

# **Az Országos Levegőterhelés-csökkentési Programban meghatározott intézkedések hatásának vizsgálata**

## **Tanulmány szerzői:**

Tóth Anita  
Lázár Krisztina  
Ferenczi Zita

**Országos Meteorológiai Szolgálat**

**2021. január**

## Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	2
2. A CHIMERE modell.....	3
3. Az Országos Levegőterhelés-csökkentési Program.....	5
4. Az emiSURF program.....	6
5. Időjárás 2019-ben.....	9
6. Eredmények.....	12
6.1 A CHIMERE modellel számított koncentrációk és a mérések összehasonlítása 2019 évre.....	12
6.2 Havi átlagértékek összehasonlítása: alaphelyzet és OLP szimulációk.....	18
6.3 Hisztogramok.....	39
6.4 Éves átlagértékek összehasonlítása: alaphelyzet és OLP szimulációk.....	89
Összefoglalás.....	91
Irodalomjegyzék.....	94

# 1. Bevezetés

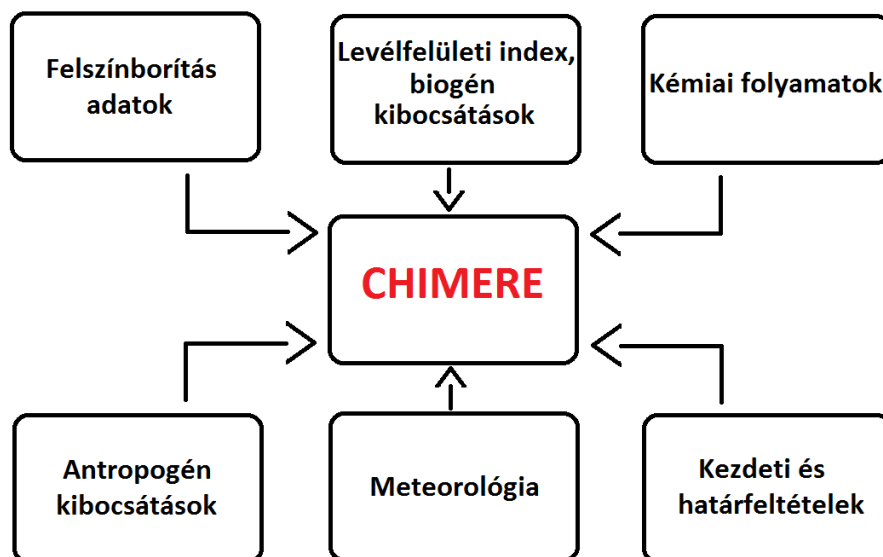
A levegőszennyezés fokozott figyelmet igénylő probléma, mely az elmúlt évtizedek óta nem vesztett aktualitásából. A légszennyező anyagok rendkívül károsak az egészségre. A szennyezett levegő rövid- vagy hosszútávú belégzése hozzájárul a tüdő gyengüléséhez, keringési problémákhoz vezet és gyulladással megbetegedéseket is okozhat. A légszennyezés a halálozási arány növekedéséhez is hozzájárulhat, a világon minden korcsoportot érint, fejlett és fejlődő országokban is jelen van. A szennyező anyagok között megkülönböztetünk elsődleges és másodlagos szennyezőket. Az elsődleges szennyezők közvetlen kerülnek a levegőbe a forrásokból, ide tartoznak a szén-monoxid (CO), illékony szerves vegyületek (VOC), nitrogén-monoxid (NO), kén-dioxid (SO<sub>2</sub>) és a légköri aeroszol részecskék (PM). A másodlagos szennyezők a levegőben keletkeznek az elsődleges szennyezőanyagokból. Közéjük soroljuk például az ózont (O<sub>3</sub>) vagy a NO-ból keletkezett nitrogén-dioxidot (NO<sub>2</sub>).

Számos nemzetközi szabályozás jött létre a múltban a levegőbe kerülő káros anyagok kibocsátásának csökkentése érdekében. Ezen egyezményeknek köszönhetően már észlelhető a javulás egyes szennyezőanyagok légköri koncentrációjában. Szükséges, hogy minden ország betartsa a megfogalmazott környezetvédelmi stratégiákat, kibocsátás-csökkentési irányelveket, hogy további sikereket érjünk el a levegőminőség javításában. A levegőminőség vizsgálatához (például a pillanatnyi állapot kiértékeléséhez, a légszennyezők koncentrációjának előrejelzéséhez vagy a kibocsátás módosítások hatásának ellenőrzéséhez) levegőminőségi modelleket használunk. Ma már számos modell elérhető a felhasználók számára és kiválasztható a modellezési célunknak legmegfelelőbb típus.

Munkánk során a CHIMERE kémiai transzport modellt használtuk fel, hogy 2019 évre vonatkozó órák koncentráció értékeket állítsunk elő 6 szennyezőanyagra (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>). A vizsgálatunk célja elemezni az Országos Levegőterhelés-csökkentési Programban definiált emberi tevékenységből származó kibocsátás csökkentések hatását a modellezett koncentrációkra. A CHIMERE modellben az EMEP antropogén emissziós leltárt használtuk fel. Először is szükségünk volt az alap eset (eredeti emissziók) szerinti koncentráció értékekre. Majd módosítottuk a modellben a bemeneti antropogén EMEP emissziókat az előírt szektoronkénti, százalékos csökkentéseknek megfelelően és így futtattuk a modellt. Az eredeti koncentrációkat végül összehasonlítottuk az antropogén kibocsátások csökkentése után kapott koncentrációkkal.

## 2. A CHIMERE modell

A CHIMERE kémiai transzport modellt a regionális levegőszennyezettség vizsgálatára tervezték. Ennek a forrás-orientált, offline, Euler-típusú modellnek a segítségével a lokálistól a kontinentális skáláig számíthatjuk ki a szennyezőanyagok légköri koncentrációját (Mailler et al., 2017). A legfrissebb parametrizációk használata és a hatékony számítási módszerek lehetővé teszik, hogy a CHIMERE számos modellezési feladatban alkalmazható legyen. Használhatjuk előrejelzések és analízisek készítésére, fizikai és kémiai folyamatok – keveredés, turbulencia, ülepedés stb. – tanulmányozására, parametrizációk és hipotézisek tesztelésére (Mailler et al., 2017). A modell futtatásához meg kell adni a következő input adatokat: meteorológiai mező, elsődleges szennyezőanyagok kibocsátása, kémiai kezdeti és határfeltételek. Ezeket az adatokat felhasználva a modell meghatározza számos gázfázisú és részecske formában lévő szennyezőanyag légköri koncentrációját. A koncentrációk származtatása során a CHIMERE figyelembe veszi az emissziós és transzport (advekción, keveredés) folyamatokat, a kémiai átalakulásokat és az ülepedést. A modell több olyan programkódot is tartalmaz, amely arra szolgál, hogy a szimuláció számára helyes formátumú adatot képezzen a megadott input adatokból (CHIMERE, 2017). Ilyen adatelőkészítési feladat például az emissziós adatok előállítása is, melyről később részletes leírást adunk.



1. ábra A CHIMERE modell általános felépítése

Az 1. ábrán láthatjuk összefoglalva, milyen adatok kerülnek a modellbe. A CHIMERE egy offline modell, ez azt jelenti, hogy biztosítani kell számára a meteorológiai mezőket a számításokhoz, valamint a levegőkémiai folyamatok nem hatnak a légkördinamikai

folyamatokra a szimuláció során. A modell számára szükséges meteorológiai mezők időjárási modellekből származnak. A vizsgálatainkhoz mi az AROME numerikus előrejelző modellel készült mezőket használtuk fel. Az alap mennyiségek (szél, hőmérséklet, nedvesség, nyomás stb.) mellett a CHIMERE diagnosztikus változókkal is dolgozik (ide tartoznak a turbulens paraméterek és a csapadék). Ezek nem minden esetben szerepelnek a meteorológiai modellek output fájljai között ellentétben az alap mennyiségekkel. Ha a meteorológiai fájlok tartalmazzák a diagnosztikus változókat akkor a CHIMERE meteorológiai preprocesszora interpolálja ezeket az adatokat a megadott rácshálózatra, órás felbontásban. Ha nem állnak rendelkezésünkre a diagnosztikus változók, akkor a CHIMERE diagnosztikai eszközei állítják elő őket az alap mennyiségekből.

A CHIMERE korlátos tartományú modell, ezért kezdeti és határfeltételeket is biztosítani kell számára (*CHIMERE, 2017*). Globális kémiai transzport modellek adják meg ezeket a feltételeket, melyek kémiai vegyületek koncentrációit tartalmazó háromdimenziós mezők. Ilyen mezőket a MACC, az LMDz-INCA és a GOCART globális klimatológiai adatbázisok szolgáltatnak. Mi az LMDz-INCA adatbázist használjuk.

A kémiai folyamatok vezénylését egy kémiai preprocesszor végzi. Ez a preprocesszor kisebb szkripteket és programokat foglal össze, melyek a gáz fázisú anyagok és az aeroszolk kémiaját írják le. A különböző kémiai összetevőket egymástól függetlenül kezeli a modell, ezért a felhasználó szabadon dönthet arról, hogy a számítások tartalmazzák-e például az aeroszolk kémiaját vagy sem. A MELCHIOR egyszerűsített változatát használjuk a kémiai átalakulások modellezéséhez.

A száraz ülepedés számításánál figyelembe kell venni a növényzet növekedésének változékonyságát, ehhez használja fel a CHIMERE a levélfelületi indexre vonatkozó adatokat. A növényzethez kapcsolódó (biogén) emissziót a CHIMERE a globális MEGAN modellelől származtatja. A MEGAN fájljai között szerepelnek levélfelületi index adatok is.

Többek között az ülepedés, a növényzet kibocsátásának és a felszín momentum- és hőszállításának kiszámításához szükségesek a felszínborítás adatok. A CHIMERE a saját 9 kategóriáját használja, melyek globális felszínborítási adatbázisokat felhasználva jöttek létre.

Az antropogén kibocsátások minden tevékenységet tartalmaznak (közlekedés, ipar, mezőgazdaság stb.). Input adatként különböző emissziós leltárak adatait adhatjuk meg, pl. EMEP, TNO, EDGAR. A kibocsátást szektoronként adjuk meg, a CHIMERE-ben a SNAP

szektorok szerint. A SNAP szektorokat az 1. táblázat foglalja össze. Az emissziós leltárak felületegységre eső, évi kibocsátott anyagmennyiség adatokat foglalnak össze. Az antropogén emissziós adatok előfeldolgozására a CHIMERE tartalmaz egy emiSURF nevű preprocesszort, amely órás felbontású kibocsátás adatokat hoz létre a nyers emissziós adatokból. Az emiSURF működését később részletezzük.

A CHIMERE preprocesszorai minden szükséges input adatot a megfelelő formátumban állítanak elő a futtatás megkezdéséhez. A szimulációs eredmények NetCDF formátumban állnak elő. Négy különböző típusú output fájl jön létre: a koncentráció mezőket órás felbontásban tartalmazó fájl, száraz és nedves ülepedés fluxusait tartalmazó fájl, a reális kezdeti értékeket tartalmazó fájl és az újraindításhoz szükséges adatokat tartalmazó fájl.

1. táblázat SNAP szektorok

1. szektor	Energiaiipari tüzelés
2. szektor	Nem ipari tüzelés
3. szektor	Feldolgozóipari tüzelés
4. szektor	Termelési folyamatok
5. szektor	Fosszilis tüzelőanyagok és geotermikus energia kinyerése és elszállítása
6. szektor	Oldószerek és egyéb termékek felhasználása
7. szektor	Közúti szállítás
8. szektor	Egyéb mobil források és gépek
9. szektor	Hulladékkezelés
10. szektor	Mezőgazdaság

### 3. Az Országos Levegőterhelés-csökkentési Program

Az emberi egészség és a környezet egészségének védelme érdekében a szennyezőanyagok kibocsátásának csökkentése fontos feladat. Az Európai Unió minden országában mérsékelni kell az emberi tevékenységből származó szennyező anyagok kibocsátását, hogy a körülöttünk lévő levegő tisztább legyen. A kormány az 1231/2020. (V.15.) határozatával fogadta el hazánkban az Országos Levegőterhelés-csökkentési Programot (OLP), amely elősegíti a légszennyezők kibocsátásának csökkentését.

Az OLP-ben 2020–2029 és 2030 utáni időszakokra határoztak meg kibocsátáscsökkentéseket a 2005-ös bázisévhez képest kisméretű részecskére, ammóniára, kén-dioxidra, nitrogén-dioxidra és a nem metán illékony szerves anyagokra vonatkozóan. Ezeket az arányokat tartalmazza az 2. táblázat.

2. táblázat Az OLP-ben meghatározott kibocsátáscsökkentési arányok

Nemzeti kibocsátáscsökkentési kötelezettségek a 2005-ös bázisévhez viszonyítva (%-ban)	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NM VOC	NH <sub>3</sub>	PM <sub>2,5</sub>
<b>2020–2029</b>	-46%	-34%	-30%	-10%	-13%
<b>2030-tól</b>	-73%	-66%	-58%	-32%	-55%

Vizsgálatunk során a 2020–2029 időszak csökkentési arányainak koncentrációkra gyakorolt hatásait elemeztük. Az adott szennyezőanyag esetében meghatározott százalékos értéket felosztottuk SNAP szektorok (1. táblázat) szerint. A felosztás eredményeit a 3. táblázat tartalmazza. A CHIMERE kémiai transzport modellt használtuk fel, hogy megvizsgáljuk, adott légszennyezőre és szektorra vonatkozó kibocsátás csökkentés milyen mértékű változást idéz elő a légszennyező anyagok koncentrációjában. A szektorok szerinti felosztás segítségével tudtuk előállítani a CHIMERE számára a módosított antropogén emissziós fájlokat.

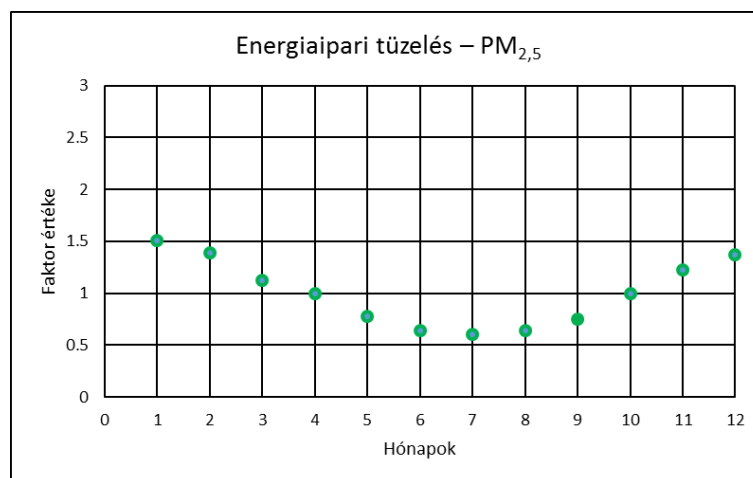
3. táblázat Szektoriális csökkentési arányok

2020 – 2029	Összes (%)	1. szektor (%)	2. szektor (%)	4. szektor (%)	10. szektor (%)	9. szektor (%)	7. szektor (%)
SO <sub>2</sub>	46	14	18	6	4	4	0
NO <sub>2</sub>	34	9	7	6	4	4	4
NM VOC	30	3	13	4	3	3	4
NH <sub>3</sub>	10	0	0	0	10	0	0
PM <sub>2,5</sub>	13	1	10	0	1	0	1

## 4. Az emiSURF program

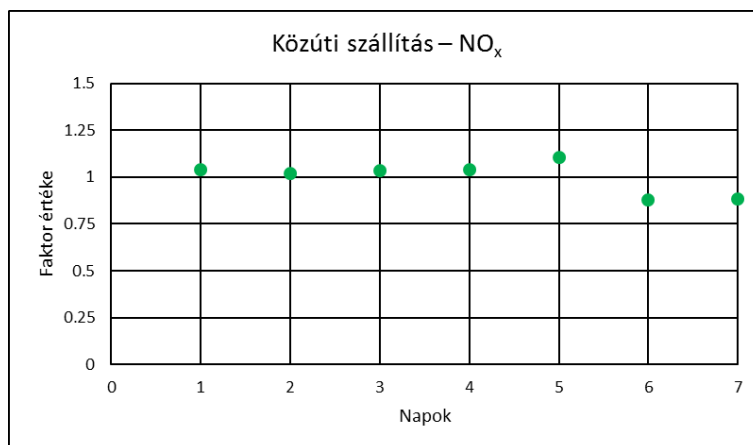
Az emiSURF a CHIMERE modell egyik preprocesszora, amellyel a CHIMERE számításokhoz megfelelő formátumú antropogén emissziós fájlokat lehet előállítani (CHIMERE, 2017). A program bemeneti adatai az EMEP leltárból [1 – ceip.at] származnak.

Az évi összkibocsátásokat SNAP szektoronként és Mg/év/felületegység mértékegységben tartalmazza a leltár, mi a 2015-ös, 50 km x 50 km-es adatokat használtuk fel. Az EMEP honlapjáról letöltött fájlokat az emiSURF egy alprogramja dolgozza fel. Első lépésként létrejönnek a fájlok, amelyek adott szennyezőanyagra vonatkozó, éves adatokat tartalmaznak. A következő szennyezőanyagokra vonatkozóan találunk fájlt: NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, NMVOC, CO, NH<sub>3</sub>, PPM<sub>2</sub> = PM<sub>coarse</sub> és PPM<sub>3</sub> = PM<sub>2,5</sub>. A továbbiakban két fő lépésre bontható az emiSURF program működése, melyeket két Fortran program vezérel (*CHIMERE, 2017*). Első lépésben a kibocsátott szennyező anyagokra vonatkozóan havi rácsponti adatbázis készül el (*CHIMERE* rácstra) az éves adatokból. Ezt ún. évszakos faktorok segítségével készíti el a program. A 2. ábrán látjuk az *Energiaipari tüzelés* szektor PM<sub>2,5</sub> kibocsátásához tartozó faktorok hónaponkénti változását, amelyet az emiSURF figyelembe vesz. A faktorok értékének nyári minimuma és téli maximuma van, tehát a kibocsátások is a téli időszakban jelentősebbek. Második lépésben már olyan fájlok jönnek létre, amelyek a *CHIMERE* kémiai összetevőire vonatkoznak és háromdimenziós, órás fluxusokat tartalmaznak. Az időbeli finomításhoz újra faktorokat használ a program, először a havi fájlokból heti felbontású adatok jönnek létre a heti faktorok segítségével. A kibocsátás heti felbontását a 3. ábrán látjuk a *Közúti szállítás* szektor NO<sub>x</sub> kibocsátására vonatkozóan. A hétvégén kisebb mértékű e szektor NO<sub>x</sub> kibocsátása. Ezután a napi adatokat, attól függően, hogy a hét melyik napjáról van szó tovább finomítja a program órás adattá az órás faktorok segítségével. A *Nem ipari tüzelés* szektor kibocsátásának alakulását írják le a 4. ábrán lévő hétfői, órás felbontású faktorok. A grafikonon délelőtti és kora esti maximum rajzolódik ki. A 2.–4. ábrákon bemutatott értékek Magyarország területére vonatkoznak.

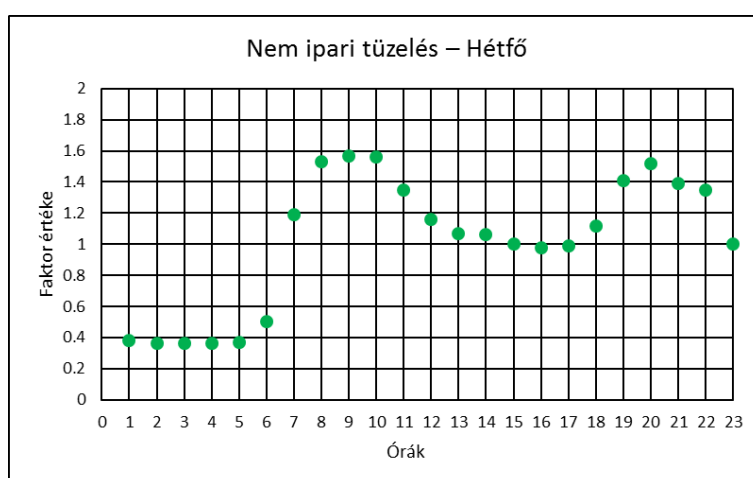


2. ábra PM<sub>2,5</sub> évszakos kibocsátási faktorai *Energiaipari tüzelés* szektorra





3. ábra NO<sub>x</sub> heti kibocsátási faktora *Közúti szállítás* szektorra



4. ábra Hétfői kibocsátási faktora *Nem ipari tüzelés* szektorra

Az említett évszakos, heti és órás faktorok adott SNAP szektorra és szennyezőanyagra vannak megadva. A faktorok segítségével történő időbeli leskálázás azért hasznos, mert ezáltal figyelembe vehető a különböző tevékenységek, aktivitások napi, heti, évszakos változékonysága az éves emissziók felbontásakor.

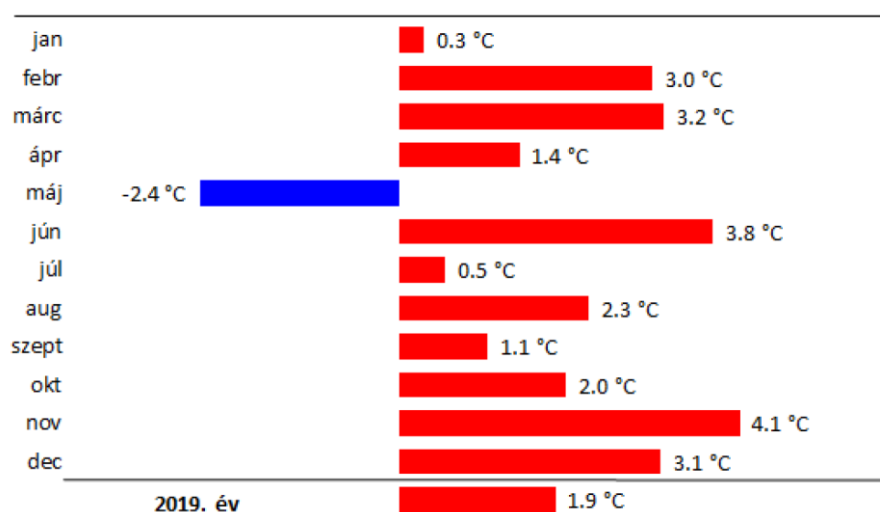
Az OLP-ben megadott kibocsátáscsökkentéseket az éves emissziókat tartalmazó adatokon végeztük el. Miután csökkentettük a megadott százalékok (3. táblázat) szerint a 2,5 µm-nél kisebb átmérőjű aeroszol, az ammónia, a kén-dioxid, a nitrogén-dioxid és a nem metán illékony szerves anyagok Magyarország feletti éves kibocsátását, az órás fluxusokat a különböző, CHIMERE modellben szereplő szennyezőanyagokra már az emiSURF előbb említett alprogramjainak segítségével állítottuk elő. Ezután megkezdtük az új antropogén emissziós bemeneti adatokkal a CHIMERE modell futtatását 2019 évre. Az alaphelyzettel végzett szimulációk eredményei is a rendelkezésünkre álltak, így miután az új koncentráció

értékek is elkészültek, elvégeztük a kétféle antropogén emisszióval számított koncentrációértékek összevetését.

## 5. Időjárás 2019-ben

A kibocsátások mellett az időjárási helyzet is nagyban befolyásolja a légszennyező anyagok légköri koncentrációját. Ezért fontosnak tartottuk összefoglalni, milyen volt az időjárás 2019-ben, amely évre vonatkozóan a CHIMERE szimulációkat elvégeztük. A hőmérséklet, csapadék, napsütés és szél is lényeges meteorológiai jellemzők a légszennyezés szempontjából.

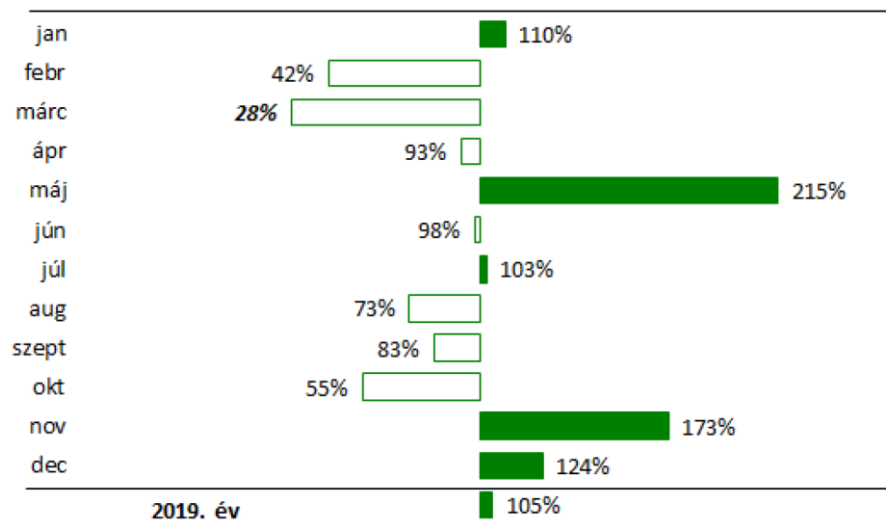
2019 hazánkban rekordmeleg év volt, az országos középhőmérséklet 12,19 °C volt. A havi középhőmérsékleteket vizsgálva az mondható el, hogy a május kivételével minden hónap középhőmérséklete az 1980–2010 sokévi átlagánál magasabb volt. Ezt szemlélteti az 5. ábra.



5. ábra Az országos havi középhőmérsékletek eltérése az 1981–2010-es átlagtól (Biróné, 2020)

Az 1901 óta kezdődő éghajlati adatsor alapján elmondható, hogy 2019 júniusa és 2019 ősze a legmelegebb volt. A májusi középhőmérséklet jóval az átlag alatt alakult, ehhez az aktív ciklontevékenység járult hozzá, mely azt eredményezte, hogy a Kárpát-medencét több hullámban árasztotta el hideg levegő. A nyár az átlagosnál melegebb volt, magas volt a hőségnapok száma: 38 napon volt 30 °C feletti napi maximumhőmérséklet. Novemberben közel 4 °C-kal, decemberben pedig közel 3 °C-kal haladta meg a havi átlaghőmérséklet a sokéves (1981–2010) átlagot. Fagyos napból ( $T_{\min} \leq 0$  °C) 2019-ben az átlagosnál kevesebbet találunk, a zord napok száma ( $T_{\min} \leq -10$  °C) a szokásos 10 nap helyett 2 napra csökkent (Biróné, 2020).

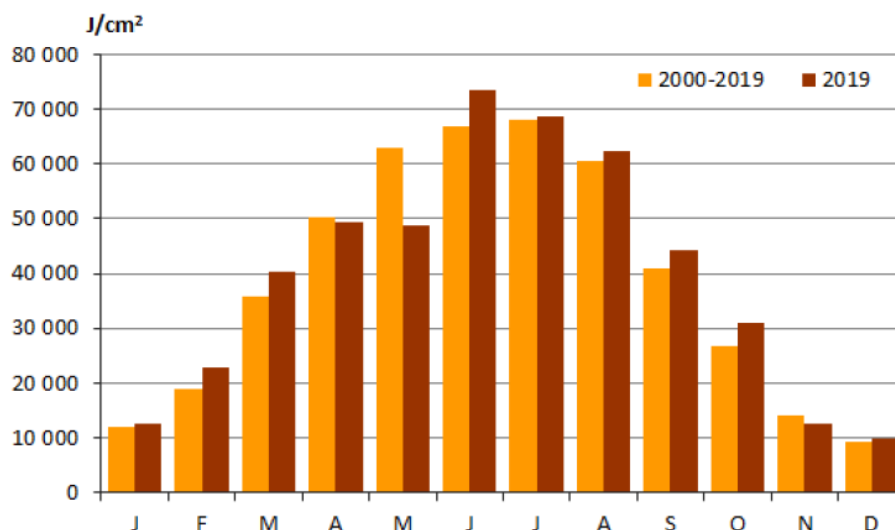
A 2019 évi országos csapadékösszeg 631 mm volt. Az év során májusban és novemberben kimagaslóan sok csapadék hullott, a március volt a legszárazabb. A havi csapadékösszegek alakulását szemlélteti a 6. ábra, amelyen az 1981–2010 időszak normál százalékában szerepelnek a havi értékek (Bíróné, 2020).



6. ábra Havi csapadékösszegek az 1981–2010 időszak normál százalékában (Bíróné, 2020)

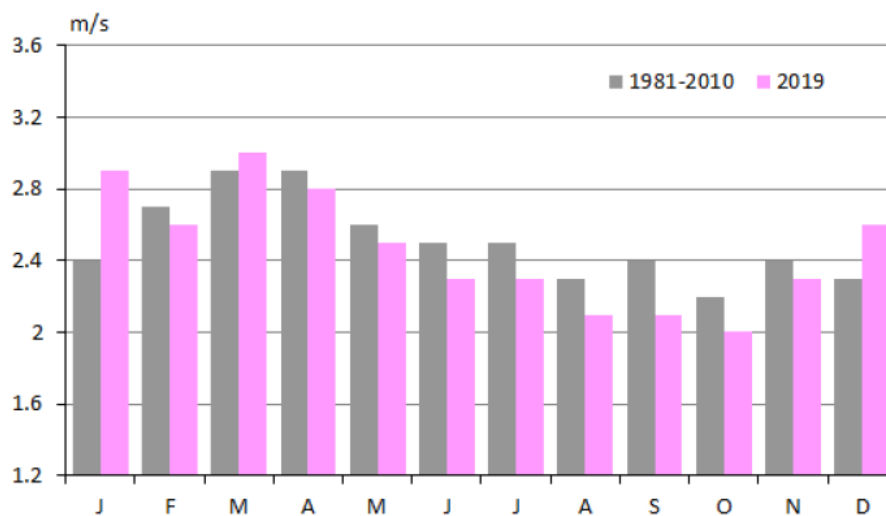
Ahogy a 3. ábrán is látható, februárban a sokéves átlagcsapadék 42%-a hullott le, márciusban pedig csupán a sokéves átlag 28%-a. Október is viszonylag száraz volt. A legtöbb csapadékot májusban mérték, a májusi havi átlag a sokéves átlag 215%-a volt. 2019-ben az állomások országos átlagában 130 napon hullott csapadék. Havas napból a szokásosnál kevesebb adódott, a várt 24 helyett 16 nap.

A globálsugárzás országos évi összege 2019-ben az átlagosnál (2000–2019 időszak átlagánál) magasabb volt. Az év során a havi összegek alakulásáról elmondható, hogy júniusban volt a legmagasabb a globálsugárzás összege, a csapadékos május és november, valamint az április hónapok összegei az átlagosnál alacsonyabbak voltak, a többi hónapban átlag feletti havi összegek adódtak. Ezt szemlélteti a 7. ábra.



7. ábra Globálisugárzás havi összegei 2019-ben és a 2000–2019-es időszak átlagértékei (Bíróné, 2020)

A szélesség évi átlaga 2019-ben 1,1–5,9 m/s között változott az állomásokon. A szélesség országos átlaga 2,5 m/s volt, ez az érték megegyezik a sokévi átlaggal (Bíróné, 2020). Az 8. ábrán Budapest-Pestszentlőrinc állomás havi átlagos szélességeit látjuk. A havi átlagos szélességnek márciusban és áprilisban volt maximuma, októberben minimuma. Az ábrán az 1981–2010 sokéves átlagértékeit is láthatjuk.



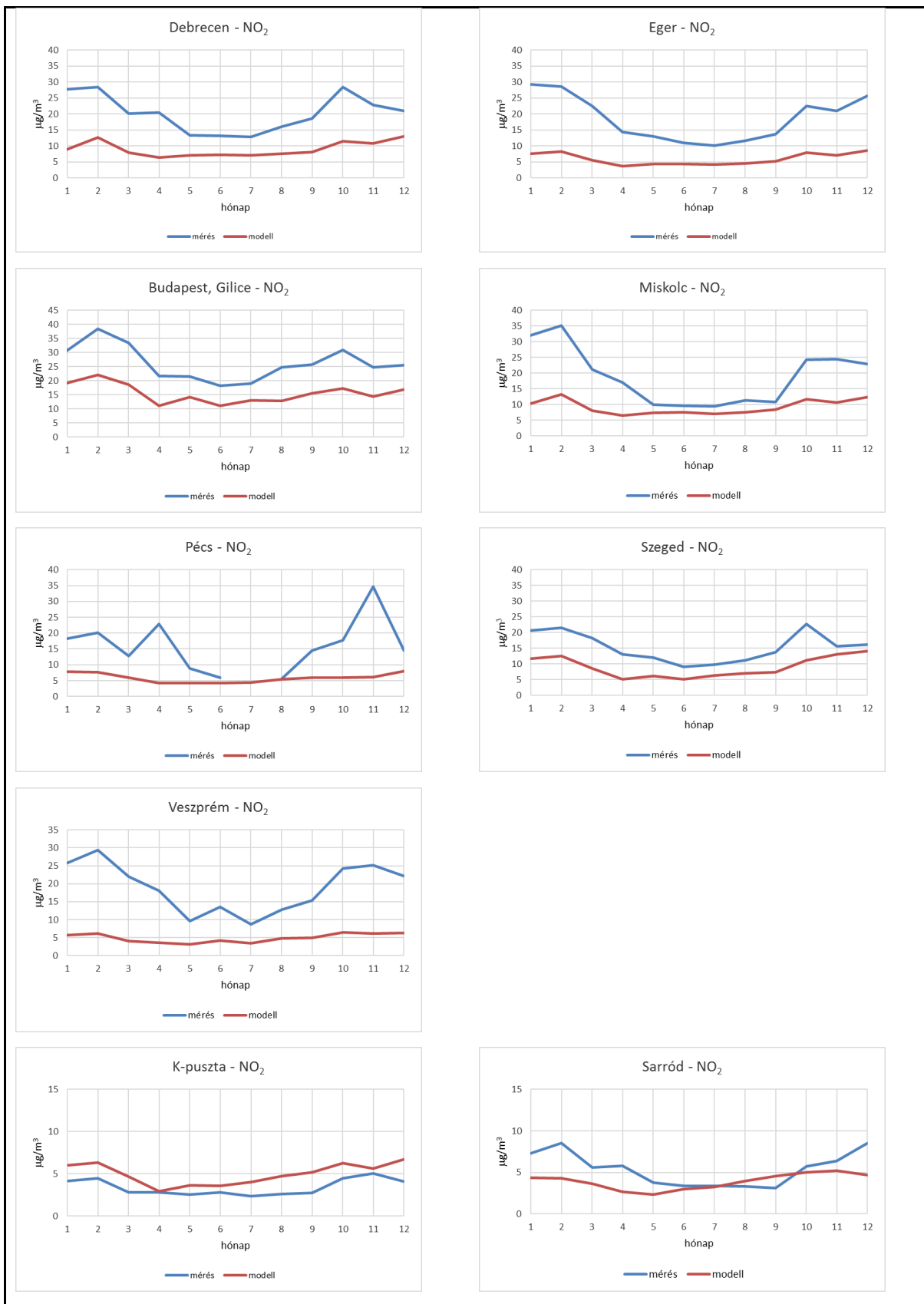
8. ábra Havi átlagos szélességek 2019-ben és a 198–2010-es átlagértékek Budapest-Pestszentlőrinc állomáson (Bíróné, 2020)

## 6. Eredmények

### 6.1 A CHIMERE modellel számított koncentrációk és a mérések összehasonlítása 2019 évre

Mielőtt a kibocsátáscsökkentések hatásait elemeztük megvizsgáltuk, mennyire képes tükrözni a CHIMERE kémiai transzport modell a valódi méréseket. Az alap kibocsátásokkal, 2019-re végzett CHIMERE szimulációk eredményeit összevetettük az állomásokon regisztrált koncentrációkkal. Ehhez a szimulációk során kapott órás átlagokból valamint a mérésekből számított órás átlagokból havi átlagértékeket állítottunk elő. Kilenc állomást választottunk ki, amelyek között városi háttér állomásokat (Debrecen, Eger, Budapest, Miskolc, Pécs, Szeged, Veszprém) és háttérszennyezettség állomásokat találunk (K-puszta, Sarród). Némely állomás esetében nem áll rendelkezésünkre minden vizsgált szennyezőanyagra vonatkozóan adat. A következő ábrákon (9.–14. ábrák) látjuk a havi értékek menetét az állomásokon NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> és NH<sub>3</sub> esetében.

A mérési adatok és a modellezett értékek összehasonlítása alapján elmondható, hogy a CHIMERE modell képes szimulálni a Magyarország feletti légszennyező anyagok koncentrációjának éves menetét. Az O<sub>3</sub> kivételével minden szennyező anyag havi átlagkoncentrációit alul becsülte a modell. A modellezett ózon értékek K-puszta esetén térnek el legkevésbé a mérésektől, a többi állomáson azonban jelentősen magasabb értékeket kaptunk. Az OLP-s szimulációk eredményeit is ezen információk figyelembevételével kell értelmezni.



9. ábra NO<sub>2</sub> havi átlagok a CHIMERE szimulációk és a mérések alapján 2019-ben

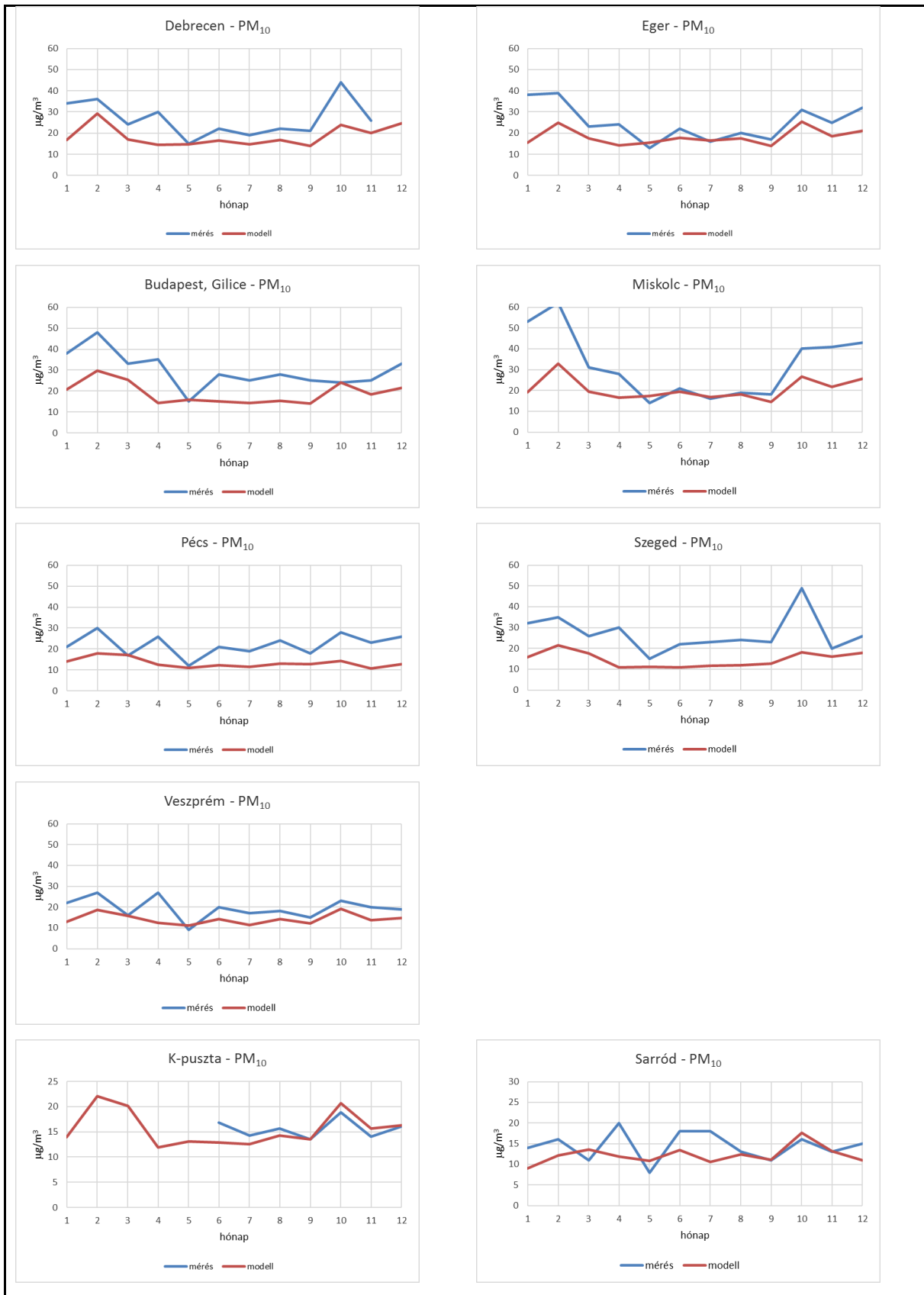


10. ábra SO<sub>2</sub> havi átlagok a CHIMERE szimulációk és a mérések alapján 2019-ben



11. ábra O<sub>3</sub> havi átlagok a CHIMERE szimulációk és a mérések alapján 2019-ben

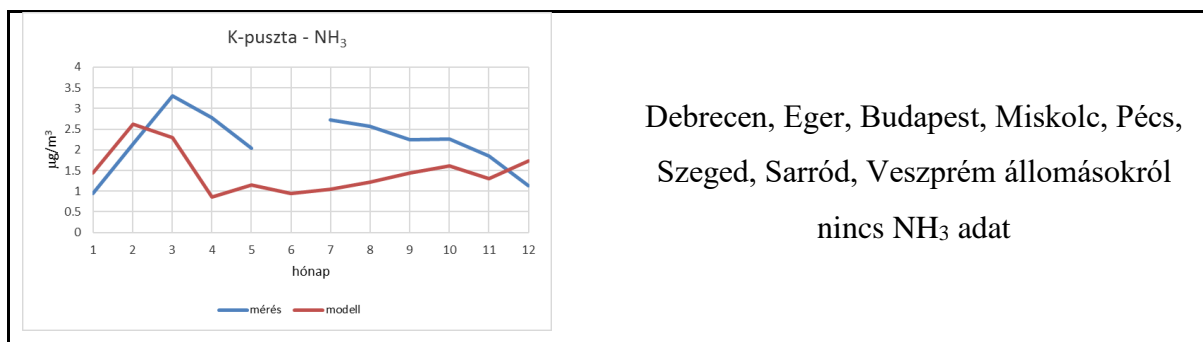




12. ábra PM<sub>10</sub> havi átlagok a CHIMERE szimulációk és a mérések alapján 2019-ben



13. ábra PM<sub>2,5</sub> havi átlagok a CHIMERE szimulációk és a mérések alapján 2019-ben



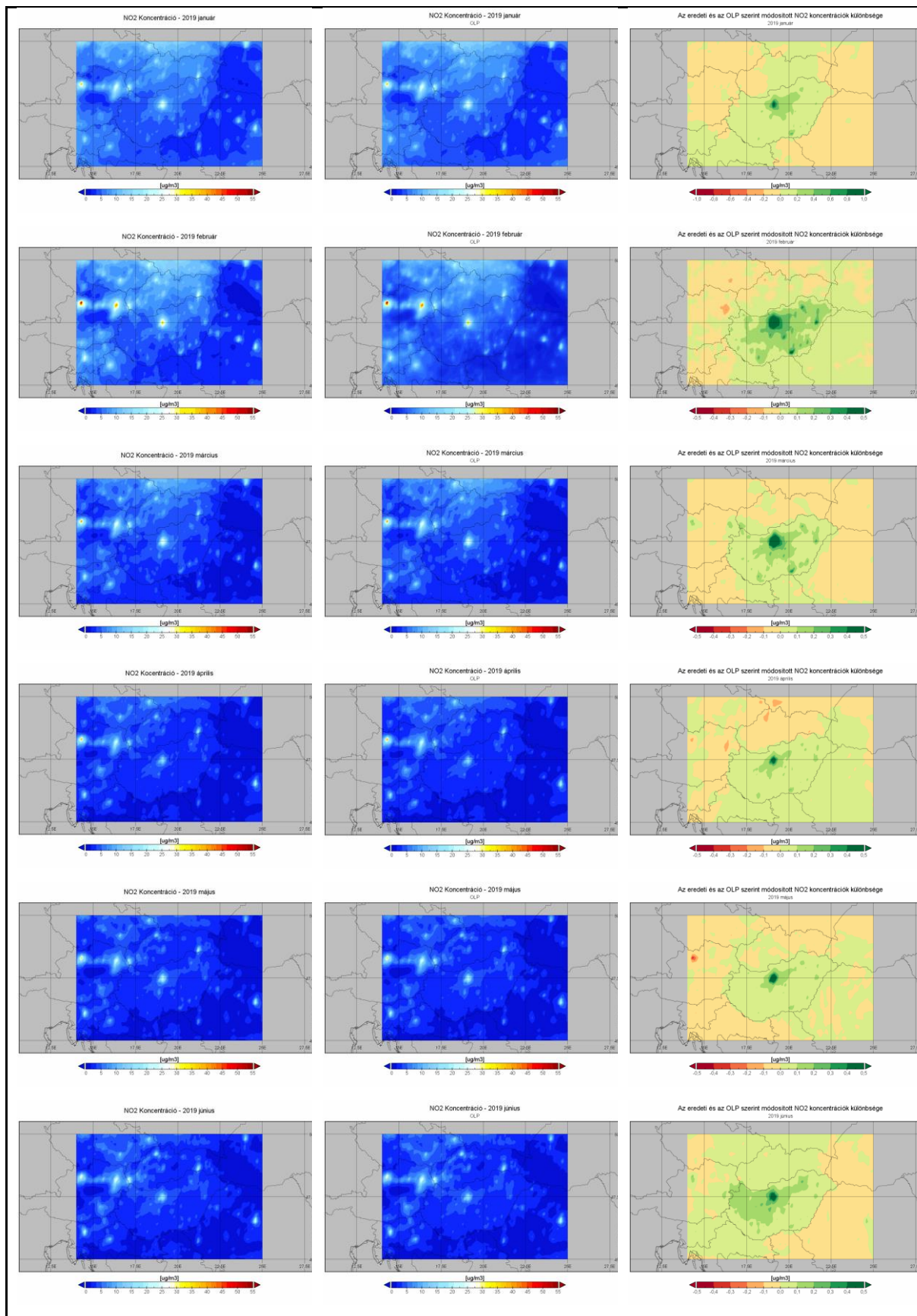
14. ábra NH<sub>3</sub> havi átlagok a CHIMERE szimulációk és a mérések alapján 2019-ben

Debrecen, Eger, Budapest, Miskolc, Pécs,  
Szeged, Sarród, Veszprém állomásokról  
nincs NH<sub>3</sub> adat

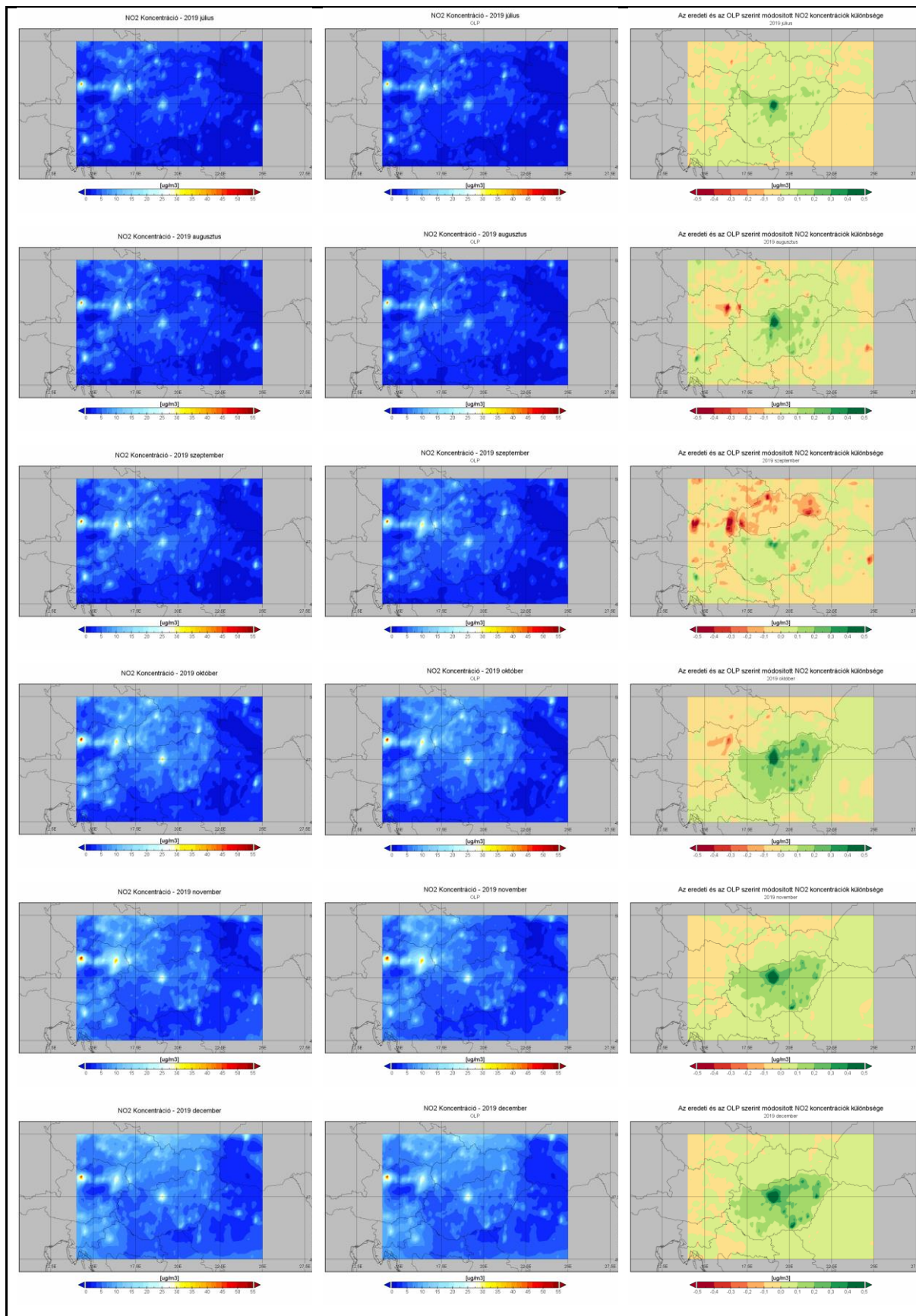
## 6.2 Havi átlagértékek összehasonlítása: alaphelyzet és OLP szimulációk

Az OLP-ben meghatározott kibocsátáscsökkentésekkel és az eredeti, alaphelyzetet jellemző kibocsátásokkal végzett szimulációk összehasonlításához először a havi átlagok közti eltéréseket jellemezzük. Mindkét szimuláció esetében elkészítettük a havi rácsponti átlagértékek térképes megjelenítését, valamint a különbségeiket is ábráztuk. A térképek segítségével a szennyezőanyagok térbeli változékonysága tárul elénk, a két szimuláció különbségével pedig láthatjuk, mely területeken, milyen mértékben és irányban változik a szennyezők légköri koncentrációja a kibocsátáscsökkentésekkel. A 15.–26. ábrákon mutatjuk be a térképeket. Az ábrákon egy sorban az adott hónapra vonatkozó térképeket láthatjuk. A sor első térképe az eredeti kibocsátásokkal számolt havi átlagértékeket, a második térképe az OLP-s csökkentésekkel számolt havi átlagértékeket, a harmadik térképe pedig az eredeti és az OLP szerint módosított havi átlagos koncentrációk különbségét jeleníti meg  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mértékegységben. A kétféle szimuláció közti különbséget megjelenítő térképeken a sárgától a pirosig terjedő színek utalnak arra, hogy az OLP szerint módosított havi koncentrációk magasabbak az eredeti értékeknél. A világos zöldtől a sötét zöldig terjedő színek ennek ellenkezőjét fejezik ki, tehát a zölde árnyalatok azt tükrözik, mely területen csökkentek a szennyezőanyagok havi átlagos koncentrációi a kibocsátáscsökkentések hatására.

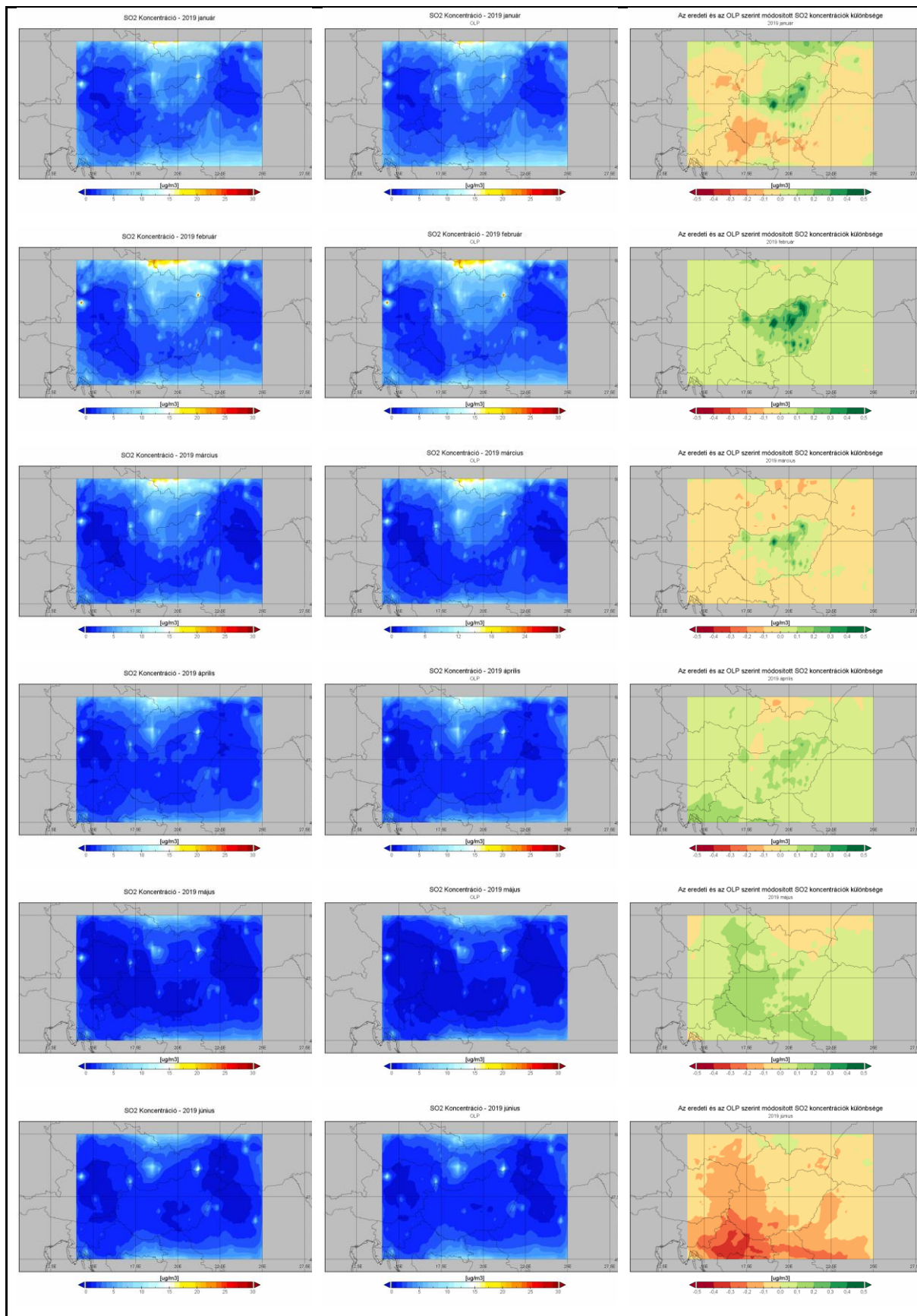
A 15.–16. ábrákon a nitrogén-dioxidra vonatkozó térképeket láthatjuk. Minden hónap esetében egyértelműen a budapesti régió feletti NO<sub>2</sub> koncentráció csökkent a legnagyobb mértékben az OLP-ben meghatározott kibocsátáscsökkentések hatására. Február, október, november és december hónapokban a legnagyobb mértékű a koncentrációk csökkenése országosan. Novemberben és decemberben az átlagnál több csapadék hullott, az esőzések hatására általánosan elmondható, hogy a NO<sub>2</sub> koncentrációk alacsonyabbak.



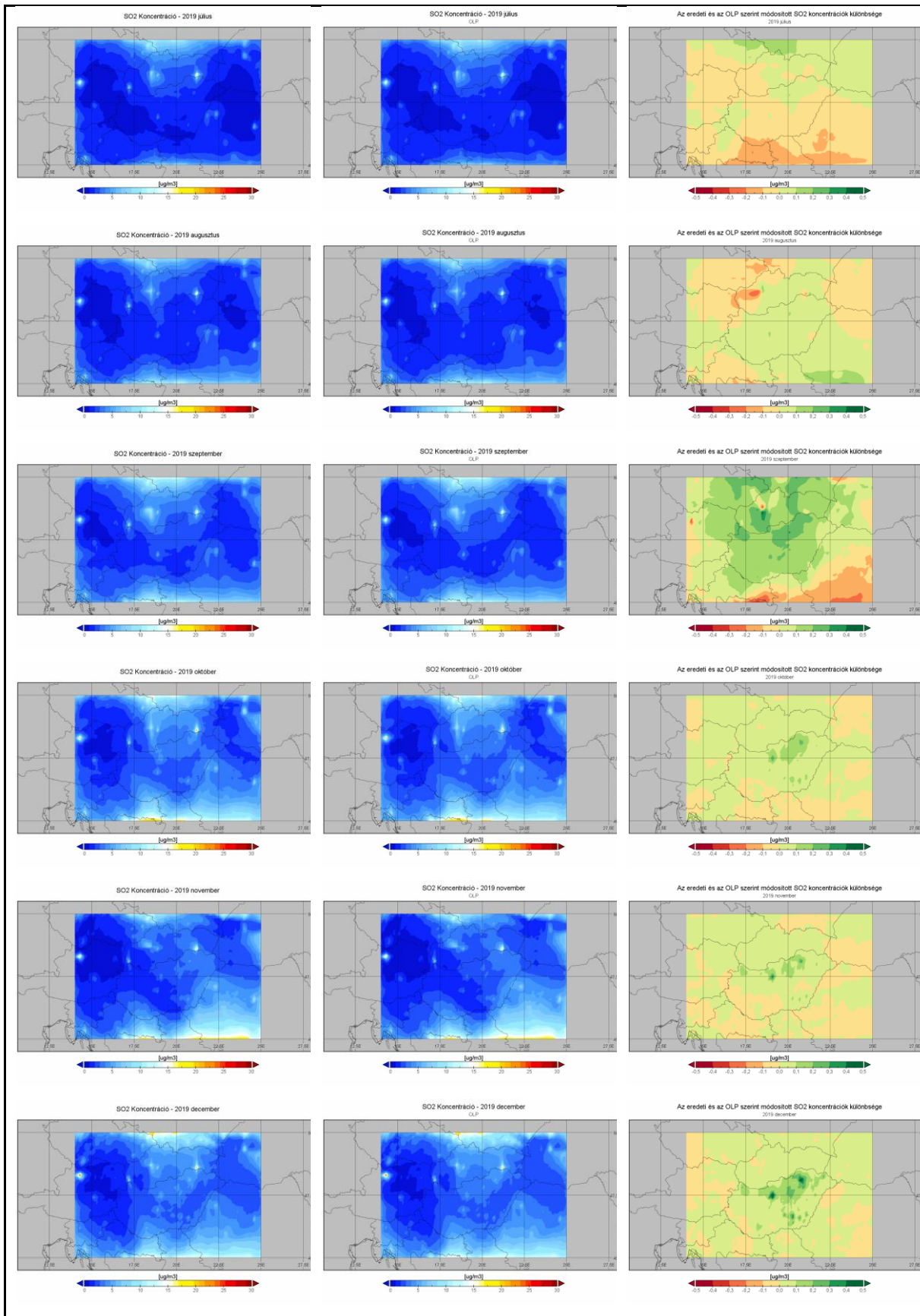
15. ábra NO<sub>2</sub> havi átlagkoncentrációk januártól júniusig: alaphelyzet, OLP és a kettő különbsége



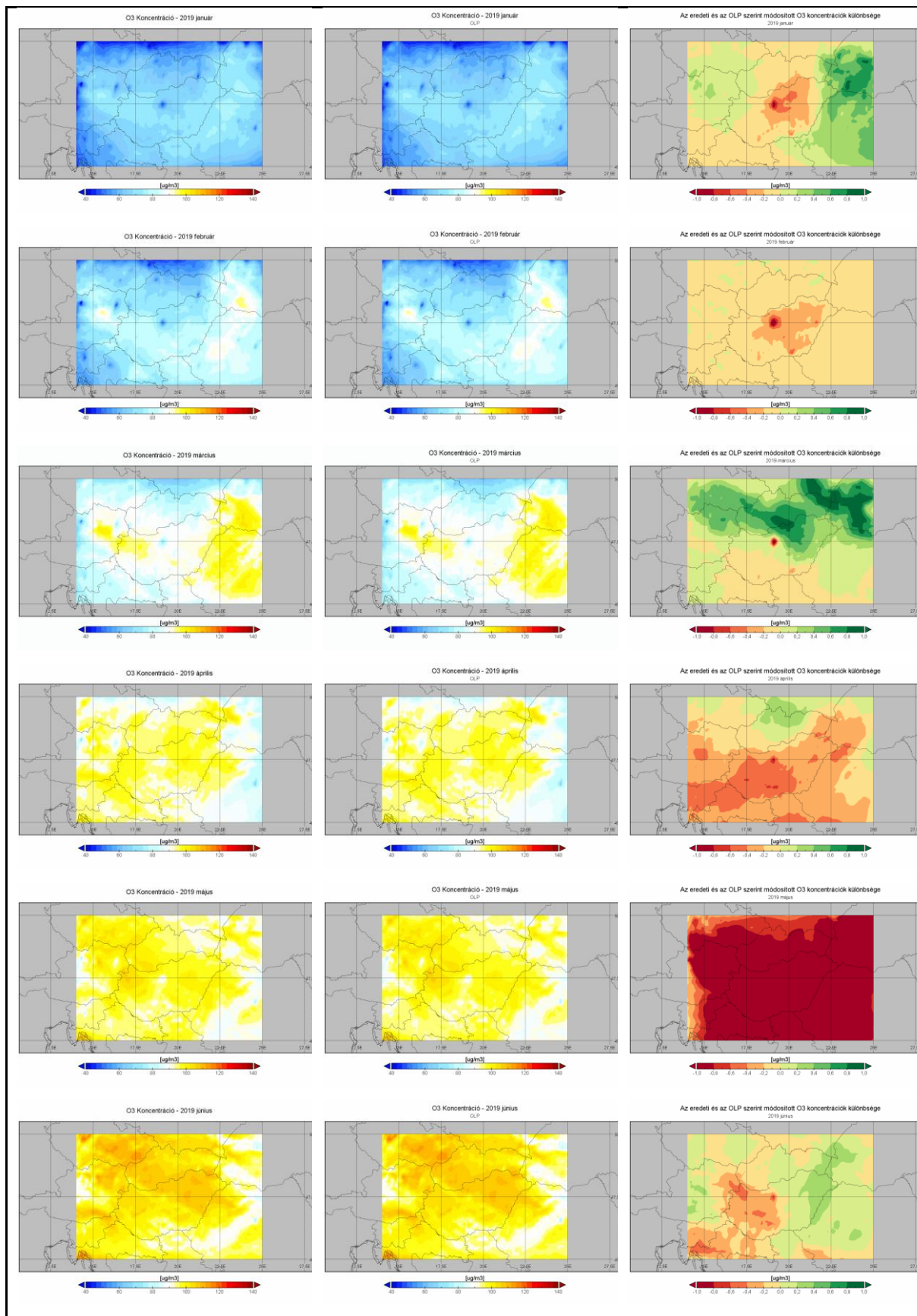
16. ábra NO<sub>2</sub> havi átlagkoncentrációk júliustól decemberig: alaphelyzet, OLP és a kettő különbsége



17. ábra SO<sub>2</sub> havi átlagkoncentrációk januártól júniusig: alaphelyzet, OLP és a kettő különbsége

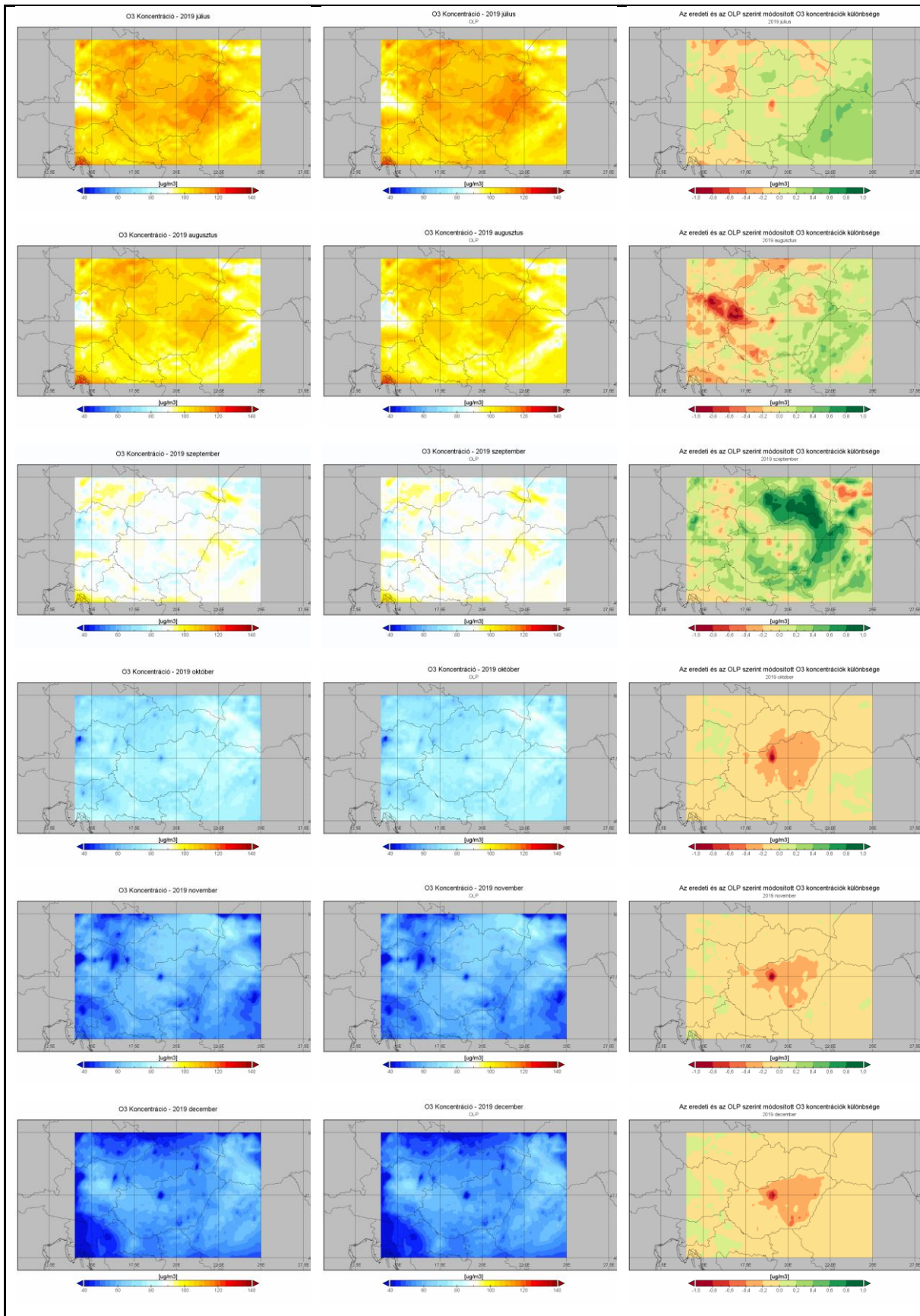


18. ábra SO<sub>2</sub> havi átlagkoncentrációk júliustól decemberig: alaphelyzet, OLP és a kettő különbsége

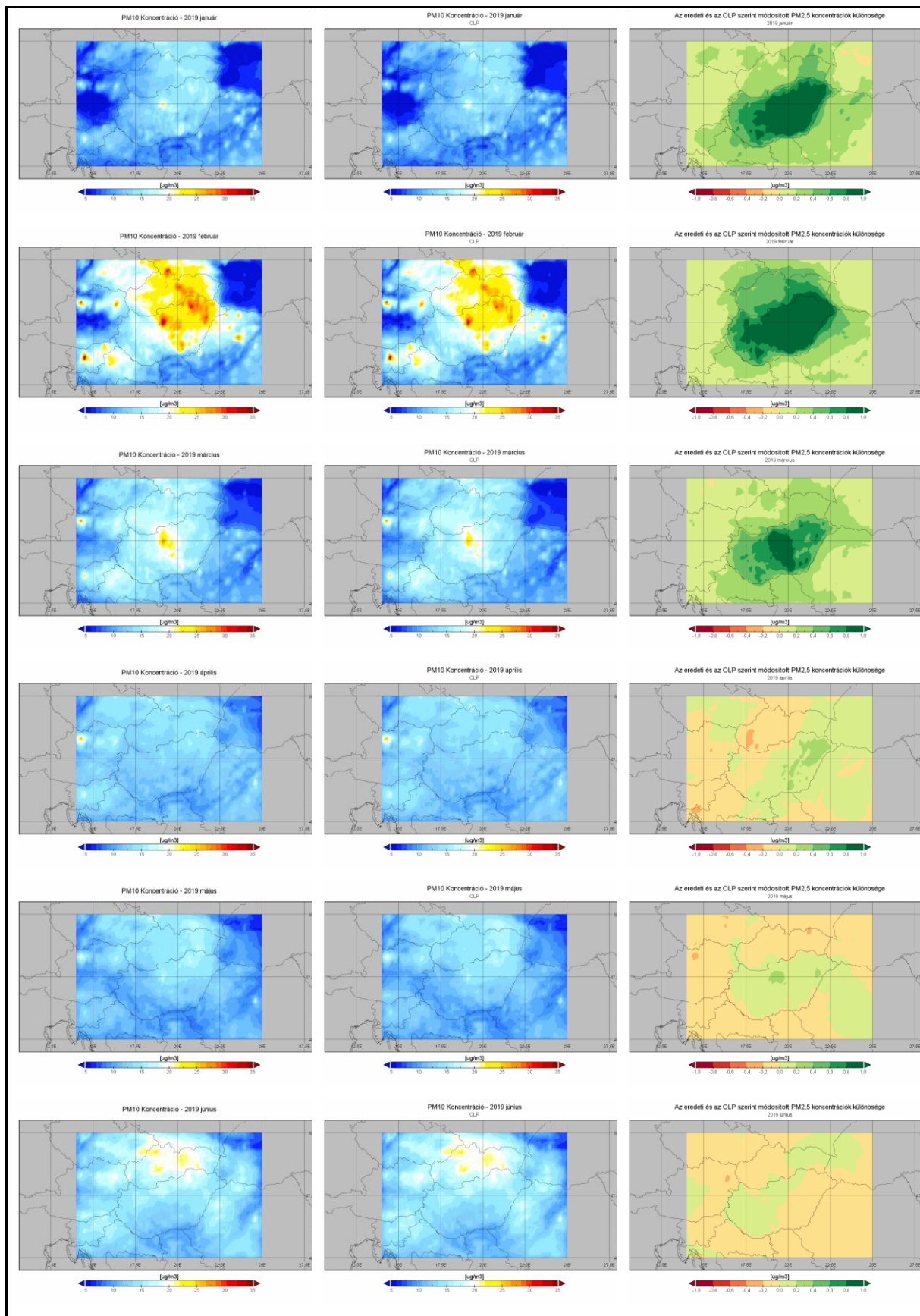


19. ábra O<sub>3</sub> havi átlagkoncentrációk januártól júniusig: alaphelyzet, OLP és a kettő különbsége

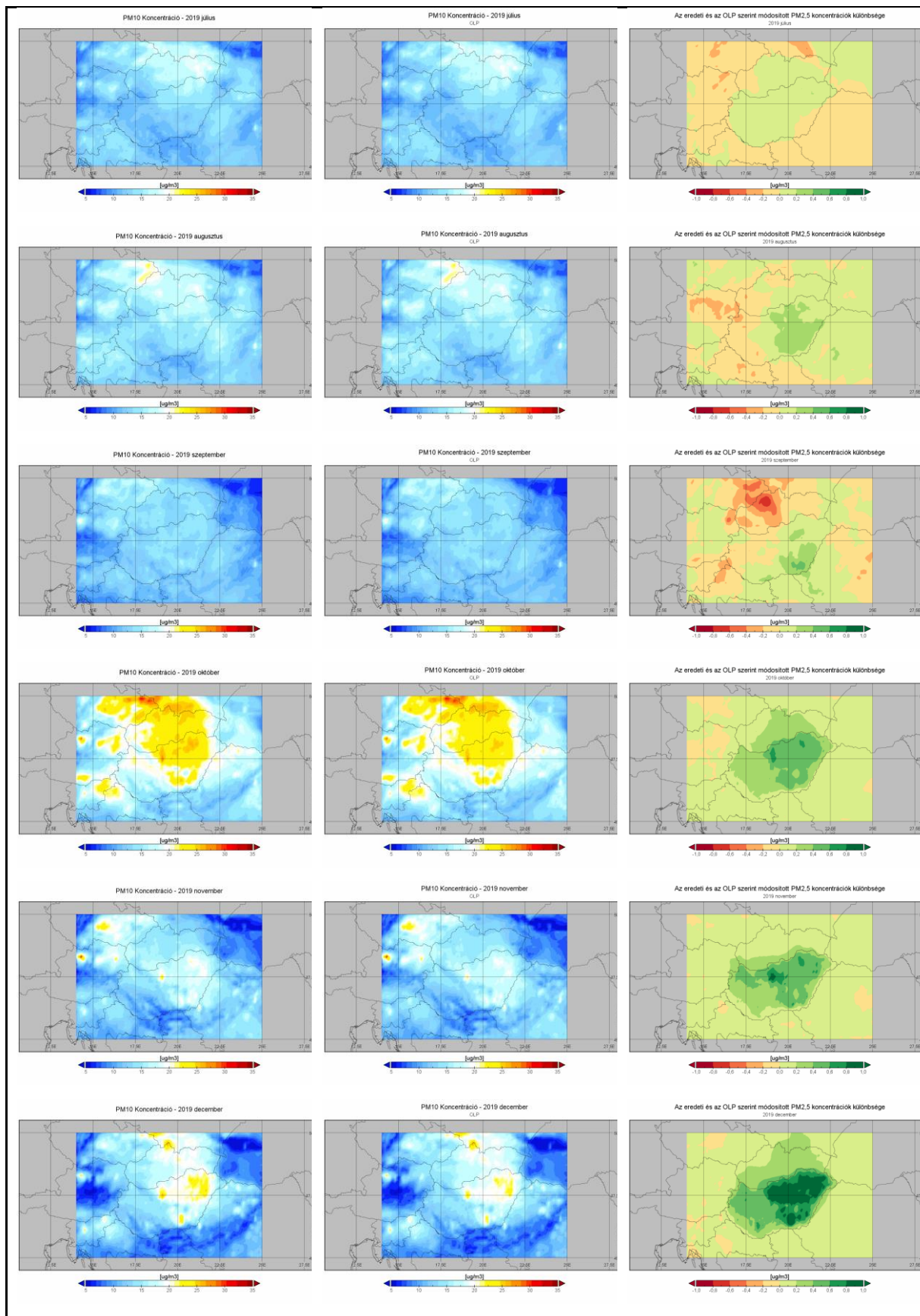




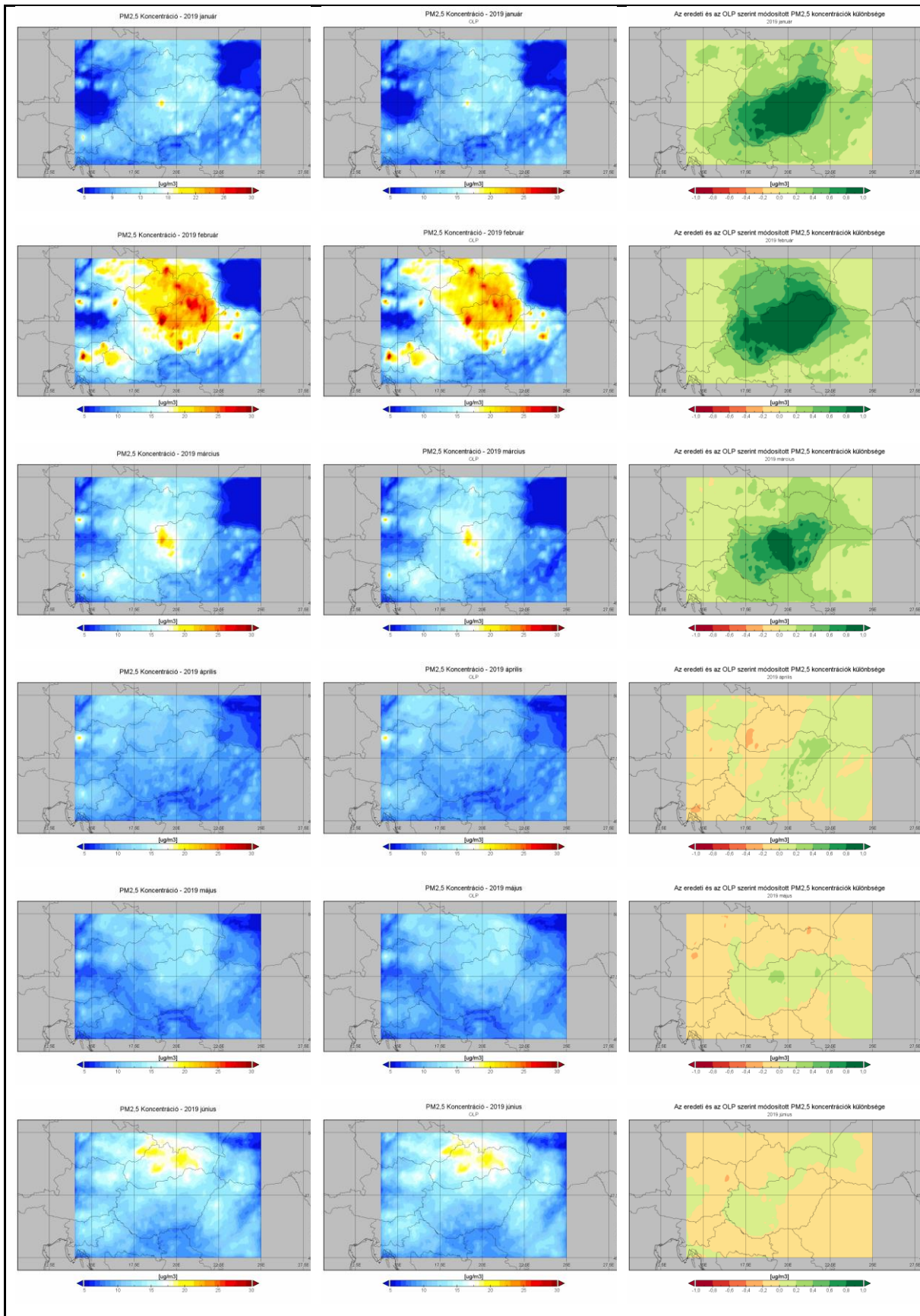
20. ábra O<sub>3</sub> havi átlagkoncentrációk júliustól decemberig: alaphelyzet, OLP és a kettő különbsége



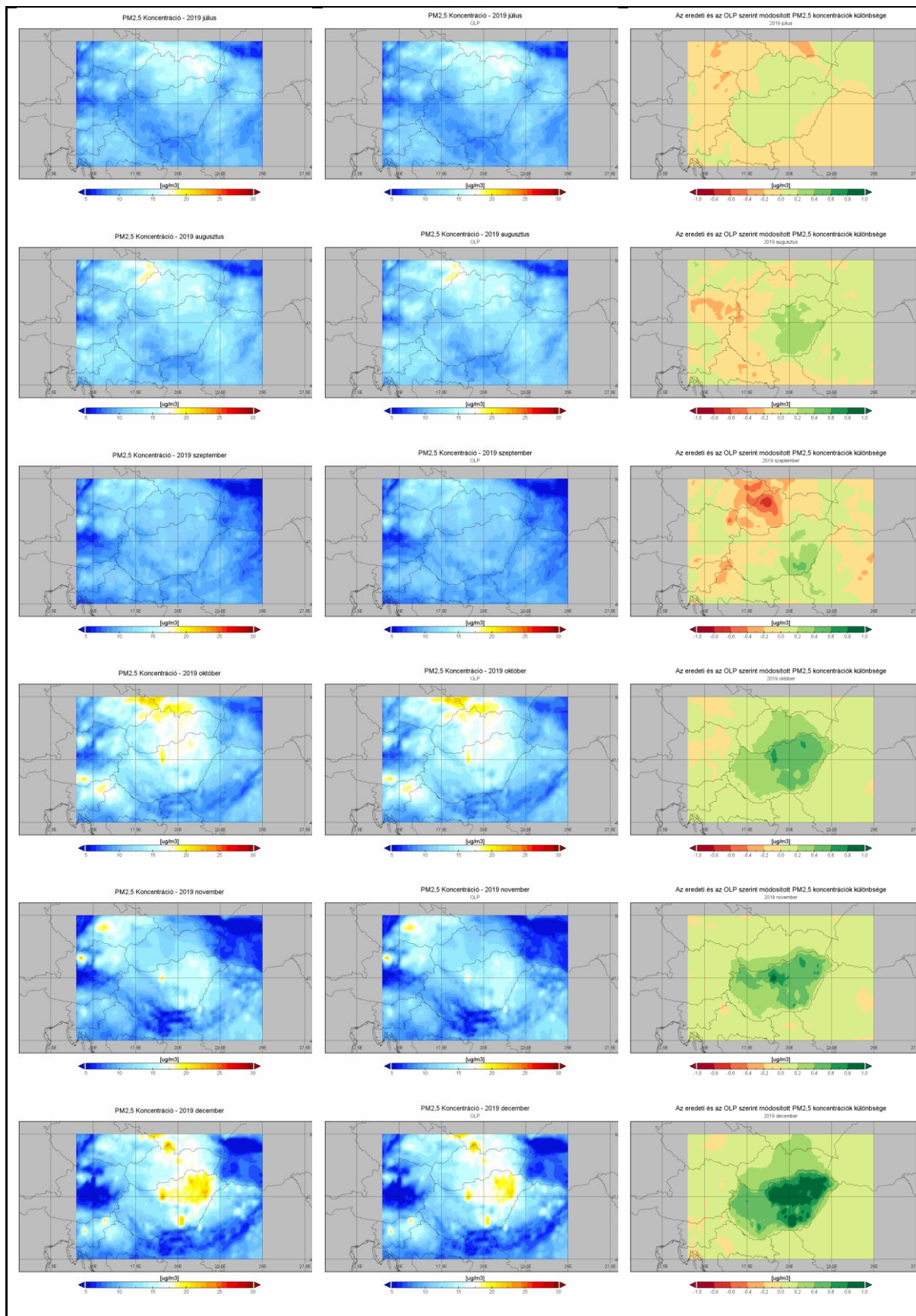
21. ábra PM<sub>10</sub> havi átlagkoncentrációk januártól júniusig: alaphelyzet, OLP és a kettő különbsége



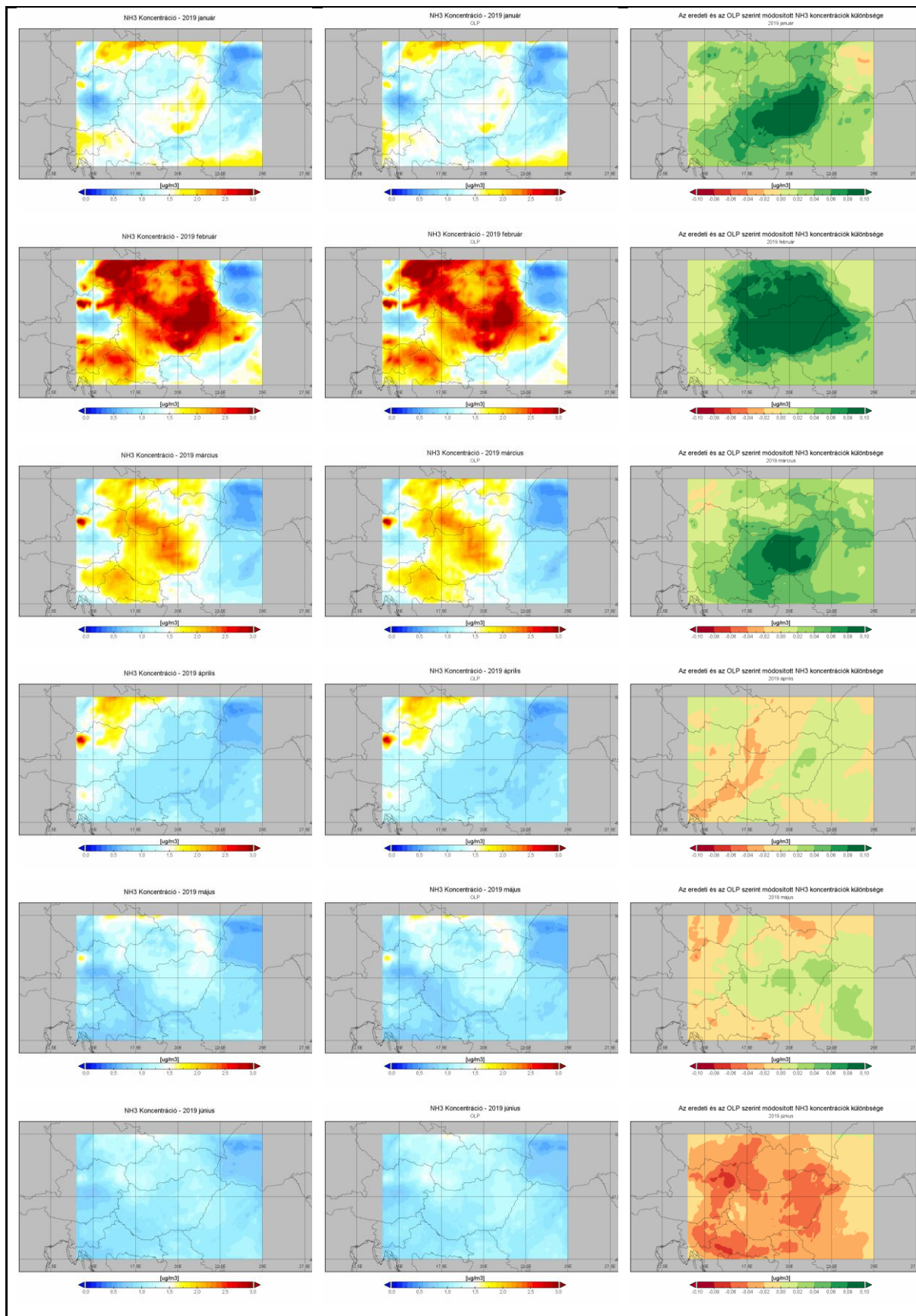
22. ábra PM<sub>10</sub> havi átlagkoncentrációk júliustól decemberig: alaphelyzet, OLP és a kettő különbsége



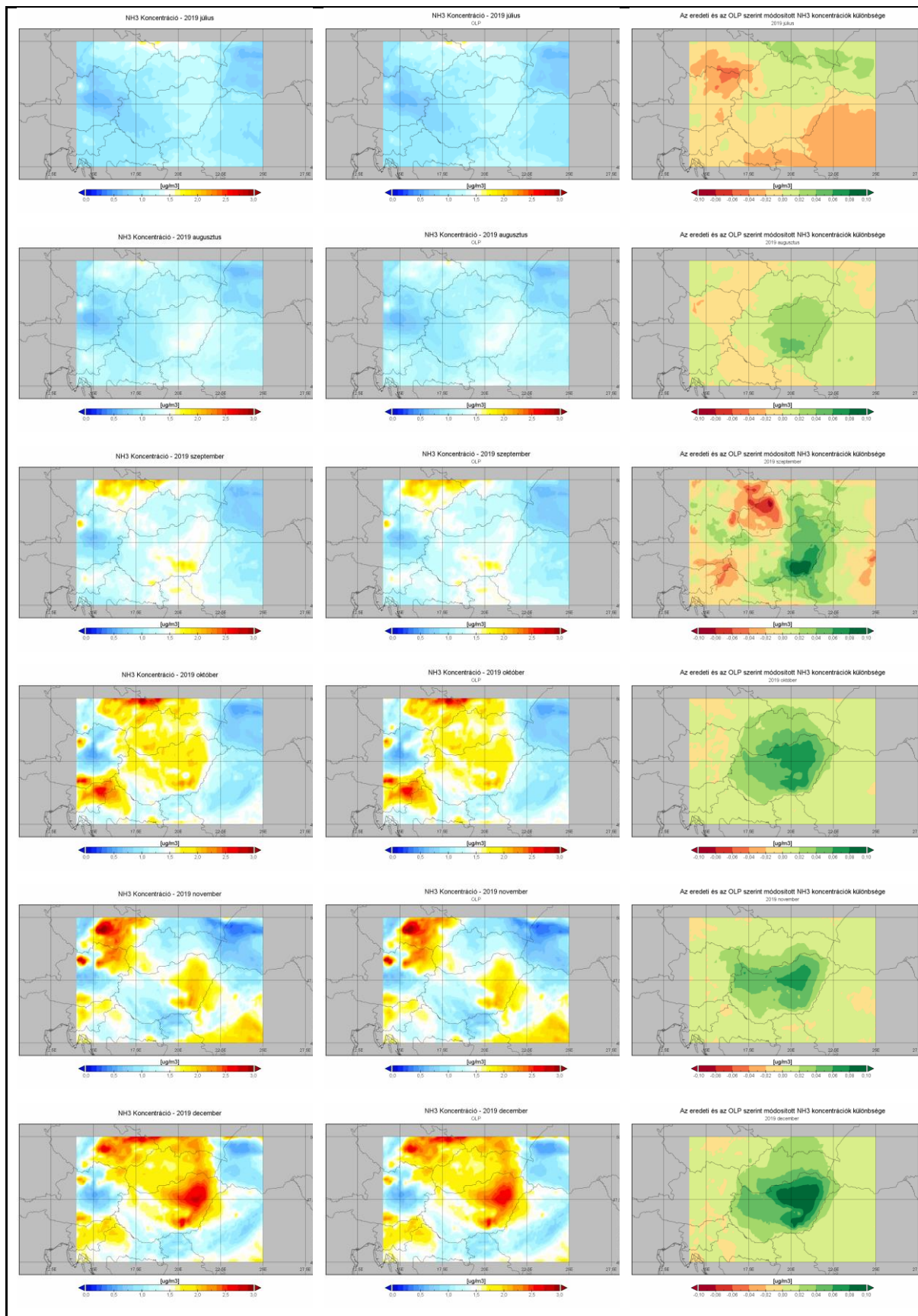
23. ábra  $\text{PM}_{2,5}$  havi átlagkoncentrációk januártól júniusig: alaphelyzet, OLP és a kettő különbsége



24. ábra  $\text{PM}_{2,5}$  havi átlagkoncentrációk júliustól decemberig: alaphelyzet, OLP és a kettő különbsége



25. ábra NH<sub>3</sub> havi átlagkoncentrációk januártól júniusig: alaphelyzet, OLP és a kettő különbsége



26. ábra NH<sub>3</sub> havi átlagkoncentrációk júliustól decemberig: alaphelyzet, OLP és a kettő különbsége

E két hónap esetében tehát a kedvező meteorológiai viszonyok is hozzájárulhattak ahhoz, hogy az eleve kisebb mennyiségben kibocsátott NO<sub>2</sub>-ból kevesebb halmozódjon fel a légkörben. A korábban már részletezett NO<sub>x</sub> kibocsátási faktorok éves menetét vizsgálva azt mondhatjuk, hogy a téli hónapok alatt az ipari és nem ipari tüzelésből származó NO<sub>x</sub> kibocsátások nagyobbak. E szektorokból származó NO<sub>x</sub> kibocsátásokat a többi szektorhoz képest nagyobb mértékben csökkentettük (9 és 7%-kal), ezzel a téli hónapokban jelentős javulást értünk el a NO<sub>2</sub> koncentráció tekintetében. Összességében az látható, hogy Magyarország területén a megfogalmazott emisszióscsökkentések segítségével csökkenthető a nitrogén-dioxid koncentrációja. Fontos azonban megjegyezni, hogy csak Magyarország területére vonatkozva végeztük el a kibocsátások csökkentését.

A kén-dioxid havi átlagait ábrázoló képeken (17.–18. ábrák) azt látjuk, hogy egyes hónapokban az átlagkoncentrációk magasabbak lettek a csökkentések ellenére Magyarország néhány régiójában. Június és július hónapokban szinte az ország teljes területén negatív értékek jelennek meg a különbségtérképeken. Ez azt jelenti, hogy a kibocsátások csökkentése a SO<sub>2</sub> koncentrációk emelkedését eredményezte. A többi hónap tekintetében Délnyugat-Magyarország felett találhatunk olykor olyan területet, ahol a kibocsátáscsökkentések a vártnál ellenkező hatást értek el. Az ország másik felében azonban többnyire a csökkentések pozitív hatása látszik, a havi átlagos koncentrációk csökkentek. Február és szeptember hónapokban az ország teljes területén koncentrációcsökkenést látunk.

A szennyezőanyagok között az ózon havi átlagos koncentrációinak összevetése során tapasztaltuk a legnagyobb negatív eltéréseket az eredeti és az OLP szimuláció között. Ez azt jelenti, hogy az ózon esetében a kibocsátáscsökkentések bevezetése ellenére magasabb havi átlagkoncentrációkat kaptunk 2019 évre Magyarország jelentős részére. A 19.–20. ábrákon a legfeltűnőbb, hogy minden hónapban a főváros területén nagymértékű negatív értékek szerepelnek a különbségeket ábrázoló térképeken. Ez összefüggésben áll a korábbi észrevétellel, miszerint a NO<sub>2</sub> koncentrációk a főváros területén redukálódtak a legnagyobb mértékben a kibocsátáscsökkentések hatására.

Az ózon prekursorok (NO<sub>x</sub>, NMVOC) kibocsátásának csökkentése többnyire nem okozta arányosan az ózonkoncentrációk csökkenését. A troposzférikus ózon keletkezését vezénylő kémiai reakciók áttekintésével beláthatjuk, hogy eredményeink helytállóak. Az ózon keletkezéséhez szükség van atomos oxigénre, amely a troposzférában NO<sub>2</sub> fotodisszociációjával keletkezik. A disszociáció során a NO<sub>2</sub>-ből NO is keletkezik. Az ózon



reakcióba lép a nitrogén-monoxiddal, melynek eredményeképp oxigén és  $\text{NO}_2$  keletkezik. Ezekkel a folyamatokkal nincs nettó ózonkeletkezés, azonban a levegőben található NMVOC,  $\text{CH}_4$  és  $\text{CO}$  jelenlétében nitrogén-oxidok ( $\text{NO}_2$  és  $\text{NO}$ ) valamint gyökök ( $\text{OH}$ ,  $\text{HO}_2$ ) hatására már lesz ózonképződés. A  $\text{NO}$  képes fékezni az ózonkeletkezést. Ha a troposzférában sok a  $\text{NO}$ , akkor több  $\text{O}_3$  bomlik el, ellenkező esetben azonban több  $\text{O}_3$  gyülemlik fel. A kibocsátás-csökkentések hatására csökkent a  $\text{NO}_2$  koncentrációja az ország jelentős területén. Ezáltal kevesebb  $\text{NO}$  is tudott keletkezni, így egyértelműen magasabb ózonkoncentrációkat kaptunk.

Az ózon havi különbségtérképei közül a májusi térkép feltűnően piros, azaz a vizsgált terület egészen magasabb havi átlagkoncentrációt kaptunk az OLP-ben meghatározott kibocsátás-csökkentések elvégzése után. Ez azonban nem csak a kibocsátásokban bekövetkező változások miatt alakult így. Ahogyan korábban már utaltunk rá, az időjárási viszonyok is nagyban meghatározzák egy szennyezőanyag légköri koncentrációját. A 7. ábrán 2019 havi globálsugárzás összegeit láthatjuk. 2019 májusában a havi globálsugárzás összege jóval a 2000–2019 időszak átlaga alatti volt. 2019 májusa a sokévi átlagnál hűvösebb volt. Ebben a hónapban az átlagosnál is kevesebbet sütött a nap, ezért a kibocsátás-csökkentés miatt eleve kevesebb mennyiségű  $\text{NO}_2$  tudott  $\text{NO}$ -á alakulni. Ennek következtében több ózon maradt a levegőben, magasabb lett a májusi havi átlagkoncentráció az OLP szimuláció esetében.

A  $\text{PM}_{10}$  havi átlagkoncentrációit és a különbséget láthatjuk a 21.–22. ábrákon. Áprilistól szeptemberig találunk olyan területeket az ország felett, ahol magasabb koncentrációkat adott eredményül az OLP szimuláció. Áprilisban, augusztusban és szeptemberben az ország nyugati területein látunk negatív értékeket, júniusban és júliusban pedig keleten. Ezek az eredeti koncentrációknál magasabb értékek a határokhoz közeli kisebb, nagyobb sávokban jelentkeznek. A nagyskálájú transzport, így a határon túli kibocsátások hatása ezekben a hónapokban nagyobb mértékben befolyásolhatta a  $\text{PM}_{10}$  koncentrációkat. A többi hónapban egyértelműen csökkentek a  $\text{PM}_{10}$  koncentrációk Magyarország felett. Január, február és december hónapokban szembetűnő a koncentráció-csökkentés mértéke az ország jókora területén.

A  $\text{PM}_{2,5}$  koncentrációkra vonatkozó térképeken (23.–24. ábrák) hasonló viszonyokat látunk, mint a  $\text{PM}_{10}$  esetében. Néhány hónapban, egyes területeken negatív értékeket is látunk a különbségtérképeken. A  $\text{PM}_{2,5}$  havi átlagaiban is télen értük el a legnagyobb koncentrációcsökkenést az OLP szerint módosított kibocsátás-csökkentéseknek köszönhetően.

A 25.–26. ábrákon az ammónia koncentrációadatait megjelenítő térképeket látjuk. A havi különbségtérképekre tekintve elmondható, hogy áprilistól szeptemberig negatív értékek is megjelennek az ország területén. Júniusban az ország egészében az eredeti havi átlagkoncentrációknál magasabbak az OLP szimuláció havi átlagai. A negatív értékek főként az ország nyugati felében mutatkoztak, júliusban a legészakibb tájakat kivéve mindenhol negatív értékeket látunk. Januártól márciusig és októbertől decemberig az ország egész területén alacsonyabbak lettek az ammóniakoncentrációk. A téli hónapokban a legnagyobb a koncentrációcsökkenés.

Az OLP-ben meghatározott kibocsátáscsökkentések csak az ország területére vonatkoznak. A szimulált koncentrációértékek tehát csak Magyarország területén elvégzett kibocsátásmódosítások eredményei. A térképeken is látszik, hogy a modellezés során lefedett terület a szomszédos országok egyes részeit is tartalmazza, tehát más országok általi kibocsátásokat is figyelembe vesz a CHIMERE a számítások során. Az előbb részletezett eredményeink nagyban módosulhatnak azzal, ha a szomszédos országok kibocsátáscsökkentési terveit is bevonjuk a vizsgálatba.

A havi átlagértékek térképes megjelenítése mellett külön a kilenc állomásra (Debrecen, Eger, Budapest (Gilice), Miskolc, Pécs, Szeged, Veszprém, K-puszt, Sarród) vonatkozóan is elvégeztük a vizsgált szennyezőanyagok havi átlagainak elemzését, összevetését. Ehhez a havi átlagkoncentrációk százalékos eltérését ( $[\text{OLP havi átlagok} - \text{eredeti havi átlagok}] / \text{eredeti átlagok}$ ) számítottuk ki. A 4.–9. táblázatok a hat szennyezőanyagra vonatkozóan tartalmazzák a százalékos havi eltéréseket, valamint az utolsó sorban ezen eltérések átlagát.

4. táblázat Az eredeti és az OLP szerint módosított havi átlagok százalékos eltérése NO<sub>2</sub>-ra

<b>Százalékos havi eltérések (NO<sub>2</sub>)</b>									
2019	DEB	EGER	GILICE	KPU	MISK	PÉCS	SARR	SZEG	VESZ
jan.	-2,85	-3,55	-3,68	-4,01	-2,77	-3,45	0,36	-4,42	-2,24
febr.	-3,61	-3,05	-3,30	-3,70	-3,21	-4,01	-0,94	-4,54	-2,72
már.	-3,76	-2,69	-5,50	-3,69	-3,43	-3,92	-1,04	-4,61	-2,89
ápr.	-3,09	-2,17	-3,15	-2,82	-2,39	-4,05	-1,25	-3,88	-2,74
máj.	-2,60	-2,77	-3,05	-2,27	-2,43	-2,67	-1,04	-2,76	-2,42
jún.	-2,72	-3,54	-3,59	-3,24	-3,36	-3,84	-4,66	-3,12	-4,02
júl.	-2,14	-2,62	-3,39	-3,27	-2,93	-3,55	-2,41	-3,88	-2,89
aug.	-2,73	-2,80	-3,19	-3,07	-2,92	-3,61	-1,76	-3,49	-2,65
szept.	-1,91	-1,49	-2,48	-3,02	-0,77	-3,38	0,95	1,80	-0,19
okt.	-3,27	-3,44	-3,09	-3,00	-3,42	-3,41	-1,14	-3,62	-2,25
nov.	-3,31	-3,27	-3,71	-3,42	-3,10	-3,22	-1,60	-3,69	-2,77
dec.	-3,82	-3,30	-3,70	-3,67	-3,35	-3,08	-0,98	-4,01	-3,04
ÁTL.	-2,99	-2,89	-3,49	-3,26	-2,84	-3,52	-1,29	-3,35	-2,57

5. táblázat Az eredeti és az OLP szerint módosított havi átlagok százalékos eltérése SO<sub>2</sub>-ra

<b>Százalékos havi eltérések (SO<sub>2</sub>)</b>									
2019	DEB	EGER	GILICE	KPU	MISK	PÉCS	SARR	SZEG	VESZ
jan.	-2,33	-6,05	-7,81	-1,01	-9,45	-1,12	4,09	-1,64	2,21
febr.	-7,91	-6,15	15,89	-5,92	-11,42	-6,57	-0,78	-8,80	-3,49
már.	-5,44	-2,89	-7,49	-3,31	-8,80	-4,94	3,04	-4,89	-0,76
ápr.	-7,28	-5,14	-7,42	-6,45	-8,84	-6,46	-3,14	-6,09	0,02
máj.	-3,31	-7,15	-10,56	-12,78	-7,72	-12,03	-21,96	-17,28	-18,98
jún.	5,88	4,03	6,41	9,93	-0,09	10,15	13,47	9,40	13,91
júl.	8,57	2,74	5,76	10,07	1,47	16,22	13,19	15,71	9,38
aug.	-1,39	-1,83	-1,79	-1,08	-3,68	-0,70	-0,18	-1,55	-0,96
szept.	-6,83	-9,07	-8,81	-10,08	-8,47	-6,66	-12,68	-10,13	-10,03
okt.	-2,96	-4,23	-4,22	-2,02	-7,08	-0,68	-0,07	-2,55	-0,65
nov.	-2,17	-3,59	-5,77	-1,66	-7,88	-1,32	-0,18	-2,50	-1,12
dec.	-5,07	-4,14	-6,48	-2,52	-10,43	-2,53	0,05	-4,59	-1,85
ÁTL.	-2,52	-3,62	-2,69	-2,24	-6,87	-1,39	-0,43	-2,91	-1,03

6. táblázat Az eredeti és az OLP szerint módosított havi átlagok százalékos eltérése O<sub>3</sub>-ra

<b>Százalékos havi eltérések (O<sub>3</sub>)</b>									
2019	DEBR	EGER	GILICE	KPU	MISK	PÉCS	SARR	SZEG	VESZ
jan.	0,23	0,70	1,42	0,57	0,66	0,51	-0,16	0,80	0,17
febr.	0,74	0,46	1,22	0,41	0,62	0,43	0,12	0,87	0,29
már.	-0,12	-0,77	0,83	-0,09	-0,60	0,30	-0,19	0,52	0,03
ápr.	0,53	0,27	0,65	0,45	0,35	0,56	0,26	0,57	0,51
máj.	1,98	1,51	2,11	2,00	1,38	1,81	1,34	2,90	1,53
jún.	-0,16	-0,10	0,39	0,06	-0,08	0,30	0,38	-0,05	0,28
júl.	-0,14	-0,08	0,24	-0,02	0,00	0,07	0,05	0,07	-0,11
aug.	0,08	0,03	0,33	0,06	0,10	0,07	0,11	0,17	0,06
szept.	-0,61	-0,20	0,09	0,19	-0,48	-0,24	-0,18	-0,81	-0,38
okt.	0,56	0,46	0,85	0,31	0,61	0,28	0,14	0,68	0,26
nov.	0,69	0,47	1,00	0,37	0,66	0,33	0,22	1,08	0,35
dec.	1,04	0,61	1,30	0,50	0,85	0,46	0,11	1,23	0,36
ÁTL.	0,40	0,28	0,87	0,40	0,34	0,41	0,18	0,67	0,28

7. táblázat Az eredeti és az OLP szerint módosított havi átlagok százalékos eltérése PM<sub>10</sub>-re

<b>Százalékos havi eltérések (PM<sub>10</sub>)</b>									
2019	DEBR	EGER	GILICE	KPU	MISK	PÉCS	SARR	SZEG	VESZ
jan.	-7,08	-6,64	-6,83	-7,82	-6,40	-6,79	-3,72	-7,69	-6,22
febr.	-6,25	-5,76	-5,58	-5,56	-6,46	-5,41	-3,35	-5,86	-5,15
már.	-5,24	-4,33	-5,93	-5,14	-5,29	-4,96	-2,07	-5,49	-4,13
ápr.	-2,41	-0,90	-0,68	-1,38	-1,95	-2,27	-0,06	-2,56	0,81
máj.	-1,55	-0,67	-1,72	-0,90	-1,06	-0,76	0,49	-0,54	-0,45
jún.	0,62	-0,36	-0,07	0,48	-0,40	-0,06	0,18	0,87	0,12
júl.	-0,53	-0,97	-0,29	-0,23	-0,94	-0,38	0,42	-0,51	-0,41
aug.	-0,62	-0,55	-0,72	-0,89	-0,70	-0,86	-0,22	-1,22	-0,60
szept.	-1,65	-1,74	0,74	-0,24	-1,46	-1,43	-0,08	-2,67	2,02
okt.	-2,28	-2,29	-2,55	-1,99	-2,62	-1,93	-0,83	-2,48	-1,76
nov.	-2,86	-3,25	-4,06	-3,15	-3,68	-3,00	-2,39	-3,35	-3,10
dec.	-4,55	-4,50	-5,37	-4,50	-4,95	-4,39	-2,03	-4,68	-4,01
ÁTL.	-2,87	-2,66	-2,76	-2,61	-2,99	-2,69	-1,14	-3,01	-1,91

8. táblázat Az eredeti és az OLP szerint módosított havi átlagok százalékos eltérése PM<sub>2,5</sub>-ra

<b>Százalékos havi eltérések (PM<sub>2,5</sub>)</b>									
2019	DEBR	EGER	GILICE	KPU	MISK	PÉCS	SARR	SZEG	VESZ
jan.	-7,20	-6,84	-7,09	-8,04	-6,56	-6,98	-3,73	-7,90	-6,41
febr.	-6,47	-6,02	-5,89	-5,82	-6,74	-5,64	-3,58	-6,16	-5,43
már.	-5,63	-4,35	-6,26	-5,46	-5,45	-5,29	-2,00	-5,93	-4,42
ápr.	-2,99	-1,07	-0,86	-1,68	-2,44	-2,68	-0,02	-2,94	1,01
máj.	-1,62	-0,64	-2,06	-1,19	-1,09	-0,98	-0,05	-0,91	-0,92
jún.	0,39	-0,31	-0,24	0,13	-0,31	-0,57	-0,01	0,69	-0,28
júl.	-0,40	-1,02	-0,30	-0,23	-1,02	-0,29	0,46	-0,45	-0,63
aug.	-0,79	-0,67	-0,90	-1,12	-0,87	-1,02	-0,29	-1,44	-0,78
szept.	-1,68	-1,81	0,17	-0,81	-1,43	-1,74	-0,48	-3,41	1,54
okt.	-3,25	-3,21	-3,48	-2,94	-3,67	-2,53	-1,21	-3,40	-2,50
nov.	-3,41	-3,88	-4,71	-3,92	-4,33	-3,63	-2,91	-4,02	-3,75
dec.	-4,91	-4,93	-5,85	-4,95	-5,36	-4,75	-2,38	-5,08	-4,47
ÁTL.	-3,16	-2,90	-3,12	-3,00	-3,27	-3,01	-1,35	-3,41	-2,25

9. táblázat Az eredeti és az OLP szerint módosított havi átlagok százalékos eltérése NH<sub>3</sub>-ra

<b>Százalékos havi eltérések (NH<sub>3</sub>)</b>									
2019	DEBR	EGER	GILICE	KPU	MISK	PÉCS	SARR	SZEG	VESZ
jan.	-5,70	-5,42	-5,46	-6,79	-4,92	-4,99	-2,94	-6,47	-5,25
febr.	-6,48	-6,08	-4,23	-4,79	-6,08	-3,53	-3,53	-4,55	-4,94
már.	-4,29	-3,12	-4,55	-4,68	-3,06	-4,10	-1,82	-5,06	-3,65
ápr.	-2,19	0,07	1,70	-0,67	-0,80	-1,42	0,17	-1,93	3,11
máj.	-2,26	-1,08	-2,16	-1,59	-1,01	-0,40	-1,15	-1,00	-1,82
jún.	4,37	4,27	3,87	4,14	4,32	3,08	3,63	4,37	3,42
júl.	0,45	-1,55	0,35	0,52	-1,23	1,33	1,06	0,42	-0,23
aug.	-0,55	-0,53	-0,72	-1,41	-0,56	-0,66	-0,24	-1,51	-0,81
szept.	-3,70	-3,33	0,77	-1,55	-3,32	-2,01	-2,34	-5,83	0,90
okt.	-3,19	-3,75	-3,24	-3,28	-3,58	-2,02	-1,48	-3,40	-2,76
nov.	-1,91	-3,65	-3,99	-3,20	-3,32	-2,13	-3,12	-2,34	-3,53
dec.	-2,96	-4,03	-3,64	-3,05	-3,31	-2,00	-1,92	-2,62	-3,08
ÁTL.	-2,37	-2,35	-1,78	-2,20	-2,24	-1,57	-1,14	-2,49	-1,55

A 4. táblázatban a NO<sub>2</sub>-ra vonatkozó értékeket foglaltuk össze. Láthatjuk, hogy a legtöbb állomáson, a legtöbb hónapban több mint 3%-kal csökkentek a havi átlagkoncentrációk az OLP-ben meghatározott kibocsátáscsökkentéseknek (-34%) köszönhetően. Budapest, Gilice-tér állomáson a márciusi százalékos eltérés mutatja a legnagyobb csökkenést, 5,5%-kal lett alacsonyabb a márciusi havi átlagos NO<sub>2</sub>-koncentráció. Pozitív százalékos eltérést (tehát az OLP szimulációval magasabb koncentrációértékeket) kaptunk Sarród állomásra január és szeptember hónapokra, valamint Szeged állomás esetében szeptemberre. Ezek az eltérések nem érik el a 2%-ot. A nitrogén-dioxid koncentrációkat vizsgálva azt mondhatjuk, hogy átlagosan Pécsen csökkentek a legnagyobb mértékben (3,52%-kal) a havi átlagok. Sarród esetében értük el átlagosan a legkisebb koncentráció-csökkenést.

Az 5. táblázat a kén-dioxidra vonatkozó adatokat tartalmazza. Június és július hónapok átlagkoncentrációinak százalékos eltérése szinte minden állomáson pozitív. A Gilice-téren, Pécsen és Szegeden több mint 15%-kal magasabb havi átlagkoncentrációk adódtak az OLP-ben meghatározott -45%-os kibocsátáscsökkentés ellenére. Ezen nagy, pozitív eltérések ellenére többségében csökkenést, azaz negatív értékeket is kaptunk. Sarród állomáson a májusi eltérés - 21,96%. Szeged és Veszprém állomásokon szintén a májusi havi átlagkoncentráció csökkent jóval az eredeti érték alá, előbbi közel 17%-kal, utóbbi majdnem 19%-kal. Átlagosan tekintve a havi átlagok Miskolcon 6,87%-kal csökkentek, a legkisebb csökkenés kevesebb, mint 0,5% volt Sarród állomáson.

Az ózonkoncentrációkat vizsgálva már a térképeken is az mutatkozott, hogy az ország legnagyobb részén 2019 során az OLP-ben megadott módosítások ellenére magasabb havi átlagokat számítottunk az eredeti koncentrációkhoz képest a CHIMERE modellel. Ez a százalékos havi eltérésekben is tükröződik (6. táblázat). Az előző két szennyezőanyag esetében alig találtunk olyan hónapot, ahol ne értünk volna el koncentráció-csökkentést, az O<sub>3</sub>-koncentrációk esetében éppen fordítva van: csupán néhány hónap átlagkoncentrációi csökkentek, javarészt pozitív százalékos eltérést kaptunk az eredeti koncentrációértékekhez mérten. Látható, hogy a legtöbb állomáson az év során a havi átlagok kevesebb mint 1%-kal lettek magasabbak az OLP-s szimulációval. Minden városnál a májusi pozitív eltérések a legmagasabbak.

A 7. táblázat tartalmazza a PM<sub>10</sub>-adatokat. Ezen szennyezőanyag koncentrációiban sikerült jelentősebb csökkentést elérni az OLP-ben módosított kibocsátásokkal. A januári százalékos eltérések minden város esetében a legnagyobb mértékű csökkenést mutatják. Több

mint 6%-kal csökkentek a januári havi átlagok az eredeti kibocsátásokkal kapott koncentrációkhoz képest. Februárban és márciusban, valamint november és december hónapokban is 3–6%-ig csökkentek a havi átlagkoncentrációk. Eger és Miskolc kivételével minden állomáson találunk pozitív értéket, de ezek 1%-nál kisebb növekedések. Szegednél közel 3%, Sarródnál közel 1% mértékben csökkentek átlagosan a havi átlagkoncentrációk.

A PM<sub>2,5</sub>-re vonatkozó adatokat szemlélve (8. táblázat) látható, hogy hasonló eredményeket kaptunk, mint a PM<sub>10</sub> esetén. A januári havi átlagok csökkentek a legjelentősebb százalékos értékben minden állomáson. A január–március és október–november időszakokban adódtak a legnagyobb csökkenések, többnyire 3%-ot meghaladó mértékben redukálódtak a havi átlagkoncentrációk az OLP-ben meghatározottnak (-13%-os kibocsátáscsökkentés) köszönhetően. Koncentrációnövekedést is találunk a táblázatban, a melegebb hónapokban Eger, Miskolc és Pécs kivételével minden állomáson előfordul egy-egy pozitív értékű százalékos eltérés. Átlagosan Miskolcon csökkentek a legnagyobb mértékben a havi átlagok (3,27%-kal), de Debrecen, Budapest, K-pusztá, Pécs és Szeged városokban is közel 3%-os átlagos csökkenés adódott.

A 9. táblázat tartalmazza az utolsó vizsgált szennyezőanyagra, az ammóniára vonatkozó adatokat. Áprilistól szeptemberig előfordulnak pozitív eltérések, a havi átlagok várostól függően magasabbak lettek az OLP-s szimulációk eredményeképp, mint az eredeti kibocsátások alapján. Júniusban több mint 3%-kal nőtt minden állomás havi átlagos NH<sub>3</sub> koncentrációja. Januártól márciusig, majd októbertől decemberig azonban jelentős javulás látszik, a havi átlagkoncentrációk egyes állomásokon 4–6%-kal is csökkentek néhány hónapban. A havi százalékos eltérések átlaga minden városra negatív, tehát átlagosan tekintve csökkentek a havi átlagok az OLP-ben meghatározott -10%-os kibocsátásmódosításokkal. A legnagyobb mértékben Szegeden csökkentek a havi értékek, átlagosan 2,49%-kal, legkevésbé Sarród állomáson 1,14%-kal.

Összességében elmondható, hogy az OLP-ben meghatározott kibocsátáscsökkentések jótékony hatással vannak a téli időszak szennyezőanyag-koncentrációira, hiszen főként ebben az időszakban csökkentek számottevően a havi átlagkoncentrációk NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> és NH<sub>3</sub> szennyezők esetében. Ezen szennyezők éves menetében novemberi és januári maximum-koncentrációkat látunk. Belátható tehát, hogy a magasabb koncentrációértékeket sikerült csökkentenünk a kibocsátáscsökkentésekkel. Hisztogramok segítségével próbáltuk szemléltetni

ezt a tényt. Az órás koncentráció adatok és a napi átlagok gyakoriságait mutatjuk be a következő fejezetben.

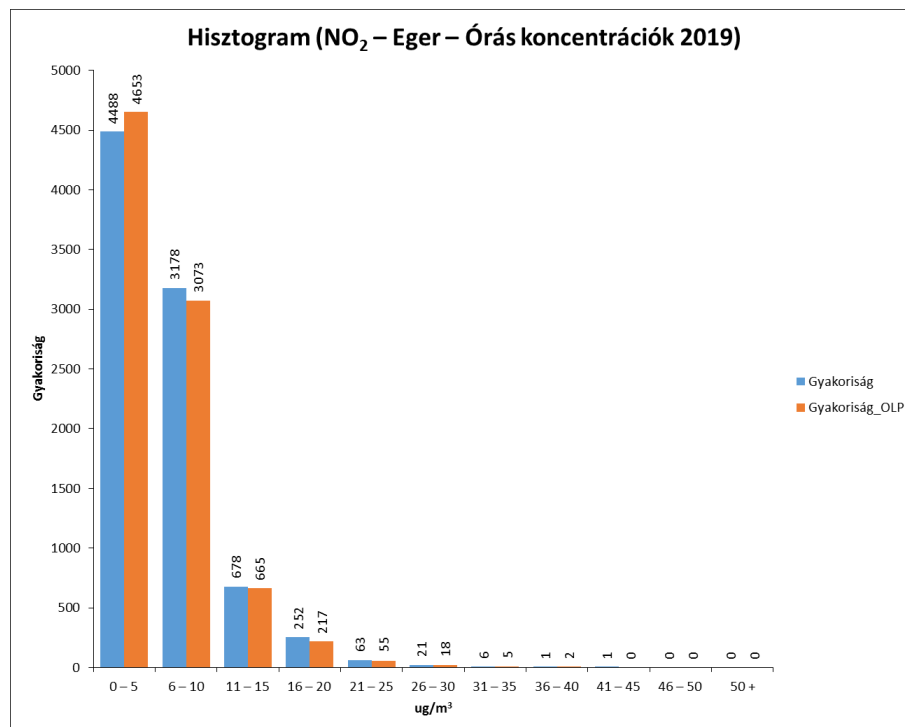
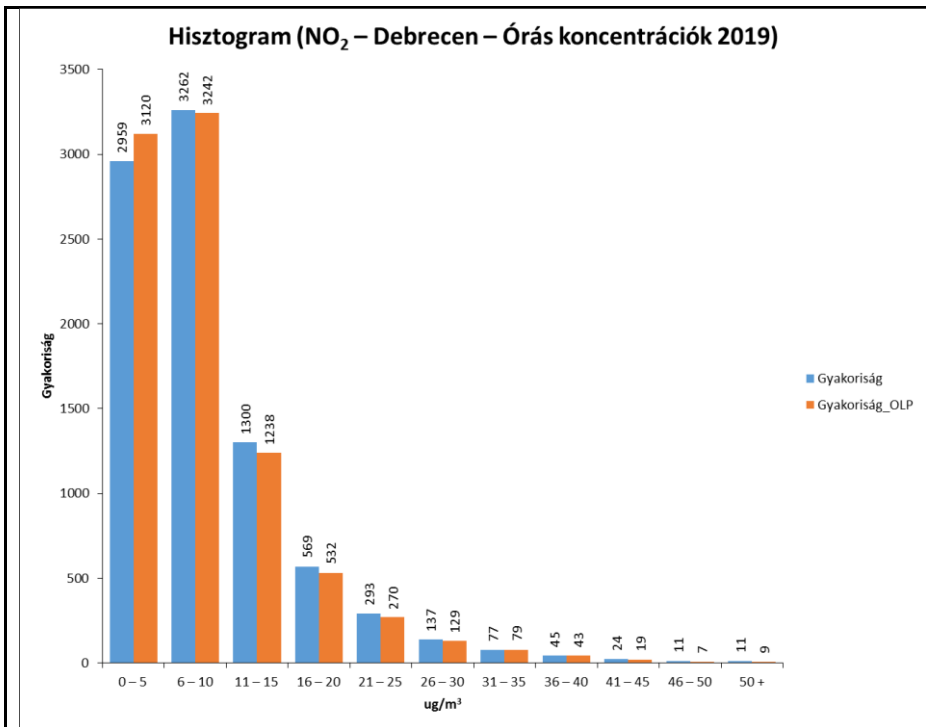
### 6.3 Hisztogramok

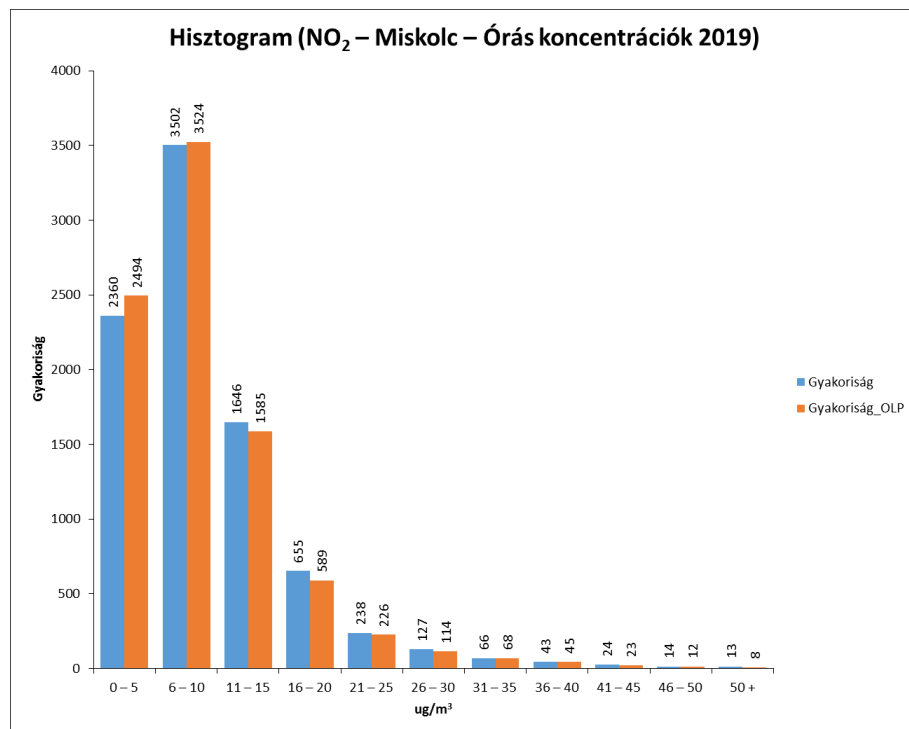
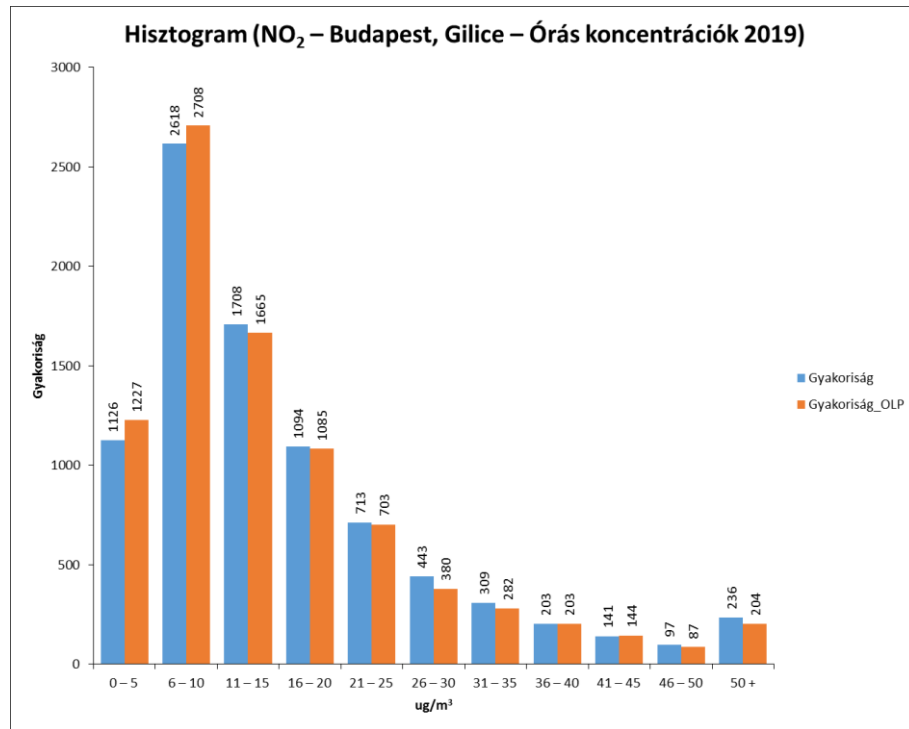
A hisztogramokkal gyakorisági adatokat ábrázolhatunk. Ezzel a grafikus eszközzel azt tudjuk szemléltetni, hogy az összes rendelkezésre álló adatból hány darab esik az általunk megadott koncentráció tartományba. A szennyező anyagok koncentrációit mind a 9 állomásra vonatkozóan ábrázoltuk ily módon. Elsőként a kétféle (alaphelyzeti és OLP kibocsátásokkal végzett) CHIMERE számítás eredményeit, az órás átlagkoncentrációkat ábrázoltuk hisztogramon, ezeket látjuk a 27–32. ábrákon.

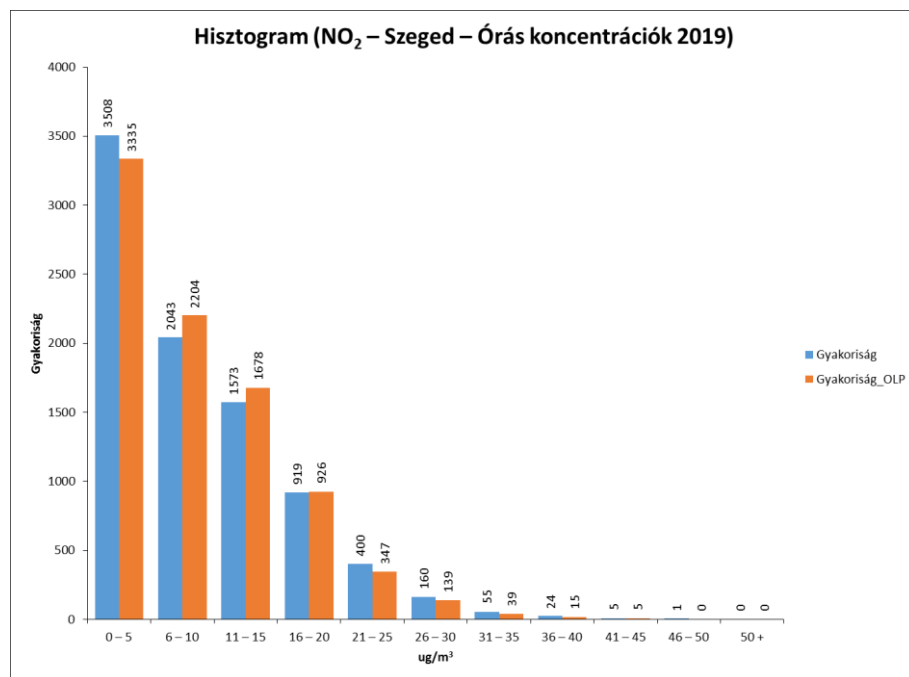
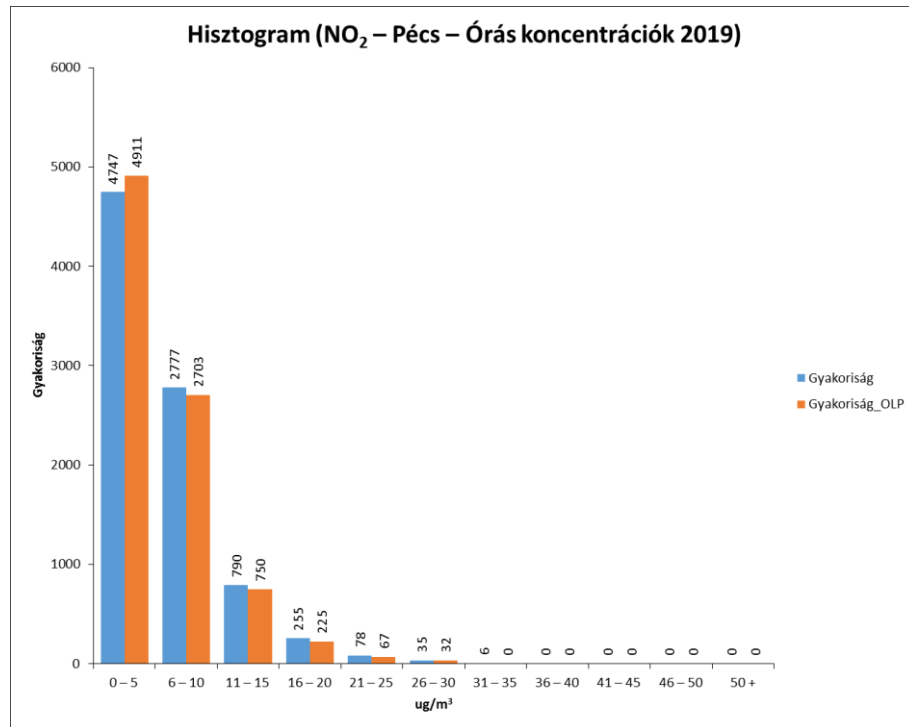
Az összes hisztogramon a kék oszlopok az eredeti koncentrációk, a narancssárga oszlopok az OLP szerint módosított koncentrációk gyakoriságát jelenítik meg. Általánosságban elmondható, hogy a magas koncentrációk száma csökkent a kibocsátások redukálása miatt az ózon kivételével minden szennyezőanyagra. Az alacsonyabb koncentrációtartományokba eső értékek száma nőtt. Az ózon esetében látjuk a legkisebb változást a gyakoriságokban.

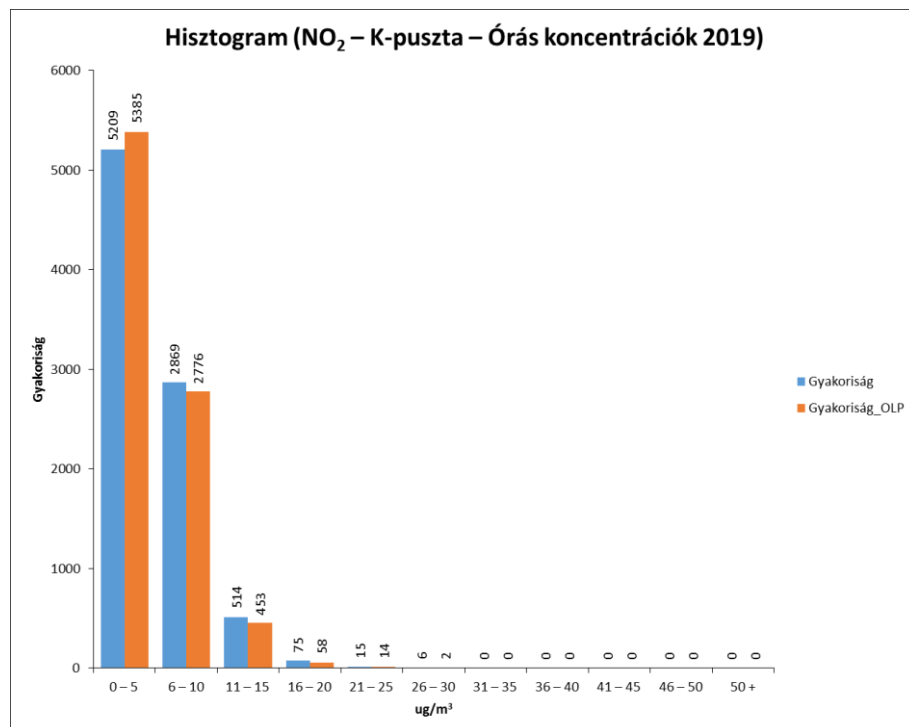
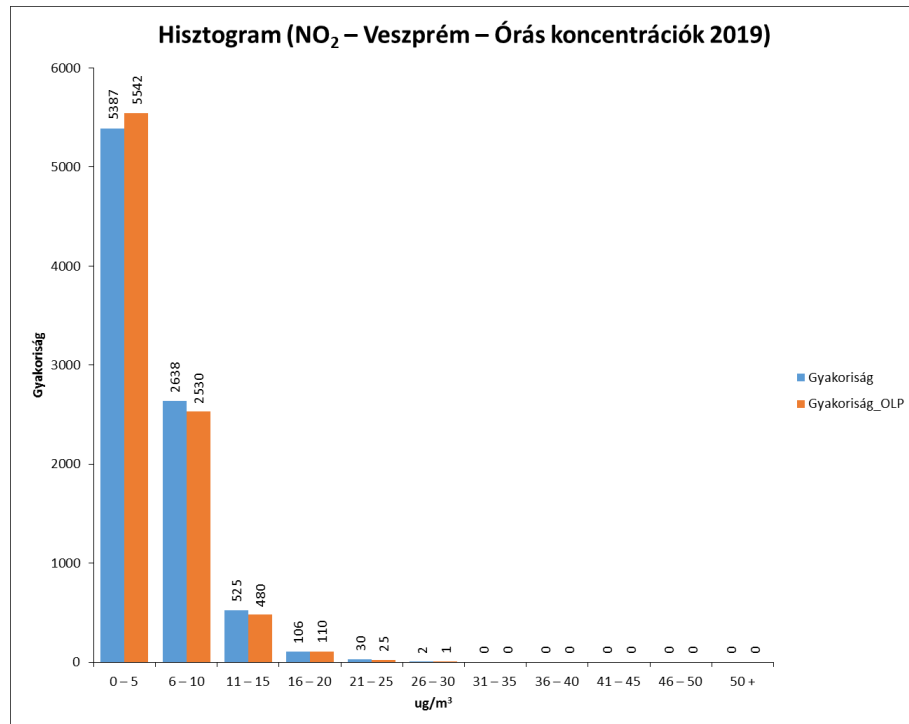
A NO<sub>2</sub> koncentrációk tekintetében Budapesten csökkent a leginkább a magas, > 45 µg/m<sup>3</sup> értékű órás átlagok száma. A többi állomás esetében jóval kevesebb adat van a magasabb koncentrációtartományokban (> 20 µg/m<sup>3</sup>).

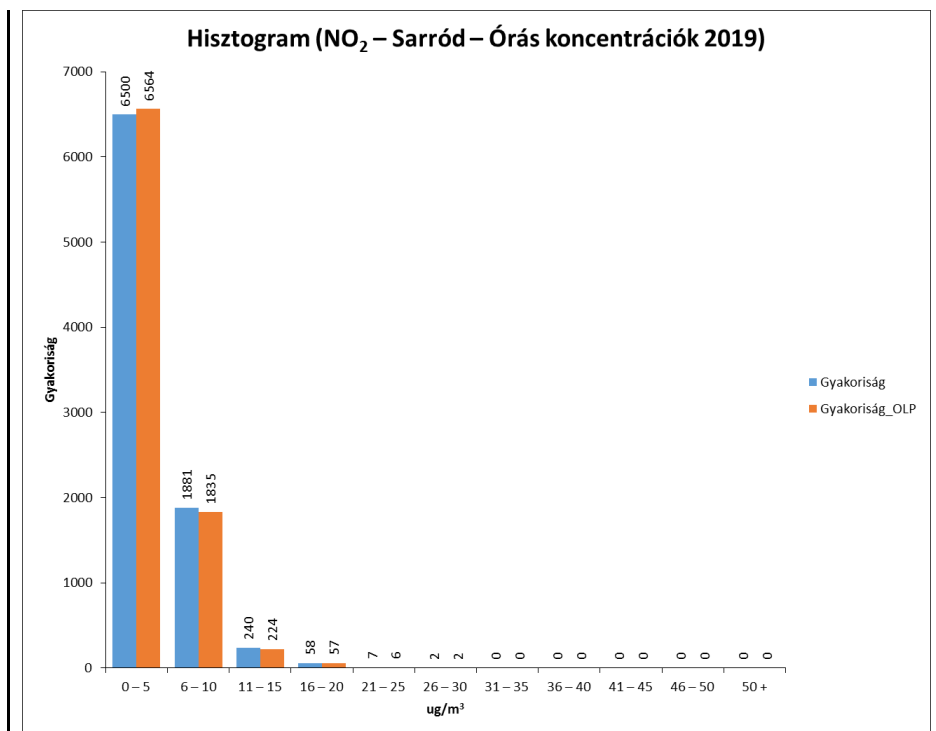




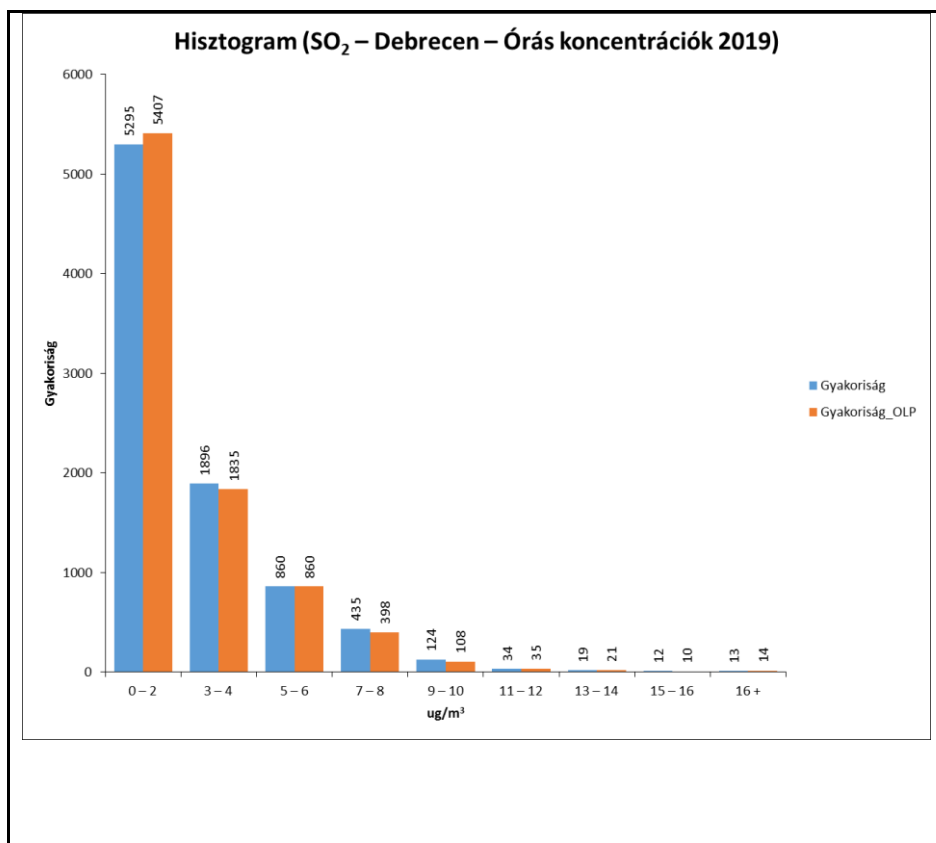


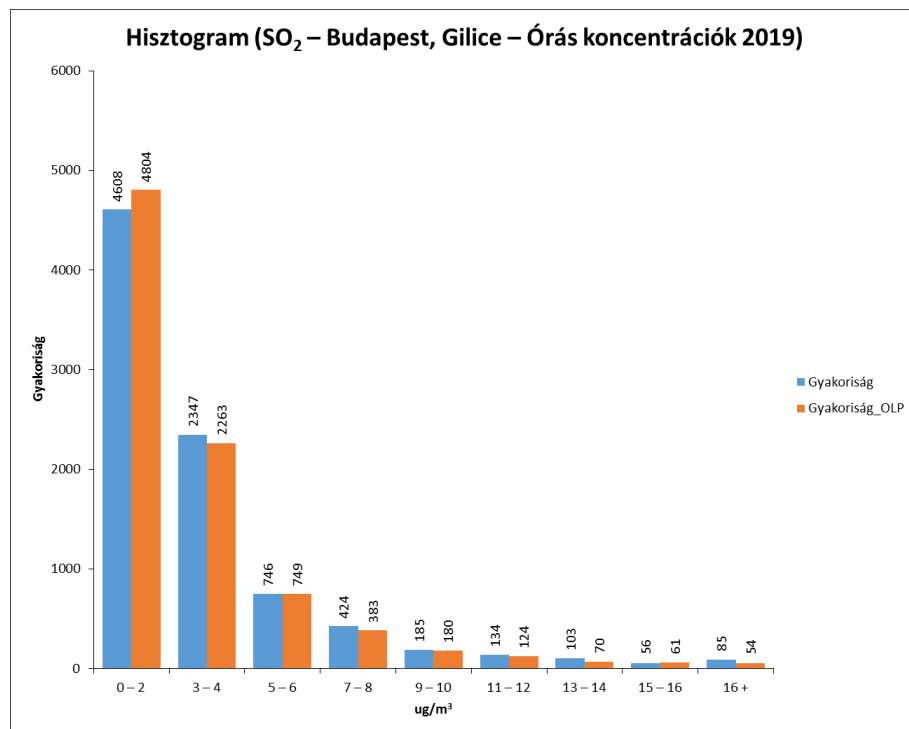
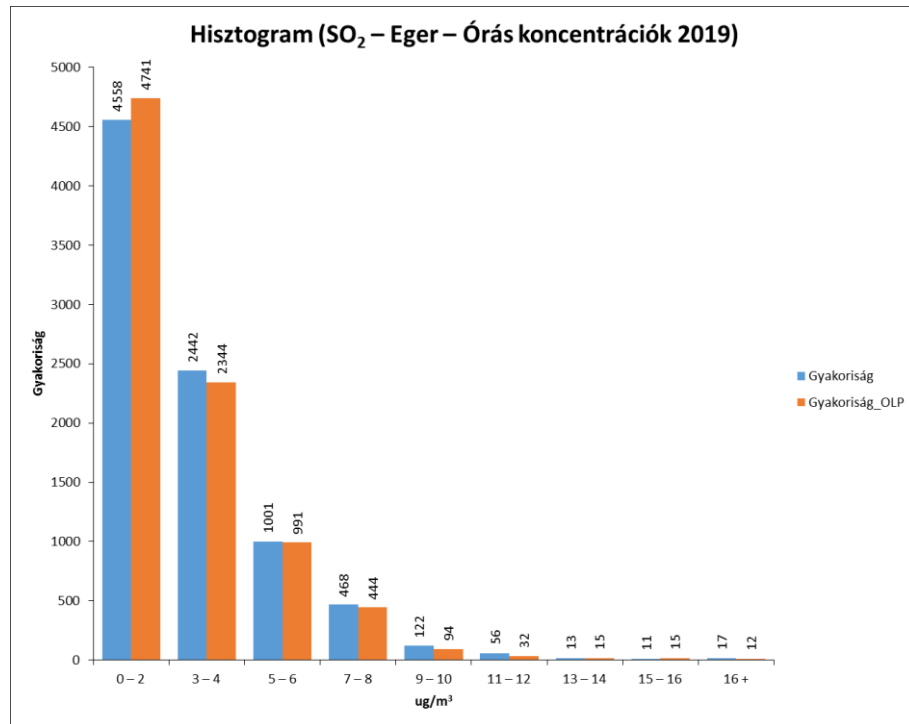


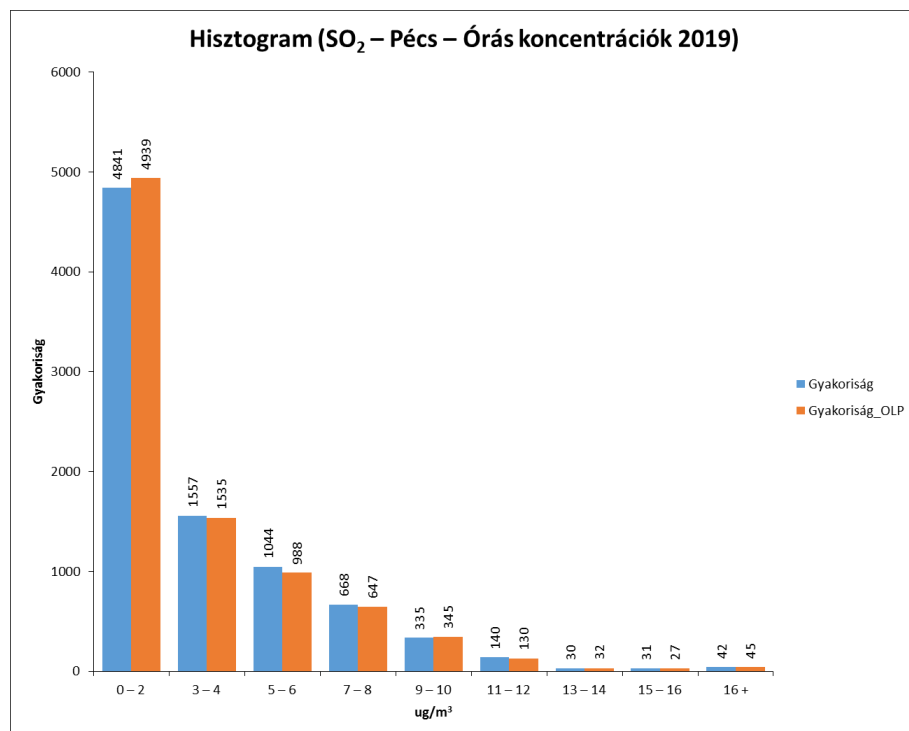
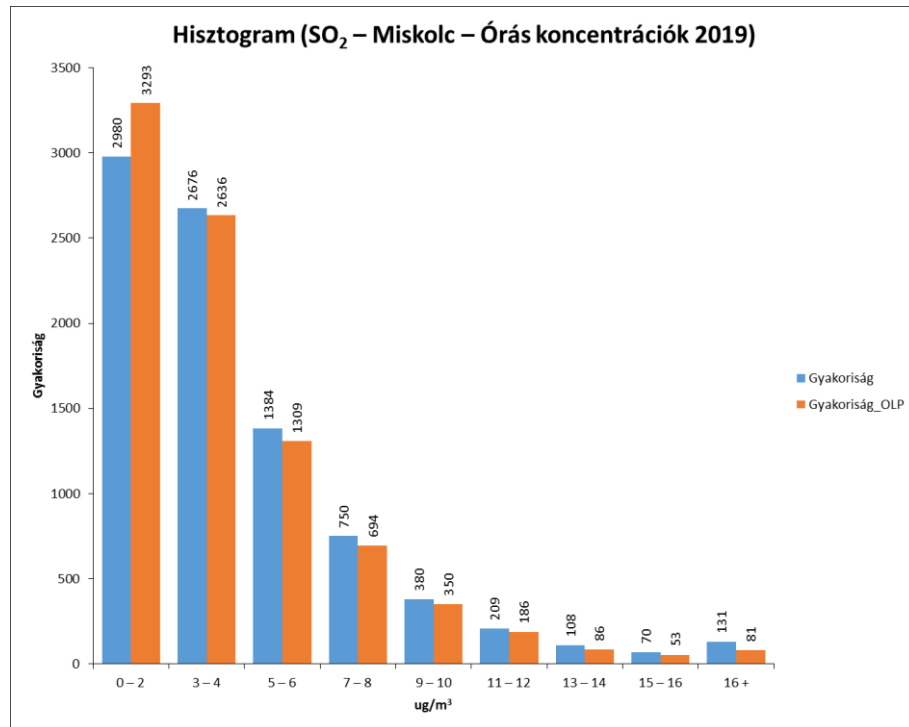


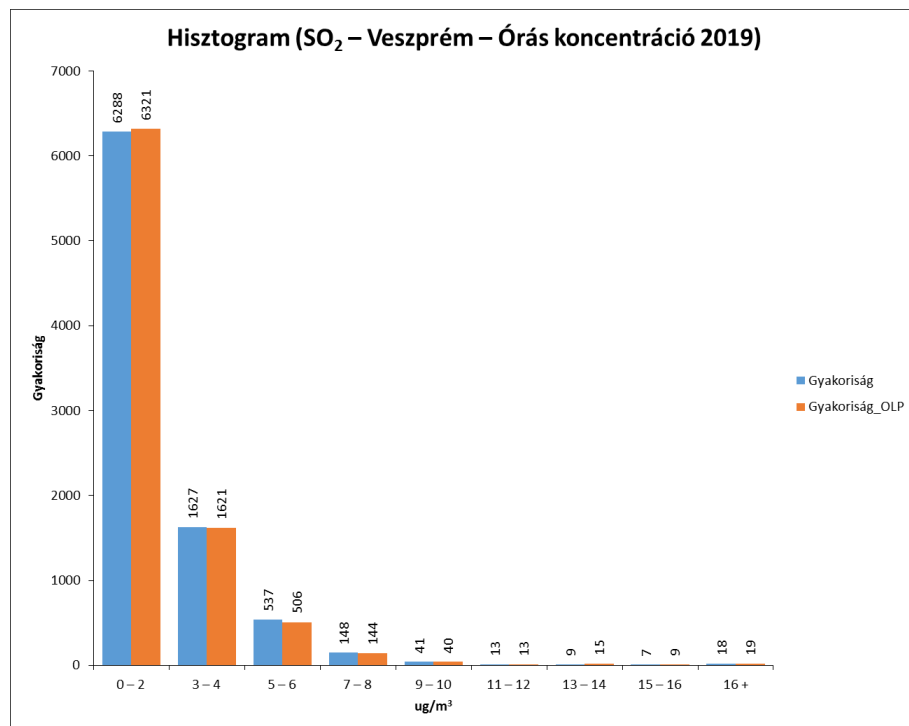
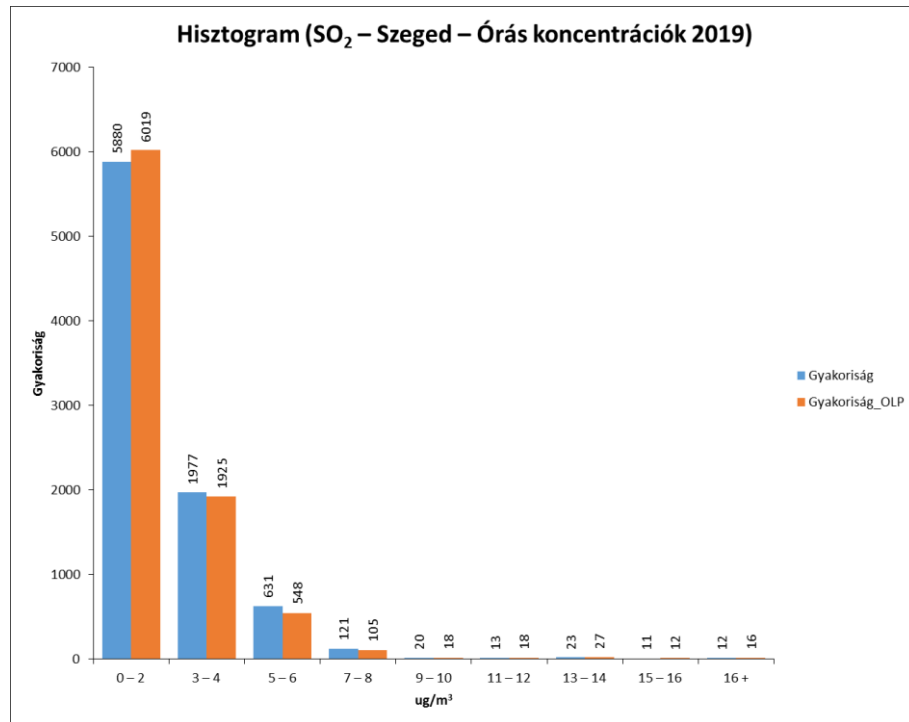


27. ábra Az óras NO<sub>2</sub> koncentrációkból készült hisztogramok

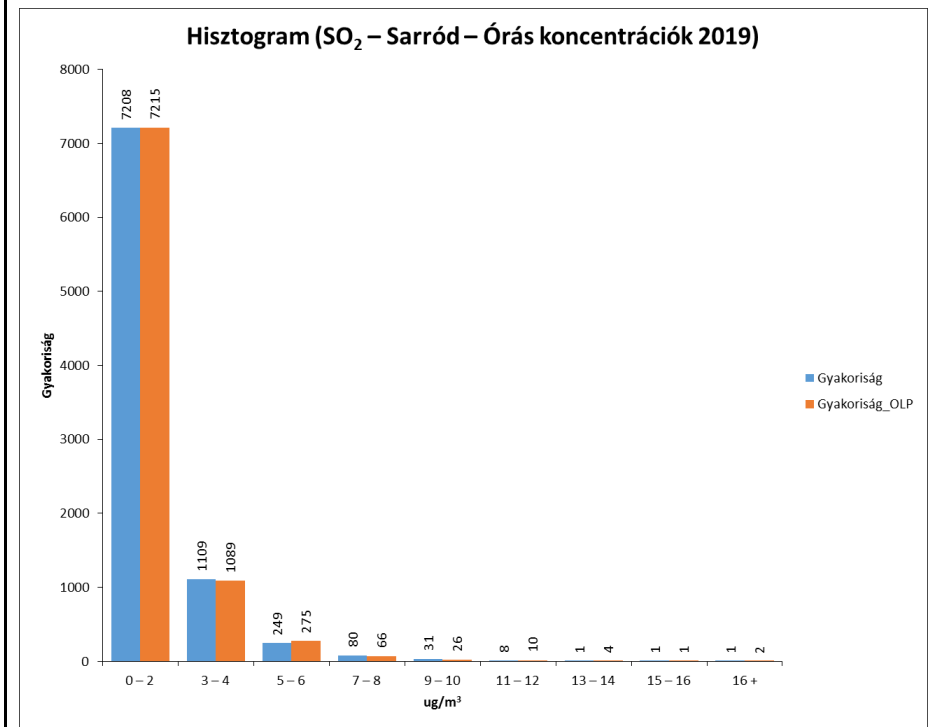
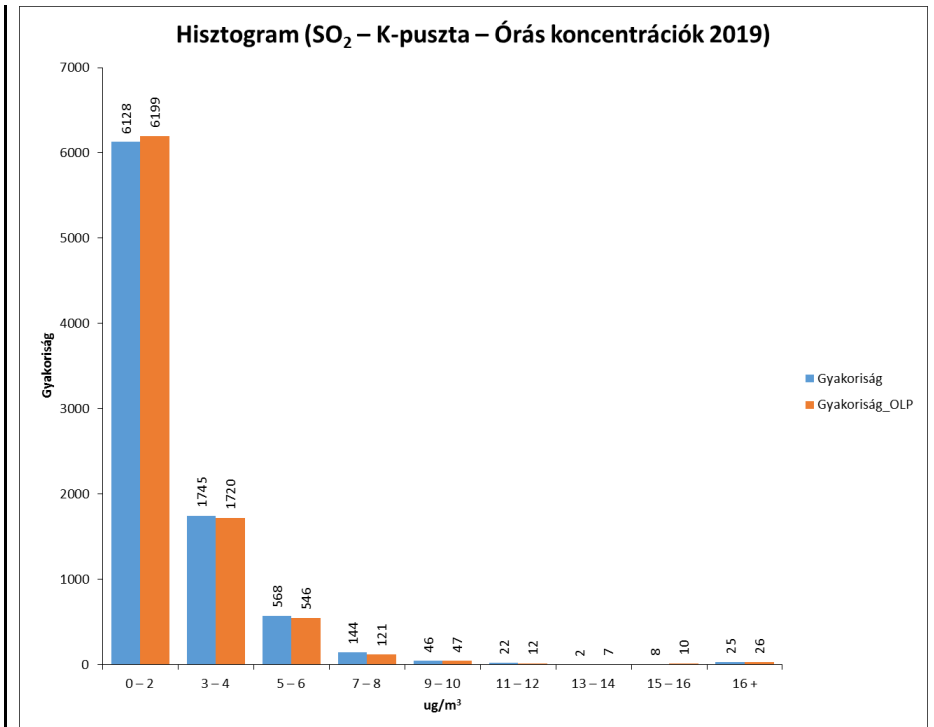




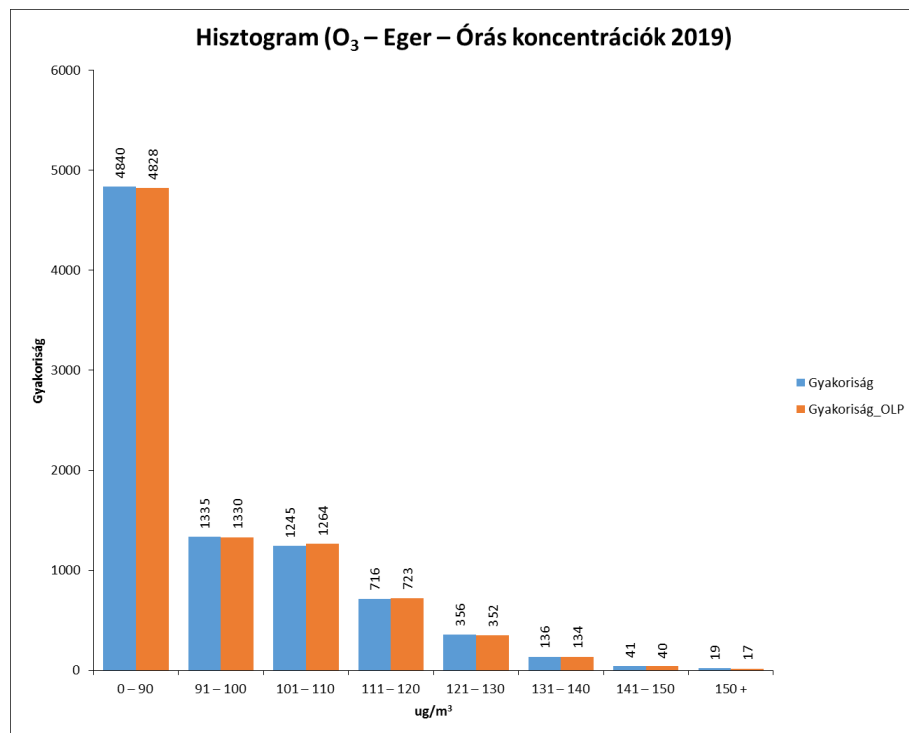
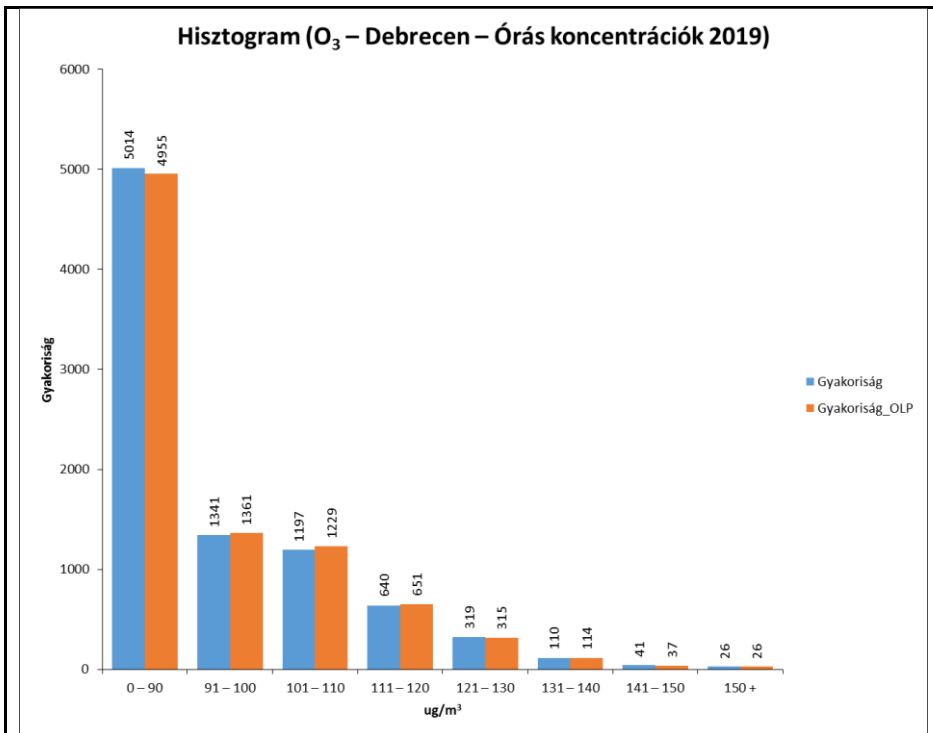


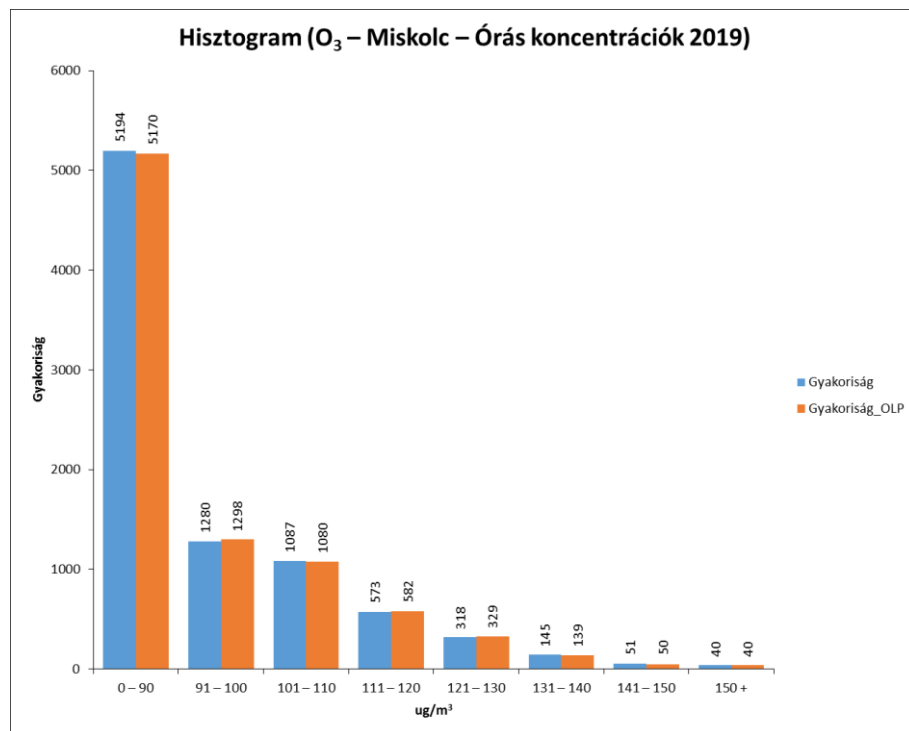
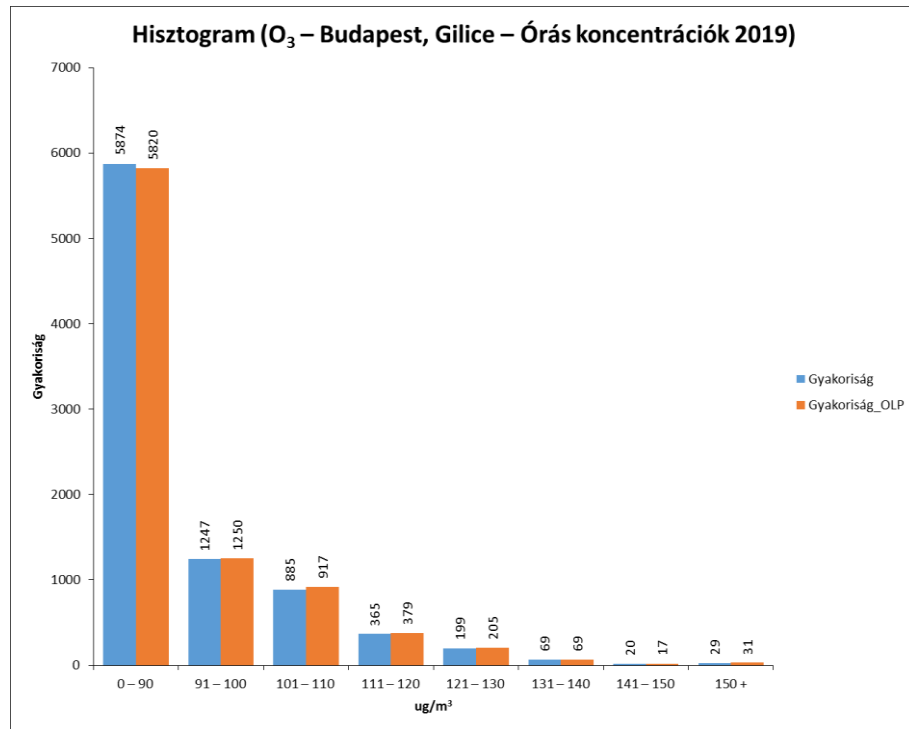


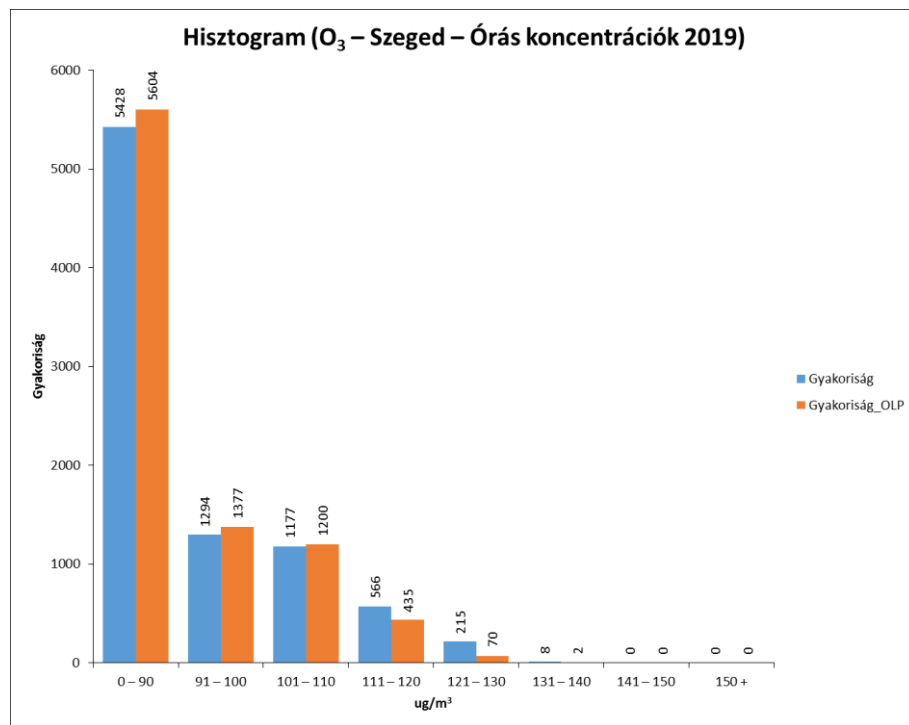
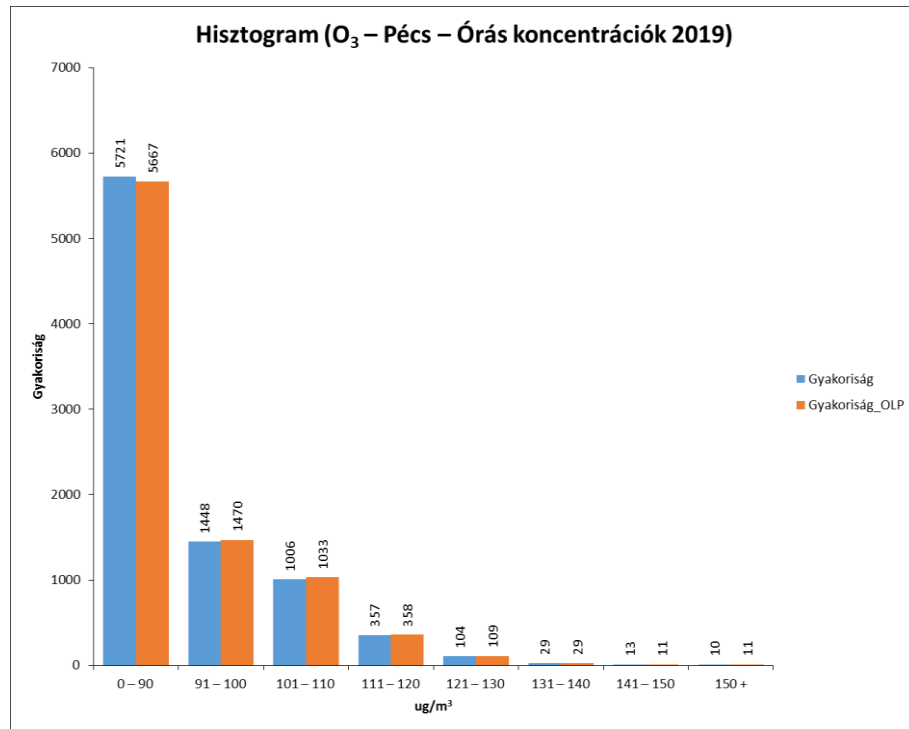


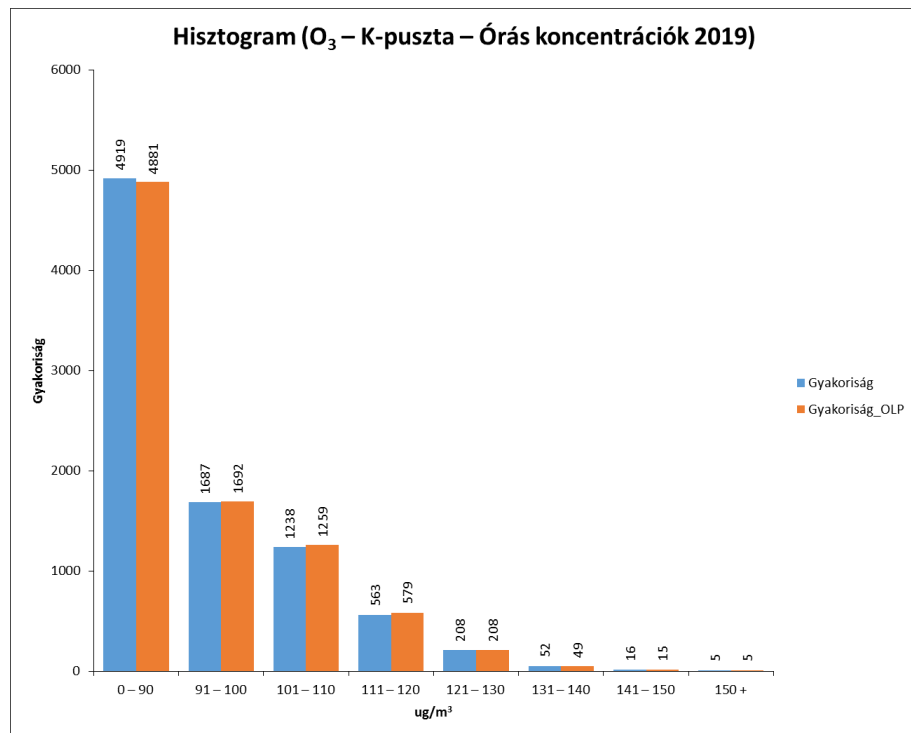
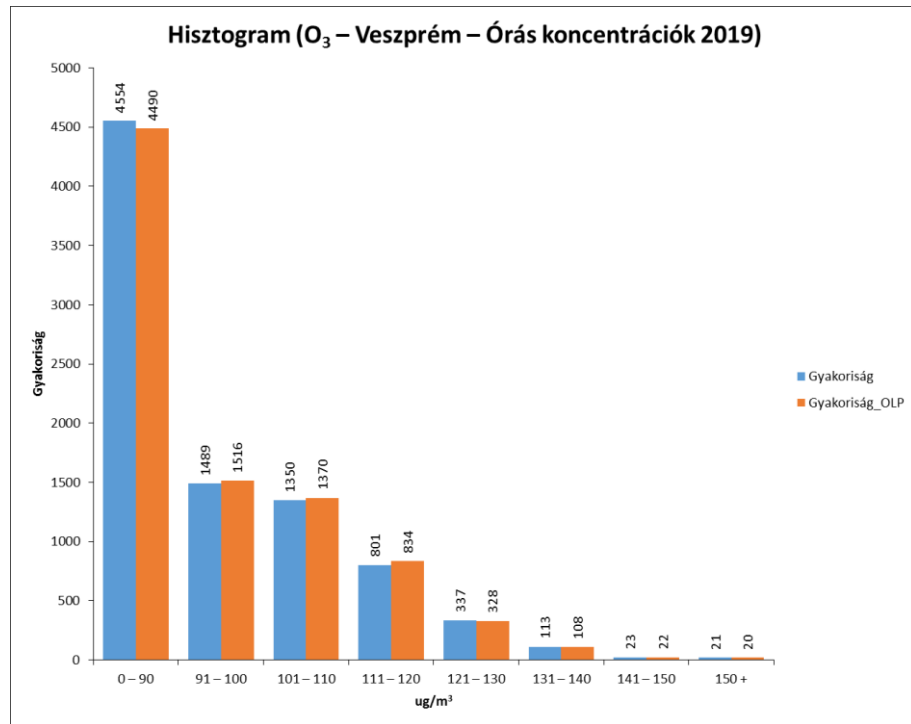


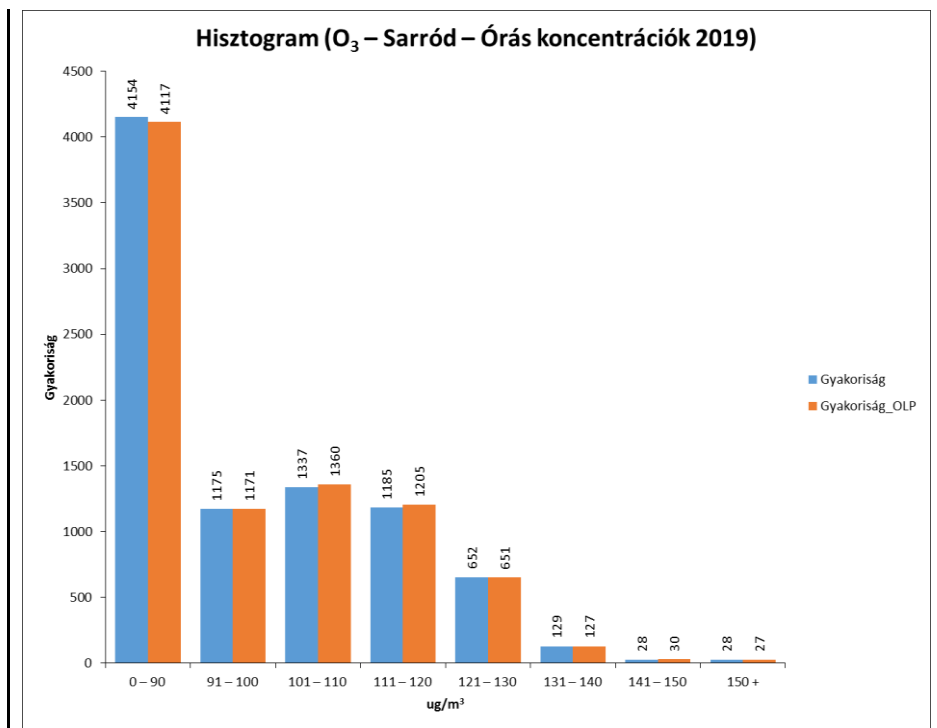
28. ábra Az óras SO<sub>2</sub> koncentrációkból készült hisztogramok



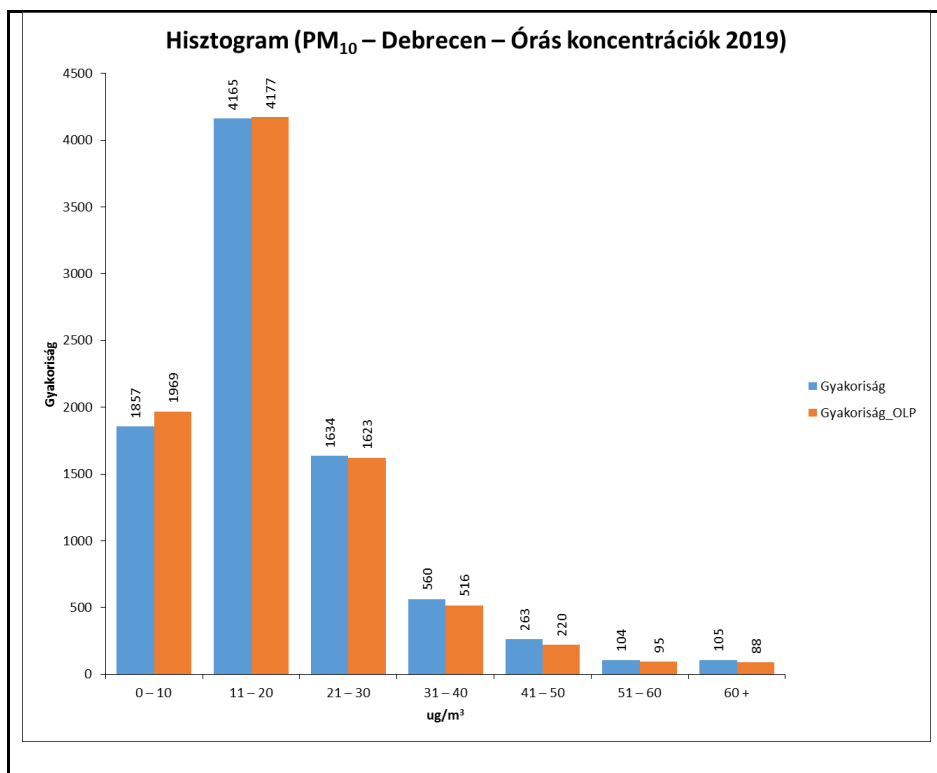


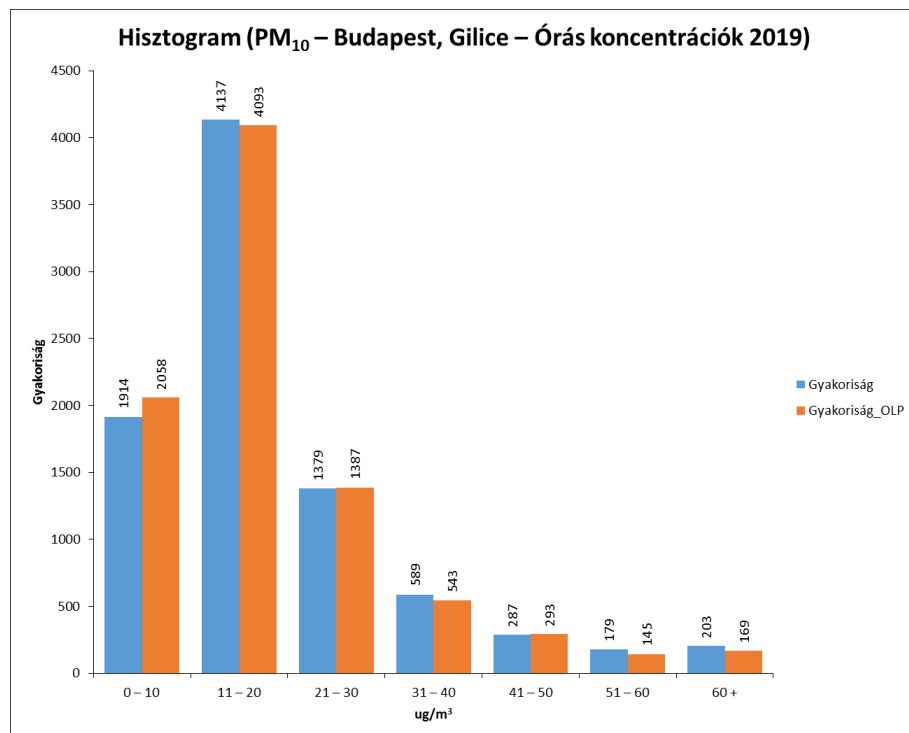
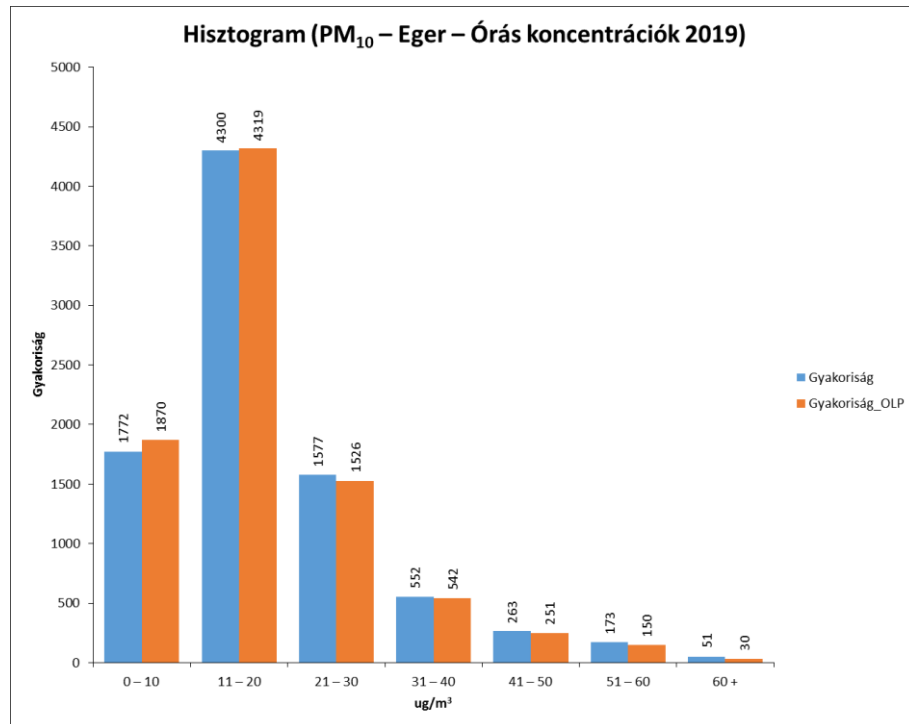


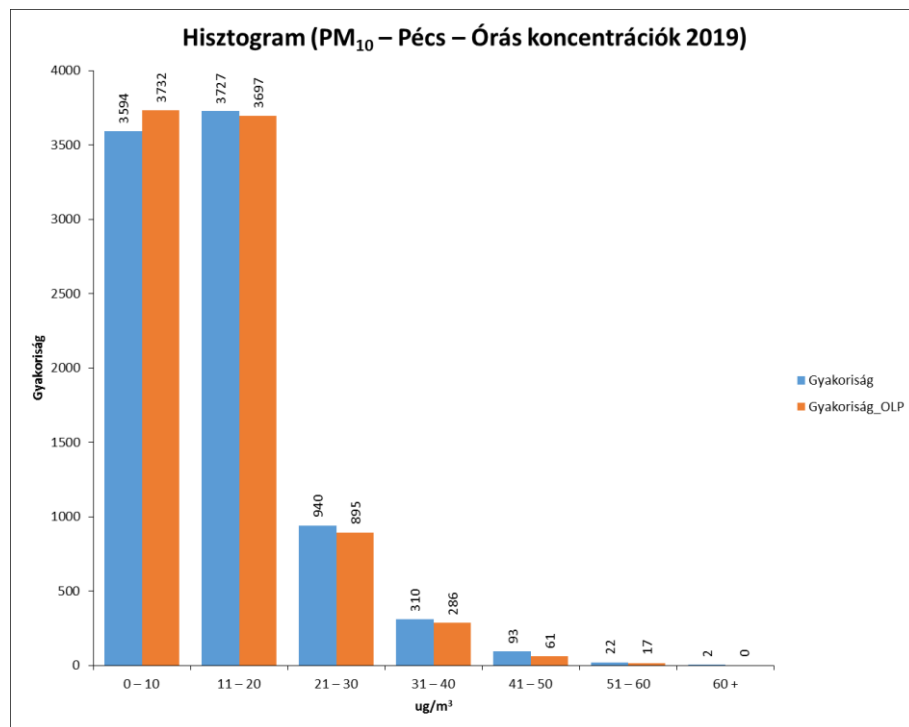
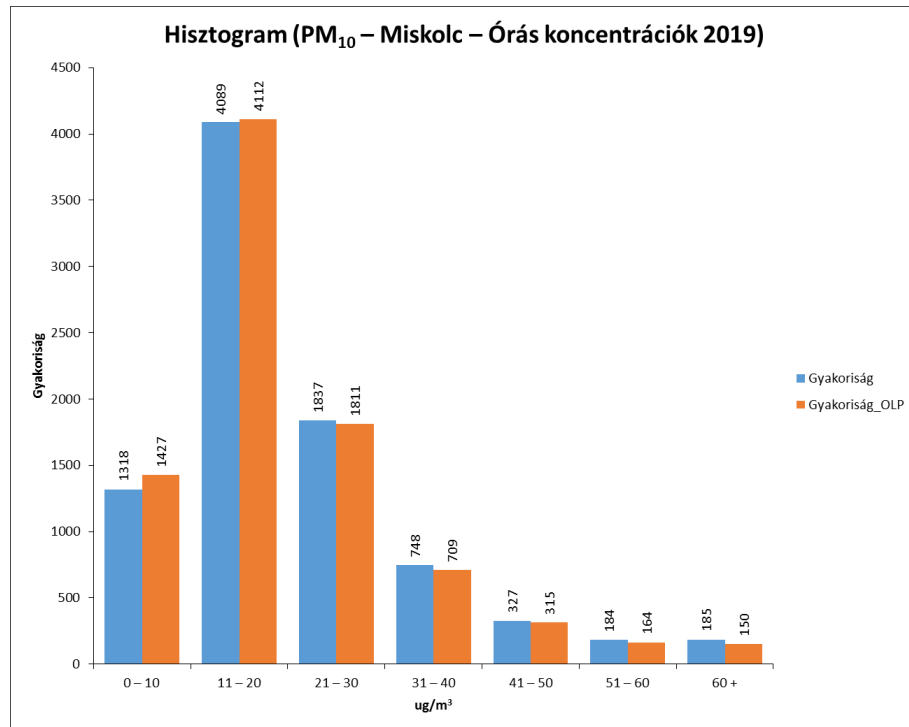




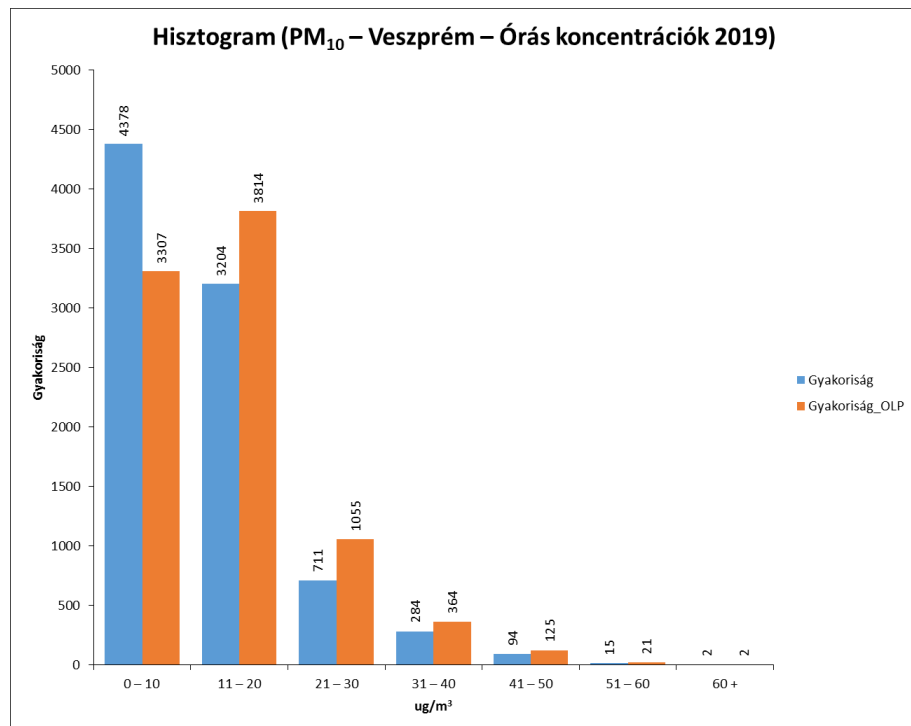
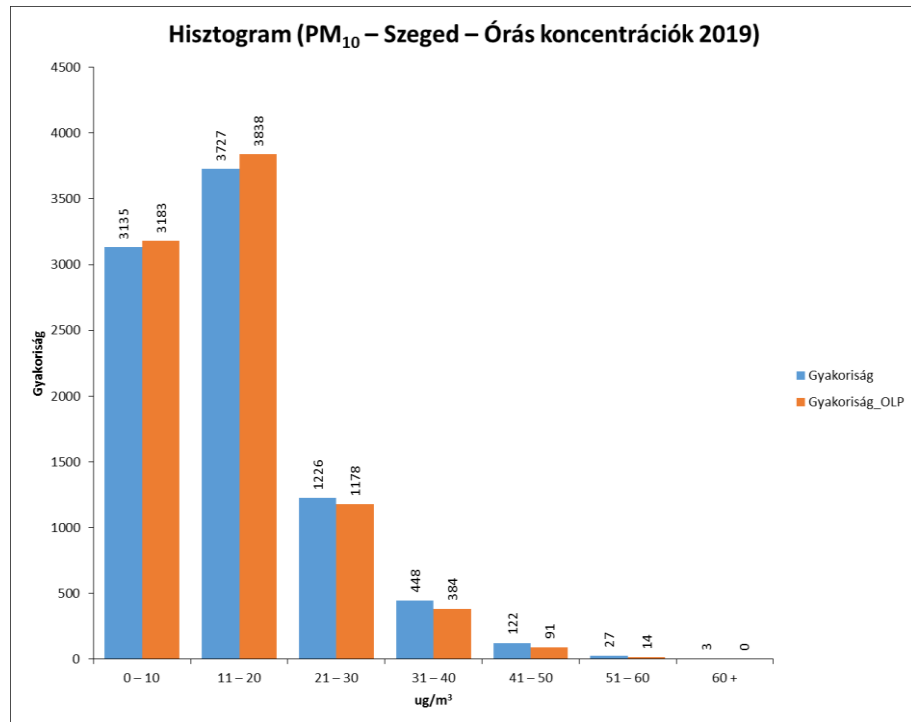
29. ábra Az órás O<sub>3</sub> koncentrációkból készült hisztogramok

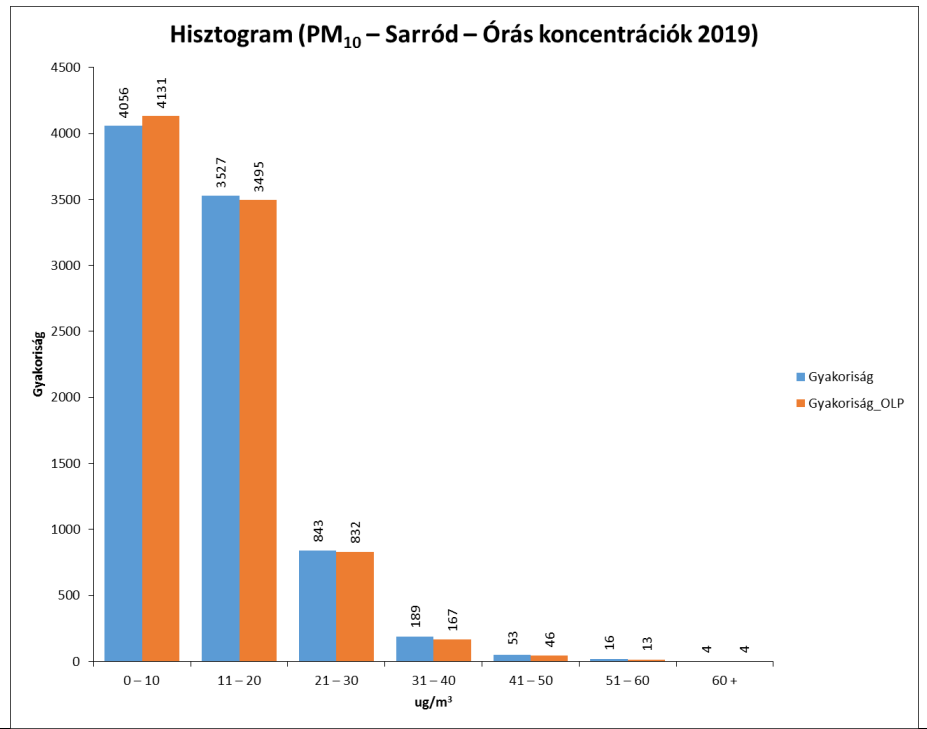
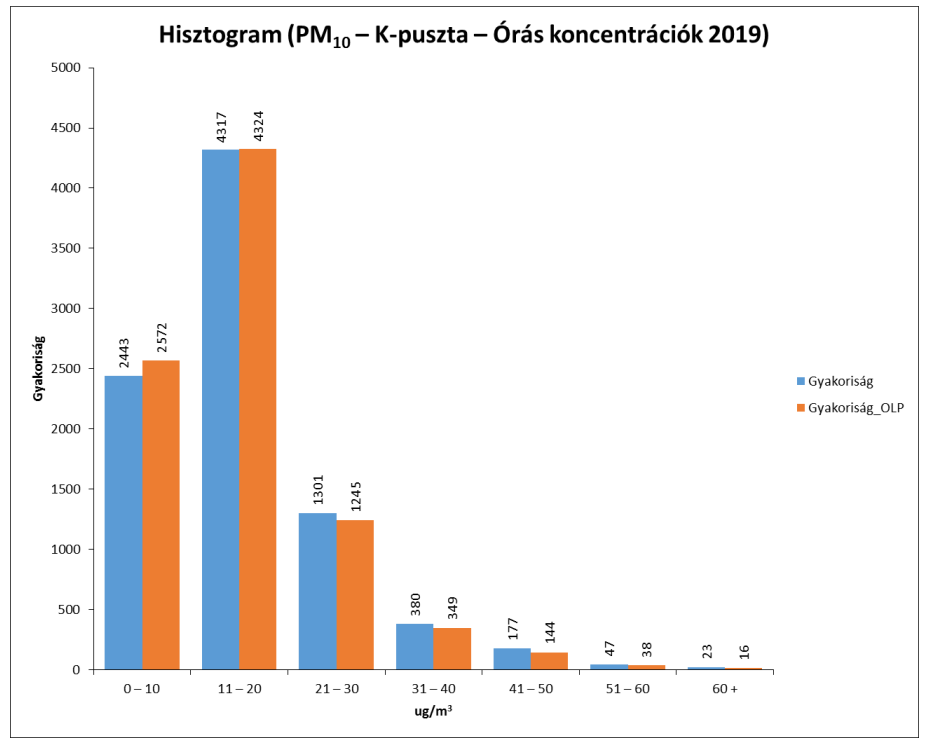




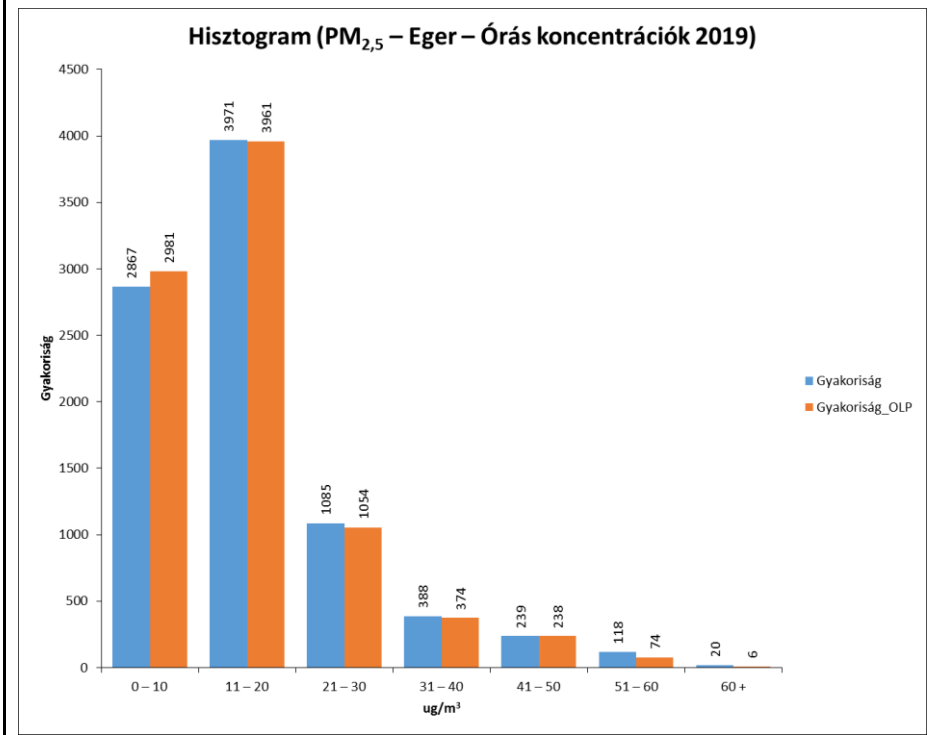
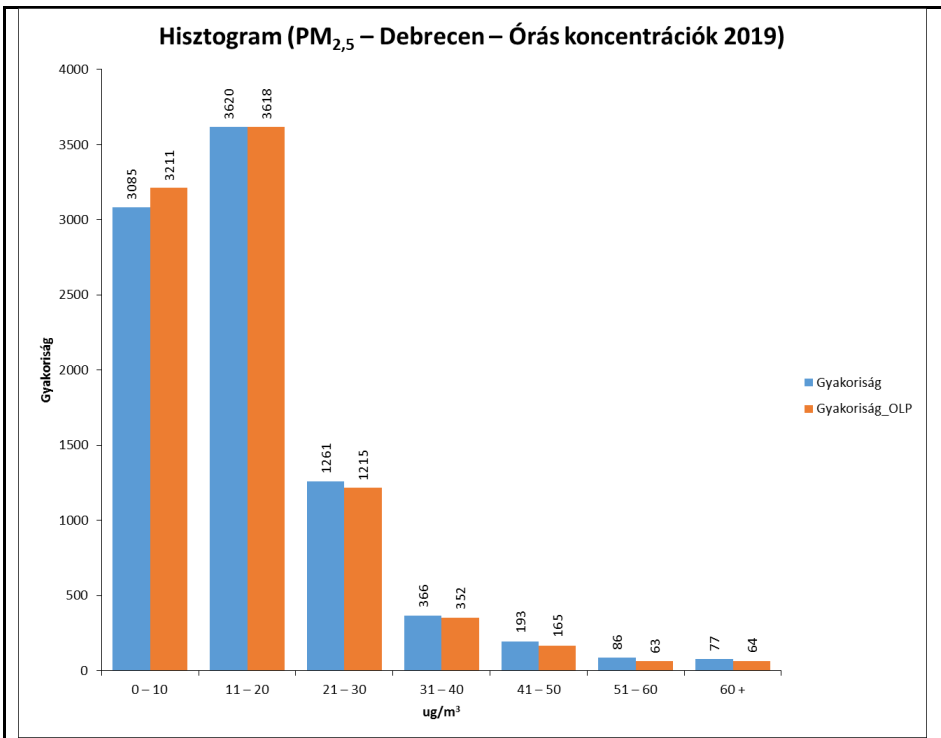




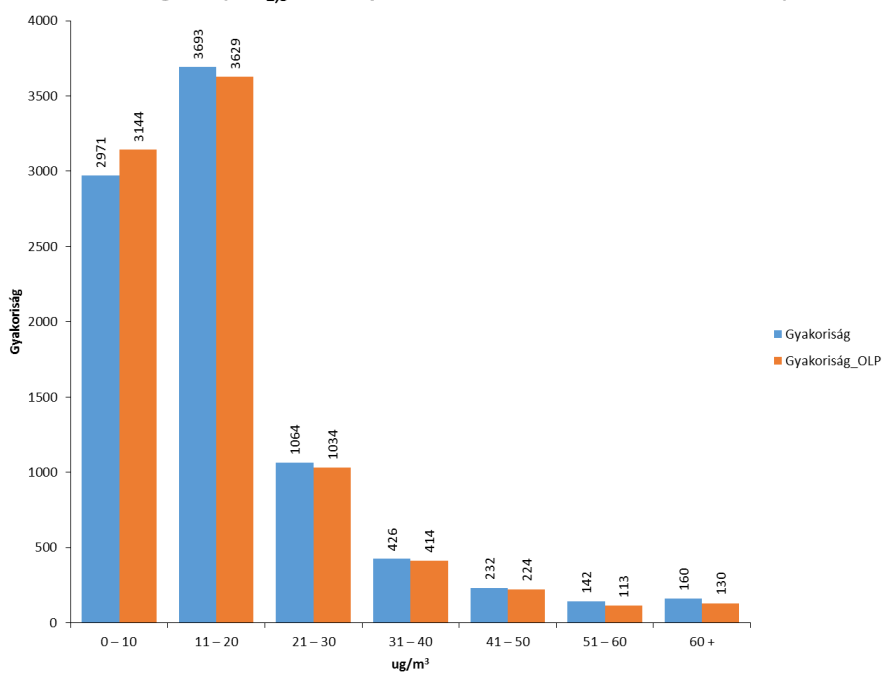




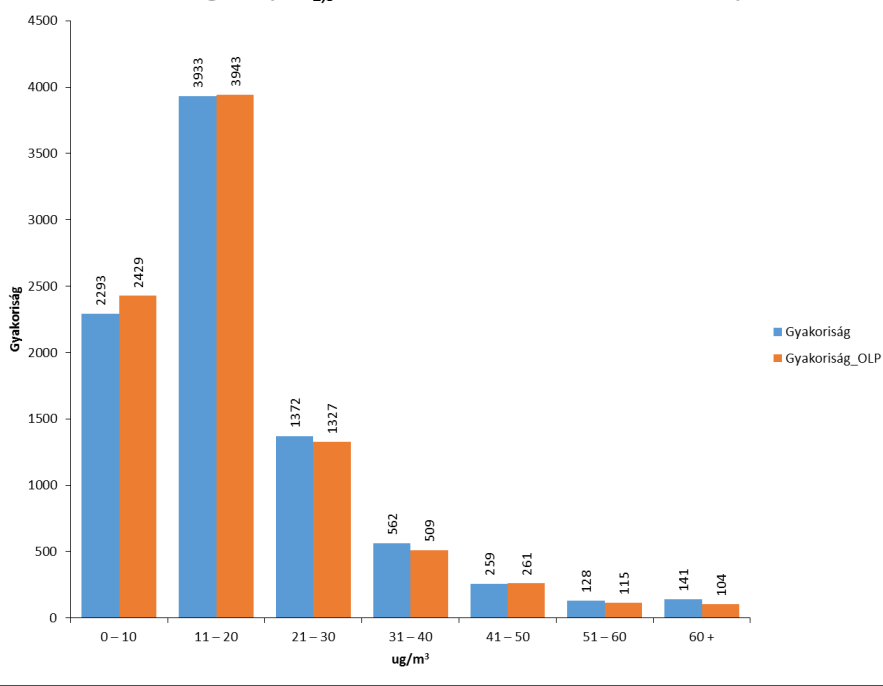
30. ábra Az óras PM<sub>10</sub> koncentrációkból készült hisztogramok

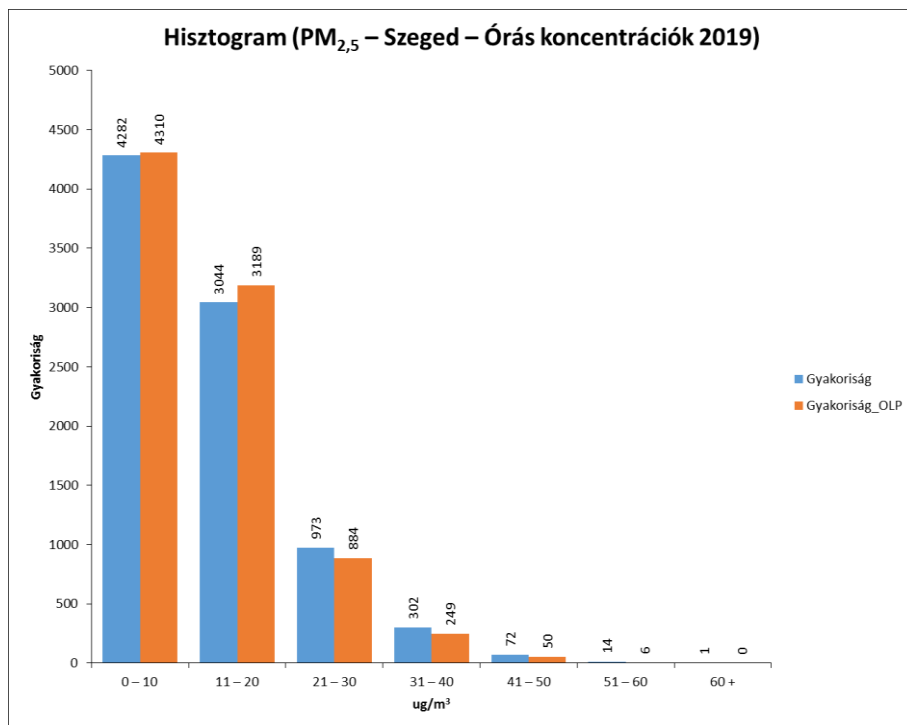
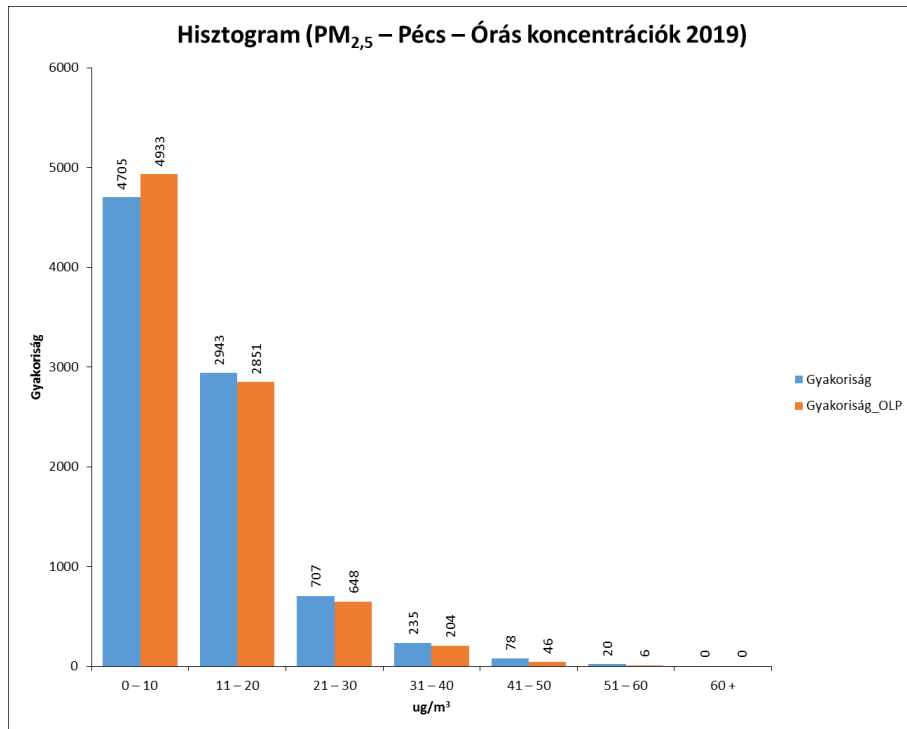


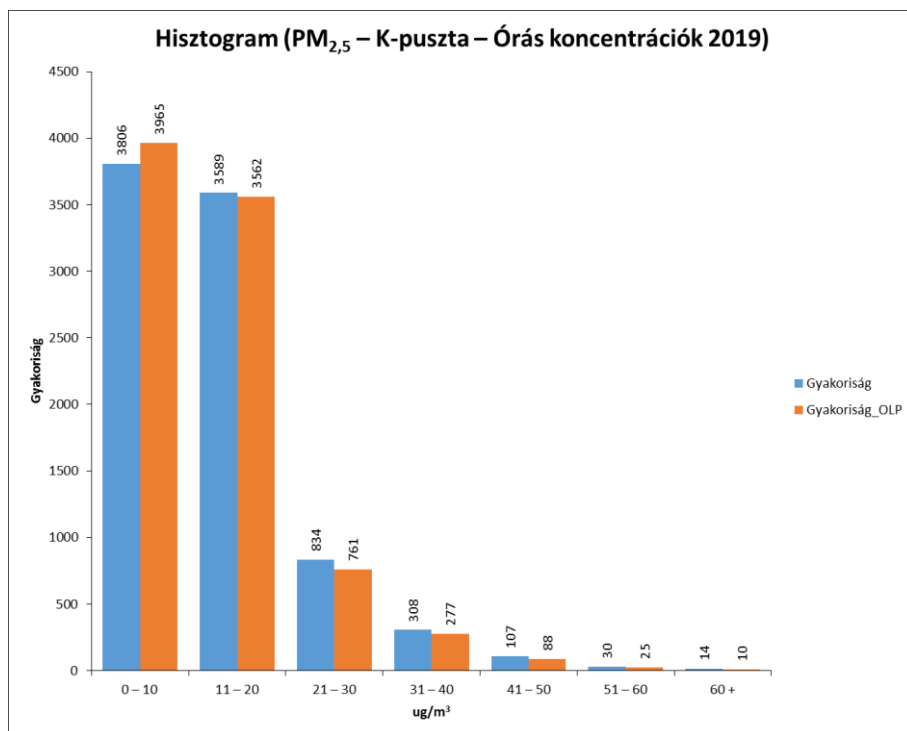
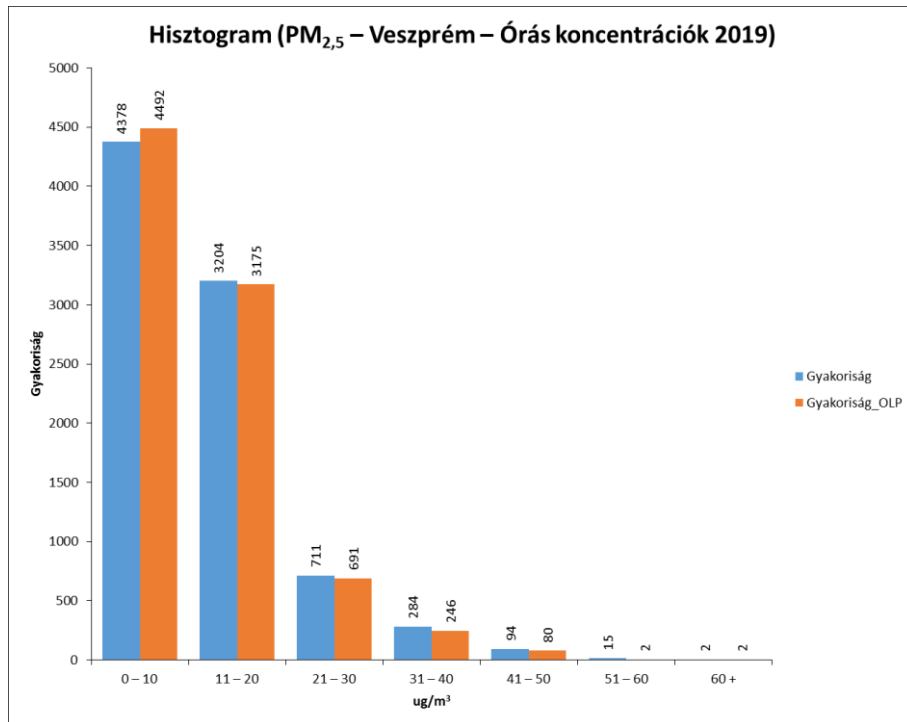
**Hisztogram (PM<sub>2,5</sub> – Budapest, Gilice – Órás koncentrációk 2019)**

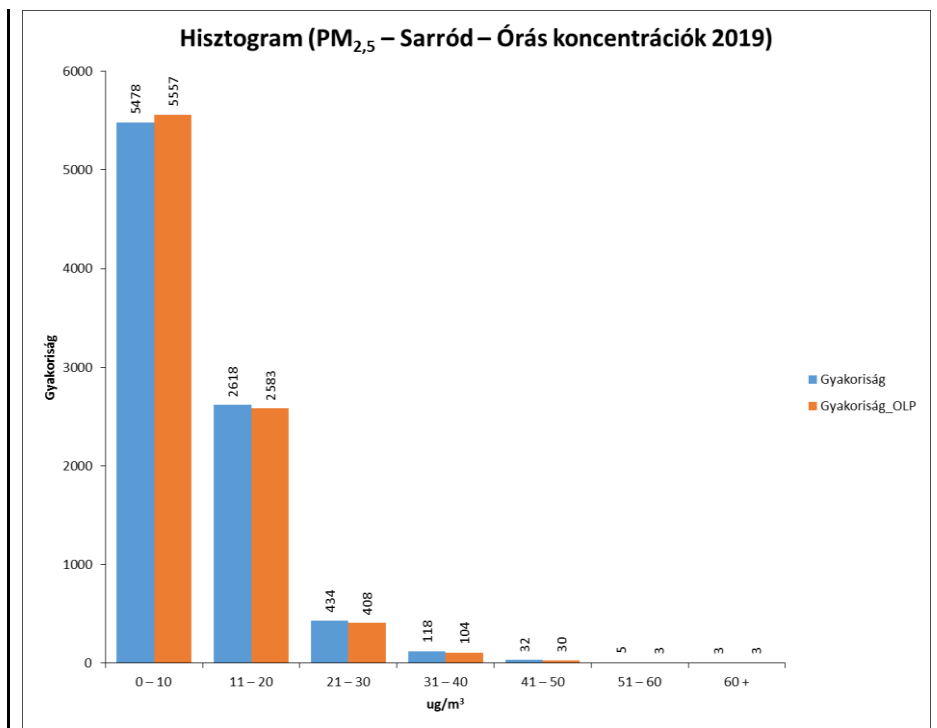


**Hisztogram (PM<sub>2,5</sub> – Miskolc – Órás koncentrációk 2019)**

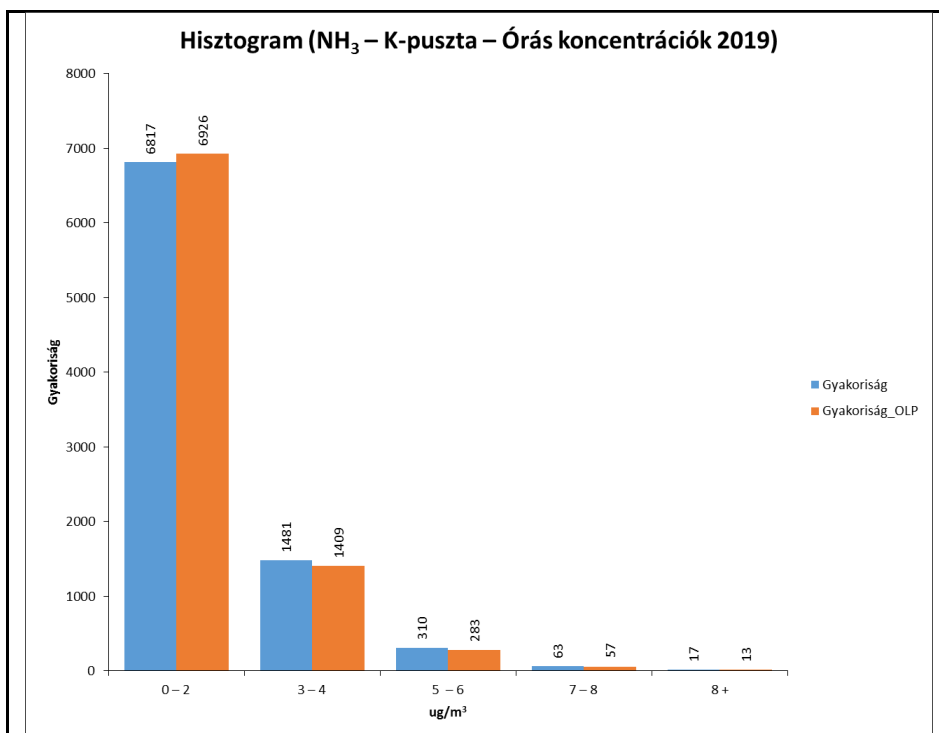








31. ábra Az órás PM<sub>2,5</sub> koncentrációkból készült hisztogramok



32. ábra Az órás NH<sub>3</sub> koncentrációkból készült hisztogram

A NO<sub>2</sub> órás koncentrációi a háttérszennyezettség-állomásokon (K-pusztá, Sarród) kis mértékben rendeződtek át. K-pusztá esetében a 6–10 µg/m<sup>3</sup> és 11–15 µg/m<sup>3</sup> tartományok közötti értékek darabszáma csökkent az OLP szimulációval.

A SO<sub>2</sub> órás adatait a 28. ábra szemlélteti. Láthatjuk, hogy a magasabb koncentrációk az eredeti kibocsátások szerinti szimulációval kapott eredmények között sem túl gyakoriak, egyedül Budapesten és Miskolcon találunk magas koncentrációtartományban több adatot. E két város esetében azonban az OLP-ben meghatározott csökkentésekkel sikerült mérsékelni a 10 µg/m<sup>3</sup>-nél magasabb értékek előfordulását.

A 29. ábra a kilenc állomás órás ózonadatait mutatja be. Az ózonkoncentrációk esetében javarészt nem értünk el csökkenést, így az sem meglepő, hogy a hisztogramokon sem tükröződik egyértelműen a magas órás koncentrációk mennyiségének csökkenése. A magasabb, > 120 µg/m<sup>3</sup>-es koncentrációk darabszáma szinte alig változott, néhány város esetében egyes koncentrációtartományokban még nőtt is a számuk.

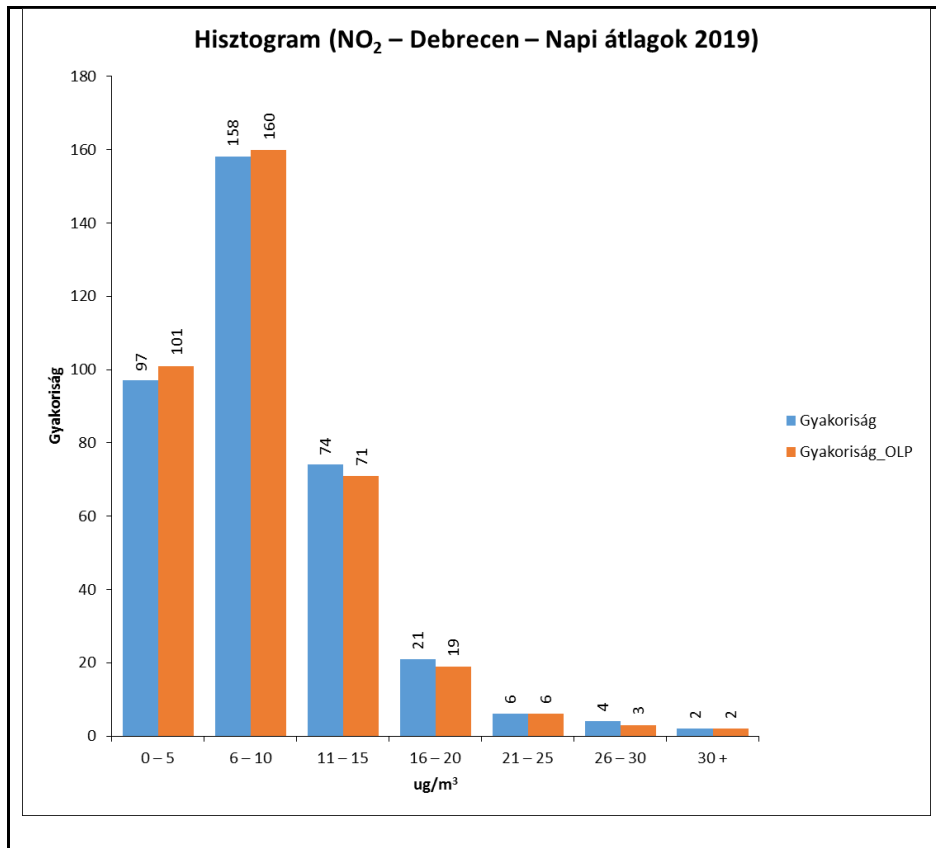
A PM<sub>10</sub> órás átlagkoncentrációi a 30. ábrán szerepelnek értéktartományokba rendezve. A 60 µg/m<sup>3</sup>-t meghaladó koncentrációk mennyisége minden állomás esetében csökkent, vagy nem változott az eredeti kibocsátással végzett szimulációkhoz képest. Veszprém városra érdekes módon a 10 µg/m<sup>3</sup>-nél alacsonyabb koncentrációk száma jelentősen lecsökkent az OLP-ben módosított kibocsátásokkal végzett futtatásokkal, a 11–20 µg/m<sup>3</sup> és 21–30 µg/m<sup>3</sup> koncentrációtartományokba eső „OLP-koncentrációk” száma pedig jelentősen nőtt. Az 50 µg/m<sup>3</sup> feletti koncentrációk nagy számban jelentkeznek Debrecen, Eger, Budapest és Miskolc városokban, az OLP szerint módosult koncentrációk száma azonban jóval kevesebb, mint az eredeti koncentrációk darabszáma.

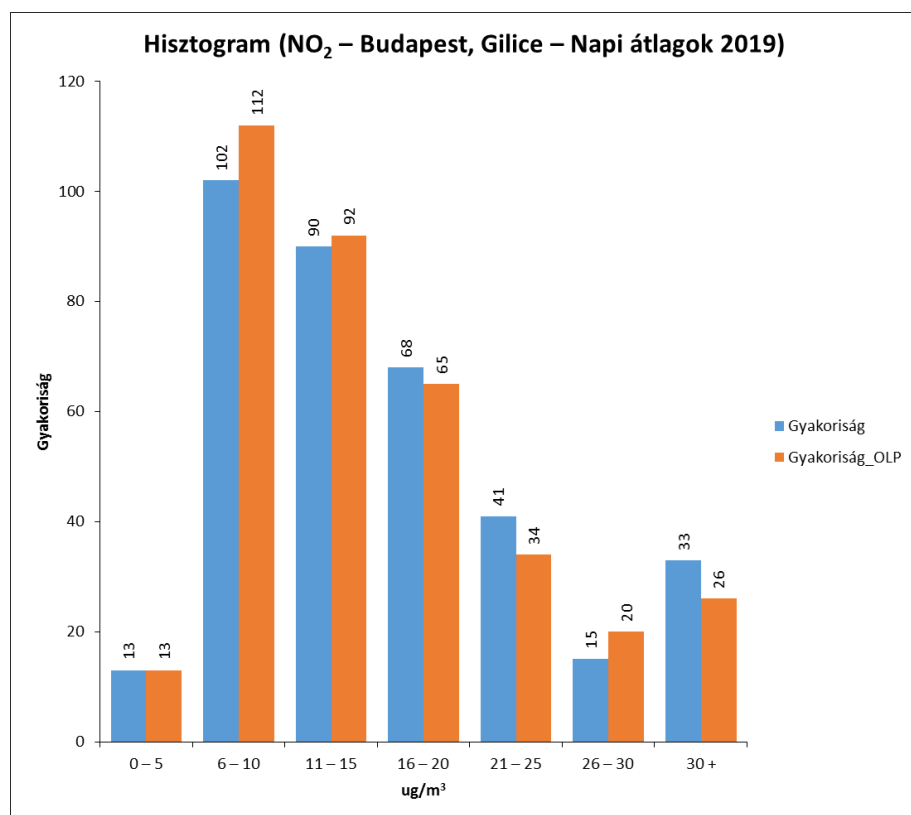
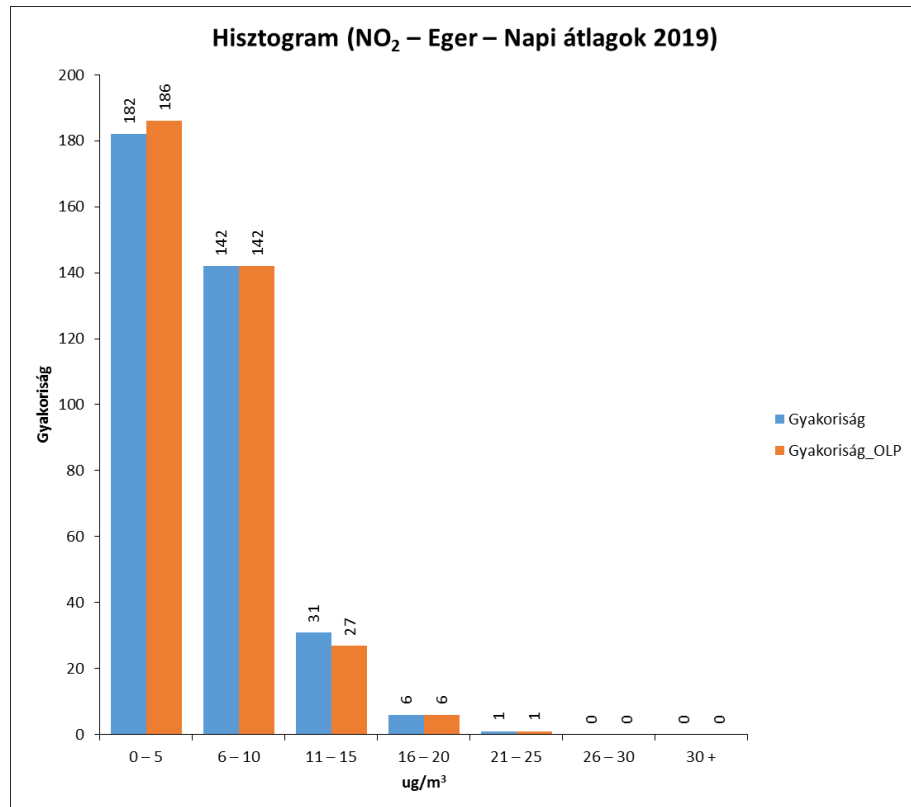
A 31. ábrán a PM<sub>2,5</sub>-re vonatkozó órás adatokat látjuk. A hisztogramok azt mutatják, hogy a magasabb koncentrációk száma többnyire csökkent, az alacsonyabbaké pedig nőtt. Debrecen, Eger, Budapest és Miskolc esetében gyakoriak a magas koncentrációértékek, de látható, hogy az OLP szerint módosult órás adatok között kisebb számban érik el a koncentrációk a több mint 50 µg/m<sup>3</sup>-t.

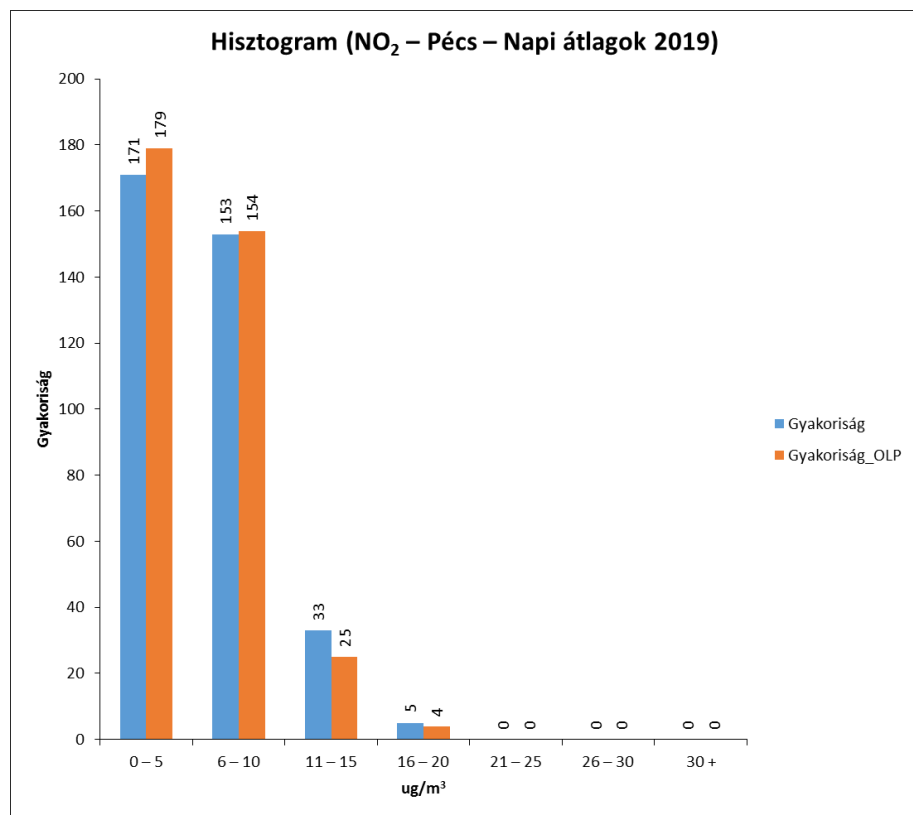
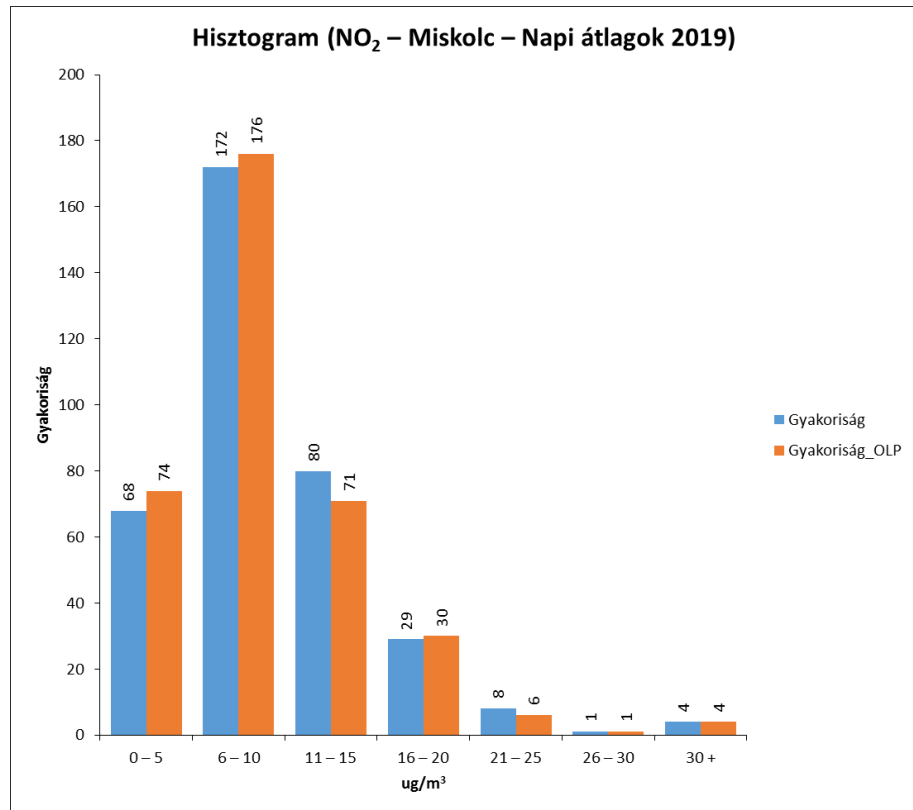
A 32. ábrán a K-pusztára jellemző órás NH<sub>3</sub> koncentrációk hisztogramját látjuk. Összességében azt látjuk, hogy a 3 µg/m<sup>3</sup>-nál nagyobb koncentrációk mennyisége kevesebb az OLP szerint módosított adatok között, mint az eredeti adatok között.

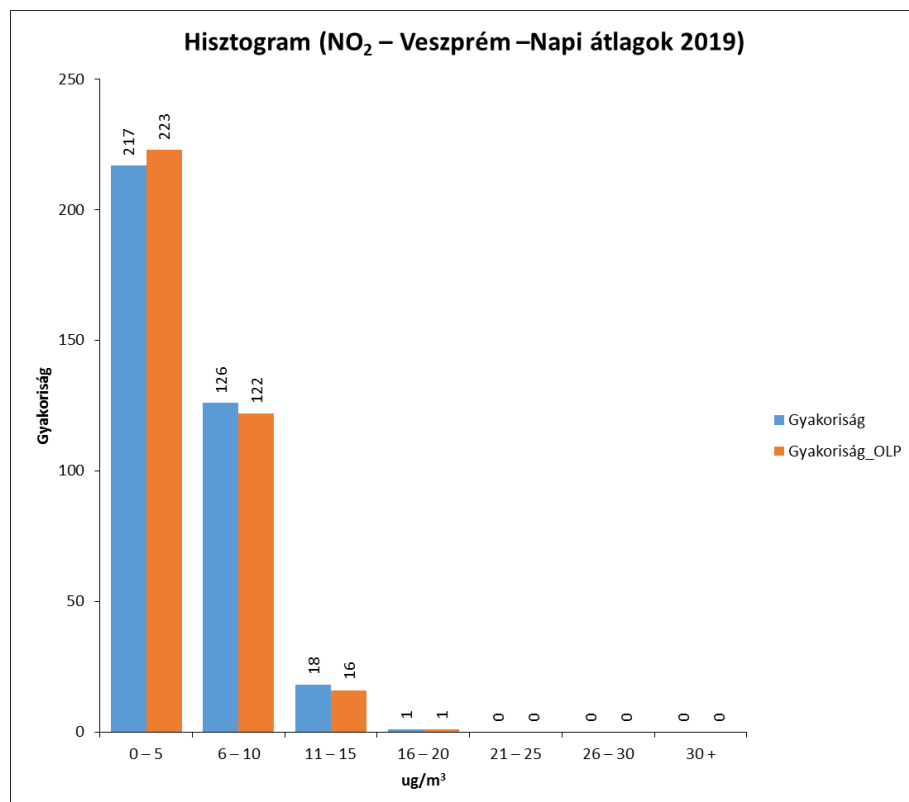
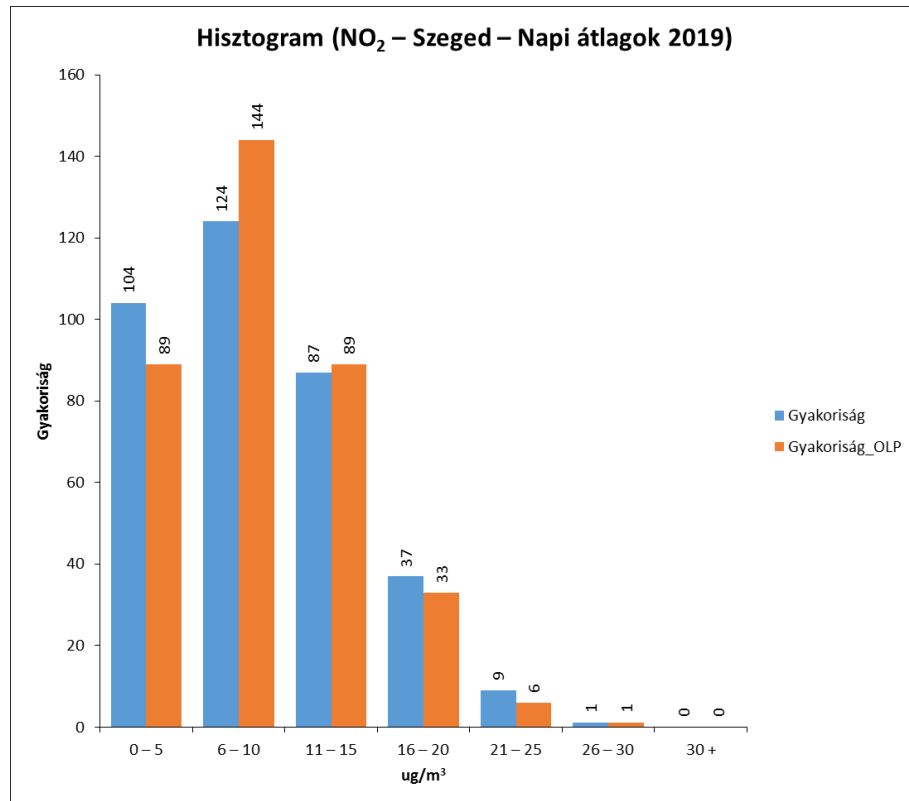


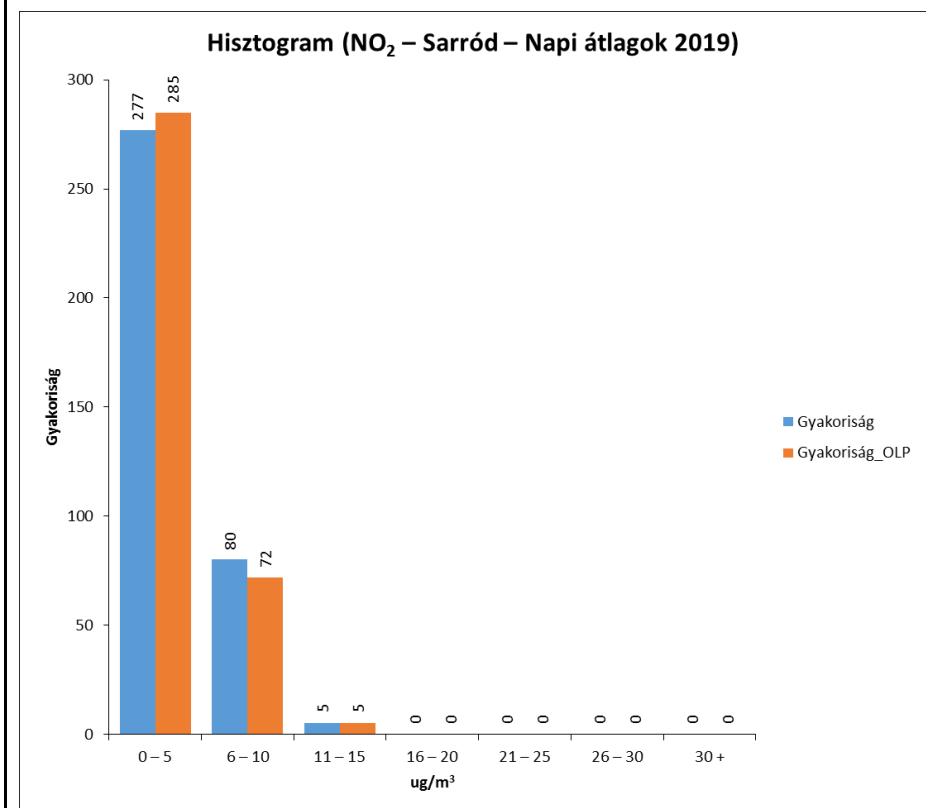
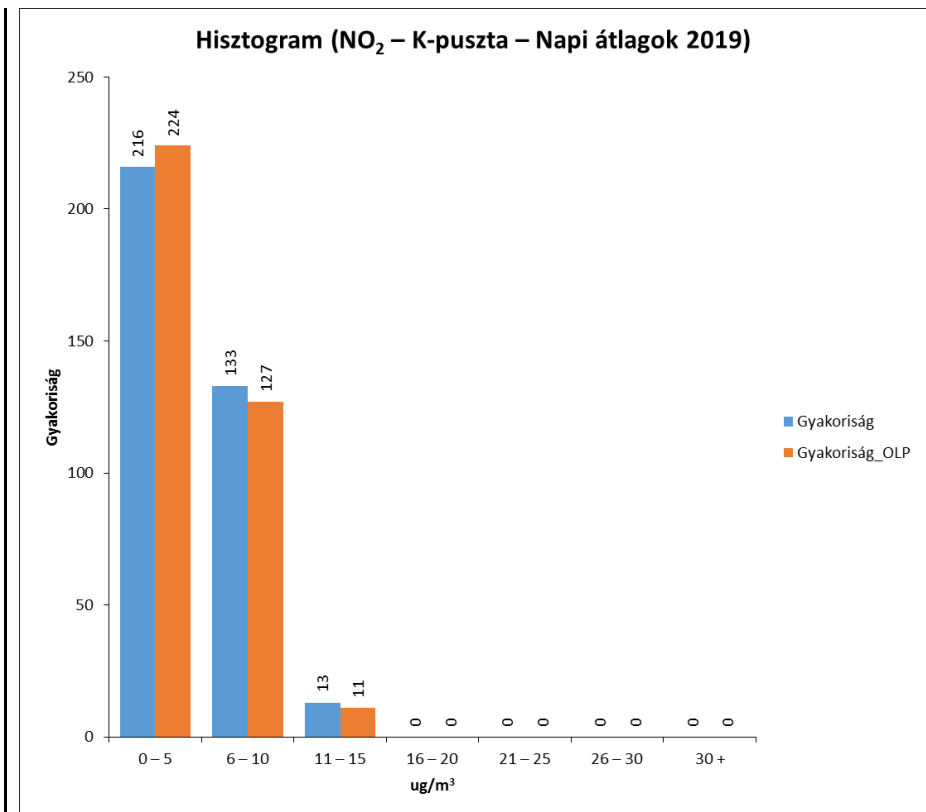
A hat szennyezőanyag napi átlagkoncentrációit is előállítottuk, ezeket az értékeket is ábrázoltuk hisztogramokon, hogy megvizsgáljuk a magas értékű napi átlagok száma hogyan változik a kibocsátáscsökkentések elvégzésével. A 33.–38. ábrákon mutatjuk be ezen eredményeket.



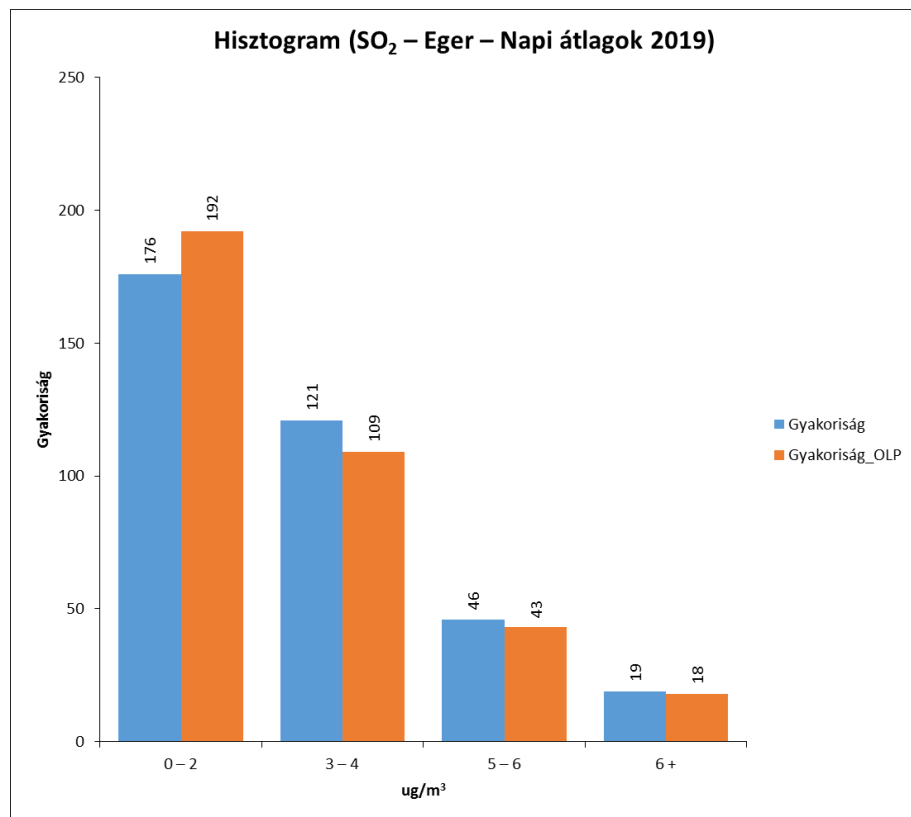
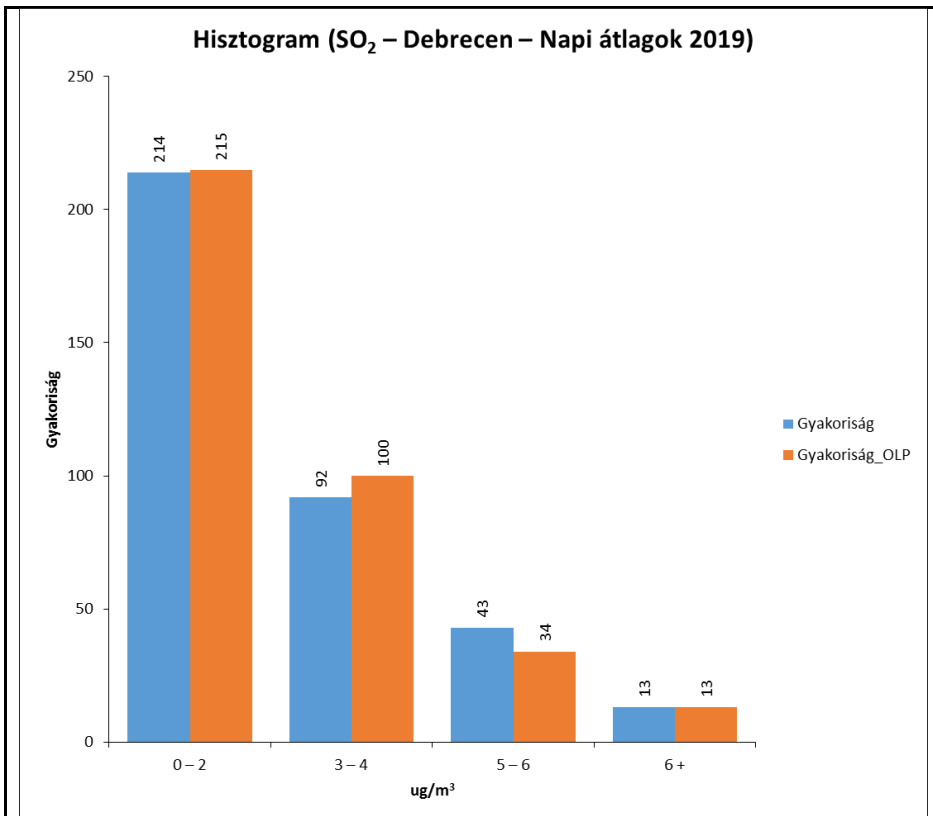




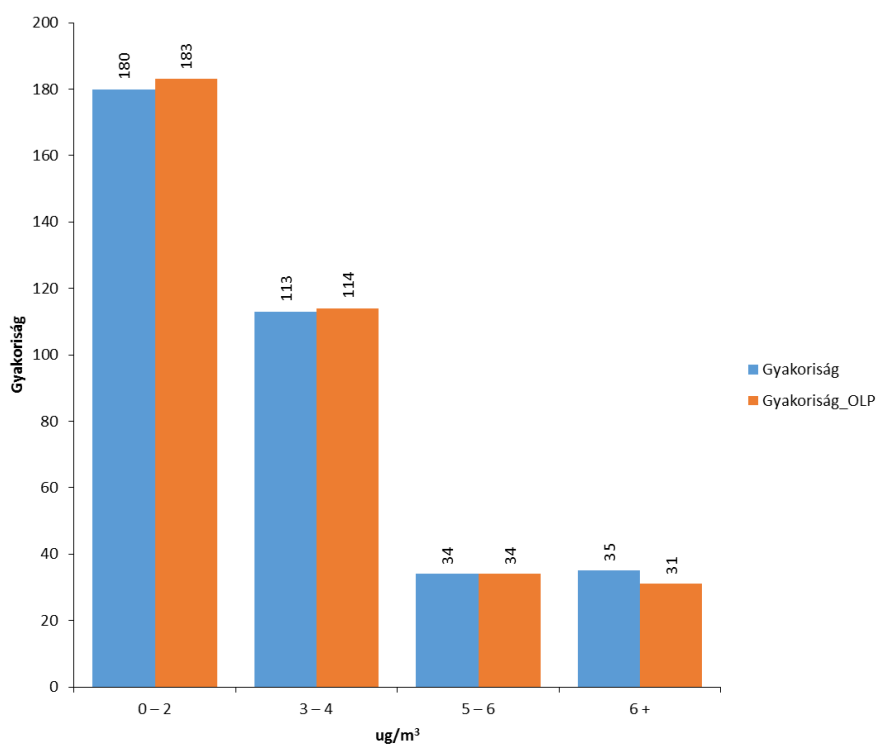




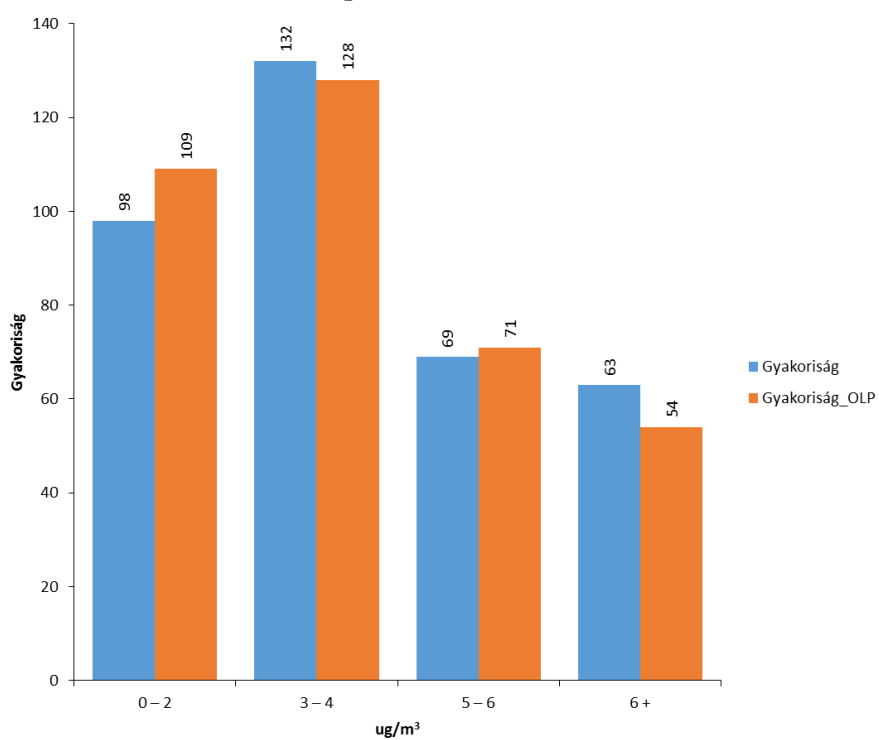
33. ábra A napi átlagos NO<sub>2</sub> koncentrációkból készült hisztogramok

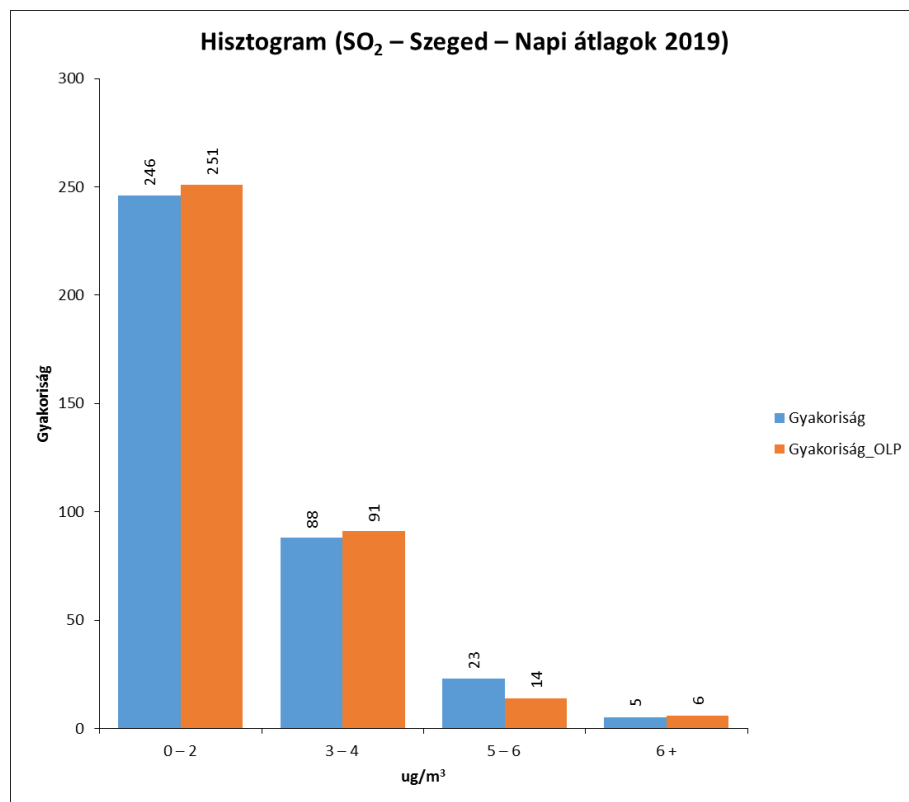
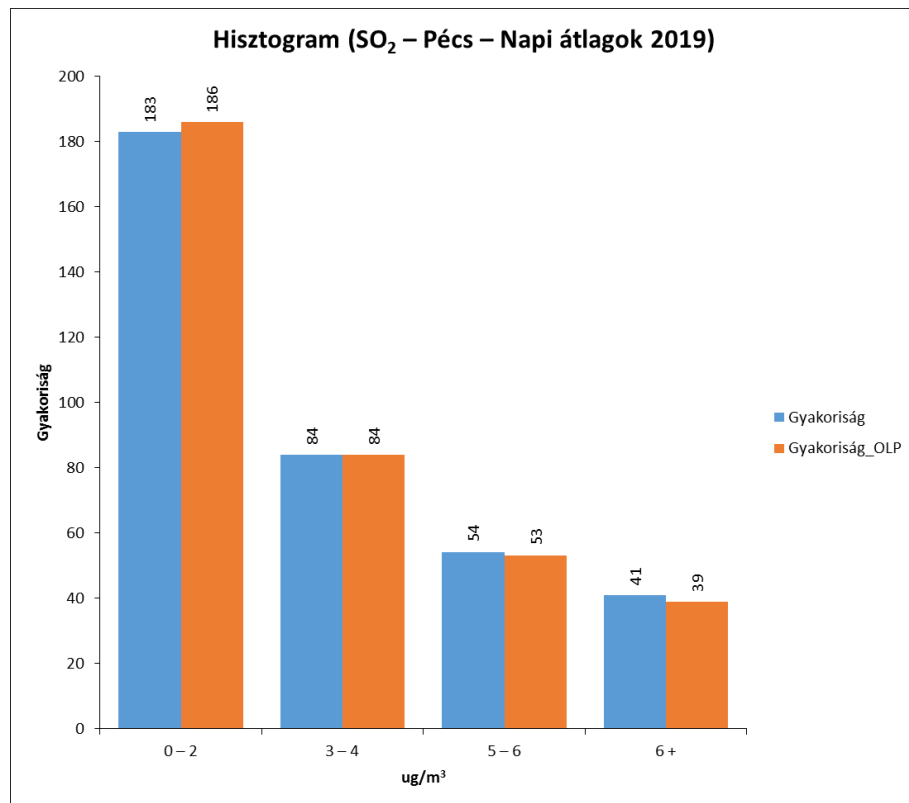


**Hisztogram (SO<sub>2</sub> – Budapest, Gilice – Napi átlagok 2019)**

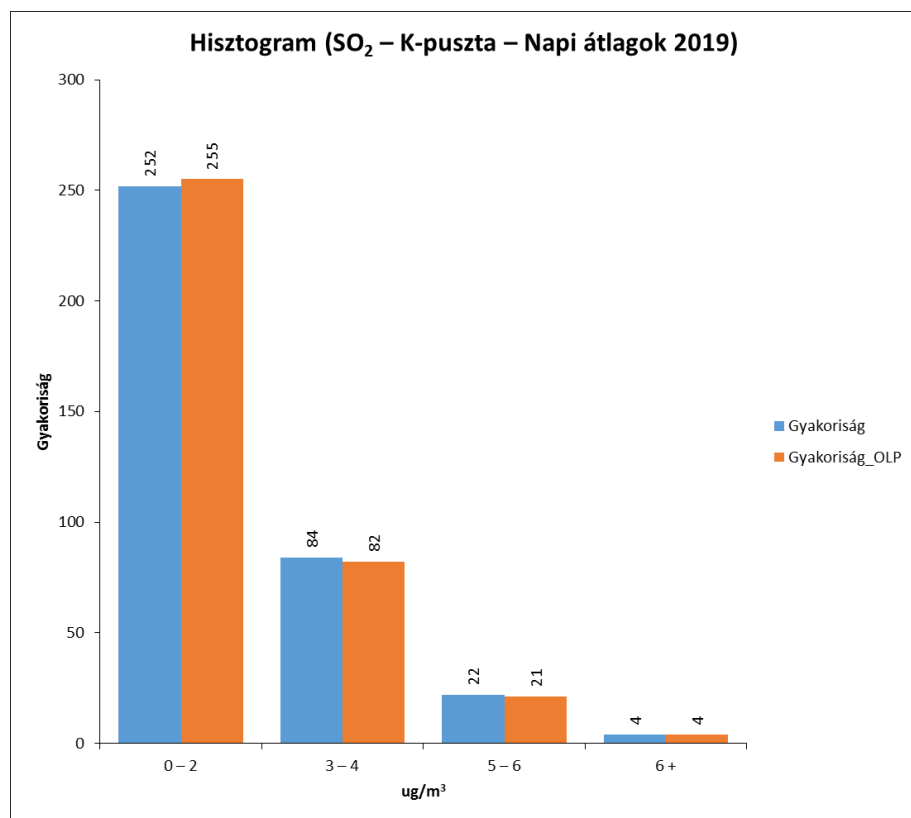
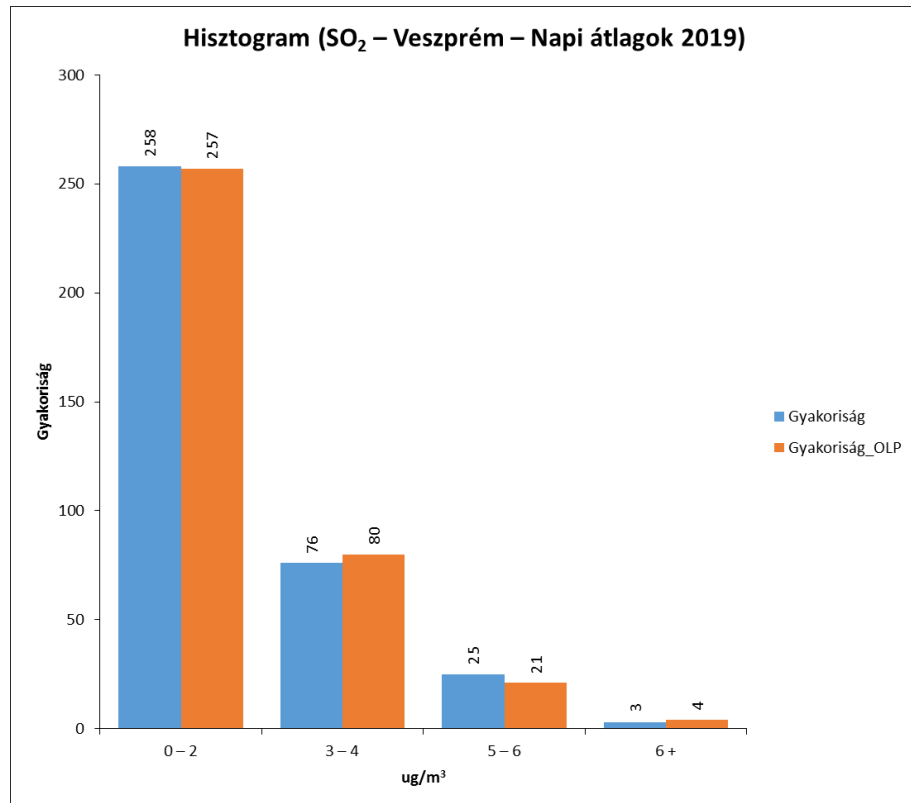


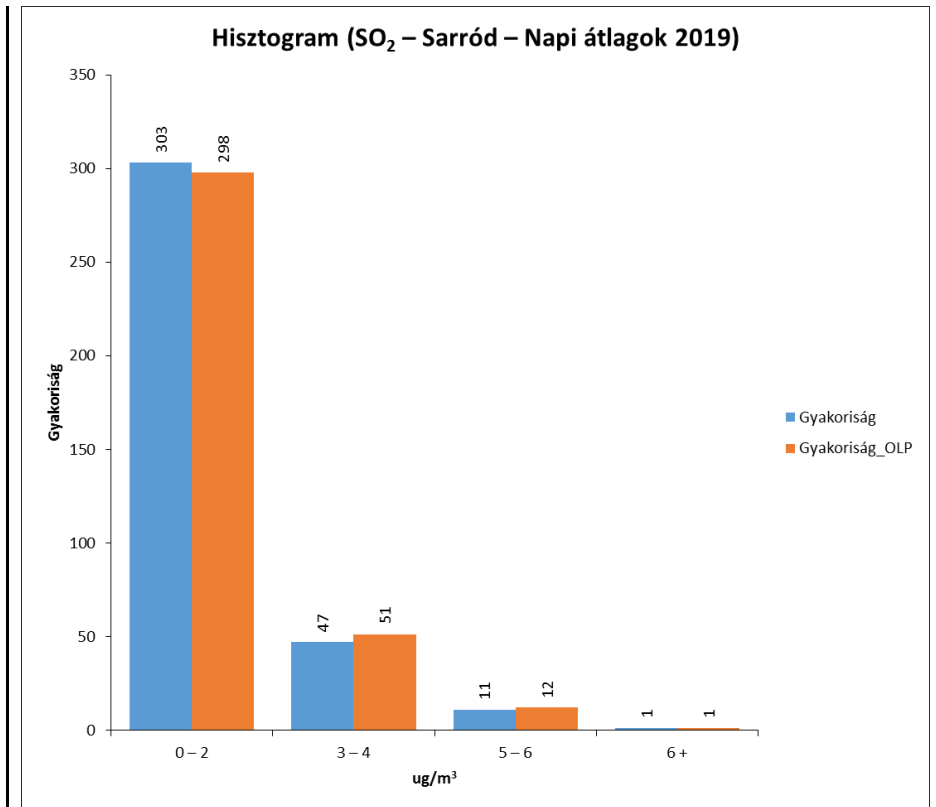
**Hisztogram (SO<sub>2</sub> – Miskolc – Napi átlagok 2019)**



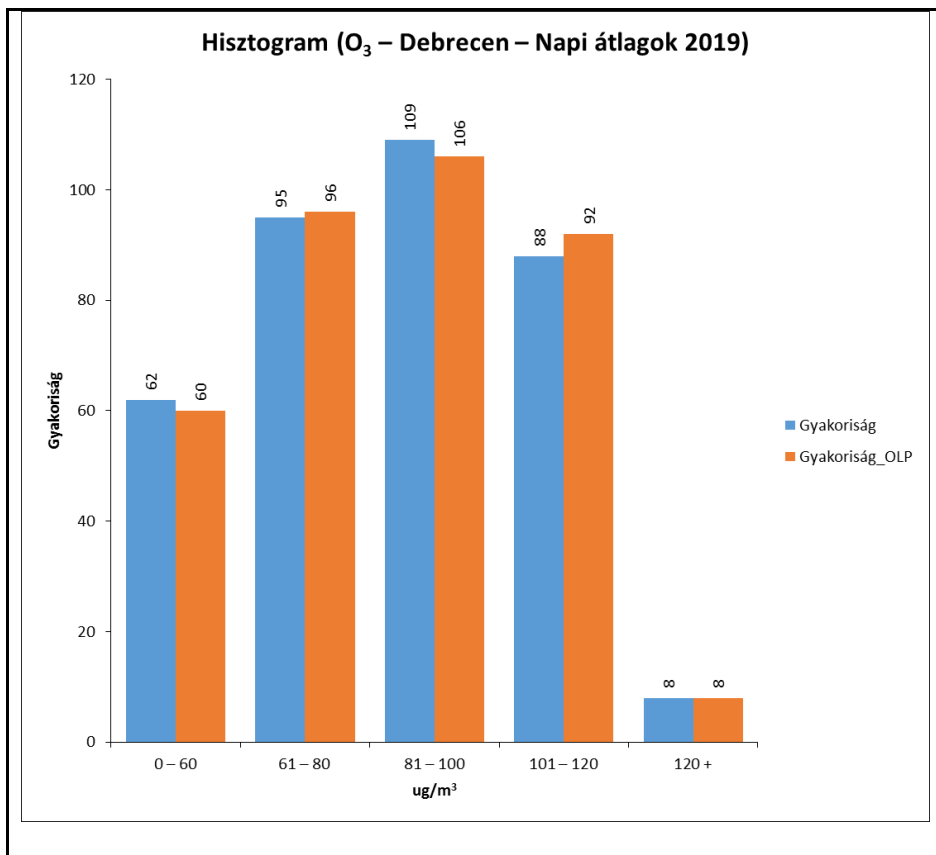


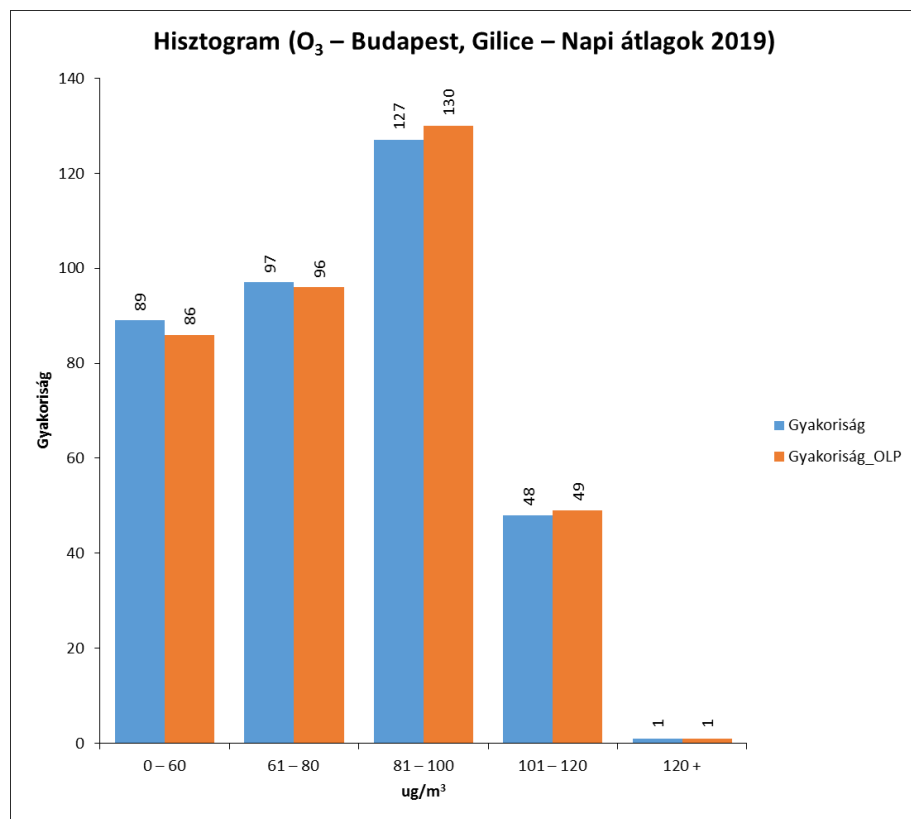
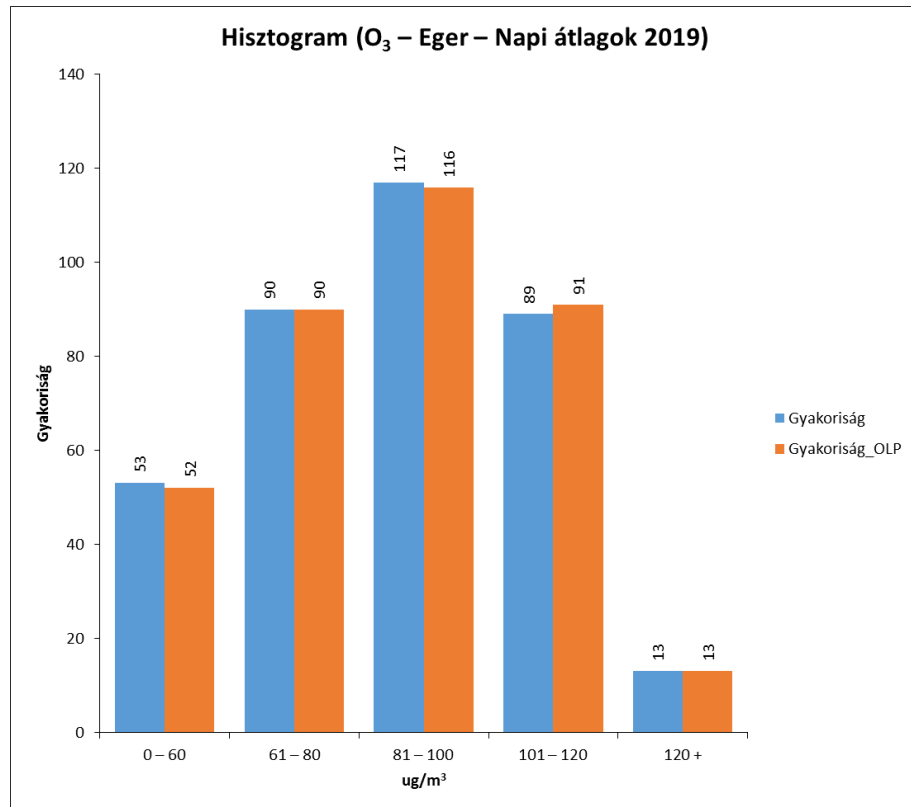


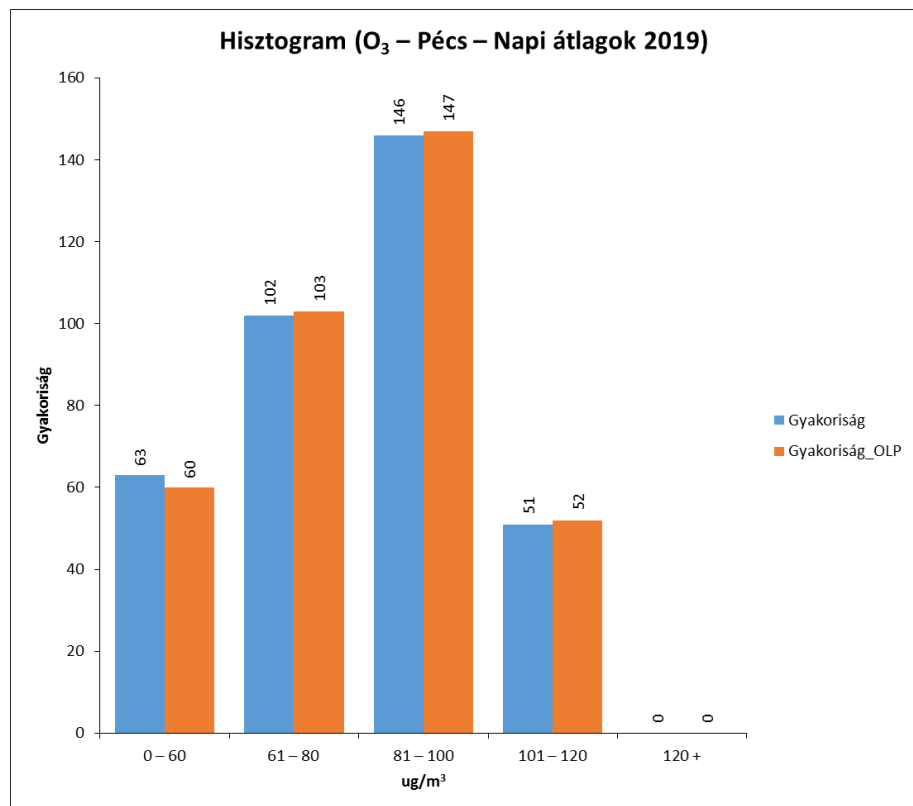
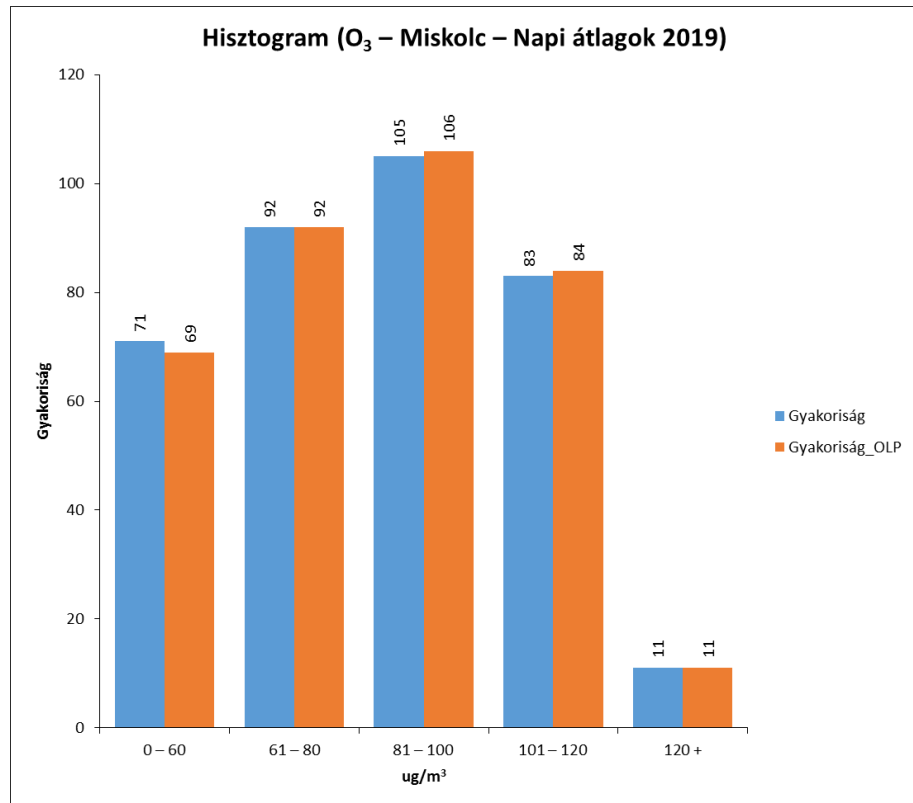


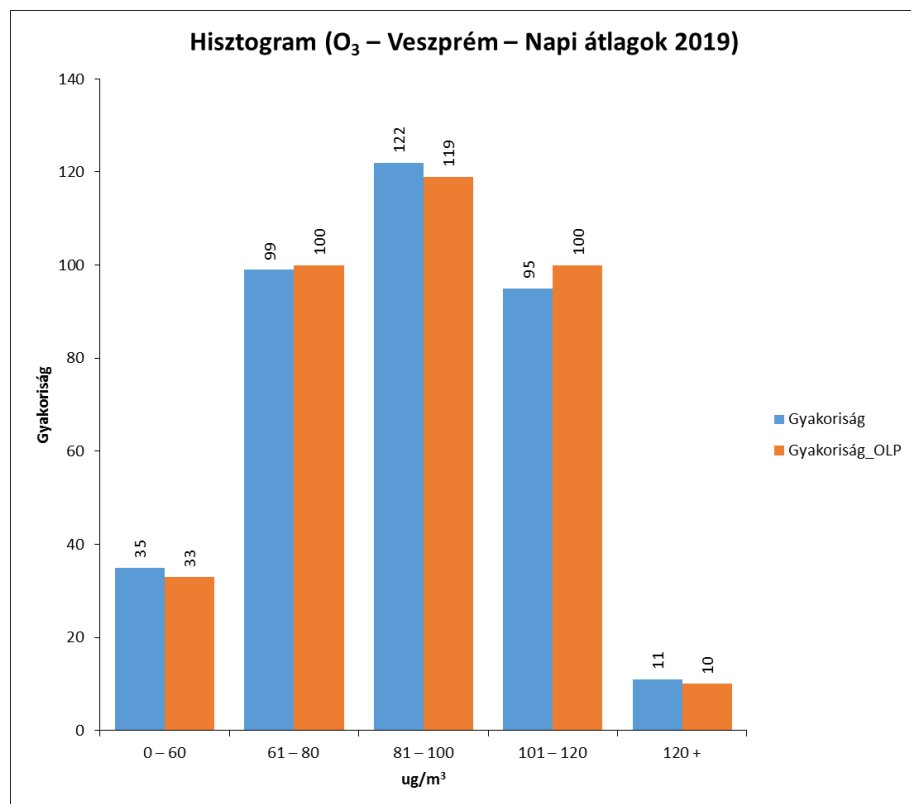
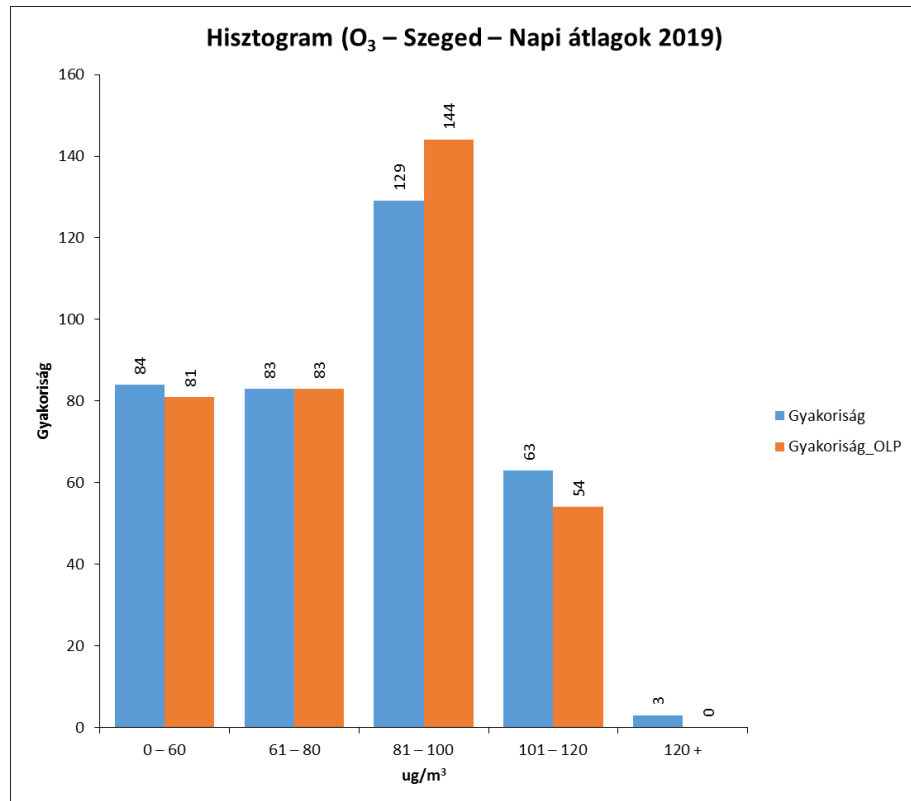


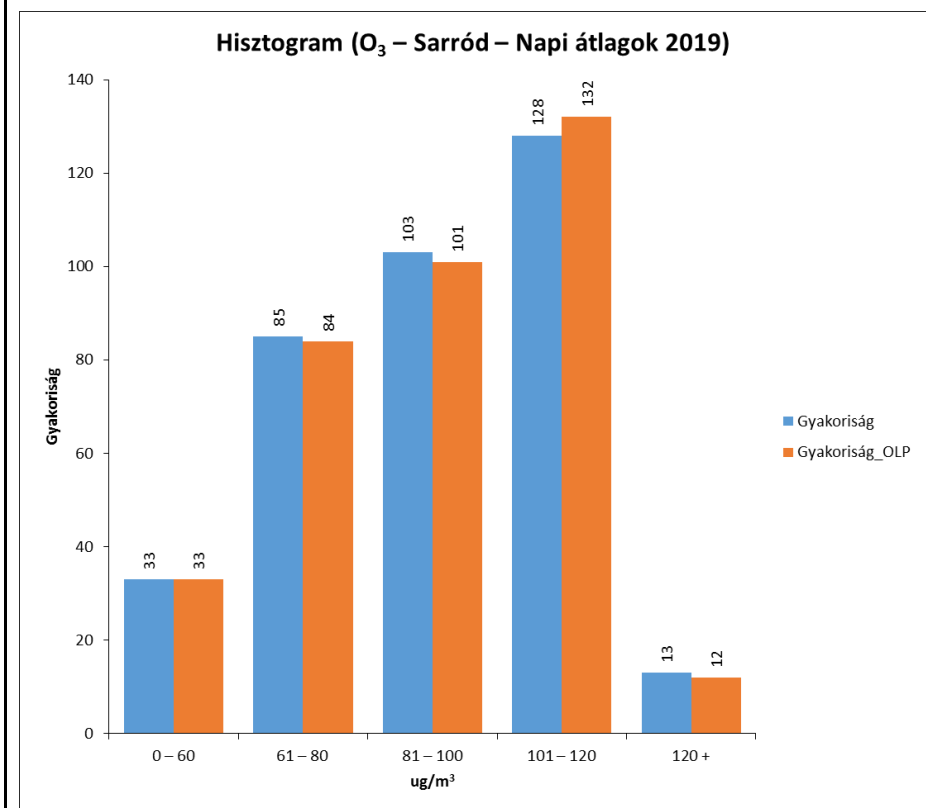
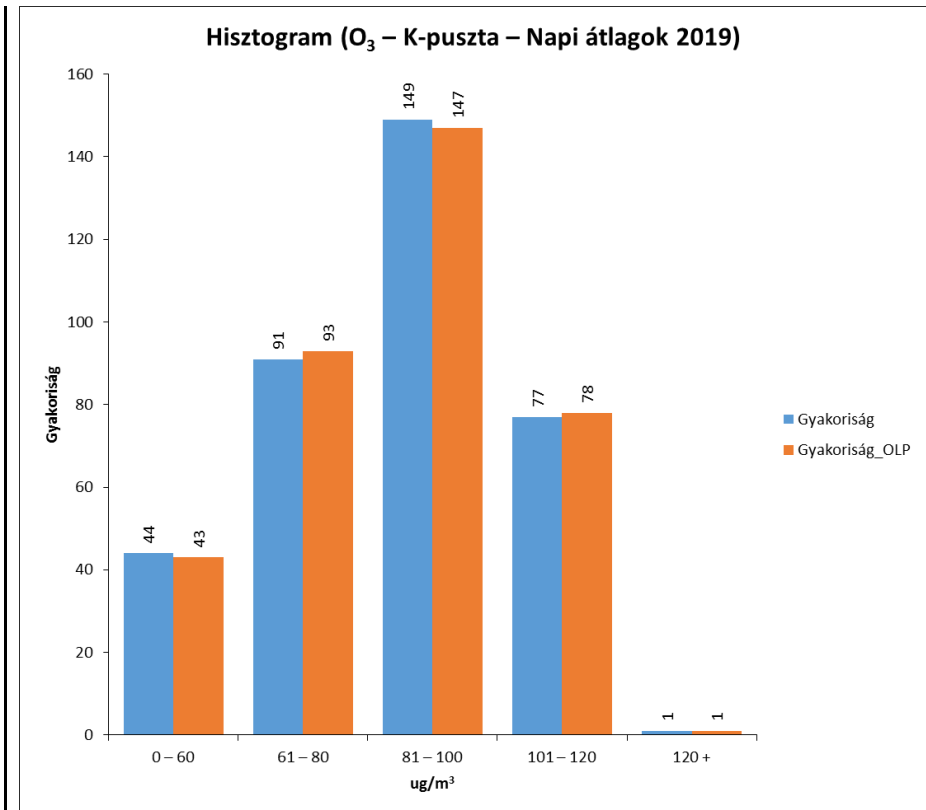
34. ábra A napi átlagos SO<sub>2</sub> koncentrációkból készült hisztogramok



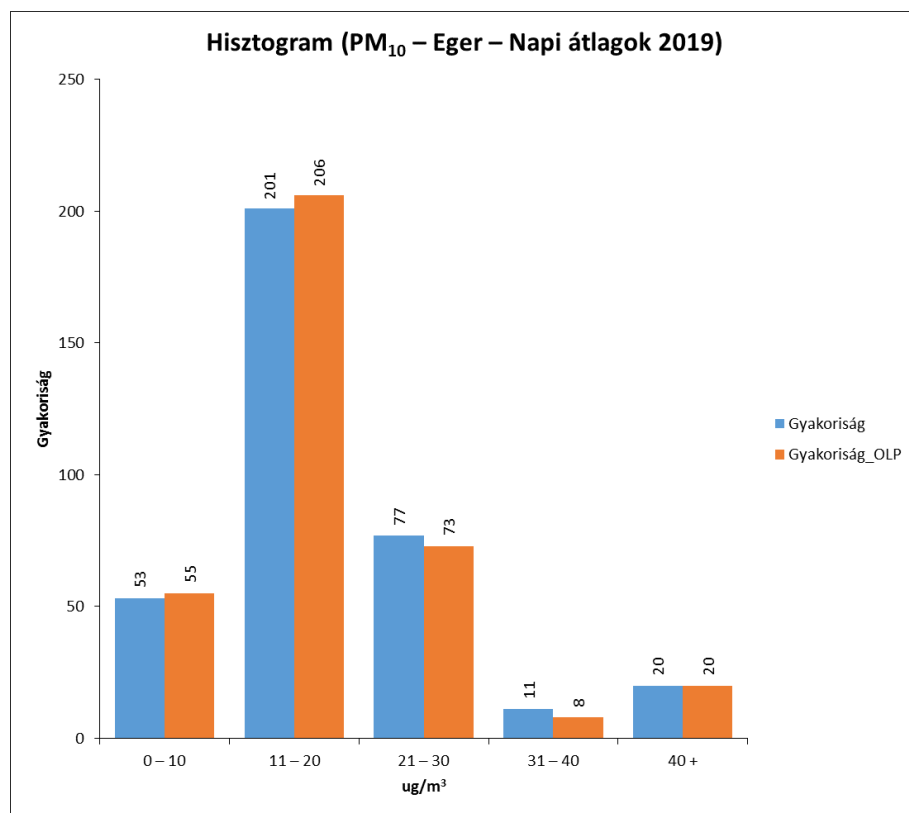
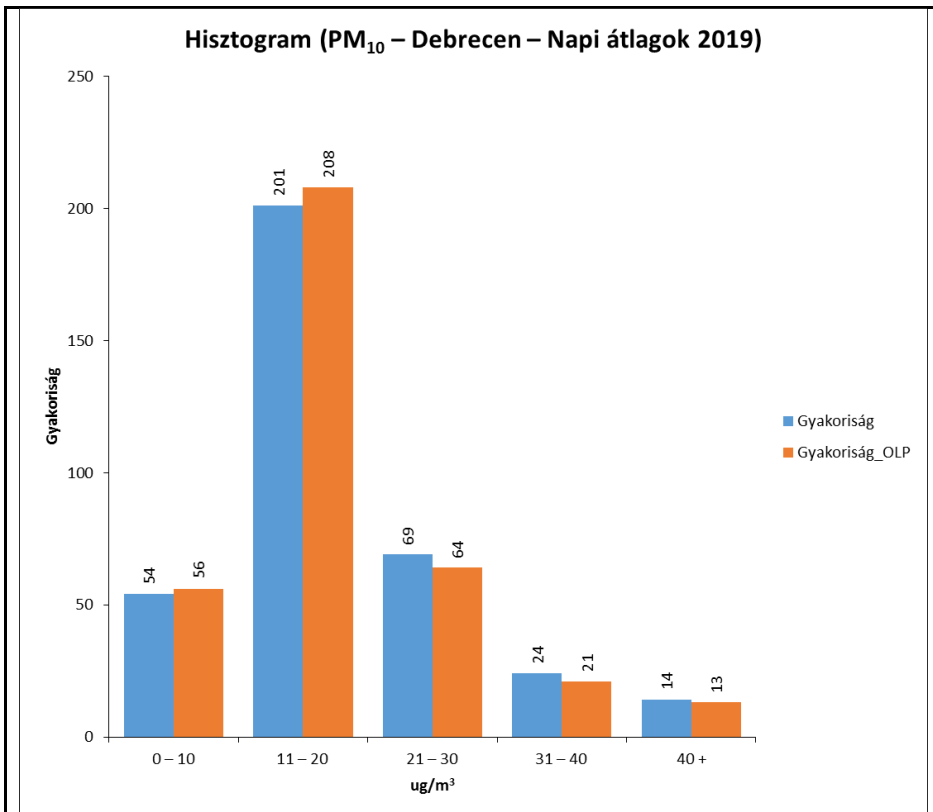


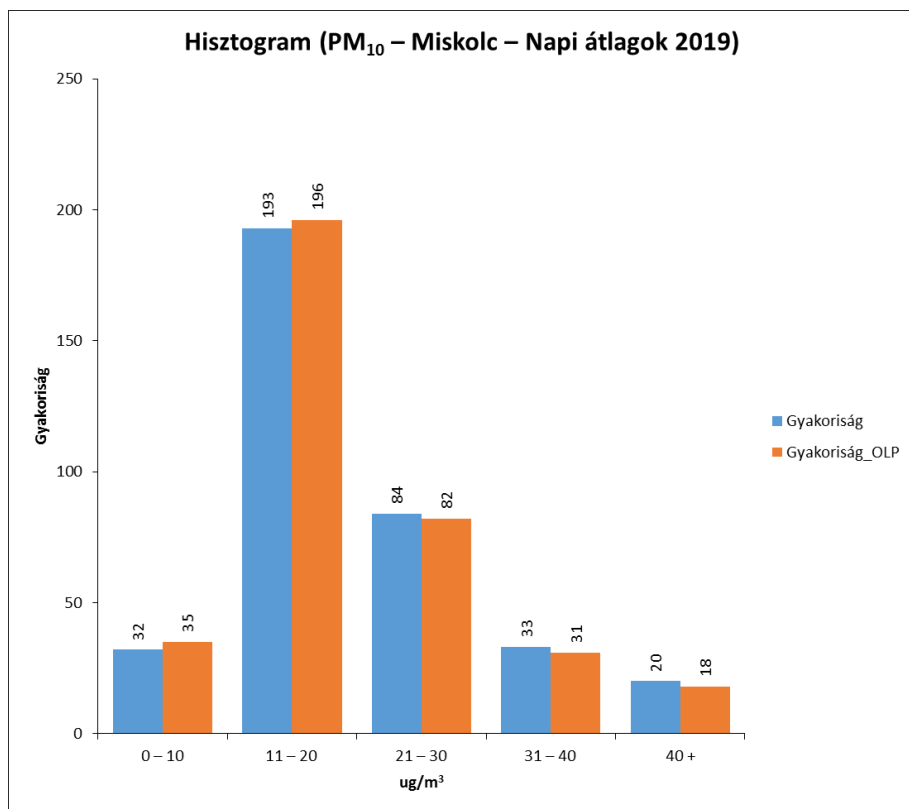
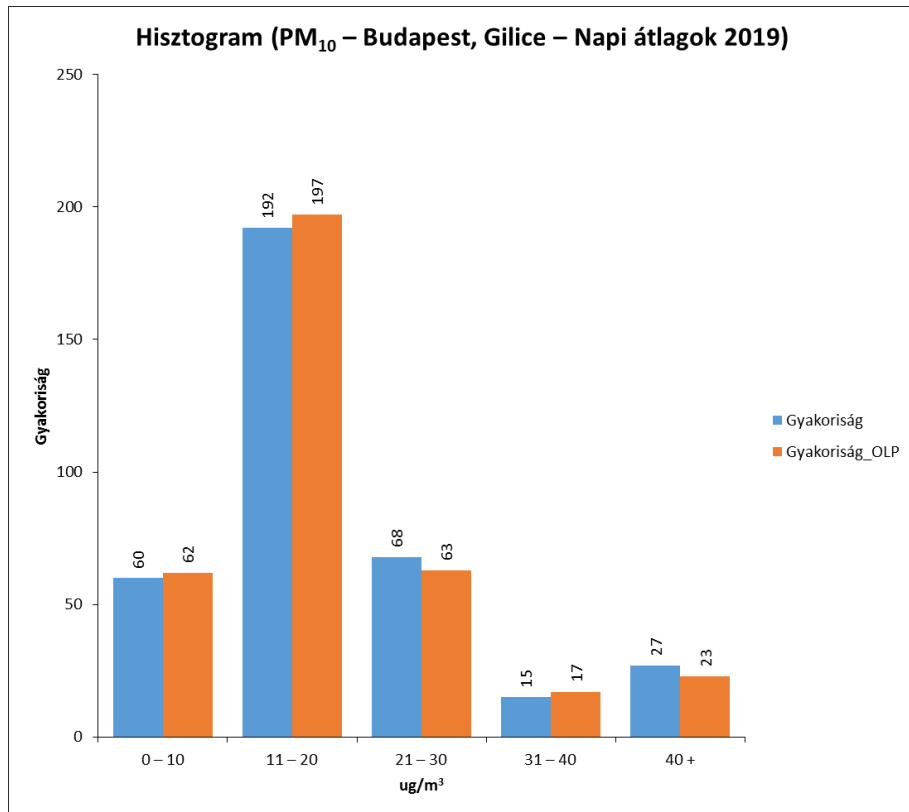




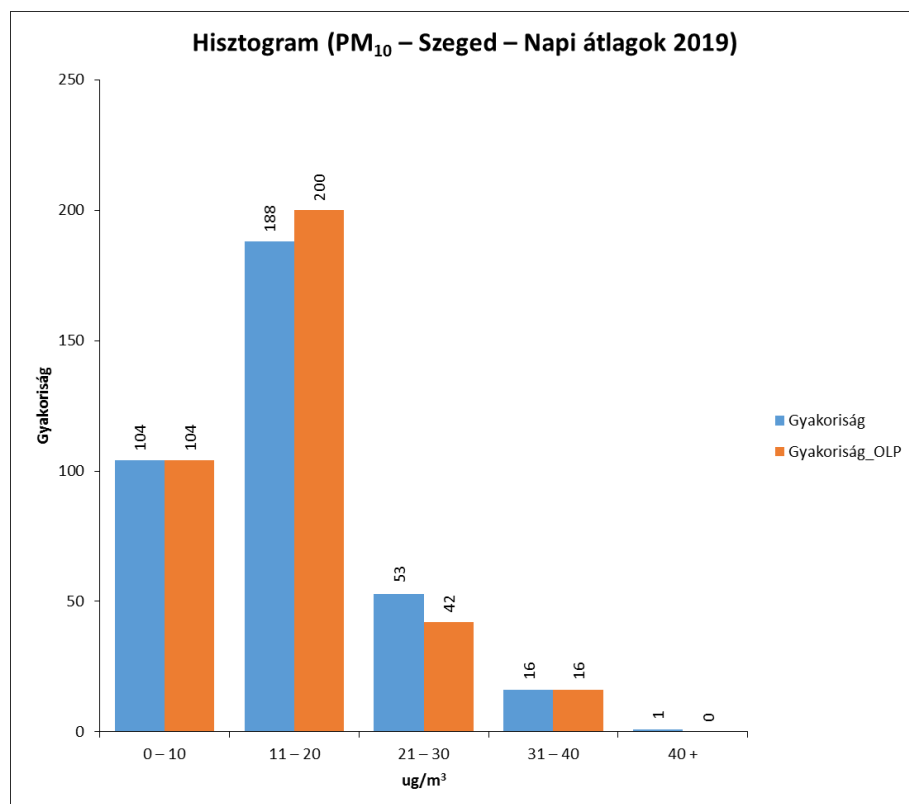
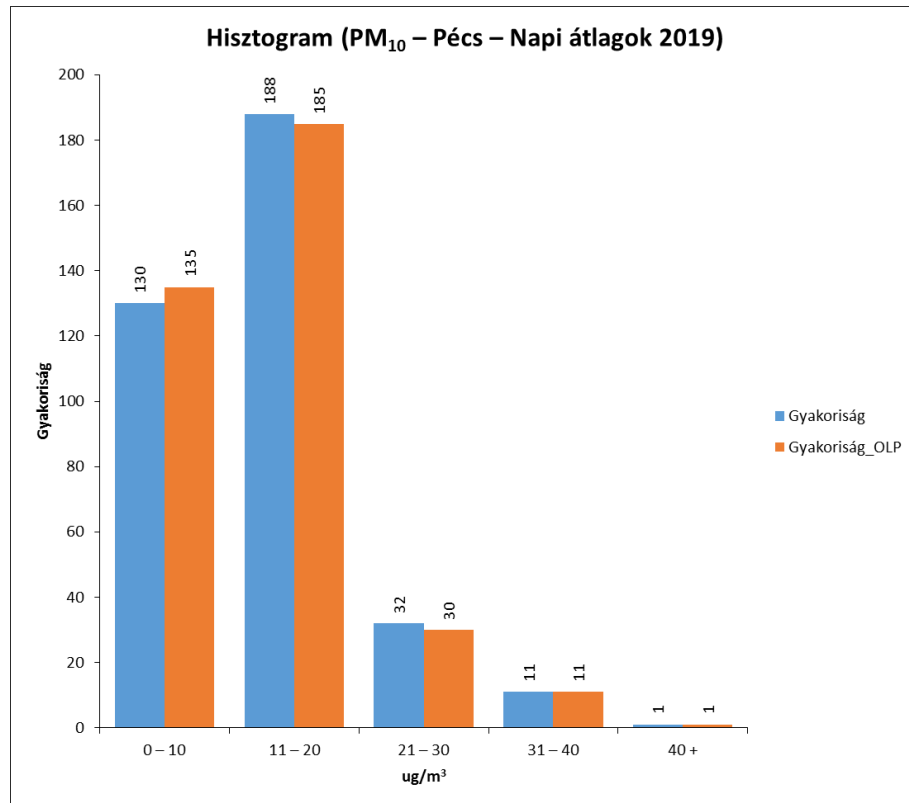


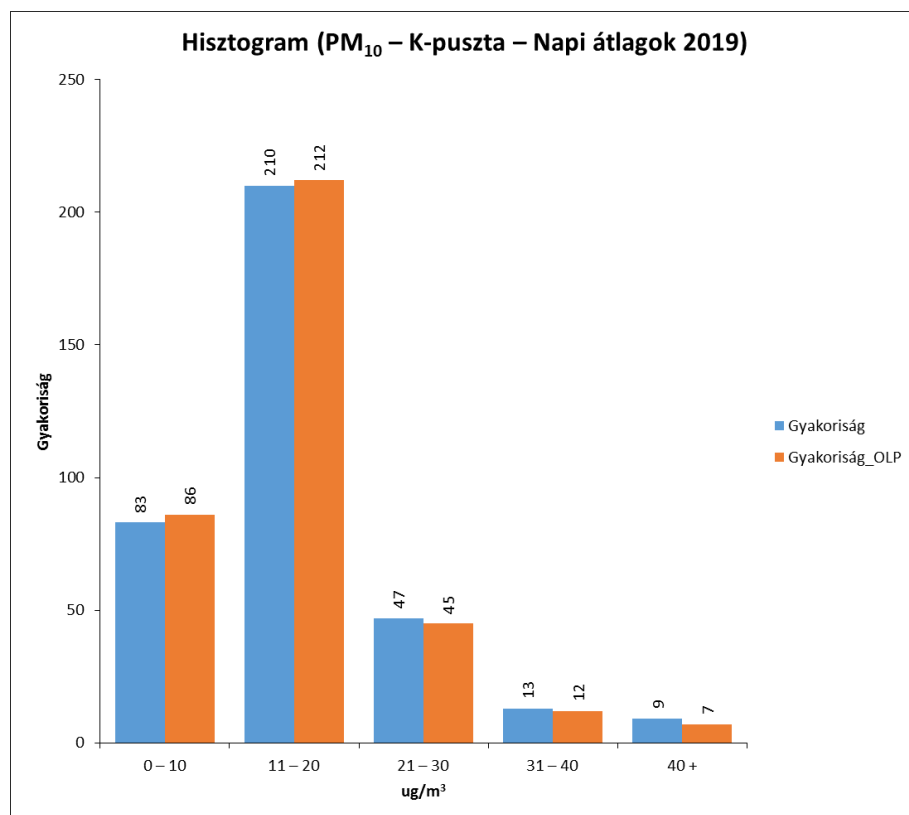
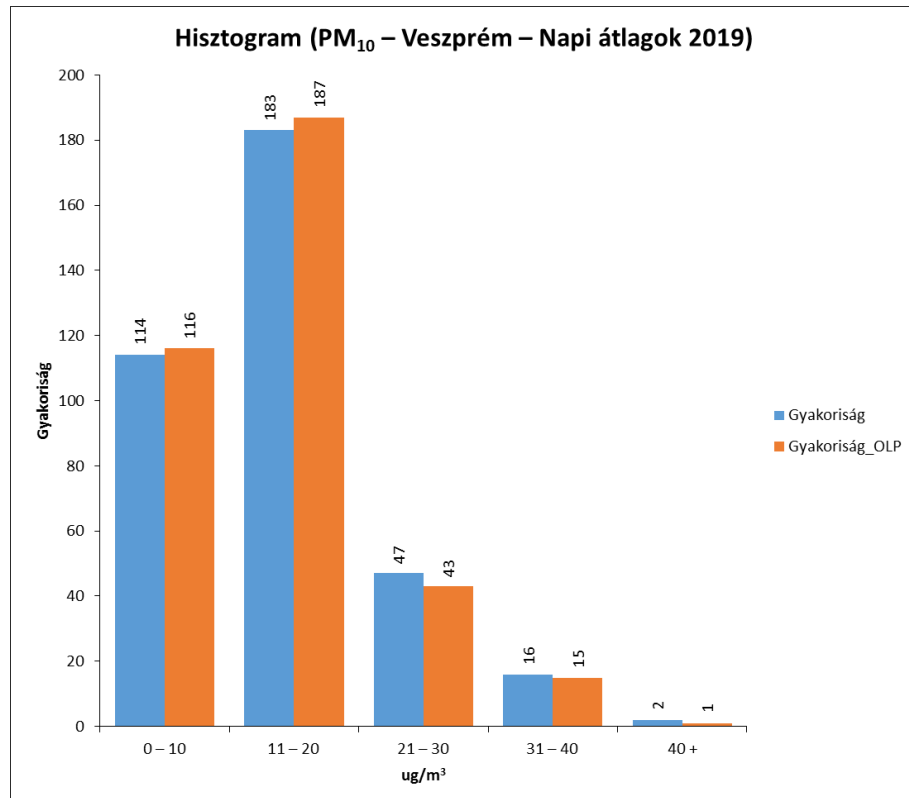
35. ábra A napi átlagos O<sub>3</sub> koncentrációkból készült hisztogramok

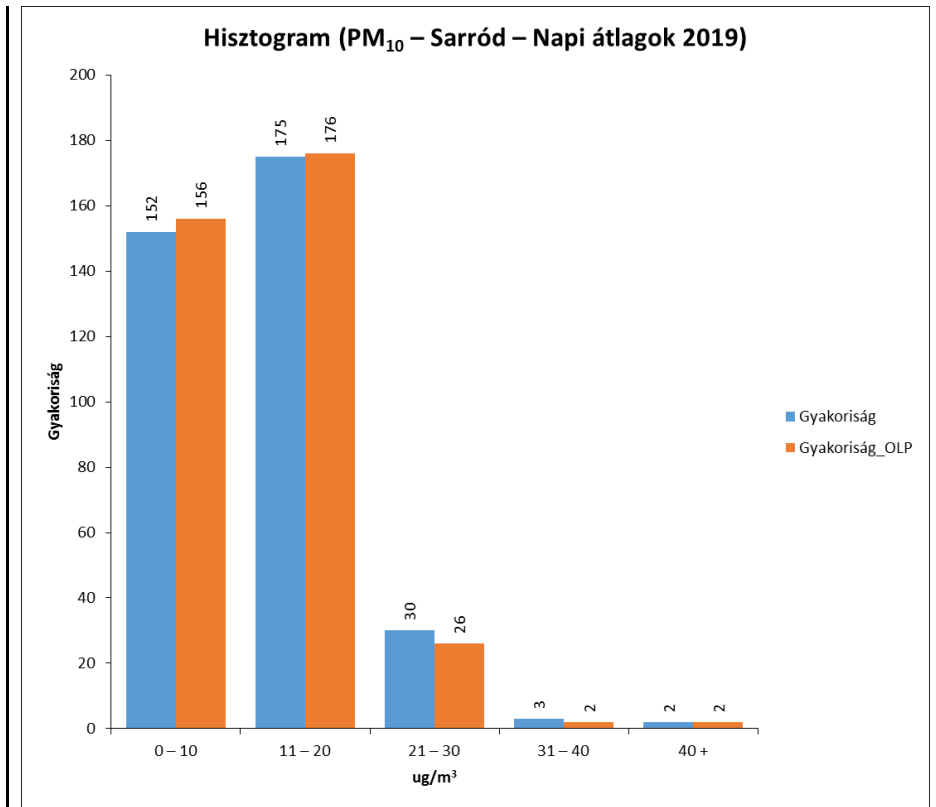




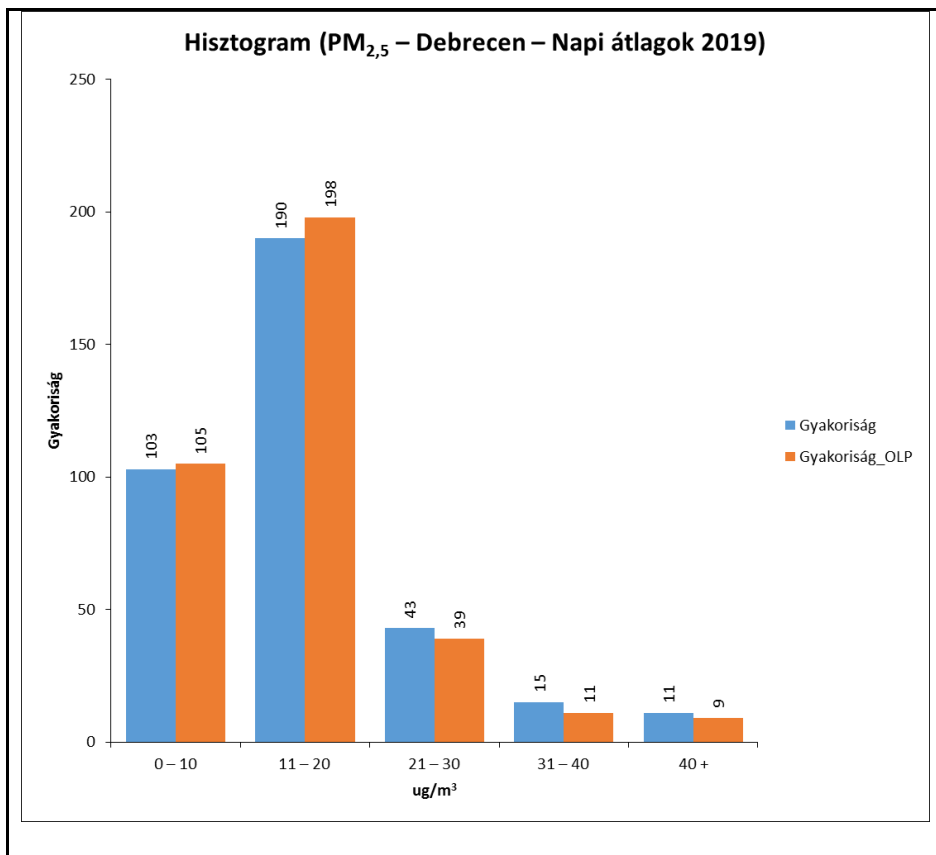


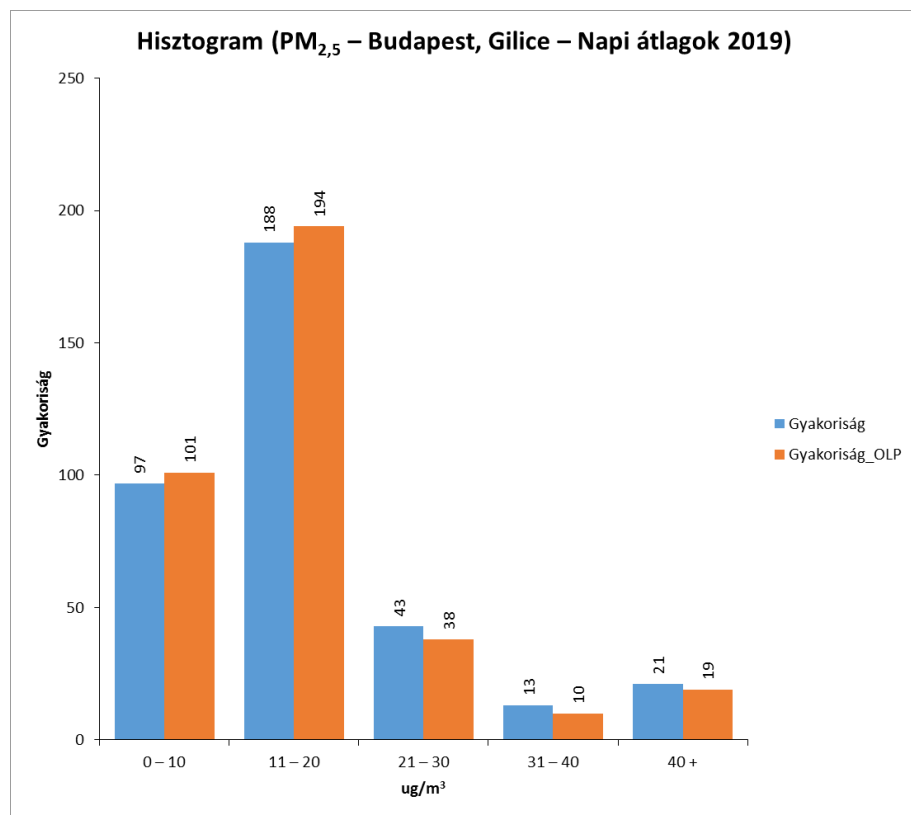
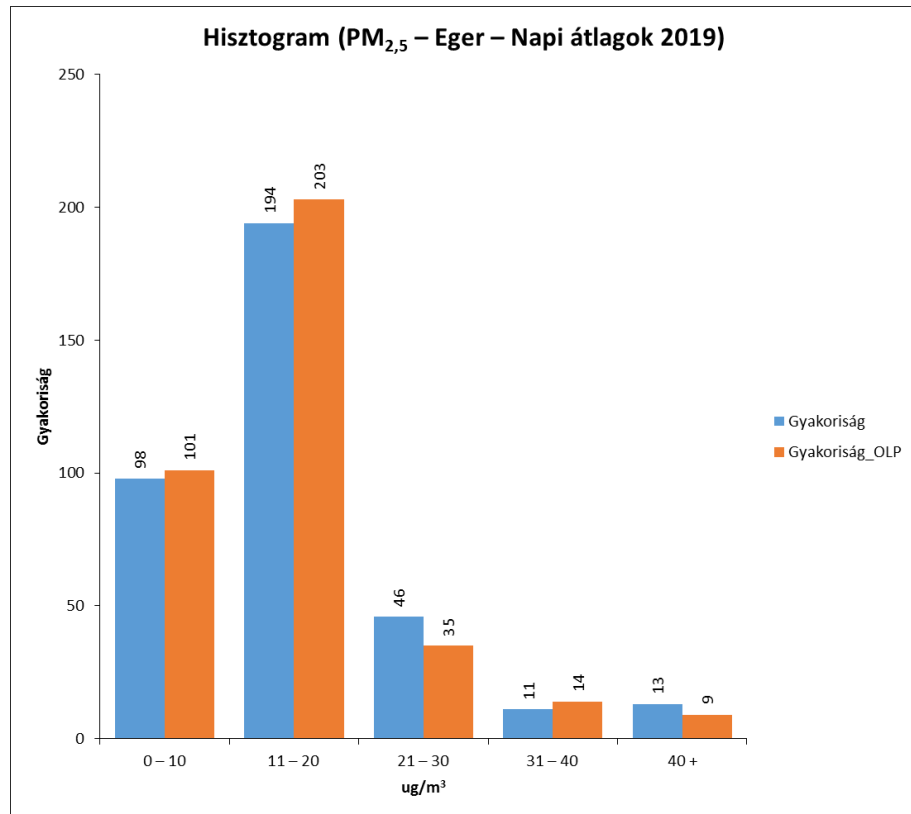


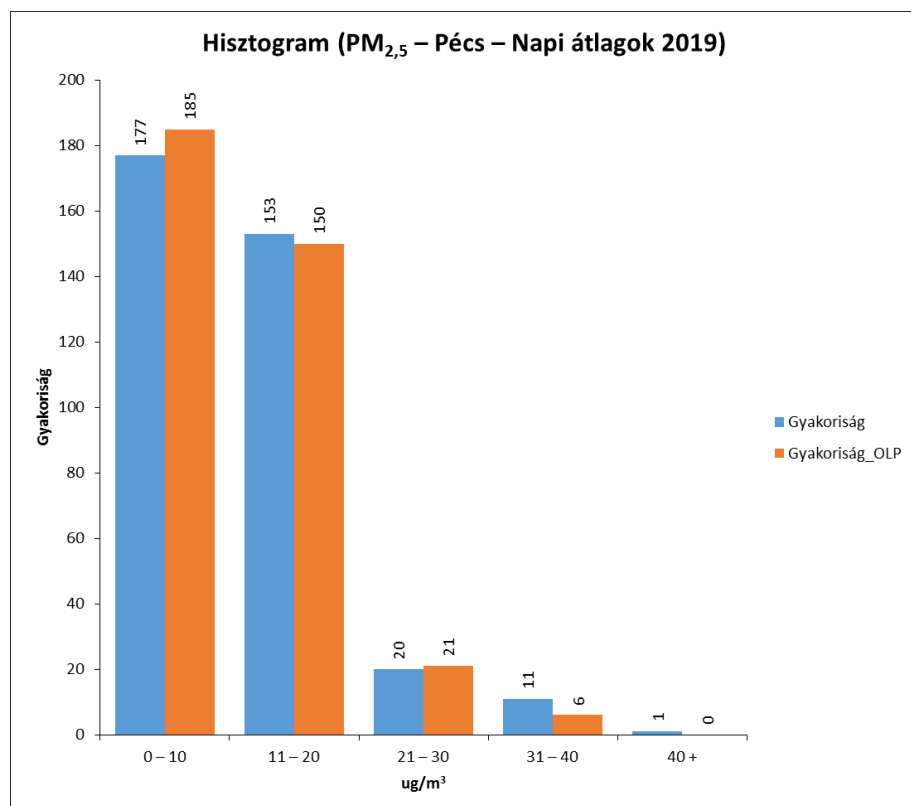
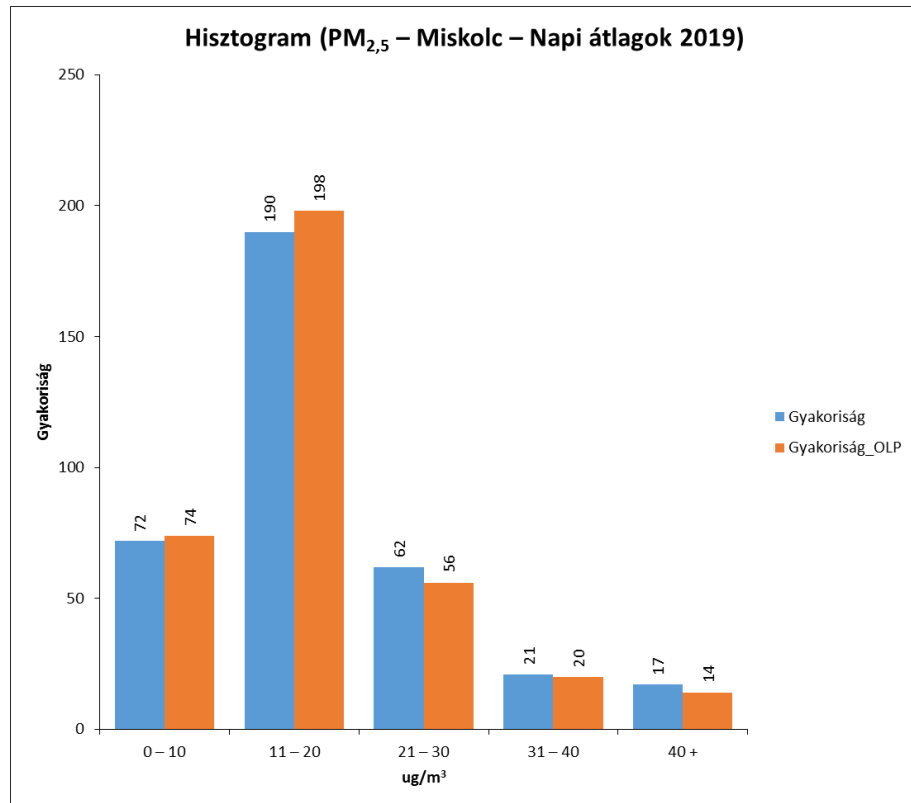


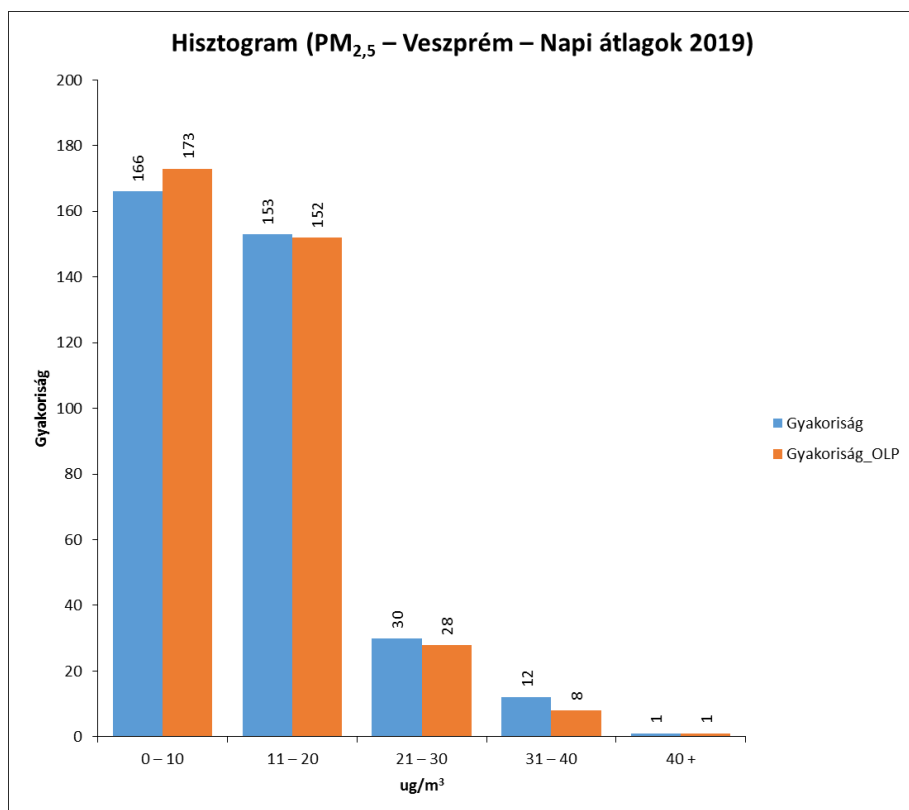
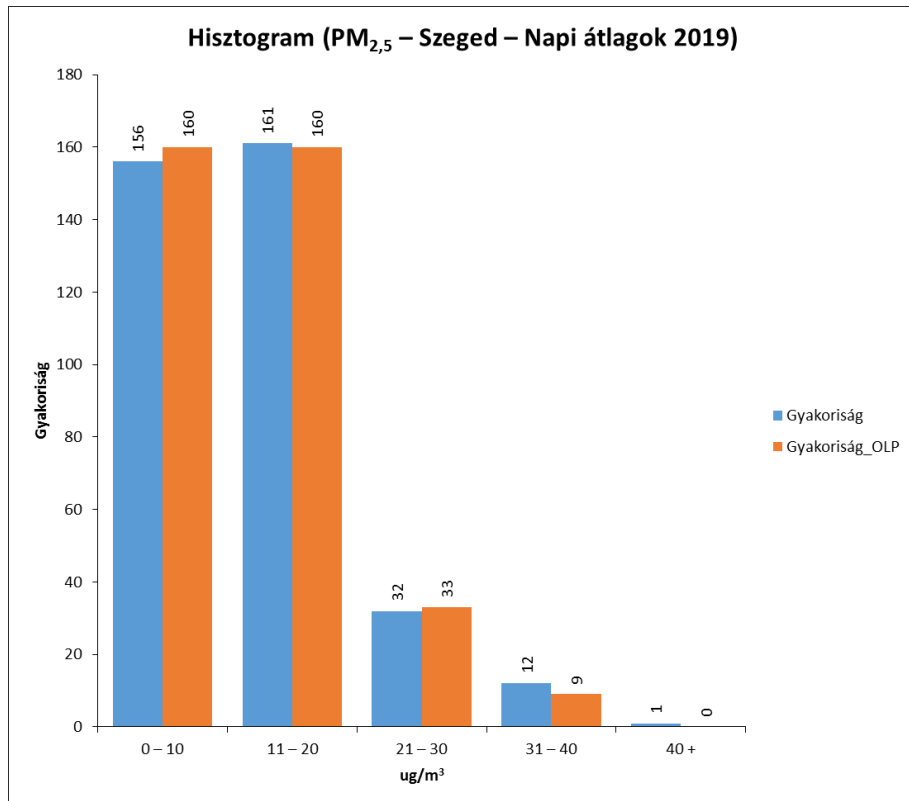


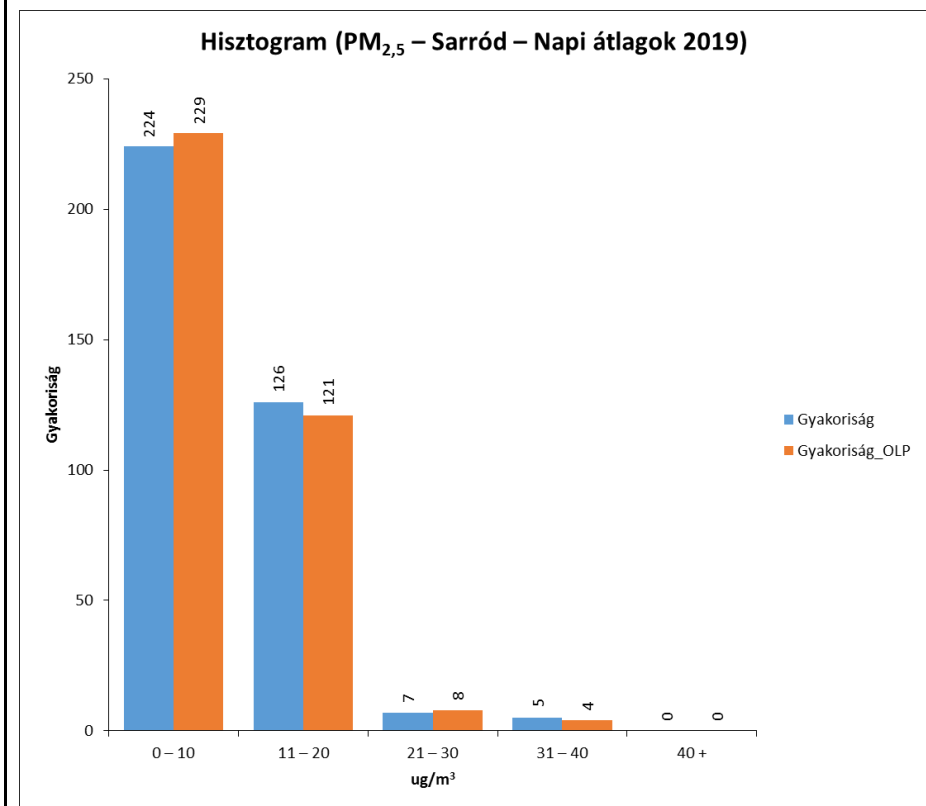
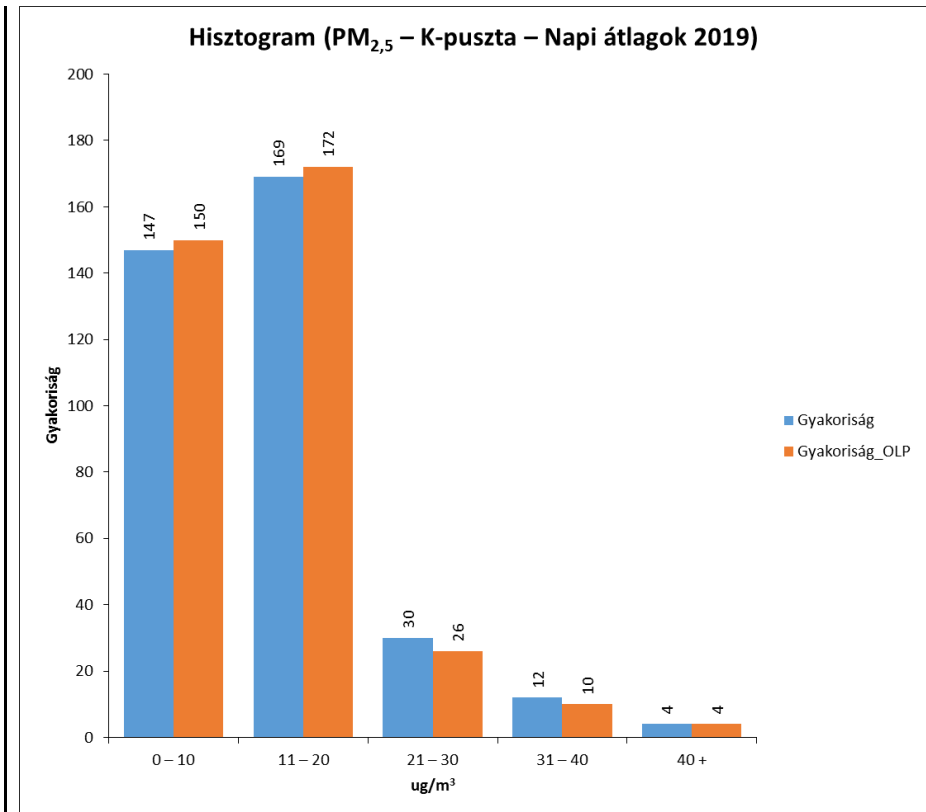
36. ábra A napi átlagos PM<sub>10</sub> koncentrációkból készült hisztogramok



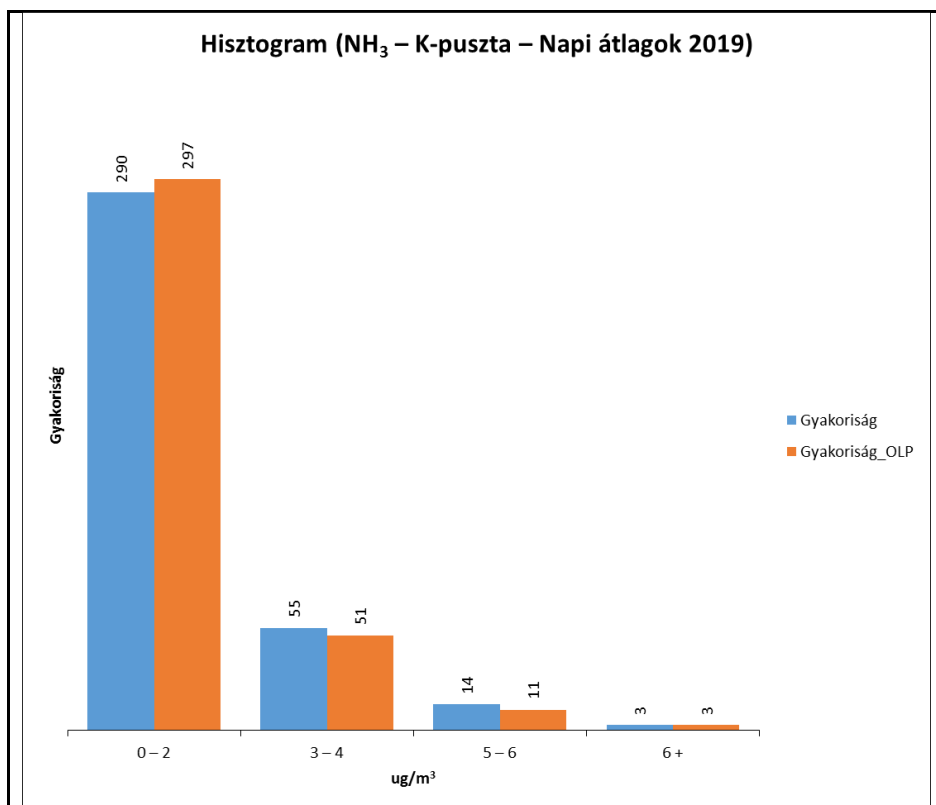








37. ábra A napi átlagos PM<sub>2,5</sub> koncentrációkból készült hisztogramok



38. ábra A napi átlagos NH<sub>3</sub> koncentrációkból készült hisztogram

A 33. ábrán láthatjuk, hogy a NO<sub>2</sub> koncentrációk tekintetében Budapest város esetében találunk nagyobb számban olyan napokat 2019-ben, amelyeken a NO<sub>2</sub> napi átlaga 20 µg/m<sup>3</sup> feletti. A háttérszennyezettség állomásokon (K-pusztá és Sarród) valamint Pécs és Veszprém esetében ilyen magas napi átlagok nem adódtak egyik szimulációval sem, a többi állomás esetén pedig a 20 µg/m<sup>3</sup> feletti tartományokban csak néhány adat szerepel és ezek számát az OLP kibocsátáscsökkentések kevéssé, vagy semennyire sem változtatták meg. A Gilice-téri adatoknál érdekes, hogy a 30 µg/m<sup>3</sup> feletti napi átlagok száma csökkent 7 nappal, de a 26–30 µg/m<sup>3</sup> közötti napi átlagkoncentrációk száma nőtt 5 nappal. Ha a 20 µg/m<sup>3</sup> feletti értékeket tekintjük, 9 nappal kevesebb ilyen magas átlagkoncentrációjú nap adódott az évben az OLP szerint módosított kibocsátásokkal végzett szimulációval.

A SO<sub>2</sub> napi átlagaira vonatkozó információkat a 34. ábrán láthatjuk. A kibocsátáscsökkentések hatására Debrecenben és Szegeden az 5–6 µg/m<sup>3</sup> közötti napi átlagok száma 9 nappal csökkent, szintén 9 nappal lett kevesebb Miskolcon a 6 µg/m<sup>3</sup> feletti koncentrációk száma. A többi állomáson a magasabb koncentrációtartományokban csak néhány nappal kevesebbet találunk az OLP-s szimuláció alapján. Az is előfordul, hogy nem változott vagy egy nappal több lett a 6 µg/m<sup>3</sup> feletti értékek száma. Az éven belül csak Pécs, Miskolc és



Budapest városokban találunk 20 napnál többet, amikor mindkét modellfuttatás alapján  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  felettiek a napi átlagok.

Az ózon napi átlagait a 35. ábrán láthatjuk. A  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  feletti napi átlagkoncentrációk száma a legtöbb város esetében nem változott, Sarród és Veszprém városokban egy nappal, Szegeden 3 nappal csökkent a számuk. Ezen magas értékek száma azonban csak Eger, Miskolc, Sarród és Veszprém esetében 10 nap körüliek, a többi városban ennél is ritkábban fordulnak elő az év során. A  $100\text{--}120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  közötti napi átlagok száma egyedül Szegeden csökkent, itt 63 helyett 54 nap került ebbe a tartományba.

A  $\text{PM}_{10}$  szennyezőanyag napi átlagkoncentrációit tartalmazó hisztogramok a 36. ábrán láthatók.  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  feletti értékek nagyobb számban (több mint 10 nap) Miskolc, Gilice-tér, Eger és Debrecen esetében fordulnak elő a kétféleképpen előállított koncentrációk alapján. Budapest esetén a  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  fölötti koncentrációk 4 nappal kevesebbszer fordultak elő az OLP szerint módosított kibocsátások hatására. A többi állomáson nem számottevő a változás. Legnagyobb mértékben a szegedi napi átlagok változtak a  $21\text{--}30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -es tartományban, 9 nappal csökkent az itteni értékek száma a kibocsátások módosításával.

A 37. ábrán a  $\text{PM}_{2,5}$  napi átlagkoncentrációinak hisztogramjait látjuk a 9 állomásra. Hasonlóan a  $\text{PM}_{10}$ -hez, Miskolc, Gilice-tér, Eger és Debrecen esetén látunk  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  felett több adatot, a többi állomáson ezen értékek nem mondhatók gyakorinak. Az OLP szerinti gyakoriságok és az eredeti gyakoriságok közti különbség nem nagy, maximum 4 nap mértékben redukálódott a magas átlagkoncentrációjú napok száma e városok esetében. Az városok többségében azonban elmondható, hogy a kibocsátáscsökkentések eredményeképp a  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -nél magasabb koncentrációtartományokba eső napi átlagok száma csökkent.

A 38. ábrán K-puszta háttérszennyezettség állomás  $\text{NH}_3$  napi átlagkoncentrációit látjuk. A  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  feletti napi átlagok számában nincs különbség a két szimuláció között. A  $3\text{--}4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  tartományba eső átlagok száma 4, az  $5\text{--}6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  tartományba eső átlagok száma pedig 3 nappal csökkent az OLP szerinti kibocsátásmódosítások elvégzésével.

Néhány kivételes esettől eltekintve, összességében azt látjuk, hogy a kibocsátáscsökkentések bevezetésével a magas átlagkoncentrációk (órás vagy napi) száma kevesebb lett az éven belül. Ez az ózonkoncentrációk esetében teljesül a legkevésbé, a nitrogén-dioxid koncentrációk esetében a leginkább. A következő fejezetben azt vizsgáljuk, hogyan változnak a szennyezőanyagok éves átlagkoncentrációi a kibocsátások módosításával.

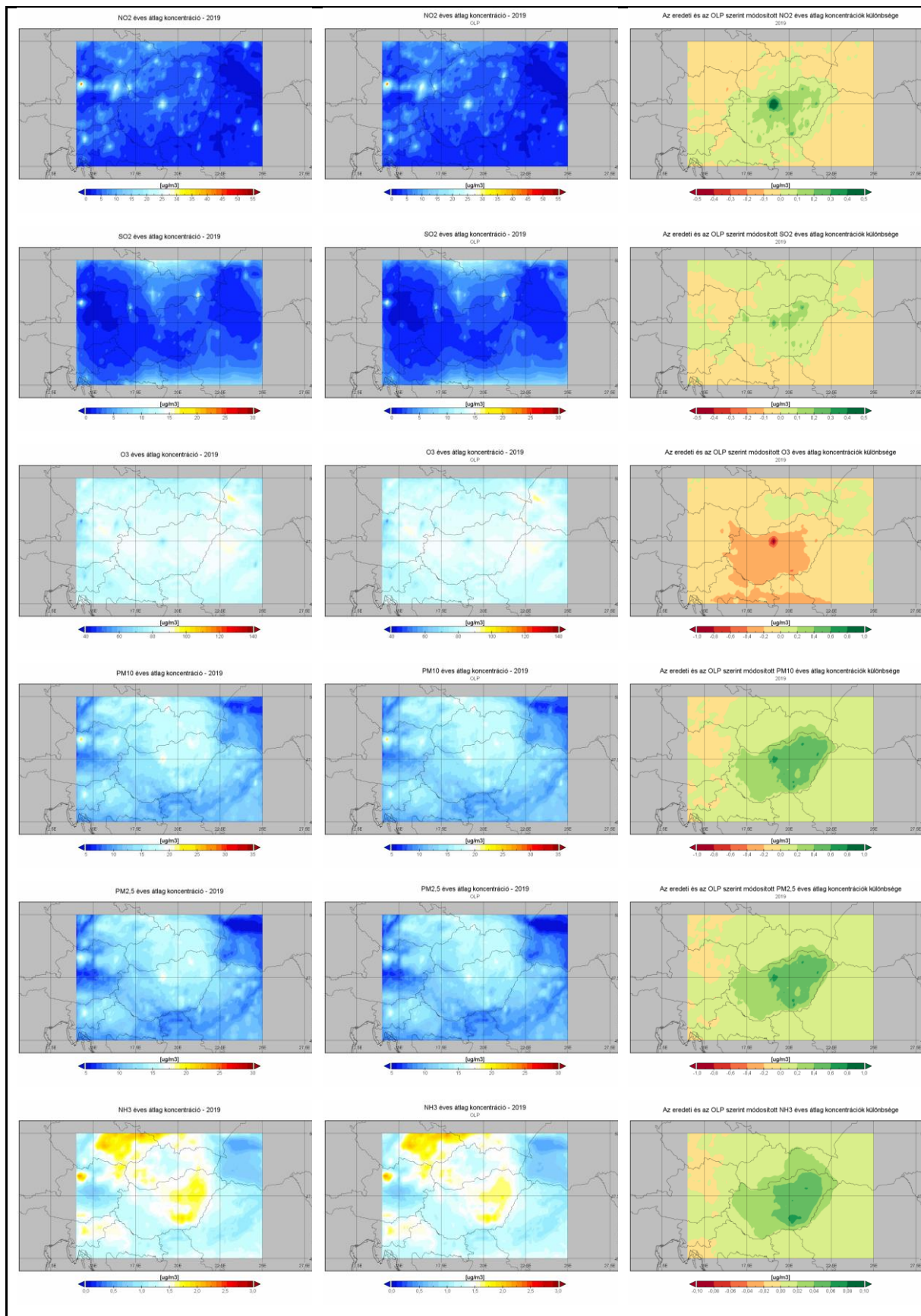
## 6.4 Éves átlagértékek összehasonlítása: alaphelyzet és OLP szimulációk

A vizsgált szennyezőanyagok ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{NH}_3$ ) éves átlagkoncentrációit is kiszámoltuk, az éves rácsponti átlagértékeket térképen jelenítettük meg. A 39. ábrán látjuk az eredményeket, egy-egy sorban az adott szennyezőanyagra vonatkozó térképek szerepelnek, a sor első eleme az eredeti kibocsátásokkal számolt koncentrációkat, a második eleme az OLP szerint módosult koncentrációkat, a harmadik térkép pedig az eredeti és az „OLP-koncentrációk” különbségét jeleníti meg. Ezekkel a térképekkel arra kapunk választ, hogy a 2019-es év átlagkoncentrációi hogyan változtak az ország egyes területein az OLP-ben meghatározott emissziócsökkentések hatására a fő szennyezőanyagok tekintetében.

A  $\text{NO}_2$  éves átlagkoncentrációi legnagyobb mértékben Budapesten és közvetlen közelében csökkentek, ahogyan a 39. ábra első sorának harmadik térképén látszik. Ezen kívül jól látható, hogy az ország egész területén csökkentek az éves átlagos  $\text{NO}_2$  koncentrációk, az ország középső, keleti részében jobban, mint nyugaton. Alaposan szemügyre véve a térképen sötétebb zöld foltokként kiemelkednek nagyobb városaink, Szeged, Debrecen, Miskolc, Kecskemét és Dunaújváros. Ez azt jelenti, hogy ezekben a városokban jelentős mértékben csökkent a  $\text{NO}_2$  éves átlagkoncentrációja az OLP-ben meghatározott kibocsátáscsökkentéseknek köszönhetően.

A 39. ábra következő sorában a  $\text{SO}_2$ -ra vonatkozó információkat látjuk. A szennyezőanyag éves átlagkoncentrációi az ország legnagyobb részében csökkentek az OLP szerint módosult koncentrációk alapján. Az ország délnyugati területén látunk negatív értékeket, ami azt jelenti, hogy azokon a területeken magasabb éves átlagok adódtak. Budapest és Miskolc feltűnők a térképen, esetükben az átlagosnál jelentősebb csökkenést értünk el.

A következő sorban az ózon éves átlagtérképeit láthatjuk. A különbségeket ábrázoló térképen látszik, hogy az ország területén éves átlagban magasabbak lettek az ózonkoncentrációk a kibocsátáscsökkentések elvégzése ellenére. Az ország északkeleti csücskében kisebb mértékű az eltérés a kétféle szimuláció között. Budapest sötétpiros foltként rajzolódik ki a térképen, itt lett a legmagasabb az éves átlagkoncentráció az eredeti értékhez képest. Szeged is elkülönül a térképen, itt is nagyobb mértékben haladja meg az OLP alapján módosult éves átlagos ózonkoncentráció az eredeti értéket. A  $\text{NO}_2$  és az  $\text{O}_3$  koncentrációk mondhatni ellentétesen viselkednek: ahol  $\text{NO}_2$  tekintetében a legnagyobb javulás érhető el a kibocsátáscsökkentésekkel, ott változnak éppen a másik irányba az  $\text{O}_3$  koncentrációk.



39. ábra A szennyezőanyagok éves átlagkoncentrációja :alaphelyzet, OLP és a kettő különbsége. Fentről lefelé haladva a NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> és NH<sub>3</sub> térképeket látjuk

A  $PM_{10}$  és a  $PM_{2,5}$  szennyezők térképein hasonló képet láthatunk. Az ország teljes területén csökkentek az évi átlagos koncentrációk a kibocsátáscsökkentéseknek köszönhetően. Az ország keleti felében nagyobb javulást értünk el, mint a nyugati felében. Budapest, Miskolc, Szeged és Debrecen városok sötétzöld foltokként jelennek meg, tehát e városok területén nagyobb mértékben csökkent az éves átlagos  $PM_{10}$  és  $PM_{2,5}$  koncentráció.

A 39. ábra utolsó sorában az  $NH_3$  éves átlagkoncentrációira vonatkozó információkat látjuk. A kétféle kibocsátás alapján kapott koncentrációk közti különbséget megjelenítő térképen azt láthatjuk, hogy az ország egészén csökkentek az éves átlagos  $NH_3$  koncentrációk az OLP-ben meghatározott csökkentésekkel. Az ország keleti felében nagyobb mértékű az éves átlagok csökkenése. Nagyobb csökkenés Tiszaújvárosban, Szolnokon és Szentés környékén látszik.

Összességében tehát azt állapíthatjuk meg, hogy az ózon kivételével minden szennyező éves átlagkoncentrációját sikerült csökkenteni a kibocsátáscsökkentések bevezetésével Magyarország területén. A térképeken kiemelkednek egyes városok, ahol nagyobb mértékben csökkentek a koncentrációk az éves átlagok tekintetében.

## Összefoglalás

A kémiai transzport modellek segítségével képesek vagyunk megvizsgálni, hogy egy levegőminőség javítása érdekében meghozott intézkedés, például kibocsátáscsökkentés, milyen hatással van a légszennyező anyagok koncentrációjára. A CHIMERE modellt választottuk, hogy az Országos Levegőterhelés-csökkentési Programban definiált 5 szennyezőre és 6 szektorra vonatkozó kibocsátáscsökkentések  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $O_3$ ,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  és  $NH_3$  koncentrációkra gyakorolt hatását vizsgáljuk. Bemutattuk, hogy a CHIMERE hogyan képes szimulálni a légszennyező anyagok koncentrációját, ehhez a 2019-re vonatkozó mérési és modellezett értékeket hasonlítottuk össze (9.–14. ábrák). Miután meggyőződünk arról, hogy a modell képes visszaadni a szennyezők éves menetét, előállítottuk az OLP-ben módosított kibocsátások szerinti órás koncentrációértékeket is a vizsgált szennyezőkre. A jelentésben röviden jellemeztük 2019 időjárását, hiszen a légszennyező anyagok változékonysága függ az időjárási helyzettől. 2019 rekordmeleg év volt, az 1901 óta kezdődő éghajlati adatsor alapján 2019 júniusa és ősze a legmelegebb volt. Május és november nagyon csapadékos hónapok voltak, májusban a globálsugárzás jóval az átlagos alatti volt.

Az alapkibocsátással és az OLP szerint módosított kibocsátással elvégzett CHIMERE szimulációk összehasonlításához először is a szennyezőanyagok havi átlagos koncentrációit készítettük el az órák adatokból. A havi koncentrációkat és a havi átlagok különbségeit térképen jelentítettük meg, valamint megadtuk 9 kiválasztott városra vonatkozóan a kétféle havi átlagos koncentrációk százalékos különbségét. A havi átlagok térképein azt látjuk, hogy  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  és  $\text{NH}_3$  esetében a téli félévben nagyobb mértékű a koncentrációk csökkenése. Az ózon havi átlagai többnyire magasabbak lettek a kibocsátáscsökkentések ellenére. A 9 város órák és napi átlagos koncentrációit hisztogramokon jelentítettük meg, hogy megvizsgáljuk, miként változnak a magas koncentrációk gyakoriságai a kibocsátáscsökkentések hatására. Javarészt csökkentek a magas koncentrációk előfordulásai az éven belül, az ózon esetében, valamint általánosan a háttérszennyezettség mérőállomásokon észleltük a legkisebb változást az adatok gyakoriságában. A szennyezőanyagok éves átlagait térképen vizsgáltuk. Elmondható, hogy Magyarország területén a kibocsátáscsökkentések bevezetésével a  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{NH}_3$  éves átlagkoncentrációi csökkentek. Egyes nagyobb városok esetében jelentősebb mértékben csökkentek a koncentrációk, mint az ország területén általában. Az ózon éves átlagkoncentrációjában nem értünk el javulást a kibocsátásmódosításokkal.

Az ózonkoncentrációk, a vártnál ellentétes módon, emelkedtek a kibocsátáscsökkentések bevezetésével. Az ózon fotokémiai reakciók során keletkezik a légkörben, az ózon keletkezését és fogyását is a  $\text{NO}_x$ , VOC és gyökök (OH,  $\text{HO}_2$  stb.) mennyisége határozza meg. Az ózon keletkezése a  $\text{NO}_x$  és VOC tekintetében nem lineáris folyamat, nagyon bonyolult folyamatok irányítják. Alapvetően kétféle környezetet szoktak elkülöníteni az ózon keletkezés szempontjából: VOC-korlátos és  $\text{NO}_x$ -korlátos területeket. Ha az ózon keletkezés VOC-korlátos, akkor a  $\text{NO}_x$  légköri mennyiségének csökkentése kis hatással van az ózonkoncentráció csökkentésében, sőt éppen növeli az ózonkoncentrációt. Ezeken a területeken a VOC kibocsátásának csökkentése hatékonyabb lehet az ózon légköri mennyiségének csökkentésében (*Sillman, 1999*). A VOC mennyiségének csökkentése azonban nem egyszerű feladat, hiszen nagyrészt biogén forrásokkal rendelkezik. Természetesen a kapott eredmények nagyban függenek attól, hogy milyen kémiai folyamatokat és hogyan (reakció sebességek, sztöchiometriák) vesz figyelembe az alkalmazott modell. Az ózonkoncentrációk csökkentéséhez esetleg nagyobb mértékű VOC kibocsátáscsökkentésre lenne szükség, de az sem kizárt, hogy a  $\text{NO}_2$  további csökkentésével is jobb eredményeket érhetnénk el.

Továbbá fontos megjegyezni, hogy a bemutatott eredmények a Magyarország területére korlátozott kibocsátáscsökkentések hatásait tükrözik. Az országhatáron túli szennyezések mértékét is csökkenteni kell ahhoz, hogy a bemutatottnál jelentősebb mértékű javulást érjünk el a levegőminőségben. Az országok csak összefogással, együttműködéssel képesek csökkenteni a légszennyezés mértékét. Minden ország felelősséggel tartozik nem csak a saját, de a környező országok levegőminőség javítását célzó intézkedések sikerességéért is.

## Irodalomjegyzék

Bíróné Kircsi, A., 2020: A 2019. év időjárása. *Légekör*, 65(1), 70–73.

CHIMERE 2017: Documentation of the chemistry-transport model CHIMERE. *LMD (CNRS), INERIS, LISA (CNRS)*, 260 p. (<https://www.lmd.polytechnique.fr/chimere/>)

Mailler, S., Menut, L., Khvorostyanov, D., Valari, M., Couvidat, F., Siour, G., Turquety, S., Briant, R., Tuccella, P., Bessagnet, B., Colette, A., Létinois, L., Markakis, K., Meleux, F. 2017: CHIMERE-2017: from urban to hemispheric chemistry-transport modeling. *Geoscientific Model Development*, 10, 2397–2423.

Sillman, S., 1999: The relation between ozone, NO<sub>x</sub> and hydrocarbons in urban and polluted rural environments. *Atmospheric Environment*, 33(12), 1821–1845.

## Internetes forrás:

[1 – ceip.at]

<https://www.ceip.at/>