

A változó városi környezet klimatikus és energetikai szempontú elemzése és modellezése

Doktori értekezés tézisei

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Földtudományi Doktori Iskola

Doktori Iskola vezetője: Dr. Bartholy Judit, egyetemi tanár

Földrajz–Meteorológia Program

Doktori program vezetője: Dr. Karátson Dávid, egyetemi tanár



Készítette:

Dian Csenge Márta

Témavezetők:

Dr. Bartholy Judit

Egyetemi tanár, DSc

Dr. Pongrácz Rita

Egyetemi adjunktus, PhD

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar

Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék

Konzulens:

Dr. Talamon Attila

Egyetemi docens, PhD

Óbudai Egyetem, Ybl Miklós Építéstudományi Kar

2022, Budapest

DOI: 10.15476/ELTE.2022.139

1. Bevezetés és célkitűzések

Napjainkban a világ népességének több mint fele városokban él, ezért nagy jelentőséggel bír a városi környezet megismerése. A városokban a mesterséges környezet meghatározó elemei az épületek, melyek egyrészt kulcsfontosságú tényezők a városi klíma meghatározásában, másrészt jelentősen hozzájárulnak az energiafelhasználáshoz, pl. az Európai Unió teljes energiafogyasztásának 40%-át adják. Az energiafogyasztás és az energiaforrások biztosítása napjaink legfontosabb környezeti problémái közé tartozik. Az épületenergetikában különösen fontos szerepe van az időjárásnak, hiszen a komfortos beltéri környezet biztosításához szükséges energia nagymértékben függ a kültéri környezet állapotától, elsősorban a hőmérséklettől. Éppen ezért a fűtési és hűtési berendezések tervezésénél a legfontosabb műszaki paraméterek meghatározásakor figyelembe veszik az átlagos napi középhőmérsékleteket. A jelenleg érvényben lévő magyar energetikai szabványok alapján több évtizede meghatározott hőmérsékletre kell elvégezni a tervezéseket. Napjainkban azonban az éghajlatváltozás következtében változnak az átlagos középhőmérsékletek, ami indokoltá teszi az energetikai tervezésnél használt hőmérsékleti paraméterek újragondolását. A hőmérsékletek változásának következtében a jelenleg érvényben lévő definíciók szerint a fűtési idény időszakába eső hőmérsékletek is megváltoznak. Ebből következik, hogy érdemes hőmérséklet alapú definíciót kialakítani, mellyel a változások rugalmasabban kezelhetők. A disszertáció tartalmazza az évszakok és ezáltal a fűtési és hűtési időszakok részletes vizsgálatát, valamint javaslatot tesz a méretezési hőmérsékletek megváltoztatására.

2. Adatok és módszertan

Doktori disszertációmban a múltra és a jövőre vonatkozóan egyaránt végeztem számításokat. A múltbeli vizsgálatokhoz az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) napi állomási adatsorait használtam az 1901 és 2020 közötti időszakra. Hét meteorológiai változó áll rendelkezésre, többek között a minimum-, a maximum- és a középhőmérséklet napi időszora érhető el. Az adatok előkészítése során homogenitásvizsgálatot végeztem, mivel az állomásokat a 120 év alatt többször áthelyezték, illetve hagyományos higanyos hőmérőről digitális hőmérsékletmérőre álltak át. A CRU TS¹, E-OBS és CarpatClim adatbázissal való összehasonlítás után megállapítottam, hogy az adatsorokban nincs töréspont, így energetikai vizsgálatokhoz használhatók az OMSZ állomási mérései.

¹ CRU TS: Climate Research Unit Time-series

A vizsgálatok során három nagyváros (Budapest, Debrecen és Pécs) közép-hőmérsékleteinek adatsorait elemeztem. A dolgozatban felhasználtam a Magyarországon hatályban lévő épületenergetikai szabványokat. A szabványokban a külső méretezési hőmérsékletet régiók szerint definiálják, míg az ajánlott beltéri hőmérsékletet a helyiség funkciója alapján határozzák meg. A szabványok és az állomási adatsorok vizsgálatával meghatároztam a túlméretezési arányokat, melyből látható, hogy milyen hőmérsékleti értékekre érdemes tervezni a berendezéseket.

A fővárosra vonatkozóan számos további elemzést végeztem, mivel ez a legnépesebb és legnagyobb városunk, valamint a múltbeli adatsorok vizsgálatából kiderült, hogy Budapesten érdemes újragondolni a szabványban szereplő hőmérsékleti értékeket. A budapesti állomási adatsor szórását, valamint sűrűségfüggvényeit elemeztem. Továbbá az elmúlt 120 év szélsőségesen alacsony és magas napi középhőmérsékleteinek trendjét vizsgáltam. Ezek az elemzések tették lehetővé a fűtési és hűtési idény hőmérséklet alapú vizsgálatát (TA² definíció), szemben a korábbi naptári alapú meghatározásokkal (SM³, illetve OA⁴ definíció).

A múltbeli módszertan alapján további fűtési és hűtési idény vizsgálatokat végeztem a jövőre vonatkozóan. Ehhez a RegCM⁵ regionális klímamodell szimulációinak eredményeit használtam fel 10 km-es felbontásban. Globális meghajtó modellnek a MPI-ESM⁶ modellt választottam, a kibocsátási forgatókönyvek közül pedig a pesszimista RCP8.5⁷ scenáriót. A Budapestet lefedő rácspontok átlagából számított adatsor szélsőséges hőmérsékleteit, szórását és eloszlását vizsgáltam, továbbá alkalmaztam a háromféle fűtési és hűtési idény definíciót (TA, SM, OA). Az eredmények alapján egyértelműen indokolt az évszakos és havi skálájú elemzések elvégzése, valamint ennek keretében a múltbeli és jövőbeli hőmérsékleti előfordulási gyakoriságok összehasonlítása.

² TA (Talamon, 2014) definíció:

virtuális fűtési és hűtési idény a külső napi középhőmérsékletek alapján (hossza: változó)

³ SM (szeptember-május) definíció:

fűtési idény: szeptember 15. és május 15. között (hossza: 243 nap)

hűtési idény: május 16. és szeptember 14. között (hossza: 122 nap)

⁴ OA (október-április) definíció:

fűtési idény: szeptember 15. és május 15. között (hossza: 243 nap)

hűtési idény: május 16. és szeptember 14. között (hossza: 122 nap)

⁵ RegCM: Regional Climate Model

⁶ MPI: Max Planck Institute – Max Planck Intézet

⁷ RCP: Representative Concentration Pathway - jövőbeli koncentrációváltozás reprezentatív menete

3. Tézisek

A doktori kutatás legfontosabb eredményei:

1. A jövőre vonatkozóan számos regionális klímamodell szimuláció elérhető. Az ELTE Meteorológiai Tanszéken adaptált RegCM modell kétféle globális meghajtó modellbe (HadGEM és MPI) beágyazva áll rendelkezésre. A jövőre alkalmazandó szimuláció kiválasztásának érdekében a 2011-2020-as időszakra, Budapest térségére összehasonlítottam az OMSZ állomási adatsorát, valamint a HadGEM és az MPI által meghajtott RegCM szimulációkat. Vizsgálataimból megállapítható, hogy:

- a HadGEM modellel meghajtott RegCM szimuláció alacsony hőmérsékleteknél felülbecsli, míg magas hőmérsékleteknél alulbecsli az állomási adatsort,
- az MPI modellel meghajtott RegCM szimuláció szisztematikusan felülbecsli az állomási adatsort.

Ebből következően egy hibakorrekciós eljárást követően az MPI modellel meghajtott RegCM szimuláció ideális a jövőbeli hőmérsékletek becslésére.

2. A fűtési rendszerek tervezésénél nélkülözhetetlen paraméter a külső méretezési hőmérséklet. A jelenleg érvényben lévő szabványok szerint Magyarország három részre osztható: -11 °C -os, -13 °C -os és -15 °C -os méretezési hőmérsékletű térségekre. Mindegyik területhez kiválasztottam egy-egy reprezentatívnak tekinthető várost, melyre megvizsgáltam a méretezési hőmérsékletek előfordulási gyakoriságát. A vizsgálat egyértelműen azt jelzi, hogy a jelenleg hatályban lévő méretezési hőmérsékletek az elmúlt 120 évben rendkívül ritkán fordultak elő:

- Pécsen (méretezési hőmérséklet: -11 °C):
a fűtési szezon (OA definíció alapján) maximum 1,7%-ában.
- Budapesten (méretezési hőmérséklet: -13 °C):
a fűtési szezon (OA definíció alapján) maximum 0,5%-ában.
- Debrecenben (méretezési hőmérséklet: -15 °C):
a fűtési szezon (OA definíció alapján) maximum 0,9%-ában.

3. Az épületek hőtároló képessége 3-5 nap között mozog, azaz ennyi ideig képes az épület kompenzálni, mérsékelni a kültéri hőmérséklet változásának hatását. Éppen ezért nemcsak azt kell figyelembe venni a tervezéseknél, hogy egy-egy hőmérsékleti érték hányszor fordul elő, hanem azt is, hogy hány egymást követő napon keresztül áll fent az adott érték, vagy annál alacsonyabb hőmérséklet. A 2011-2020-as évtized adatai alapján:

- Pécs és Debrecen esetében nem feltétlenül szükséges a méretezési hőmérsékletek változtatása.
- Budapest esetén a hősziget-intenzitás hatására jelentősen módosítható a méretezési hőmérséklet.
- Javaslat: a hőmegtartó-képesség függvényében érdemes módosítani a méretezési hőmérsékleteket Budapesten az alábbiak szerint:

Hőmegtartó-képesség	Méretezési hőmérséklet
5 nap (jól szigetelt épület)	-6 °C
3 nap (kevésbé jól szigetelt épület)	-7 °C

4. Napjainkban naptári alapú fűtési és hűtési idény definíciókat használnak Magyarországon:

- OA fűtési szezon: október 15. – május 15.
- SM fűtési szezon: szeptember 15. – április 15.

A hőmérsékleti idősorok segítségével egy hőmérsékleten alapuló virtuális fűtési és hűtési idény definíció (TA definíció) is meghatározható.

Budapesten az empirikus sűrűségfüggvények alapján a TA definíció lefutása közel azonos az OA definícióhoz tartozó előfordulási gyakoriság-görbékkel.

A budapesti adatsor sűrűségfüggvénye alapján az évet energetikai szempontból három részre oszthatjuk:

- egyértelműen fűtési időszak
- egyértelműen hűtési időszak
- átmeneti időszak

A globális klímaváltozás hatására a jövőben a fűtési és hűtési időszakok egyaránt melegebbé fognak válni, 1,7-6,9 °C-kal. Legerősebb melegebbé válás a TA definíció hűtési idényében várható.

A fűtési időszak hossza mindegyik definíció alapján csökken (általában 4-11 nappal, kivéve a TA definíció alapján, ahol 74 napos csökkenés várható a hűtési idényben). Az átmeneti időszak hossza mindegyik definíció esetén nő, legnagyobb mértékben a TA definíció alapján, ebben az esetben az időszak hossza megháromszorozódik.

5. A fűtési, hűtési és átmeneti időszak hőmérséklet-értékeinek részletes elemzéséhez elengedhetetlen az évszakok hőmérsékleti viszonyainak alakulását vizsgálni a múltra és a jövőre vonatkozóan. Az előfordulási gyakoriság-görbék évek és évtizedek közötti változékonyságának kiszűrése érdekében 5 °C-os simítást alkalmaztam.

- A jövőben mindegyik évszakban a hőmérséklet tartomány magasabb hőmérsékletek felé tolódása várható a múlthoz képest. Mindegyik évszakban 2-3 °C-os az átlagos melegedés, a legerősebb melegedés pedig az őszi maximumokban várható (4 °C)
- A tavaszi és őszi előfordulási gyakoriság-görbék menetében változás várható a jövőben, és a maximális előfordulások növekedni fognak (1-2 nappal).

Az illesztett lineáris trendek azt jelzik, hogy a jövőben mind a négy évszak szélsőséges középhőmérsékletei esetén erősebb (2-5-szörös) melegedési tendencia valószínűsíthető, mint a múltban.

6. Az éghajlatváltozást finomabb időskálán is elemeztem a havi felbontású előfordulási gyakoriságok és az évtizedes móduszértékek alapján.

- A jövőben minden hónap hőmérsékleti tartománya egyre inkább a magasabb hőmérsékletek irányába tolódik el. A legnagyobb mértékű eltolódás (3-4 °C a teljes előforduló hőmérséklet tartományban), december és május hónapban várható.

Az egymást követő évtizedekben a havi adatsorok módusz értékei növekednek, csökkennek vagy változatlanok maradnak az előző évtizedhez képest.

Ezek alapján:

- A múltban a növekedés és a csökkenés közel azonos arányban figyelhető meg.
- A jövőben a móduszérték csökkenésének aránya jelentősen visszaesik, míg a változatlan móduszértékek aránya növekszik.

	Múlt (132 hónap)	Jövő (84 hónap)
Móduszérték növekedés	48%	45%
Móduszérték csökkenés	42%	36%
Változatlan móduszérték	9%	19%

4. Következtetések

Kutatásaim alapján kijelenthető, hogy az épületenergetikában jelenleg használatos kültéri méretezési hőmérsékletek a jelenleg előforduló hőmérsékleti értékeknél jóval alacsonyabbak (pl. Budapesten), és a globális klímaváltozás következtében a jövőben az átlaghőmérsékletek növekedése várható, így a méretezési hőmérsékletek megváltoztatása indokolt. Továbbá megállapítható, hogy a hőmérséklet alapú fűtési és hűtési idény definícióval kiküszöbölhető a felmelegedés hatása az egyes időszakokban. A módosított méretezés révén becsléseim szerint a jelenleg beépítendő hőtermelő berendezéseknél 20%-kal alacsonyabb teljesítményű berendezések is elegendőek lesznek, ami a különböző típusú kazánok és hőszivattyúk esetén családi háznál 250-500 ezer Ft körüli megtakarítást jelent, míg egy irodaház esetén akár 25-50 millió Ft takarítható meg.

Az értekezés témakörében készült publikációk

Lektorált folyóiratban megjelent cikkek

Dian, Cs., Talamon, A., Pongrácz, R., Bartholy, J. (2021): Analysis of heating and cooling periods in Budapest using station data. *Időjárás*, 125(3) pp. 431–448. DOI: 10.28974/idojaras.2021.3.4

Dian Cs., Pongrácz R., Dezső Zs., Bartholy J. (2020): Annual and monthly analysis of surface urban heat island intensity with respect to the local climate zones in Budapest. *Urban Climate* 31 Paper 100573, 16p. DOI: 10.1016/j.uclim.2019.100573

Dian Cs., Pongrácz R., Incze D., Bartholy J., Talamon A. (2019): Analysis of the Urban Heat Island Intensity Based on air Temperature Measurements in a Renovated Part of Budapest (Hungary). *Geographica Pannonica* 23(4) pp. 277-288. DOI: 10.5937/gp23-23839

Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs., Dian Cs. (2016): Analysis of the air temperature and relative humidity measurements in the Budapest Ferencváros district. *Hungarian Geographical Bulletin* 65(2) pp. 93-103. DOI: 10.15201/hungeobull.65.2.1

Magyar nyelvű folyóiratban megjelent cikkek

Pongrácz R., Dian Cs., Incze D., Kurcsics M., Dezső Zs., Bartholy J. (2017): Budapesti városklimatológiai helyszíni mérések elemzése. *Légekör* 62(3) pp. 126-129.

Teljes közlemények

Dian Cs., Talamon A., Pongrácz R., Bartholy J. (2020): A klímaváltozás hatása az épületenergetikát meghatározó kültéri hőmérsékletekre. In: Jelenlegi PhD kutatások a 75 éves Meteorológiai Tanszéken. (Pongrácz R., Mészáros R., Kis A. szerk.) *Egyetemi Meteorológiai Füzetek*, No.33., pp. 32-39. DOI: 10.31852/EMF.33.2020.032.039 http://nimbus.elte.hu/oktatas/metfuzet/EMF033/PDF/04_Dian-et-al.pdf

Dian Cs., Talamon A., Bartholy J., Pongrácz R. (2019): Budapest napi közép-hőmérsékletének energetikai célú vizsgálata. In: Épített környezet - levegőtisztaság. 2019. október 25. Budapest. Konferencia cikkek. (Pongrácz R., Mészáros R., Kis A. szerk.) *Egyetemi Meteorológiai Füzetek*, No.31., pp. 16-22. DOI: 10.31852/EMF.31.2019.016.022. http://nimbus.elte.hu/oktatas/metfuzet/EMF031/PDF/02_Dian-et-al.pdf - előadás

- Pongrácz R., Bartholy J., Breuer H., Dezső Zs., Dian Cs., Incze D., Kurcsics M. (2019): Multi-approach Analysis of Urban Heat Island Effect in a Central/Eastern European Agglomeration. Proceedings of the 99th Annual Meeting of the American Meteorological Society. <https://ams.confex.com/ams/99Annual/webprogram/Manuscript/Paper350401/PR-etal-AMS2019.pdf> Phoenix, AZ. Paper 898, 6p. 2019.01.06–10. Poszter szereplés.
- Pongracz R., Bartholy J., Dian Cs., Dezső Zs. (2018): Intra-annual characteristics of the relationship between the surface temperature based urban heat island intensity and the local climatic zones. Proceedings of the 98th Annual Meeting of the American Meteorological Society. <https://ams.confex.com/ams/98Annual/webprogram/Manuscript/Paper336512/PR-BJ-DCs-DZs-AMS2018.pdf> Austin, TX. Paper 569, 6p. 2018.01.07–11. Poszter szereplés.
- Dian Cs., Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs. (2018): Felszínhőmérsékleten alapuló hősziget-intenzitás vizsgálatok Budapestre a lokális klímazónák alapján. In: Aktuális környezeti problémák az időjárás és az éghajlat összefüggésében. Az ELTE Meteorológus TDK 2018. évi Nyári Iskola előadásának összefoglalói. (Pongrácz R., Mészáros R., Kis A. szerk.) *Egyetemi Meteorológiai Füzetek*, No.30., pp. 51-58. DOI: 10.31852/EMF.30.2018.051.058.
<http://nimbus.elte.hu/oktatas/metfuzet/EMF030/PDF/06-Dian-etal.pdf>
- Dian Cs., Pongrácz R., Dezső Zs., Bartholy J. (2017): A felszínhőmérsékleten alapuló hősziget-intenzitás és a lokális klímazónák kapcsolata Budapesten. In: Bányászat és környezet – harmóniában. Tanulmánykötet. (Cserny T., Alpek B.L., szerk.) ISBN 978-963-8221-68-1 Magyarhoni Földtani Társulat, Pécs. pp.115-118. http://hungeo.hu/sites/default/files/upload/HUNGEO_Tanulmánykötet_v1.3_kész.pdf
- Dian Cs., Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs. (2016): Analysis of urban local climate using in-situ measurements. In: Air and Water Components of the Environment. (Serban, G., et al., eds.) Presa Universitara Clujeana, Babes-Bolyai University, Cluj-Napoca, Romania. pp. 166-172. DOI: 10.17378/AWC2016_21 http://aerapa.conference.ubbcluj.ro/2016/pdf/21_Dian_166_172.pdf

Konferencia kiadványokban megjelent összefoglalók

- Dian Cs., Pongrácz R., Bartholy J., Talamon A. (2021): A Kárpát-medence hőmérséklet változásai és ennek épületenergetikai következményei. In: 47. Meteorológiai Tudományos Nap, 2021. november 18. Globális éghajlati trendek, hazai kutatási kihívások. Az előadások összefoglalói. (szerk.: Pongrácz R., Lakatos M.) DOI: 10.21404/47.MTN.2021, Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest. pp.25. https://www.met.hu/downloads.php?fn=/doc/rendezvenyek/metnap-2021/47.Meteorologiai_Tudomanyos_Nap_osszefoglalo_2021.pdf Poszter szereplés
- Dian Cs., Pongrácz R., Bartholy J., Talamon A. (2021): Az épületenergetikát meghatározó hőmérsékleti paraméterek alakulása az éghajlatváltozás hatására. In: X. Magyar Földrajzi Konferencia - Absztraktkötet. A Földgömb az Expedíciós Kutatásért Alapítvány, Budapest. (Szerk: Karátson D., Nagy B.) pp. 138. <https://xfk.expedicio.eu/eloadasok/dian-csenge-pongacz-rita-bartholy-judit-talamon-attila - előadás>
- Dian Cs., Pongracz R., Bartholy J., Talamon A. (2021): The impact of global climate change on the characteristics of seasons in the Carpathian Basin. *vEGU21: EGU General Assembly 2021*, online, 19–30 April 2021, EGU21-1409, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-1409> - előadás
- Dian Cs., Talamon A., Pongrácz R., Bartholy J. (2020): Relationship between heating/cooling period and changing temperature conditions in the urban areas of

Hungary. *EGU General Assembly 2020*, Online, 4–8 May 2020, EGU2020-783, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-783>

Dian Cs., Pongrácz R., Bartholy J., Talamon A. (2020): The Role of Green Areas in Temperature and the Urban Heat Island in a Case Study of a Renovated District in the Capital City of Hungary. 100th Annual Meeting of the American Meteorological Society. Boston. 2020.01.12–16. Poszter szereplés.

<https://ams.confex.com/ams/2020Annual/meetingapp.cgi/Paper/367509>

Dian Cs., Bartholy J., Pongrácz R., Sugár V., Talamon A. (2019): Analysis of the relationship between the urban heat island intensity and the heating/cooling energy consumption in a renovated part of Budapest. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 21, EGU2019-12971. EGU General Assembly 2019. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2019/EGU2019-12971.pdf>
2019.04.07-12. Bécs. ITS6.4 szekció. – Előadás

Bartholy J., Pongrácz R., Dezső Zs., Dian Cs. (2019): Evaluation of the surface urban heat island intensity with respect to the different local climatic zones. 5th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands (IC2UHI 2019) – Book of Abstracts. International Institute of Information Technology, Hyderabad, India. pp. 54. <http://ic2uhi2019.heatlandcountermeasures.org/uploads/abstracts.pdf> - Előadás

Dian Cs., Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs. (2018): Urban heat island intensity analyse based on surface and air temperature measurements in Budapest. EMS Annual Meeting Abstracts. Vol. 15, EMS2018-599-1, 2018. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2018/EMS2018-599-2.pdf>
2018.09.03-07. Budapest OSA2.5 szekció, előadás

Dian Cs., Pongrácz R., Dezső Zs., Bartholy J., Kurcsics M., Incze D. (2018): Comparison of the urban heat island intensity in the different local climate zones of Budapest. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 20, EGU2018-1223. EGU General Assembly 2018. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2018/EGU2018-1223.pdf>
2018.04.08-13. Bécs. CL2.18 szekció Poszter szereplés

Dian Cs., Pongrácz R., Dezső Zs., Bartholy J. (2017): Analysing the relationship between the surface urban heat island intensity and the local climate zones in Budapest. *EMS Annual Meeting Abstracts*. Vol. 14, EMS2017-800. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2017/EMS2017-800.pdf>
2017.09.04-08. Dublin. OSA2.8/ES1.7 szekció Poszter szereplés

Hazai és nemzetközi konferencián bemutatott előadás

Dian Cs., Pongrácz R., Bartholy J., Talamon A. (2021): Az épületenergetikát meghatározó külső hőmérsékletek elemzése a hatályban lévő szabványok tükrében. Első Országos Interdiszciplináris Éghajlatváltozási Tudományos Konferencia, HuPCC online konferencia, 2021. április 12-15. Megfigyelt éghajlati változások Magyarországon (2.szekció). - előadás

Egyéb lektorált folyóiratban megjelent cikkek

Osán J., Börcsök E., Czömpöly O., Dian Cs., Groma V., Stabile L., Török Sz. (2020): Experimental evaluation of the in-the-field capabilities of total-reflection X-ray fluorescence analysis to trace fine and ultrafine aerosol particles in populated areas. *Spectrochimica Acta Part B* 167. Paper 105852. DOI: 10.1016/j.sab.2020.105852

Füri P., Groma V., Török Sz., Farkas Á., Dian Cs. (2020): Ultrafine urban particle measurements in Budapest and their airway deposition distribution calculation, *Inhalation Toxicology*, 32(13-14) pp. 494-502, DOI: 10.1080/08958378.2020.1850937