkenő meredekséggel folyamatosan nő, míg szellőztetés esetén a 7., illetve a 14. óra után a növekedés már nagyon kicsi.

A 4. ábra a légtér és a fal kikerülési hányadot a szellőztetés nélküli esetre normálva mutatja. A 10. órát alapul véve a falra a szellőzés nélküli állapothoz képest csak az eredeti mennyiség 40%-a (1 db TN01), illetve 20%-a (2 db TN01) kerül. A légtérnél ugyanezek az arányok 10%, illetve 1%.



4. ábra. Az aeroszol jódk falra és a légtérbe kerülés relatív értéke egy, illetve két darab TN01 szellőzőrendszer üzele esetén a szellőztetés nélküli esethez képest. A jelölésekben lévő szám az üzemelő TN01 rendszerek számát jelenti.

A 3. ábra környezeti kikerülési adatait a szellőztetés nélküli esetre normálva és a szűrőhatás figyelembe vételével az 5. ábra mutatja. Szellőztetés esetén a környezeti kikerülés a TN01 rendszer szűrőhatásának következtében végeredményben az eredeti érték ezredrészére csökken, de a csökkenés időfüggésében szerepet játszik az, hogy a szellőztetés légforgalma sokszorosa az elszívás nélküli szivárgásnak.



5. ábra. A jó környezeti kikerülési hányadának időfüggése az elszívás nélküli esethez viszonyítva 1, illetve 2 db TN01 rendszer üzeme esetén. A TN01 rendszerrel figyelembe vettük a 99,9%-os szűrési hatásfokot.

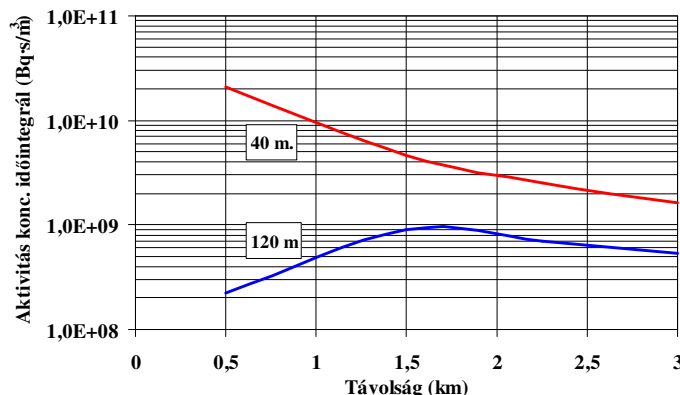
A szellőztetés révén a reaktorcsarnokban depresszió jön létre, ennek révén a reaktorcsarnokba kikerülő aktivitásnak csak sokkal kisebb része kerül az erőmű olyan helyiségeibe, amelyek közvetlen légtér kapcsolatban vannak a reaktorcsarnokkal, de amelyekbe a hermetikus térből közvetlenül nem kerül aktivitás. Így a szellőztetés nem csak a reaktorcsarnok, hanem az erőmű más helyiségeinek elszennyeződését is jelentősen csökkenti.

Hőtechnikai számítás

A szűrők hőterhelésének ellenőrzése céljából kiszámítottuk, hogy a TN01 rendszer szűrői a felhalmozódó radioaktív anyagok révén milyen mértékben melegednek fel. A melegedés meghatározására a levegő hőmérsékletemelkedését számítottuk ki. A konzervatív számításoknál feltételeztük, hogy a szűrőn marad az átáramló levegő teljes kiszűrhető aktivitása és a bomlás okozta aktivitáscsökkenést elhanyagoltuk. Az abszolút aktivitásokat a [4] alapján számítottuk ki. E feltételezésekkel a hőfejlődés mintegy 360 W [5], amely a 40 000 m³/h légforgalmat figyelembe véve a levegő hőmérsékletének 0,03°C-os emelkedését okozza.

A környezeti sugárzási helyzet idő és távolságfüggése

A környezeti sugárzási helyzetet a kibocsátás nuklidonkénti mennyisége mellett a meteorológiai körülmények és a kibocsátási magasság is befolyásolják [6]. Az aktivitáskoncentráció időintegrál távolságfüggését 40 és 120 m-es effektív kibocsátási magasságnál a 6. ábra mutatja. Látható, hogy a szellőzőkéményen át történő kibocsátásnál minden távolságon legalább 3-szor kisebb értéket kapunk, mint 40 m-es kibocsátási magasságnál.

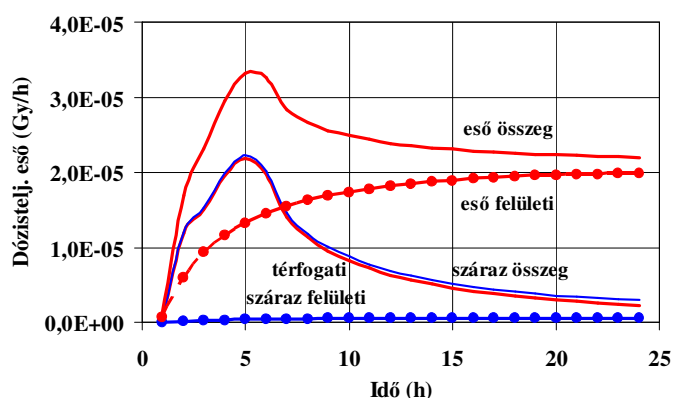


6. ábra. A talajfelszín közeli aktivitáskoncentráció időintegrál távolságfüggése 10^{15} Bq-es aeroszol forrástagnál, 40, illetve 120 m-es kibocsátási magasságnál, D Pasquill-kategóriánál és 10 m-en 5 m/s-os szélességnél száraz időben.

További módosító tényező a kibocsátás időtartama, mert hosszú időtartamú kibocsátásnál a szélirány statisztikusan várható ingadozását is figyelembe kell venni [7]. Ez a hatás 24 órás kibocsátásnál akár 4–5-szörös csökkenést is okozhat.

A környezeti dózisteljesítménynél a légtérben lévő radionuklidok, valamint a talaj felszínére kiülepedett radionuklidok gamma-sugárzását vizsgáljuk. A környezeti veszélyhelyzet megállapítása szempontjából ez utóbbinak van meghatározó szerepe, mert általános veszélyhelyzet a NAÜ ajánlás szerinti akkor jön létre, ha a talajszennyezettség gamma-sugárzásának dózisteljesítménye eléri az 1 mSv/h értéket [8]. A légtér- és a talajszennyezettség dózisának összege (külső dózis) a balesetnél a környezetben mérhető gamma-sugárzásnak felel meg.

A 7. ábra alapján látható, hogy a vizsgált esetben a szellőzőrendszer működése esetén a talajszennyezettség révén létrejövő dózisteljesítmény még a kedvezőtlen, esős időben is csak 0,02 mSv/h, ugyanakkor szellőzés nélkül ez az érték jelentősen meghaladhatja az 1 mSv/h értéket.



7. ábra. A környezeti dózisteljesítmény térfigati és felületi összetevői és azok összege (a szellőzőrendszer működése esetén) száraz időjárásnál és esőnél a kibocsátási ponttól 1,5 km-es távolságra D Pasquill-kategóriánál és 10 m-en 5 m/s-os szélességnél.

KÖVETKEZTETÉSEK

A reaktorcsarnok szellőztetésének figyelembevételére kidolgozott számítási módszerrel mintaszámítást végeztünk egy súlyos, zónaolvadással járó baleseti helyzetre. A számítások eredményeként megállapítottuk, hogy a szellőztetés révén

- a reaktorcsarnok légtér- és falaktivitása akár egy nagyságrenddel csökkenthető,
- a környezeti sugárterhelés mintegy két nagyságrenddel csökkenthető, és ennek révén még a vizsgált súlyos balesetnél sem jön létre általános környezeti veszélyhelyzet.

Meg kell jegyezni, hogy más forrástag esetében is az előzőekben ismertetett módszer alkalmazható a szűrt szellőztetés hatásának analízisére. A szellőztetés hatására várható aktivitáscsökkenés mind a reaktorcsarnok szennyezettsége, mind a környezeti kibocsátás szempontjából hasonló, mert a reaktorcsarnok légcseréje és a környezeti kibocsátásnál az aeroszol és jódszűrő minden esetben azonosak.

IRODALOM

- [1] Paksi Atomerőmű Végleges Biztonsági Jelentés 9.5.2.4 alfejezet. 2015. Verziószám: 10
- [2] Lajtha Gábor, Téchy Zsolt: Javaslat az SBKU csomag verifikációs programjának kidolgozásához. 202-100-00/2 NUBIKI 2011. július
- [3] A Nukleáris Biztonsági Kutatóintézet Kft. (NUBIKI) számítási adatai
- [4] Vértés Péter és Keresztúri András: Az üzemzavar-elemzések konzervatív zónaleltára, AEKI-RAL-2009-792-01/01
- [5] MicroShield 6.20. Gamma-sugárzás árnyékolást számító programcsomag. Grove Engineering. 2004
- [6] PC COSYMA An accident consequence assessment package for use on a PC. EUR 16239, 1996
- [7] R: H. Clarke: A Model for Short and Medium Range Dispersion of Radionuclides Released to the Atmosphere. report NRPB-R91, 1979
- [8] Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, GSG-2, Pub 1467, 2011

A közlemény a SOMOS alapítvány támogatásával készült