

SZAKDOLGOZAT

MARÓDI GYÖRGY

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Környezettudományi Intézet

Hulladékkezelési és -hasznosítási szakmérnök képzés

**LEVEGŐTISZTASÁGI FELMÉRÉS A GÖDÖLLŐI
SZENNYVÍZTELEP TERÜLETÉN**

Belső konzulens: Dr. Béres András

Campus főigazgató

Készítette: Maródi György (BC2PK)

Szent István Campus

2024

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	5
2. Irodalmi áttekintés.....	6
2.1.Szennyvíztisztító telep bemutatása.....	6
2.1.1.Mechanikai előtisztítás.....	6
2.1.2.Elsődleges ülepítés.....	7
2.1.3.Biológiai tisztítás.....	8
2.1.4.Harmadlagos tisztítás és fertőtlenítés.....	10
2.1.5.Iszapkezelés	11
2.2. Biogáz előállítása szennyvízből.....	12
2.3. Levegővédelmi hatásvizsgálat.....	12
2.4.Levegőtisztasági hatások egy szennyvíztisztító telepen.....	14
2.4.1. Gázemissziók (levegőszennyező gázok kibocsátása).....	14
2.4.2. Szaghatások.....	14
2.4.3. Részecskeemissziók (PM10, PM2.5).....	15
2.4.4. Biológiai szennyező anyagok.....	15
2.4.5. Másodlagos szennyező anyagok.....	16
2.5. Levegőszennyező anyagok kibocsátási forrásai.....	16
3. Anyag és módszer.....	19
3.1. Vizsgálati terület.....	19
3.2. Levegőminőségi mérések.....	20
3.2.1. Mérési helyszínek.....	21
3.2.2. A mérések időzítése.....	21
3.2.3. Alkalmazott műszerek és módszerek.....	22
3.3. Meteorológiai adatok.....	26
3.3.1. Meteorológiai adatok gyűjtése.....	26
3.4. Lakossági bejelentések gyűjtése és elemzése.....	28
3.5. Adatfeldolgozás és statisztikai elemzés.....	29
4. Eredmények.....	30
4.1. Lakossági bejelentések összesítése.....	30
4.2. Levegővédelmi hatásvizsgálat eredményei.....	30

4.3. Elemzés és összehasonlítás.....	37
5.Következtetések és javaslatok.....	39
5.1. Következtetések.....	39
5.2. Javaslatok.....	39
6.Összefoglalás.....	41
7.Irodalomjegyzék.....	42
8.Mellékletek.....	46
9.Köszönetnyilvánítás.....	49
10.Nyilatkozat	

1.Bevezetés

A levegőminőség védelme az egyik legfontosabb környezeti és közegészségügyi kihívás napjainkban, különösen a különböző ipari létesítmények, mint például a szennyvíztisztítók közvetlen környezetében. A szennyvíztisztítók fontos szerepet játszanak a települési szennyvízkezelésben, azonban működésük során jelentős mennyiségű légszennyező anyag kerülhet a levegőbe, amelyek hosszú távon negatív hatással lehetnek a helyi levegőminőségre és a lakosság egészségére.

A szennyvíztisztítás során különféle szennyező anyagok keletkeznek, mint például az ammónia (NH_3), hidrogén-szulfid (H_2S), metán (CH_4), és a szállópor (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$), amelyek mindegyike más és más módon befolyásolja a környezetet és az emberi szervezetet. Ezen anyagok koncentrációjának monitorozása és hatásuk értékelése alapvető fontosságú ahhoz, hogy megfelelő intézkedéseket lehessen hozni a káros következmények mérséklése érdekében.

A jelen szakdolgozat célja a Gödöllői szennyvíztisztító telep környezetének levegőminőségi vizsgálata, különös tekintettel a kibocsátott légszennyező anyagokra. A dolgozat során áttekintésre kerül a szennyvíztisztító létesítmények általános működése, valamint azok környezeti és egészségügyi hatásai, majd konkrét adatgyűjtéssel és elemzéssel értékelem a Gödöllői telep által kibocsátott szennyező anyagok helyi és regionális hatásait. Az elemzés alapját képezik a helyszíni mérések, amelyek alapján részletes következtetések vonhatók le a kibocsátások egészségügyi kockázatairól, és javaslatok tehetők a levegőminőség javítására szolgáló intézkedésekre.

A dolgozat fő célkitűzése, hogy megbízható és átfogó képet nyújtson a szennyvíztisztító levegőt érintő hatásairól.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. Szennyvíztisztító telep bemutatása

Magyarországon a víz- és szennyvíztisztítás jelentősége különösen nagy, hiszen az ország természetes vízkészletei korlátozottak, és a felszíni vizek szennyezésének minimalizálása érdekében elengedhetetlen a tisztítótelepek hatékony működése. Az európai uniós csatlakozás óta a magyar szennyvíztisztítás jelentős fejlődésen ment keresztül, hiszen a hazai jogszabályok és környezetvédelmi normák harmonizálódtak az EU előírásaival. Ennek eredményeként az ország számos területén fejlesztették a szennyvíztisztító rendszereket, hogy megfeleljenek az egyre szigorúbb környezetvédelmi követelményeknek (Nemessányi, 2016).

A szennyvíztisztító telep célja, hogy a szennyvizet megtisztítsa a benne található szennyező anyagoktól, mielőtt az visszajutna a természetes vízkörforgásba. A szennyvíztisztító telepek működése összetett folyamatokon alapul, amelyek célja a szennyezett víz minél teljesebb mértékű megtisztítása a különféle szennyezőanyagoktól. Ezek a telepek számos tisztítási szakaszon vezetik át a szennyvizet, hogy a kijutó tisztított víz megfeleljen a szigorú környezetvédelmi előírásoknak (Bíró & Nagy, 2001). Az alábbi öt alapvető lépés bemutatja a szennyvíztisztítás folyamatának szakaszait és technológiai részleteit, amelyek mindegyike egyedi célokat szolgál a szennyeződések eltávolítására, a víz újrahasznosítására és az ökológiai hatások minimalizálására (Mészáros & Gyulavári, 2014).

2.1.1. Mechanikai előtisztítás

A szennyvíztisztító telepek első lépcsője a mechanikai előtisztítás, amelynek célja a nagyobb szilárd anyagok eltávolítása a szennyvízből, hogy a következő tisztítási fázisok hatékonyabban működjenek. A mechanikai előtisztítás során különböző fizikai szűrési eljárások alkalmazásával szűrik ki a lebegő szennyeződések (Nemessányi, 2016). Ez az eljárás alapvetően megakadályozza, hogy a nagyobb szennyezőanyagok a későbbi biológiai vagy kémiai tisztítási szakaszokban eltömődést vagy más technológiai problémát okozzanak, ami a hatékonyságot csökkentheti (Mészáros & Gyulavári, 2014).

1. **Rácsos szűrés:** Az első lépés a szennyvíz mechanikai előtisztításában a rácsok használata. A rácsok feladata, hogy kiszűrjék a nagyobb lebegő anyagokat, például a műanyag darabokat, ruhadarabokat, papírt és más nagyobb szennyeződések. A szűrőrácsok különböző sűrűségűek lehetnek, attól függően, hogy milyen méretű szilárd anyagokat kívánnak eltávolítani. A szennyvíz folyamatosan áramlik a rácsokon, ahol

a nagyobb darabok fennakadnak, és ezeket rendszeresen eltávolítják, hogy megelőzzék a dugulást és a szűrőeszközök elhasználódását (Bíró & Nagy, 2001; Nemessányi, 2016).

2. **Homokfogás:** A rácsos szűrés után a szennyvíz homokfogóba kerül, ahol a gravitáció segítségével az olyan nehezebb részecskék, mint a homok, kavics, és egyéb ásványi anyagok kiválnak a szennyvízből. A homokfogás során a víz lassított áramlása lehetővé teszi a sűrűbb anyagok leülepedését. Ez a lépés különösen fontos az olyan telepeken, ahol magas a szennyvíz szilárdanyag-tartalma, hiszen ezek a részecskék jelentős károkat okozhatnak a későbbi gépészeti berendezésekben és eltömíthetik a csöveket (Somlyódy, 2002).
3. **Zsírfogás:** A homokfogás után a szennyvíz egy zsírfogó medencébe áramlik, ahol a zsíros és olajos anyagokat távolítják el. A zsír és olaj kisebb sűrűségű, mint a víz, így ezek a felületen összegyűlnek, majd mechanikus eszközökkel eltávolíthatók. Ezt a lépést kiegészítheti vegyszeres kezelés is, amely segíti az olajos részecskék elkülönülését és felfogását, különösen akkor, ha magas a szennyvíz olajtartalma (Mészáros & Gyulavári, 2014).
4. **Elsődleges ülepítés:** A mechanikai előtisztítás után a szennyvíz elsődleges ülepítő medencékbe áramlik, ahol további lebegő anyagok kiválasztása történik. Az ülepítés során a víz mozgása lelassul, ami lehetőséget ad a szilárd részecskék gravitációs úton történő kiválására. Az így keletkező iszap a medence aljára ülepedik, míg a felül úszó zsiradékokat egy külön rétegben fogják fel. Az ülepítés során a szennyvíz szilárdanyag-tartalmának jelentős része eltávolítható, ami csökkenti a szervesanyag-terhelést a későbbi biológiai szakaszban (Nemessányi, 2016; Somlyódy, 2002).

2.1.2. Elsődleges ülepítés

Az elsődleges ülepítés a szennyvíztisztítás második lépcsőfoka, amely a mechanikai előtisztítást követi. Ez a folyamat a gravitációs ülepítés elvén alapul, és célja a szilárd anyagok további eltávolítása a szennyvízből. Az ülepítő medencék tervezésénél figyelembe kell venni a szennyvíz áramlásának sebességét, a medencék méretét és a szennyvíz szilárdanyag-tartalmát. Az ülepítési folyamat hatékonysága függ a szennyvíz áramlásának sebességétől; ha a víz túl gyorsan áramlik, a részecskék nem tudnak kellőképpen leülepedni. Az ülepítési idő, amely a szennyvíz medencében való tartózkodására utal, általában néhány órától néhány napig terjedhet, attól függően, hogy milyen típusú szennyvízről van szó (Mészáros & Gyulavári, 2014).

Az ülepítési folyamat során a szennyvízben lévő ülepíthető anyagok leülepednek az aljzatra, így létrejön az üledék. Ezt az üledéket általában „ülepített iszapnak” nevezik. Az ülepített iszap összetétele változó lehet, de gyakran tartalmaz szerves anyagokat, amelyek a szennyvíz biológiai lebontása során keletkeznek (Nemessányi, 2016). Az ülepített iszap eltávolítása és kezelése kulcsfontosságú a következő szakaszok zavartalan működéséhez.

Az elsődleges ülepítés jelentősége abban rejlik, hogy drasztikusan csökkenti a szennyvíz szilárdanyag-tartalmát, ezzel elősegítve a biológiai tisztítás hatékonyságát. A biológiai tisztítási szakasz, amely a következő lépés, a szerves szennyezőanyagok lebontására épít, és ha az ülepítés nem történik meg megfelelően, a biológiai folyamatok hatékonysága csökkenhet, ami végső soron a tisztított víz minőségének romlásához vezethet (Somlyódy, 2002; Bíró & Nagy, 2001).

Az ülepítési folyamat során folyamatosan figyelemmel kell kísérni a medencék működését, és szükség esetén be kell avatkozni. A pH-érték, a hőmérséklet és a szennyvíz szilárdanyag-tartalma mind olyan paraméterek, amelyek befolyásolják az ülepítés hatékonyságát. Ezen kívül a leülepedett iszap kezelése is fontos, mivel az iszapban lévő szerves anyagok lebontása és ártalmatlanítása a telep fenntarthatóságának szempontjából elengedhetetlen (Mészáros & Gyulavári, 2014).

2.1.3. Biológiai tisztítás

A biológiai tisztítás a szennyvíztisztítás egyik legfontosabb és leghatékonyabb fázisa, amely során mikroorganizmusokat, főként baktériumokat alkalmaznak a szerves szennyezőanyagok lebontására. Ez a folyamat jelentős mértékben hozzájárul a szennyvíz minőségének javításához, és lehetővé teszi a szennyező anyagok jelentős csökkentését a tisztított vízben.

Az egyik legelterjedtebb biológiai tisztítási módszer az eleveniszapos rendszer. Ennek lényege, hogy a szennyvíz oxigénnel dúsított környezetbe kerül, ahol az aerob (oxigént igénylő) baktériumok lebontják a benne lévő szerves anyagokat. Az aktivált iszap folyamata a következő lépésekből áll:

1. Baktériumok szaporodása: Az aktivált iszap folyamata során a baktériumok a szennyvízben lévő tápanyagokat használják fel, és gyorsan szaporodnak. A baktériumok különböző fajai különböző típusú szerves anyagokat képesek lebontani, így széles spektrumú tisztítás érhető el (Jolánkai, 2007).

2. Iszap képződés: A baktériumok kolóniákba tömörülnek, amelyek kialakulása során további iszap képződik. Ez az iszap tartalmazza a lebontott szerves anyagokat és a baktériumokat is. Az iszap és a szennyvíz keveredése biztosítja, hogy a mikroorganizmusok folyamatosan érintkezzenek a szerves anyagokkal, így hatékonyan tudják lebontani azokat (Mészáros & Gyulavári, 2014).
3. Nitrifikáció és denitrifikáció: A biológiai tisztítás során nemcsak a szerves anyagokat, hanem a nitrogénvegyületeket is kezelik. A nitrifikáció során a baktériumok ammonium-ionokat nitritté, majd nitrátokká alakítanak (Jolánkai, 2007) Ezt követően a denitrifikáció során más mikroorganizmusok, anaerob környezetben, a nitrátokat nitrogén-gázzá alakítják, amely a levegőbe távozik. Ezek a folyamatok elengedhetetlenek a nitrogén körforgásában és a vízminőség javításában (Somlyódy, 2002).

A biológiai tisztításnak számos előnye van:

- Költséghatékonyság: Az aktivált iszap rendszer viszonylag alacsony működési költségekkel jár, mivel a mikroorganizmusok természetes úton képesek lebontani a szerves anyagokat.
- Fenntarthatóság: A biológiai tisztítás környezetbarát, mivel nem igényel nagy mennyiségű vegyszer alkalmazását, és a lebontott anyagok nagy része visszakerül a természetes körforgásba.
- Széles spektrumú hatékonyság: Az aktivált iszap rendszer képes eltávolítani a különböző típusú szerves szennyezőanyagokat, így alkalmazása során széleskörű tisztítás érhető el.

Bár a biológiai tisztítás rendkívül hatékony, számos kihívással is szembesül. A baktériumok érzékenyek a környezeti változásokra, például a hőmérséklet, a pH-érték vagy a tápanyagellátottság változásaira. Ezen tényezők optimalizálása érdekében folyamatos kutatások zajlanak a biológiai tisztítási technológiák fejlesztésére, beleértve a baktériumkultúrák kiválasztását és a folyamatok automatizálását is (Mészáros & Gyulavári, 2014).

2.1.4. Harmadlagos tisztítás és fertőtlenítés

A harmadlagos tisztítás (vagy finomtisztítás) a szennyvíztisztítás utolsó fázisa, amely célja a vízben még fennmaradó szennyező anyagok, mint például a foszforvegyületek, nehézfémek, és mikroszennyezők eltávolítása. Ez a lépés különösen fontos, mivel a szennyvíztisztítóból kibocsátott víznek meg kell felelnie a szigorú környezetvédelmi előírásoknak, hogy megvédje a vízi ökoszisztémákat és az emberi egészséget (Nemessányi, 2016; Bíró & Nagy, 2001).

A harmadlagos tisztítási folyamatok többféle technológiát ölelnek fel, amelyek a következőkre terjednek ki:

1. **Vegyszeres tisztítás:** A vegyszeres tisztítás során különböző vegyi anyagokat használnak a szennyeződések kicsapására vagy semlegesítésére. Például a foszfor eltávolításához alumínium- vagy vas-sókat alkalmaznak, amelyek reagálnak a foszfátokkal, így szilárd csapadékot képeznek, amelyet később eltávolítanak az ülepítő medencéből. Ez a módszer hatékonyan csökkenti a víz foszfortartalmát, amely a vízi növények túlzott szaporodásához vezethet (Mészáros & Gyulavári, 2014).
2. **Ultraszűrés:** Az ultraszűrés egy membrán alapú szűrési technológia, amely képes eltávolítani a kisebb részecskéket, például a baktériumokat, vírusokat, és más mikroszennyeződések. Az ultraszűrő membránok rendkívül kis pórusmérettel rendelkeznek, lehetővé téve, hogy csak a víz molekulái és néhány oldott anyag átjussanak rajtuk, míg a szennyeződések megfognak. Ez a módszer nemcsak a szennyező anyagok eltávolítására alkalmas, hanem a víz minőségének javítására is, mivel a maradék mikroorganizmusok szintjét is jelentősen csökkenti (Somlyódy, 2002; Jolánkai, 2007).
3. **Fertőtlenítés:** A fertőtlenítés célja a maradék mikroorganizmusok, például baktériumok és vírusok inaktiválása, hogy a kibocsátott víz biztonságos legyen. A fertőtlenítési módszerek közé tartozik az **ultraviola (UV) fény** alkalmazása, amely a mikroorganizmusok DNS-ét károsítja, így gátolja azok szaporodását. Az UV-fertőtlenítés előnye, hogy nem hagy maradványokat a vízben, ellentétben a kémiai fertőtlenítési módszerekkel, mint például a klórozás, ahol klórt használnak a mikroorganizmusok elpusztítására. A klórozás hatékony, de melléktermékei, például a klóraminok, potenciálisan károsak lehetnek az élőlényekre (Mészáros & Gyulavári, 2014).

A harmadlagos tisztítás során végzett eljárások nemcsak a szennyvíz minőségének javításához járulnak hozzá, hanem segítenek megelőzni a vízi ökoszisztémák károsodását is. A foszfor és a nitrogén feleslege a vízi környezetben algásodást okozhat, amely a víz oxigénszintjének csökkenéséhez és a halak, illetve más vízi élőlények elpusztulásához vezethet. A finomtisztítás tehát kulcsszerepet játszik a szennyvíz kezelésében, biztosítva, hogy a kibocsátott víz megfeleljen a szigorú környezetvédelmi normáknak (Nemessányi, 2016).

2.1.5. Iszapkezelés

Az iszapkezelés a szennyvíztisztító telepek működésének egyik legfontosabb és legkomplexebb aspektusa. A szennyvíztisztítás során keletkező iszap jelentős mennyiségű szerves anyagot, tápanyagot és ásványi anyagot tartalmaz, de egyidejűleg potenciális szennyező anyagokat is, például nehézfémeket és egyéb toxikus anyagokat. Ezen okok miatt a keletkező iszap megfelelő kezelése elengedhetetlen a környezet védelme és a fenntartható erőforrás-gazdálkodás szempontjából (Mészáros & Gyulavári, 2014).

Az iszapkezelés folyamatát több lépésre bonthatjuk:

1. **Előkezelés:** Az iszapkezelés első lépése az iszap előkezelése, amely magában foglalja a nagyobb szilárd részecskék, mint például a homok és a törmelék eltávolítását. Ezt a lépést gyakran centrifugálással vagy szűréssel végzik, hogy a finomabb részecskék és a felesleges víz mennyiségét csökkentsék.
2. **Anaerob lebontás:** A következő lépés a biogáz termelés érdekében végzett anaerob lebontás, amely során a szerves anyagok a baktériumok által lebomlanak oxigén nélküli környezetben. Ez a folyamat csökkenti az iszap térfogatát, miközben biogázt termel, amelyet energiaforrásként hasznosítani lehet. Az anaerob lebontás során keletkező biogáz metánt és szén-dioxidot tartalmaz, amelyek elégetésével hő- vagy elektromos energia nyerhető (Somlyódy, 2002; Jolánkai, 2007).
3. **Aerob stabilizálás:** Az anaerob lebontást követően az iszapot aerob környezetben is kezelhetik, hogy további szerves anyagokat bontsanak le. Ezen a lépésen a baktériumok a maradék szerves anyagokat lebontják, így az iszap stabilabbá válik, csökkentve a szagokat és a patogének számát. Ez a lépés segít biztosítani, hogy az iszap mezőgazdasági felhasználásra is alkalmas legyen.
4. **Tisztítás és kiszáritás:** A stabilizálás után az iszapot általában centrifugálással vagy szűréssel tisztítják és kiszáritják. Ez a folyamat a víztartalom csökkentésére szolgál, mivel a száraz iszap könnyebben kezelhető és szállítható. A kiszáritott iszap nagyobb tápanyagtartalommal rendelkezik, így mezőgazdasági trágyaként alkalmazható, feltéve,

hogy a szennyezőanyag-tartalma megfelel a helyi előírásoknak (Mészáros & Gyulavári, 2014).

A megfelelő iszapkezelés nemcsak a környezeti hatások csökkentése szempontjából fontos, hanem gazdasági előnyöket is kínál. A biogáz előállítása révén a szennyvíztisztító telepek képesek csökkenteni energiafogyasztásukat és önellátóbbá válni. Ezenkívül a mezőgazdasági területeken történő hasznosítás csökkenti a műtrágyák iránti keresletet, mivel a kezelt iszap gazdag tápanyagokban, például nitrogénben és foszforban, ami elősegíti a fenntartható mezőgazdasági gyakorlatokat (Nemessányi, 2016).

2.2. Biogáz előállítása szennyvízből

A szennyvízből történő biogáz előállítása egy anaerob (oxigénmentes) fermentációs folyamaton alapul, amelynek során a szennyvíziszapban található szerves anyagokat mikroorganizmusok bontják le. Ez a folyamat három fő fázisban zajlik: hidrolízis, savképződés és metáncépződés. Az anaerob környezetben történő lebontás végterméke a biogáz, amely elsősorban metánt (CH_4) és szén-dioxidot (CO_2) tartalmaz, kisebb mennyiségben pedig más gázok, például kén-hidrogén (H_2S) is előfordulhatnak.

Ez a módszer több szempontból is előnyös, hiszen hatékonyan hasznosítja a szennyvíziszapot, amely egyébként hulladékként kezelendő lenne, miközben jelentősen csökkenti a környezeti terhelést. A biogáz-termelés során keletkező metán értékes energiaforrásként használható, amely hő- és villamosenergia-termelésre is alkalmas (Kovács és László, 2005). Emellett a folyamat során csökken a szervesanyag-tartalom, ami hozzájárul a szennyvíziszap mennyiségének és kezelésének egyszerűsítéséhez (Smith, 2013). A biogáz előállításának ezen formája egyre nagyobb szerepet kap a körforgásos gazdaságban, mivel mind a hulladékkezelés, mind az energiaszektor fenntarthatóságához hozzájárul.

2.3. Levegővédelmi hatások vizsgálata

A levegővédelmi hatások vizsgálata kiemelt jelentőséggel bír a környezetvédelem szempontjából, mivel célja egy adott tevékenység vagy beruházás levegőminőségre gyakorolt hatásának pontos és részletes meghatározása. Ez a vizsgálat különösen fontos, ha a tevékenység jelentős légszennyező anyagok kibocsátásával jár, mint például ipari létesítmények, infrastrukturális beruházások, illetve energiaprojektek esetében. A levegővédelmi hatások vizsgálata során a szakértők a különböző kibocsátási forrásokat, azok intenzitását és a várható környezeti hatásokat elemzik, hogy biztosítsák a környezetvédelmi előírásoknak való

megfelelést, és minimalizálják az egészségügyi hatásokat, amelyek a levegőszennyezésből fakadhatnak (Zhang et al., 2020; European Commission, 2014).

A levegővédelmi hatások vizsgálata során figyelembe kell venni a helyi környezeti feltételeket, a meteorológiai viszonyokat és a kibocsátás szempontjából legnagyobb kockázatot jelentő forrásokat. A vizsgálatok megvalósítása érdekében alkalmazott módszerek közé tartozik a szennyező anyagok kibocsátási tényezőinek meghatározása, a légszennyezés terjedésének modellezése, valamint a levegőminőség mérésére és értékelésére szolgáló eszközök használata. A hatások vizsgálatának célja, hogy azonosítsa a légszennyezés legnagyobb forrásait, és ajánlásokat tegyen a kibocsátások csökkentésére irányuló intézkedésekre (Zhang et al., 2020; European Commission, 2014).

A Gödöllői szennyvíztisztító telep esetében a levegővédelmi hatások vizsgálata különös figyelmet érdemel, mivel a telep működése során különböző légszennyező anyagok, például metán (CH_4), ammónia (NH_3) és kén-hidrogén (H_2S) kibocsátásával kell számolni. A metán, mint erős üvegházhatású gáz, a szennyvíz anaerob lebontása során keletkezik, és jelentős mértékben hozzájárul a klímaváltozáshoz. Az ammónia, amely a szerves anyagok lebontásának következményeként jelenik meg, jelentős hatással lehet a levegőminőségre és a közvetlen környezetre, mivel irritáló hatású és hozzájárulhat a talaj- és vízszennyezéshez is. Ezen kívül a kén-hidrogén, amely szintén a szerves anyagok anaerob lebontásakor keletkezik, jellegzetes, kellemetlen szagával ismert, és ha a levegőbe kerül, súlyos egészségügyi kockázatokat okozhat, például légzési problémákat (Kovács & László, 2005).

A levegővédelmi hatások vizsgálata során a kibocsátott légszennyező anyagok hatásának pontos felmérése érdekében szükséges figyelembe venni a telep környezetének jellemzőit, beleértve a szélviszonyokat, a hőmérsékletet és a topográfiai sajátosságokat is. Továbbá, a levegővédelmi hatások vizsgálatának figyelembe kell vennie a helyi közösség és a környezetvédelmi hatóságok véleményét is, mivel a levegőminőség romlása közvetlen hatással van az ott élő emberek egészségére és életminőségére (Kovács & László, 2005).

2.4. Levegőtisztasági hatások egy szennyvíztisztító telepen

A szennyvíztisztító telepek működése különféle levegőszennyező anyagok kibocsátásával jár, amelyek közvetlenül és közvetetten befolyásolják a levegőminőséget. Az ilyen telepek emisszióinak összetettsége miatt kiemelten fontos a levegővédelmi előírások betartása, mivel a szennyező anyagok egészségügyi és környezeti problémákat okozhatnak (Szabó et al., 2017).

2.4.1. Gázemissziók (levegőszennyező gázok kibocsátása)

A szennyvíztisztító telepek működése során számos légszennyező gáz szabadul fel, amelyek különféle biológiai, fizikai és kémiai folyamatok eredményeként keletkeznek:

- **Ammónia (NH_3):** Az ammónia a szerves anyagok biológiai lebontása során képződik, különösen a nitrifikációs és denitrifikációs folyamatok során. E szennyező anyag nemcsak kellemetlen szagot eredményez, hanem hozzájárul a savas ülepedéshez is, amely jelentős ökológiai hatásokat okozhat (Kiss et al., 2018).
- **Hidrogén-szulfid (H_2S):** Az anaerob lebontás során képződő hidrogén-szulfid a rothasztó berendezésekből szabadul fel. Ez a gáz erősen kellemetlen szagú, és mérgező hatása miatt komoly egészségügyi kockázatokat jelenthet, különösen magas koncentrációkban (Horváth, 2019).
- **Szén-dioxid (CO_2):** A biológiai folyamatok során keletkező szén-dioxid nem közvetlenül mérgező, azonban üvegházhatású gázként hozzájárul a globális felmelegedéshez, amely hosszú távon környezeti problémákhoz vezethet (Tóth et al., 2020).
- **Metán (CH_4):** Az anaerob emésztési folyamatok során képződő metán szintén jelentős üvegházhatású gáz, amely globális szinten hozzájárul a klímaváltozáshoz. Emellett tűz- és robbanásveszélyes, különösen zárt térben történő felhalmozódás esetén (Balogh & Váradi, 2021).
- **Illékony szerves vegyületek (VOC):** A VOC-k a szerves anyagok bomlása során keletkeznek, és jelentős légszennyező hatással bírnak, különösen az ózonképződésben való részvételük miatt, amely tovább rontja a levegőminőséget (Farkas, 2017).

2.4.2. Szaghatások

A szennyvíztisztítók egyik leggyakoribb problémája a kellemetlen szagok megjelenése, amelyek az irodalmi források alapján főként az ammónia és hidrogén-szulfid kibocsátásának következményei. Ezek a szaghatások nemcsak a környező lakosság életminőségét

befolyásolják, hanem lakossági panaszokhoz is vezethetnek, különösen, ha a kibocsátó források a lakóépületek közelében helyezkednek el (Jakab, 2016).

2.4.3. Részecskeemissziók (PM10, PM2.5)

A szennyvíziszap kezelése és más mechanikai folyamatok során részecskék (por, aeroszolok) kerülhetnek a levegőbe. A PM10¹ és PM2.5² részecskék ismert egészségkárosító hatásai különösen a légzőszervi megbetegedések kialakulásában játszanak szerepet, mivel mélyen bejuthatnak a tüdőbe (Szilágyi & Németh, 2018).

A PM10 és PM2.5 részecskék súlyos egészségügyi problémákat okozhatnak, mivel a légzőrendszerbe jutva mélyen behatolhatnak a tüdő szöveteibe. A PM10 méretű részecskék a felső légutakban rakódhatnak le, míg a PM2.5 méretű részecskék elérhetik a tüdő mélyebb rétegeit, beleértve az alveolusokat, ahol a gázcsere zajlik (Dockery és Pope, 1994). A kutatások összefüggésbe hozták ezeket a részecskéket különféle légzőszervi megbetegedésekkel, mint például az asztma, bronchitis, valamint a tüdőrák kialakulása (Pope et al., 2002). Emellett a finom részecskék hozzájárulhatnak szív- és érrendszeri megbetegedésekhez is, mivel gyulladási folyamatokat indíthatnak el a véráramban.

A szennyvíziszap kezelése során a mechanikai folyamatok, például az iszap víztelenítése, szárítása és a szárított iszap mozgatása jelentős mennyiségű port bocsáthat ki a környezetbe. Ezek a folyamatok növelhetik a levegő részecskekoncentrációját, különösen, ha nincs megfelelően biztosítva a pormentesítés vagy a szűrés (Chen et al., 2017). A kibocsátott PM10 és PM2.5 részecskék így nemcsak a helyi levegőminőség romlását eredményezhetik, hanem a közeli lakosság egészségét is veszélyeztethetik.

¹ A PM10 (particulate matter 10) olyan szálló por, amely 10 mikrométernél kisebb átmérőjű részecskéket tartalmaz. Ezek a részecskék elérhetik a felső légutakat, és hosszú távon légúti és szív- és érrendszeri problémákat okozhatnak.

² A PM2.5 (particulate matter 2.5) részecskék kisebbek, 2.5 mikrométer átmérőjűek vagy annál kisebbek. Ezek sokkal mélyebbre, a tüdőbe és a véráramba is eljuthatnak, ezáltal nagyobb egészségügyi kockázatot jelentenek, beleértve a légzőszervi, szív- és érrendszeri betegségeket.

2.4.4. Biológiai szennyező anyagok

A szennyvíztisztító telepek képesek biológiai anyagokat, például baktériumokat, vírusokat és más mikroorganizmusokat kibocsátani, amelyek aeroszol formájában kerülhetnek a levegőbe. Bár ezek mennyisége általában alacsony, bizonyos körülmények között komoly biológiai kockázatokat jelenthetnek a telep dolgozói és a környező lakosság számára (Varga et al., 2019).

Noha a szennyvíztisztító telepeken kibocsátott biológiai szennyezőanyagok mennyisége általában alacsony, bizonyos körülmények között – például rossz légáramlás, nagy aktivitású iszapkezelési folyamatok vagy magas mikrobiális szennyezettség esetén – ezek az anyagok jelentős biológiai kockázatot jelenthetnek. A legnagyobb veszélynek a telep dolgozói vannak kitéve, akik közvetlenül érintkezhetnek a szennyezett levegővel, de a környező lakosság számára is komoly problémát okozhat, különösen, ha a szennyezőanyagok szélesebb területen terjednek el (Varga et al., 2019). A belélegzett mikroorganizmusok fertőzéseket, légúti megbetegedéseket, valamint allergiás reakciókat okozhatnak. Néhány esetben ezek a mikroorganizmusok antibiotikum-rezisztens törzseket is tartalmazhatnak, ami még nagyobb kockázatot jelent a közegészségügy számára (Xu et al., 2018).

A biológiai aeroszokok képződése leginkább a szennyvíz kezelési folyamataiból ered. A szellőztetési, levegőztetési rendszerek működése során a vízfelszín közelében levő mikroorganizmusok a levegőbe kerülhetnek, ahol aeroszol formában terjednek. Hasonlóan, az iszap kezelésekor, a mechanikai beavatkozások – mint a keverés, mozgatás vagy szárítás – során a levegőbe juthatnak ezek az anyagok. Bár a keletkező aeroszokok mennyisége kis koncentrációjú, a folyamatos expozíció hosszú távon egészségkárosodást okozhat (Franzetti et al., 2011).

2.4.5. Másodlagos szennyező anyagok

A levegőbe kibocsátott gázok, mint az ammónia és a VOC-k, különféle kémiai reakciókba léphetnek a légkörben. Például az ammónia és a nitrogén-oxidok reakciója részecskés anyagokat, például ammónium-nitrátokat hozhat létre, amelyek a légköri szálló por részét képezik. Ezek a másodlagos szennyező anyagok különösen káros hatással lehetnek az emberi egészségre, különösen a légzőszervi és szív-érrendszeri betegségek szempontjából (Fekete, 2020).

2.5. Levegőszennyező anyagok kibocsátási forrásai

A szennyvíztisztító telepeken a légszennyező anyagok kibocsátásának forrásai különböző szennyvízkezelési folyamatokból származnak. Ezek a folyamatok és a telep üzemeltetése során végzett tevékenységek számos kibocsátási pontot képeznek, amelyek mind hozzájárulnak a levegőminőség romlásához.

1. Biológiai tisztítási folyamatok

A biológiai tisztítás a szennyvízkezelés legfontosabb lépése, amely során mikroorganizmusok segítségével bontják le a szerves anyagokat.

- Anaerob lebontás: Anaerob környezetben a szerves anyagok lebontása során metán (CH_4), ammónia (NH_3) és kén-hidrogén (H_2S) keletkezik. Az anaerob lebontás folyamatainak jelentős metánkibocsátása lehet, amely 25-ször erősebb üvegházhatású gáz, mint a szén-dioxid (IPCC, 2014). A Gödöllői szennyvíztisztító telepen végzett mérések szerint a metán kibocsátása éves szinten jelentős mértékben hozzájárulhat a levegőszennyezéshez (Kovács & László, 2005).
- Aerob lebontás: Aerob körülmények között a szerves anyagok lebontásakor szén-dioxid (CO_2) és víz (H_2O) keletkezik. A helytelenül zajló aerob folyamatok során az ammónia kibocsátás is jellemző, amely irritáló hatással bír, és szennyezheti a levegőt (Tchobanoglous et al., 2014).

2. Ülepítési folyamatok

Az ülepítési folyamatok során a szennyvízben található szilárd anyagok leülepednek, és a szennyvízkezelés szempontjából fontos lépés a szilárd anyagok eltávolítása.

- Gázok felszabadulása: Az ülepítési folyamat során a lebegő részecskék sűrűsödése következtében kén-hidrogén és egyéb gázok szabadulhatnak fel. A nem megfelelő üzemeltetés és a szellőztetési rendszer hibái növelhetik a légszennyezés kockázatát (Metcalf & Eddy, 2014).
- Szelektív leülepedés: Az ülepítési folyamat hatékonyságát befolyásolja a tartály mérete, a szennyvíz áramlása és a tartózkodási idő. Ha a leülepedés nem megfelelő, az a gázok koncentrációjának növekedését eredményezheti (Wang et al., 2019).

3. Iszapkezelési folyamatok

Az iszapkezelés magában foglalja az iszap stabilizálását, kiszáraitását és szállítását. Ezek a folyamatok szintén fontos szerepet játszanak a levegőszennyezés szempontjából.

- Stabilizálás: Az iszap stabilizálása anaerob vagy aerob körülmények között zajlik, ahol a szerves anyagok lebontásakor metán és kén-hidrogén keletkezik (Zhang et al., 2020).

Az iszapkezelés során keletkező gázok jelentős légszennyező, szagkibocsátó forrást képviselhetnek.

- Kiszáritás: Az iszap kiszáritása során a nedvesség eltávolítása, az intenzív manipuláció miatt a levegőbe kilépő gázok koncentrációja megnövekedhet. A kiszáritási folyamatok optimalizálása elengedhetetlen a légszennyezés csökkentése érdekében (López et al., 2017).

4. Kezelési és karbantartási tevékenységek

A szennyvíztisztító telepek üzemeltetése során végzett kezelési és karbantartási műveletek is hozzájárulhatnak a légszennyező anyagok kibocsátásához.

- Iszap szállítása: Az iszap szállítása során különféle gázok, például kén-hidrogén és ammónia, kibocsátódhatásra kerülhetnek. A szállítási rendszerek és a tárolási körülmények befolyásolják a gázok koncentrációját (Friedrich et al., 2019).
- Berendezések tisztítása: A tisztítás során keletkező por és gázok szintén hozzájárulhatnak a levegő szennyezéséhez. A berendezések megfelelő karbantartása és tisztítása elengedhetetlen a kibocsátások minimalizálása érdekében (Pérez et al., 2016).
- Szellőztető rendszerek karbantartása: Az állandó szellőztető rendszerek karbantartása kulcsfontosságú a levegőminőség megőrzése szempontjából. A nem megfelelő karbantartás növelheti a kibocsátott gázok koncentrációját, így hozzájárulva a légszennyezéshez (European Commission, 2014).

3. Anyag és módszer

3.1. Vizsgálati terület

A Gödöllői szennyvíztisztító telep (**1.ábra**) Gödöllő és környékének szennyvízkezeléséért felelős, beleértve mind a lakossági, mind az ipari szennyvíz tisztítását. A telep napi szennyvízkezelési kapacitása 10.000-20.000 köbméter között változik, amely függ a lakosság számától, valamint az ipari tevékenységek által kibocsátott szennyvíz mennyiségétől és szennyezettségétől. Az ipari szennyvíz gyakran nagyobb szennyezettségű, így különleges figyelmet és speciális kezelési eljárásokat igényel. A telep képes kezelni a csúcsidőszaki terheléseket is, például heves esőzések idején, amikor a csapadékvíz bekerül a szennyvízcsatornába, ideiglenesen megnövelve a kezelendő szennyvíz mennyiségét. Az összesített tárolási kapacitás, amely magában foglalja az iszapot, a tisztított vizet és a vésztározókat, 15.000-30.000 köbméter között van. A telep rendszeresen frissíti technológiai berendezéseit, hogy lépést tartson az iparági újításokkal és növelje a hatékonyságot. A fenntarthatóság jegyében egyre nagyobb szerepet kapnak az energiatakarékos megoldások, például a biogáz hasznosítása, amely a biológiai tisztítás melléktermékeként keletkezik, és energiát biztosít a telep működéséhez. A biogáz hasznosítása nemcsak a telep energiaigényét csökkenti, hanem hozzájárul a környezeti fenntarthatósághoz is. Az ipari és lakossági szennyvízkezelés kulcsfontosságú a helyi vízminőség fenntartása szempontjából, mivel a tisztított szennyvíz visszakerül a természetes vízfolyásokba. Ezért különösen fontos a korszerű, fenntartható technológiák alkalmazása, hogy minimalizálni lehessen a környezeti terhelést és biztosítani lehessen a megfelelő vízminőséget.

A levegővizsgálat a Gödöllői szennyvíztisztító telep közvetlen környezetében zajlott, ahol a telep működése potenciálisan hatással lehet a levegő minőségére. A vizsgálati területen három különböző pont került kijelölésre, amelyek eltérő távolságra helyezkedtek el a teleptől: közvetlenül a telep mellett (0 méter), 500 méterre és 1 kilométer távolságban. E három ponton végeztem a levegőminőségi méréseket, melyek célja az volt, hogy feltérképezsem a levegőszennyezés térbeli eloszlását és koncentrációit.



1.ábra - A Gödöllői szennyvíztisztító telep egy része (Fotó: Geröcs Bernadett, Gödöllő, 2023.09.25.)

3.2. Levegőminőségi mérések

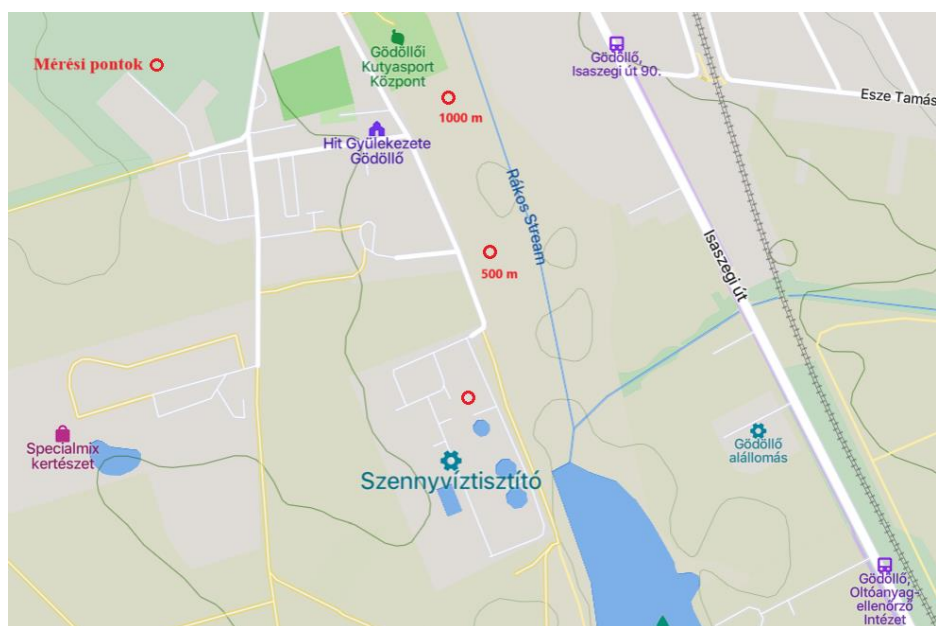
A levegőminőségi vizsgálatok célja az volt, hogy meghatározzam a Gödöllő szennyvíztisztító telep környezetében található levegőszennyező anyagok koncentrációit, és ezeket összevegyem a határértékekkel, valamint a lakossági észlelésekkel (**3.ábra**). A mérések során több különböző szennyező anyagra fókuszáltam, amelyek jelenléte jellemző a szennyvíztisztítási folyamatokhoz köthető emissziókban.

3.2.1. Mérési helyszínek

Három mérési helyszínt jelöltem ki a telep környezetében (**2.ábra**):

1. **Telep közvetlen közelében:** A mérőeszközöket a telep legközelebbi pontján jelöltem ki, hogy közvetlenül a kibocsátási forrásnál történjen a mérés.
2. **500 méter távolságban:** A teleptől 500 méterre jelöltem ki egy második mérési pontot, ahol a szennyező anyagok koncentrációjának csökkenését vártam.
3. **1 kilométer távolságban:** Egy harmadik mérőpontot 1 kilométerre jelöltem ki, hogy értékelhessem a szennyezés terjedését nagyobb távolságokon.

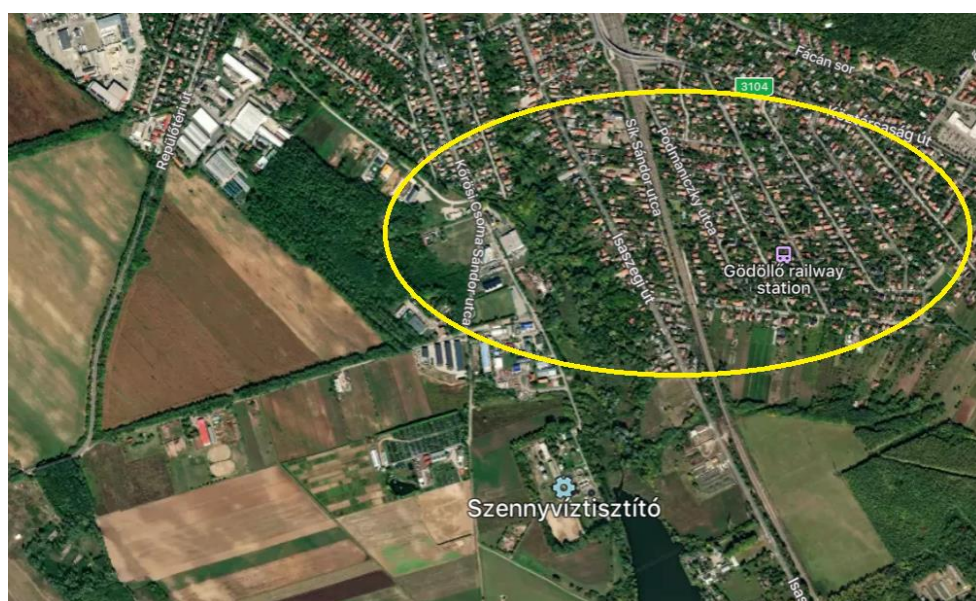
A mérési pontokat úgy választottam ki, hogy azok különböző irányokban legyenek a szennyvíztisztító teleptől, figyelembe véve a domináns szélirányokat is.



2.ábra - A mérési pontok elhelyezkedése a területen (Forrás: Maródi György)

3.2.2. A mérések időzítése

A méréseket 2024 májusa és szeptembere között végeztem, hogy a tavaszi, nyári és kora őszi időszakok különböző légköri viszonyait is megfigyelhessem. Hetente két napon hajtottam végre mérést, amely során minden kijelölt mérési ponton gyűjtöttem adatot. A mérések napközben történtek.



3.ábra - Beérkező panaszok lokációja (Forrás: Maródi György)

3.2.3. Alkalmazott műszerek és módszerek

A különböző szennyezőanyagok koncentrációinak mérésére különféle műszereket alkalmaztam, amelyek mindegyike alkalmas volt a levegőminőség pontos és megbízható mérésére. Az alábbiakban részletesen ismertetem a mért szennyezőanyagokat és a hozzájuk használt mérési módszereket.

Ammónia (NH₃) mérése

Az ammónia szintjét elektrokémiai érzékelők (**4.ábra**) segítségével mértem, amelyek pontosan képesek kimutatni az alacsony koncentrációkat is ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ tartományban). Az elektrokémiai érzékelők működési elve az, hogy az ammónia gáz a szenzor felületén reakcióba lép, amely elektromos jelet generál. Ezt a jelet egy adatrögzítő egység dolgozza fel, amely közvetlenül $\mu\text{g}/\text{m}^3$ értékekben adja meg az ammónia koncentrációját.

A mérési tartomány az ammónia esetében 1–100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ között volt, ami lehetővé tette, hogy összevegyem az eredményeket az egészségügyi határértékekkel.

Kén-hidrogén (H₂S) mérése

A kén-hidrogén koncentrációját szintén elektrokémiai érzékelők segítségével mértem. A kén-hidrogén rendkívül érzékeny szagú gáz, amely már nagyon alacsony koncentrációkban is érzékelhető az emberi orr számára (5–7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ körül). Ezért a mérések során különösen fontos volt a nagy pontosság.

A méréseket hordozható H₂S érzékelőkkel végeztem, amelyek a kén-hidrogénre specifikus membránnal rendelkeztek. A mérési tartomány 1–50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, és külön figyelmet fordítottam arra, hogy ezeket az adatokat a lakossági szagpanaszokkal összevegyem.

Elektrokémiai érzékelő: **Aeroqual Series 200**



4.ábra - Ammónia és kén-hidrogén koncentráció meghatározására használható elektrokémiai érzékelő (Fotó:Maródi György, Gödöllő, 2024.09.10.)

Az Aeroqual Series 200 egy hordozható elektrokémiai érzékelő, amelyet kifejezetten a levegőminőség mérésére terveztek. Különböző szennyező anyagok, például kén-hidrogén (H_2S), ammónia (NH_3) és egyéb gázok valós idejű mérésére alkalmas. A telep számára ideális, mivel robusztus kialakítással és nagy érzékenységgel rendelkezik.

PM10 és PM2.5 részecskék mérése

A szálló por koncentrációinak (PM10 és PM2.5) mérésére (**5.ábra**) egy speciális optikai elven működő készüléket alkalmaztam, amely lézeres detektor segítségével határozta meg a levegőben lévő részecskék számát és méretét. A mérőeszköz képes volt különválasztani a PM10 és a PM2.5 részecskéket, melyek jelentős hatással lehetnek az emberi egészségre, különösen a légzőszervi megbetegedésekre.

A porlasztási elven működő készülék folyamatos adatgyűjtést végzett, így képes voltam valós időben követni a szennyezőanyagok koncentrációinak alakulását. A PM10 méréseknél a mérési tartomány $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ volt, míg a PM2.5 esetében $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Műszer: **Grimm Aerosol Technik Model 1.109**



5.ábra - Szálló por koncentrációinak mérésére használható műszer (Fotó:Pápai Dóra, Gödöllő, 2021.08.12.)

A Grimm Aerosol Technik Model 1.109 egy korszerű, hordozható részecskemérő műszer, amely kifejezetten a levegőben található szilárd részecskék, beleértve a PM10 és PM2.5 részecskéket, pontos mérésére lett kifejlesztve. Ez a műszer ideális a levegőminőség folyamatos monitorozására, különösen olyan helyszíneken, mint a Gödöllői Szennyvíztisztító.

Metán (CH₄) mérése

A metán koncentrációjának mérésére **(6.ábra)** egy hordozható infravörös spektroszkópiás mérőműszert használtam, amely a metán specifikus elnyelési hullámhosszán működött. A metán ugyan nem rendelkezik szaggal, de fontos üvegházhatású gáz, ezért a telep környezeti hatásainak értékeléséhez fontos volt a mérés.

A metán mérésekor az eredményeket ppm (parts per million) egységben adtam meg, és a mérések eredményei 1.5–4 ppm között mozogtak. Bár a metán nem tartozik a közvetlenül szabályozott légszennyező anyagok közé, jelentős hatása lehet a globális felmelegedésre, ezért is rögzítettem az adatokat.

Műszer: **Alphasense CH4-METAN Elektrokémiai Érzékelő**



6.ábra - Metán koncentrációjának mérésére használható műszer

(Forrás:Gassensor)

Az Alphasense CH4-METAN egy elektrokémiai érzékelő, amelyet kifejezetten a metán gáz koncentrációjának mérésére terveztek. Ez a készülék ideális a levegőminőség monitorozására, különösen olyan helyszíneken, mint a szennyvíztisztítók, ahol a metán gyakori szennyező anyag.

3.3. Meteorológiai adatok

A mérések pontossága érdekében meteorológiai adatokat is gyűjtöttem a helyszínen telepített meteorológiai állomás segítségével. Az állomás az alábbi adatokat rögzítette:

- **Szélesség és szélirány**
- **Hőmérséklet**
- **Légköri nyomás**
- **Páratartalom**

Ezen adatok hozzájárultak a levegőszennyező anyagok térbeli eloszlásának jobb megértéséhez, különösen a szélmozgások szerepét vizsgálva a szennyezőanyagok terjedésében.

3.3.1. Meteorológiai adatok gyűjtése

A levegőminőség szempontjából a meteorológiai adatok gyűjtése alapvető fontosságú, mivel a meteorológiai körülmények, például a szélesség, szélirány, hőmérséklet, páratartalom és csapadék jelentős hatással vannak a levegőben található szennyező anyagok eloszlására és koncentrációjára. A Gödöllői Szennyvíztisztító Telepen a meteorológiai adatok gyűjtésének jellemzői a következők voltak.

Célok

A meteorológiai adatok gyűjtésének fő célja a levegőminőség alakulásának megértése és a szennyező anyagok terjedésének nyomon követése. Ezen adatok segítenek a következő célok elérésében:

- **Szennyezőanyag terjedésének modellezése:** A meteorológiai adatok ismeretében könnyebben modellezhetők a levegőben található szennyező anyagok viselkedése és terjedése.
- **Javítási intézkedések tervezése:** A szennyvíztisztító telep működésével kapcsolatos javítási intézkedések és fenntartási munkák tervezése során a meteorológiai adatok segítenek az optimális időpontok kiválasztásában.
- **Lakossági panaszok kezelése:** A meteorológiai adatok figyelembevételével a lakossági panaszok hátterének elemzése és a problémák gyorsabb megoldása válik lehetővé.

Mérési eszközök

A meteorológiai adatok gyűjtéséhez különböző eszközök és berendezések állnak rendelkezésre:

Automatikus meteorológiai állomás

Egy automatikus meteorológiai állomás (AMS) lehetővé teszi a meteorológiai paraméterek folyamatos, automatikus mérését (7.ábra). A főbb érzékelők és jellemzők a következők:

- **Szélesség és szélirány érzékelő:** Az anemométer és a szélirány-érzékelő folyamatosan méri a szél sebességét és irányát. Az adatokat óránkénti átlagok formájában rögzítik, lehetővé téve a szélviszonyok változásainak nyomon követését.
- **Hőmérséklet érzékelő:** Digitális hőmérséklet-érzékelő folyamatosan méri a levegő hőmérsékletét, amely segít az időjárási körülmények és a szennyezőanyagok reakcióinak megértésében.
- **Páratartalom érzékelő:** A hygrométer folyamatosan méri a relatív páratartalmat, amely fontos szerepet játszik a szennyezőanyagok viselkedésében és a légkör kémiai reakcióiban.
- **Csapadék mérő:** Az automatikus pluvióméter méri a csapadék mennyiségét, amely segít megérteni a csapadék hatását a levegő szennyezőanyagainak eltávolítására.

Hordozható meteorológiai eszközök

Ezek az eszközök lehetővé teszik a helyszíni mérések gyors és rugalmas elvégzését:

- **Hordozható anemométer:** Lehetővé teszi a szélesség és irány helyszíni mérését a szennyvíztisztító különböző pontjain.
- **Digitális hőmérő és páratartalom-érzékelő:** Ezek az eszközök segítenek a levegő hőmérsékletének és páratartalmának gyors és pontos mérésében.



7.ábra - Meteorológiai állomás (Fotó: Maródi György, Gödöllő, 2024.09.18.)

Adatgyűjtés és feldolgozás

A meteorológiai adatok gyűjtését és feldolgozását a következő lépések jellemzik:

- **Adatnaplózás:** A meteorológiai állomás folyamatosan rögzíti a mért adatokat, amelyeket adatnaplózó rendszerrel tárolnak. A tárolt adatokat rendszeresen letöltik a helyi számítógépre vagy felhőalapú rendszerbe, ahol további elemzések végezhetők.
- **Adatkiértékelés:** Az összegyűjtött meteorológiai adatok elemzése segít a levegőminőség alakulásának és a meteorológiai tényezők hatásának megértésében. Az adatok összehasonlíthatók a szennyezőanyagok mért koncentrációival, így lehetőség nyílik a trendek és mintázatok azonosítására.
- **Térbeli és időbeli elemzés:** A meteorológiai adatok időbeli és térbeli eloszlásának vizsgálata segít azonosítani a levegőminőség változásait és a szennyező források hatásait. Az adatokat grafikonok, táblázatok és térképek formájában is megjeleníthetjük, megkönnyítve ezzel az eredmények értékelését.

3.4. Lakossági bejelentések gyűjtése és elemzése

A levegővédelmi mérések mellett fontos szempont volt a lakossági tapasztalatok és panaszok figyelembevétele. Az elmúlt három év során beérkezett bejelentéseket a telep jegyzőkönyveiből gyűjtöttem össze és elemeztem. A bejelentések főként az alábbiakra terjedtek ki:

- **Szagpanaszok**, melyek gyakran a kén-hidrogénhez (H_2S) kapcsolódtak.
- **Légzőszervi panaszok**, például köhögés, légszomj és irritáció, amelyeket a levegőminőség romlásával hoztak összefüggésbe.
- **Az észlelések időpontja**, amelyek lehetővé tették az időszakos mintázatok felismerését (pl. szélcsendes, meleg időszakokban gyakoribb panaszok).

A bejelentéseket kategorizáltam és térben is elemeztem, hogy azokat összehasonlíthassam a levegőminőségi mérések helyszíneivel és időpontjaival. Az elemzési módszerek közé tartozott az észlelések térbeli és időbeli megoszlásának vizsgálata, valamint a panaszok súlyosságának elemzése.

3.5. Adatfeldolgozás és statisztikai elemzés

A mérésekből és a lakossági bejelentésekből származó adatokat statisztikai módszerekkel dolgoztam fel. Az elemzés során különös figyelmet fordítottam az alábbiakra:

- A szennyezőanyag-koncentrációk térbeli változásai a telep közelsége alapján.
- A mért koncentrációk időbeli változásai a meteorológiai tényezők hatására.
- Az objektív mérési adatok és a lakossági észlelések közötti összefüggések elemzése.

Az adatok elemzésekor összehasonlító vizsgálatokat végeztem a lakossági bejelentések és a kén-hidrogén (H_2S) koncentrációk között, hogy igazoljam a szagpanaszok objektív hátterét. Továbbá időbeli elemzést végeztem, hogy azonosítsam a levegőminőség és a bejelentések közötti időbeli egybeeséseket, különösen a szélsébség és a hőmérséklet függvényében.

4. Eredmények

A levegővédelmi vizsgálatok célja az volt, hogy pontos mérésekkel értékeljem a Gödöllő szennyvíztisztító telep környezeti hatásait a levegőminőségre. Az eredményeket a meteorológiai adatokat is figyelembe véve (**1.táblázat**) összehasonlítottam a lakosság által tett bejelentésekkel, melyek az elmúlt években a telep környezetében fellépő kellemetlen szagokkal és egészségügyi panaszokkal kapcsolatosak voltak (**3.táblázat**).

4.1. Lakossági bejelentések összesítése

Az elmúlt év során a Gödöllő szennyvíztisztító telep közelében lakók több, mint 30 bejelentést tettek a telep felé. A bejelentések főbb jellemzői a következők voltak:

- **Szagpanaszok:** 25 bejelentés kifejezetten kellemetlen szagokat érzett, főként a reggeli és esti órákban, ami gyakran a kén-hidrogénhez (H_2S) hasonló szaggal volt jellemezhető.
- **Légzőszervi panaszok:** 12 bejelentés rövidtávú légzési nehézségekről és köhögésről számolt be.
- **Időszakosság:** A bejelentések többsége a nyári hónapokra és szélcsendes időszakokra koncentrálódott, amikor a levegőben történő szennyező anyagok koncentrációja magasabb lehet.

4.2. Levegővédelmi hatásvizsgálat eredményei

Az elvégzett mérések alapján a szennyvíztisztító telep körüli levegőminőségi vizsgálatok során különböző légszennyező anyagokat azonosítottam, mint az ammónia (NH_3), a kén-hidrogén (H_2S), a szálló por (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$), valamint metán (CH_4) és ezeket mindhárom kijelölt mérési ponton külön feljegyeztem (**2.táblázat**). Az alábbiakban ezek koncentrációit és a lakossági észlelésekkel való összehasonlítást mutatom be.

1.táblázat. Meteorológiai adatok (Gödöllő, 2024)

Hónap	Átlaghőmérséklet (°C)	Átlagos szélsebesség (m/s)	Szélirány (domináns)	Csapadék (mm)	Páratartalom (%)
2024. május	18	3.2	Északnyugat	55	72
2024. június	21	2.8	Délkelet	45	68
2024. július	24	2.5	Kelet	30	65
2024. augusztus	26	2.3	Délkelet	25	60
2024. szeptember	20	3.0	Nyugat	60	70

2.táblázat. A szennyezőanyagok mért koncentrációja átlagosan a mérési pontokon (Gödöllő, 2024)

Szennyezőanyag	Telep közvetlen közelében (0 m)	500 méter távolságra	1 kilométer távolságra
Ammónia (NH₃)	22 µg/m ³	12 µg/m ³	7 µg/m ³
Kén-hidrogén (H₂S)	6 µg/m ³	4 µg/m ³	2 µg/m ³
PM10	43 µg/m ³	38 µg/m ³	28 µg/m ³
PM2.5	21 µg/m ³	22 µg/m ³	16 µg/m ³
Metán (CH₄)	2600 µg/m ³	1640 µg/m ³	980 µg/m ³

- Ammónia (NH₃):** A mért ammónia koncentrációja a telep közvetlen közelében (22 µg/m³) jelentősen meghaladja az 500 méterre (12 µg/m³) és 1 kilométerre (7 µg/m³) mért értékeket.
- Kén-hidrogén (H₂S):** A kén-hidrogén koncentrációja a telep közelében 6 µg/m³ volt, ami szintén csökkent a távolsággal.
- PM10 és PM2.5:** A PM10 és PM2.5 részecskék koncentrációja is csökkent a távolsággal. A telep közelében a PM10 43 µg/m³, míg a PM2.5 21 µg/m³ volt.
- Metán (CH₄):** A metán koncentrációja 2600 µg/m³ a telep közvetlen közelében, és szintén csökken a távolság növekedésével.

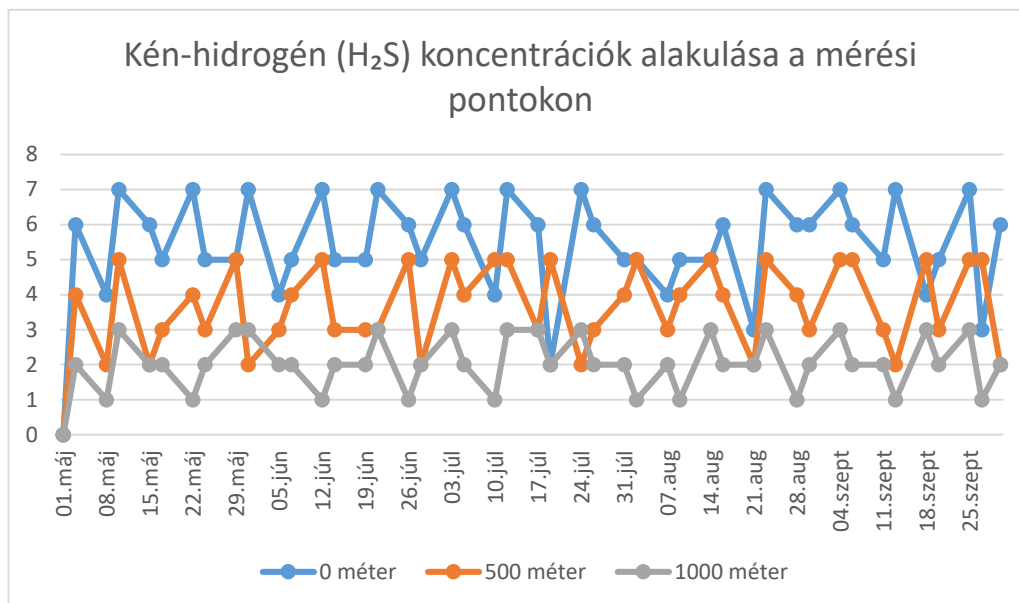
Az adatok azt mutatják, hogy a szennyezőanyagok koncentrációja a telep közvetlen közelében a legmagasabb, és a távolság növekedésével jelentős csökkenés tapasztalható. Azonban fontos figyelemmel kísérni a levegőminőséget, különösen a nyári hónapokban, amikor a lakossági panaszok is fokozódhatnak.

3.táblázat. A szennyezőanyag koncentrációja és lakossági panaszok (Gödöllő, 2024)

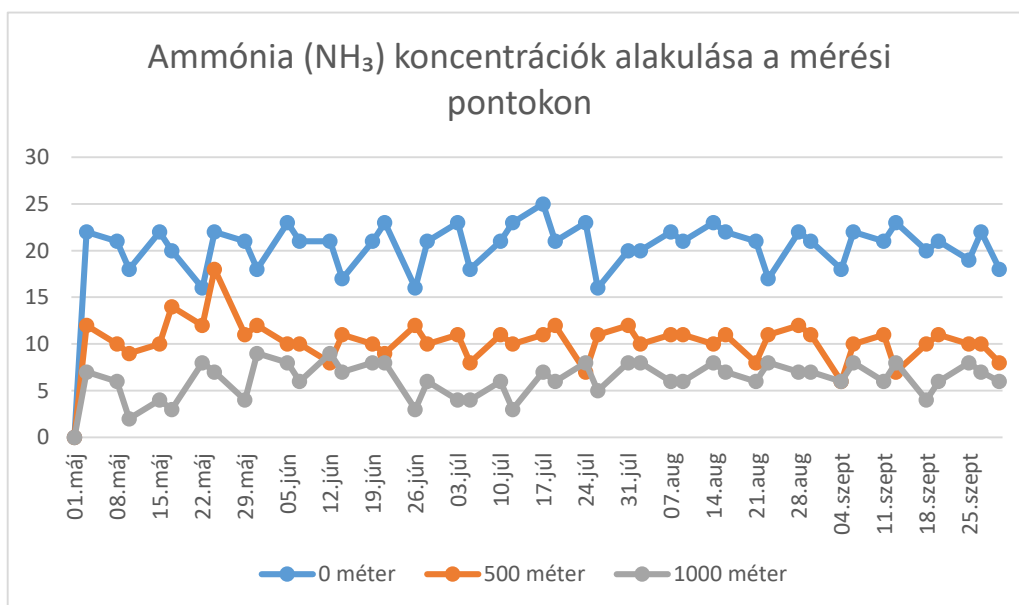
Szennyezőanyag	Mért koncentráció (0–1000 m)	Lakossági észlelés
Ammónia (NH ₃)	1–25 µg/m ³	Nem jelentettek szaggal kapcsolatos panaszokat.
Kén-hidrogén (H ₂ S)	1–7 µg/m ³	85%-ban kellemetlen, "záptojás" szagként érzékelték.
PM10	28–43 µg/m ³	Nem jelentettek specifikus panaszokat, de összefüggés lehet légzési problémákkal.
PM2.5	14–22 µg/m ³	Nincs közvetlen panasz, de hozzájárulhat a légúti tünetekhez.
Metán (CH ₄)	980-2600 µg/m ³	Nem érzékelhető szagként, nem voltak lakossági észlelések.

1. **Ammónia (NH_3):** A mért ammónia koncentrációja 12–22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ között változott, és a lakosság nem jelentett az ammónia jellemző szagával kapcsolatos panaszokat. Ez arra utal, hogy ezen a szinten az ammónia nem okozott érzékelhető problémát (**9. ábra**).
2. **Kén-hidrogén (H_2S):** A kén-hidrogén koncentrációja 2–6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ között mozgott (**8. ábra**), és a lakosság 85%-a kellemetlen, "záptojás" szagként érzékelte (a vonatkozó szakirodalomban (**http1.**) a kén-hidrogén jellemzően érzékelt szagát "záptojás" szagként jellemzik). Ez a magas arány egyértelműen jelzi, hogy a kén-hidrogén jelenléte komolyabb panaszokat válthat ki a telep közelében élők körében.
3. **PM10:** A PM10 részecskék mért koncentrációja 28–43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ volt (**10. ábra**). A lakosság nem jelentett specifikus panaszokat, de a koncentrációval összefüggésbe hozható légzési problémákra figyelmeztető jelek lehetnek, ami további kutatásokra indokolható.
4. **PM2.5:** A PM2.5 részecskék koncentrációja 16–22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ között alakult (**11. ábra**). Bár közvetlen panaszok nem érkeztek, a jelenléte hozzájárulhat a légúti tünetek kialakulásához, így a monitorozás folytatása javasolt.
5. **Metán (CH_4):** A metán koncentrációja 980–2600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ között változott, de szagként nem érzékelhető, így a lakosság körében nem voltak észlelések. A metán esetében a légszennyezési panaszok hiánya várható, mivel a gáz nem okoz szaghatást, azonban a koncentrációk nyomon követése fontos lehet a potenciális környezeti hatások szempontjából.

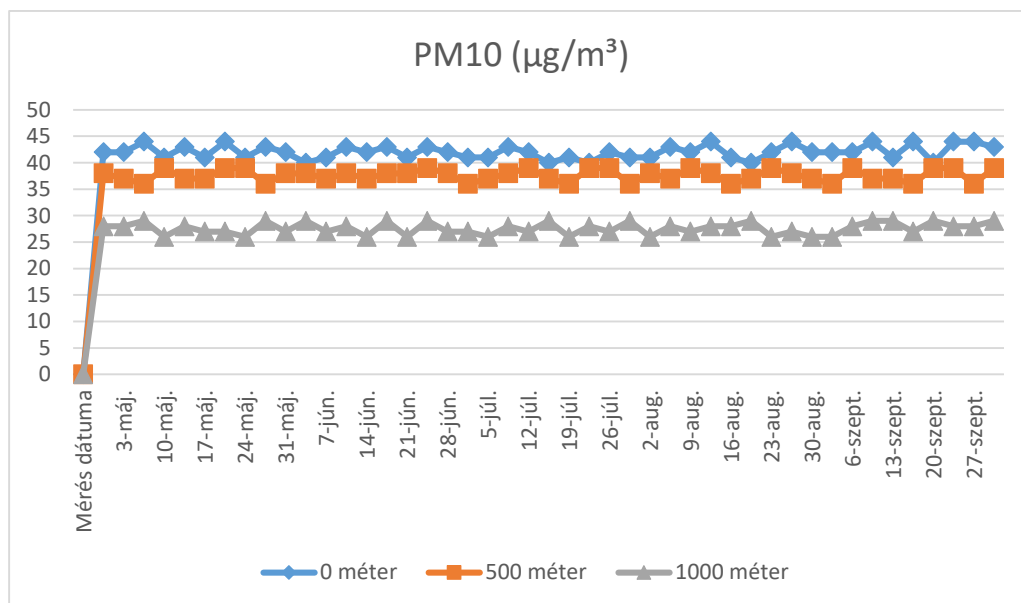
Az észlelések és a mérések összevetése azt mutatja, hogy a szennyezőanyagok koncentrációja és a lakossági panaszok közötti kapcsolat változó. Míg az ammónia és a metán esetében nem tapasztaltak panaszokat, a kén-hidrogén jelentős kellemetlenségeket okozhatott, ami figyelmet igényel. A PM10 és PM2.5 részecskék esetében, bár konkrét panaszok nem érkeztek, a potenciális egészségügyi kockázatok miatt érdemes további vizsgálatokat végezni.



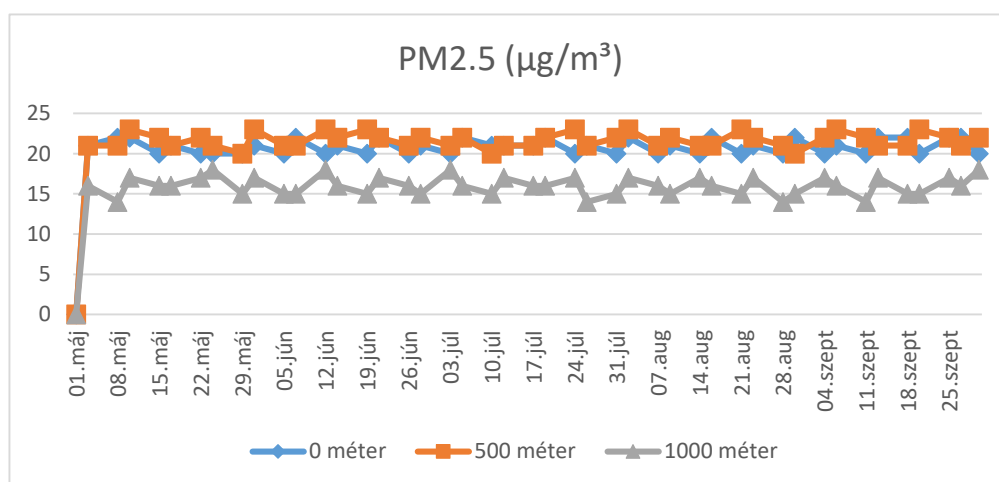
8. ábra - Kén-hidrogén koncentrációk alakulása a mérési pontokon (Gödöllő, 2024)



9. ábra - Ammónia koncentrációk alakulása a mérési pontokon (Gödöllő, 2024)



10. ábra - PM10 koncentrációk alakulása a mérési pontokon (Gödöllő, 2024)



11. ábra - PM2.5 koncentrációk alakulása a mérési pontokon (Gödöllő, 2024)

A levegőminőségi paraméterek időbeli alakulása egyértelműen megmutatja, hogy a nyári hónapokban a levegőszennyezés mértéke nőtt, különösen a kén-hidrogén szagának észlelése miatt. A lakossági panaszok száma is emelkedett ezen időszak alatt, amely

figyelmeztet a szennyezőanyagok koncentrációjának csökkentésére és a levegőminőség javítására irányuló intézkedések szükségességére.

4.3. Elemzés és összehasonlítás

Az adatok alapján a kén-hidrogén (H_2S) szintje volt a leginkább összhangban a lakossági bejelentésekkel. A mérések szerint a kén-hidrogén koncentrációja a szennyvíztisztító telep közvetlen közelében elérte a $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -t, ami meghaladja a szagérzékelési küszöbértéket ($5\text{--}7 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ez magyarázza a lakosság által tapasztalt kellemetlen szagokat, különösen a szélcsendes időszakokban, amikor a szennyezőanyagok koncentrálódhatnak.

A PM_{10} és $\text{PM}_{2.5}$ koncentrációk ugyan nem eredményeztek közvetlen lakossági panaszokat. A lakosság által említett légzési nehézségek és köhögéses panaszok összefügghetnek a finom részecskék jelenlétével, bár ezt további vizsgálatokkal lehetne pontosan igazolni.

Érdekes módon az ammónia (NH_3) szintje is jelentős volt a telep közelében ($22 \mu\text{g}/\text{m}^3$), de a lakosság nem jelentett ezzel kapcsolatos szagpanaszokat. Ez azt sugallja, hogy az ammónia kibocsátás ugyan jelen van, de a koncentráció nem érte el azt a szintet, ahol kellemetlen szagot eredményezett volna. Szagküszöbértéke $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A metán (CH_4) mérésekor szintén nem találtunk közvetlen kapcsolatot a lakossági bejelentésekkel, mivel ez a gáz általában nem érzékelhető szagként, és a kibocsátott mennyiség sem volt olyan magas, hogy közvetlen hatást gyakoroljon az emberi egészségre.

A bejelentések és a mérések időbeli összehasonlításával kiderült, hogy a lakossági panaszok többsége a nyári hónapokra koncentrálódott, amikor a szélsébség alacsonyabb volt, és a hőmérséklet növekedése hozzájárult a szennyező anyagok koncentrációjának növekedéséhez. Az alacsony szélmozgás mellett a kén-hidrogén szagának megjelenése okozott jellemzően lakossági bűzpanaszokat. Amikor a szélsébség alacsony, a levegő nem keveredik eléggé, így a szennyező anyagok – mint például a kén-hidrogén (H_2S) – koncentrációja jelentősen megnövekedhet. Különösen a nyári hónapokban, amikor a szélsébség gyakran csökken, a helyben kibocsátott szennyezők, például a szennyvíziszap bomlásából származó kén-hidrogén felhalmozódhatnak a telep környékén. Ez a jelenség gyakori a stagnáló levegőjű időszakokban, amikor a légszennyezés helyileg felhalmozódik, és a lakosság éles, kellemetlen szagot érezhet, amelyet a kén-hidrogén jelenléte okoz.

A hőmérséklet emelkedése szintén hozzájárulhat a szennyező anyagok koncentrációjának növekedéséhez. Magasabb hőmérséklet mellett a szennyvíziszap bomlási folyamatai

felgyorsulhatnak, ami növeli az olyan gázok, mint a kén-hidrogén kibocsátását. A hőmérséklet emelkedésével párhuzamosan a szennyezők koncentrációja nő, különösen, ha a szélmozgás alacsony, és nincs megfelelő légcserélődés. Az ilyen időjárási körülmények gyakran a nyári hónapokban fordulnak elő, amelyek egybeesnek a lakossági panaszok többségével.

5. Következtetések és javaslatok

5.1. Következtetések

A Gödöllői Szennyvíztisztító Telepen végzett levegőminőségi hatásvizsgálat és a lakossági bejelentések elemzése alapján az alábbi következtetések vonhatók le:

1. **Levegőminőség helyzete:** A mért levegőminőségi adatok, különösen a PM10 és PM2.5 részecskék koncentrációja, a jogszabályokban előírt határértékeken belül maradtak, ami a szennyvíztisztító telep működésének megfelelő színvonalát jelzi. Ugyanakkor a metán (CH₄) kibocsátásának monitorozása során tapasztalt ingadozások figyelmet igényelnek.
2. **Meteorológiai hatások:** Az elemzés során megállapítható, hogy a levegőszennyezés mértéke szoros kapcsolatban állt a meteorológiai körülményekkel, különösen a szélsőségekkel és -irányjal. A szennyezőanyagok eloszlása tehát nemcsak a kibocsátástól, hanem a környezeti tényezőktől is függ.
3. **Lakossági panaszok:** A lakossági bejelentések és a levegőminőségi adatok közötti összefüggés azt mutatja, hogy a panaszok gyakran összefüggésben állnak a szennyezőanyagok koncentrációjával, de a meteorológiai viszonyok is befolyásolták a panaszok megjelenését. Ezen adatok összegzése segít jobban megérteni a lakosság aggodalmait.
4. **Adatgyűjtés megbízhatósága:** A használt elektrokémiai érzékelők és meteorológiai mérőműszerek adatai megbízhatónak bizonyultak a levegőminőség folyamatos monitorozásában. A mérések pontossága és megbízhatósága kulcsfontosságú a levegőszennyezés kezelésében.

5.2. Javaslatok

A levegőminőség javítása és a lakossági panaszok kezelésének hatékonyabbá tétele érdekében az alábbi javaslatok fogalmazhatók meg:

1. **Folyamatos levegőminőség-monitoring:** Javasolt a levegőminőségi mérések folytatása, különös figyelmet fordítva a metán és egyéb szennyező anyagok monitorozására. A rendszeres adatelemzés segíthet az esetleges problémák gyorsabb észlelésében.
2. **További meteorológiai adatok gyűjtése:** A meteorológiai körülmények pontosabb megértése érdekében érdemes lenne további meteorológiai állomásokat telepíteni a szennyvíztisztító telep környékén, hogy a szélsőségek, szélirány, hőmérséklet és páratartalom folyamatosan nyomon követhető legyen.

3. **Lakossági kommunikáció és tájékoztatás:** A szennyvíztisztító telep vezetése rendszeresen tájékoztassa a lakosságot a levegőminőségi mérések eredményeiről és a telep működéséről. A nyílt kommunikáció növelheti a közönség bizalmát és segíthet csökkenteni a panaszok számát.
4. **Zöld technológiák bevezetése:** Javasolt olyan technológiák bevezetése, amelyek képesek csökkenteni a levegőszennyezést, például szűrő- és tisztítóberendezések alkalmazása, amelyek a kibocsátott szennyező anyagok mennyiségét mérséklék.
5. **Kutatási és fejlesztési programok:** További kutatások elvégzése a levegőminőség és a szennyvíztisztítás közötti kapcsolat mélyebb megértése érdekében. A kutatások során a helyi adottságokat figyelembe véve javasolt a szennyvíztisztító telepek fejlesztési lehetőségeinek feltérképezése is.

6. Összefoglalás

A szakdolgozat célja a Gödöllői Szennyvíztisztító Telep levegőminőségi hatásának vizsgálata volt, különös figyelmet fordítva a telep működése során keletkező szennyező anyagokra és a lakossági panaszokra. A kutatás során különböző mérési módszereket alkalmaztam, amelyek lehetővé tették a levegőminőség és a meteorológiai körülmények részletes elemzését.

A levegőminőségi adatok gyűjtése során a kén-hidrogén (H_2S), ammónia (NH_3), PM_{10} és $\text{PM}_{2.5}$ részecskék, valamint a metán (CH_4) koncentrációját mértem. Az elektrokémiai érzékelők és automatikus meteorológiai állomások használata biztosította a mérések pontosságát és megbízhatóságát. A mért adatok azt mutatták, hogy a levegőben található szennyező anyagok koncentrációja a jogszabályok által megengedett határértékek alatt maradt, azonban a meteorológiai körülmények, mint a szélirány és szélsébség, befolyásolták a szennyező anyagok terjedését.

A lakossági bejelentések elemzése során megfigyeltem, hogy a panaszok gyakran összefüggésben állnak a mért szennyezőanyag-koncentrációkkal, ugyanakkor a meteorológiai viszonyok is szerepet játszanak a panaszok megjelenésében. Az eredmények azt jelzik, hogy a levegőminőség monitorozása és a lakossági panaszok kezelése érdekében folyamatosan figyelemmel kell kísérni a telep működését és a környezeti tényezőket.

A kutatás során javaslatokat fogalmaztam meg a levegőminőség javítása érdekében, beleértve a folyamatos monitorozást, a lakossági tájékoztatást és a zöld technológiák alkalmazását. Ezen javaslatok megvalósítása hozzájárulhat a levegőszennyezés csökkentéséhez és a telep működésének fenntarthatóbbá tételéhez.

Összességében a Gödöllői Szennyvíztisztító Telep levegőminőségi hatásainak vizsgálata egy fontos lépés a helyi megfelelő levegőminőség fenntartásában és a lakossági egészség védelmében. A kutatás eredményei és javasolt intézkedések segíthetnek a telep vezetésének a környezeti hatások minimalizálásában és a lakosság elégedettségének növelésében. A további kutatások és fejlesztések iránti igény megjelenése is indokolt a levegőminőség és a szennyvíztisztítás közötti kapcsolat mélyebb megértése érdekében.

7. IRODALOMJEGYZÉK

- Balogh, L., & Váradi, G.** (2021). Metánkibocsátás és annak hatásai a környezetre. *Környezetvédelmi Tanulmányok*, 34(2), 78-89.
- Bíró Tibor és Nagy András** (2001). *Vízellátás és csatornázás*. Műegyetemi Kiadó, Budapest.
- Bodor, A.** (2015). Levegőminőség és környezetvédelmi jogszabályok Magyarországon. *Környezetvédelmi Közlemények*, 43(3), 215-230.
- Bourque, A. J., et al.** (2020). "Health Risks Associated with Wastewater Treatment Plant Emissions: A Review." *Environmental Research Letters*, 15(11).
- Chen, Z., Salamova, A., & Venier, M.** (2017). Sources and emissions of airborne particle-bound persistent organic pollutants in the atmosphere. *Environmental Science & Technology*, 51(1), 498-503.
- CPCB (Central Pollution Control Board).** (2019). "Odour Pollution and Its Control." *CPCB Report*.
- Dockery, D. W., & Pope, C. A.** (1994). Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annual Review of Public Health*, 15(1), 107-132.
- European Commission.** (2014). *Report on the implementation of the Air Quality Directive*.
- European Commission.** (2014). Guidelines on the assessment of the environmental impact of projects.
- Fang, G. C., et al.** (2020). "Volatile Organic Compounds in Ambient Air: Measurement and Source Identification." *Environmental Monitoring and Assessment*, 192.
- Farkas, G.** (2018). Az Országos Levegőtisztaság-védelmi Program jelentősége. *Közgazdasági Szemle*, 65(5), 55-67.
- Farkas, J.** (2017). VOC kibocsátások és hatásaik a levegőminőségre. *Magyar Tudomány* 172(1), 133-147.
- Fekete, M.** (2020). Másodlagos légszennyező anyagok képződése. *Környezettudományi Közlemények*, 55(3), 98-112.
- Franzetti, A., Gandolfi, I., Gaspari, E., Ambrosini, R., & Bestetti, G.** (2011). Seasonal variability of bacteria in fine and coarse urban air particulate matter. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 90(2), 745-753.
- Friedrich, R., & Huber, M.** (2019). *Emission Estimation of Wastewater Treatment Plants: Review of Methodologies and Practices*. *Environmental Science & Policy*.
- Hassan, A., et al.** (2019). "Emission of Ammonia from Wastewater Treatment Plants: A

Review." *Waste Management*, 95.

Horváth, I. (2019). A hidrogén-szulfid hatása a levegőminőségre. *Műszaki Tudomány*, 41(4), 233-245.

Horváth, I. (2017). Légszennyezés és annak hatásai az emberi egészségre. *Magyar Tudomány*, 179(2), 149-158.

Jakab, J. (2016). Szaghatások és azok hatása a lakosságra. *Környezetvédelmi Szemle*, 29(2), 99-106.

Jolánkai Zsolt (2007). *Vízminőség és szennyvíztisztítás*. Akadémiai Kiadó, Budapest.

Kárpáti, A., et al. (2016). "Methane Emission from Wastewater Treatment Facilities: Emissions and Reduction Methods." *Journal of Environmental Management*, 183, 350-357.

Kiss, L., Papp, L., & Varga, M. (2018). Ammónia kibocsátás és hatásai. *Vízgazdálkodási Tanulmányok*, 15(3), 156-168.

Kovács, T., Molnár, J., & Szabó, Z. (2021). Kockázatkezelési stratégiák ipari létesítmények esetén. *Műszaki Tudományos Közlemények*, 8(2), 98-107.

Kovács, J., & László, G. (2005). "Szennyvízkezelési technológiák és azok hatásai." *Vízgazdálkodás*, 2(4), 30-35.

Kovács, Z., & László, S. (2005). Levegőszennyezés és levegővédelmi intézkedések. *Környezetvédelem és fenntartható fejlődés*, 6(1), 35-42.

López, L., et al. (2017). *Optimization of Sludge Drying Beds: A Comparative Study*. *Waste Management*, 245.

Mészáros Tamás és Gyulavári Tamás (2014). *Környezetvédelmi technológiák: Szennyvíztisztítás és iszaphelyezés*. Typotex Kiadó, Budapest.

Metcalf, E., & Eddy, H. P. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). McGraw-Hill, 153.

Nemessányi Zoltán (2016). *Víztechnológia és vízminőség-védelem*. Akadémiai Kiadó, Budapest.

Papp, Z. (2016). A környezeti hatásvizsgálatok szerepe az ipari beruházásoknál. *Környezetvédelmi Közlemények*, 44(1), 88-97.

Pérez, F., et al. (2016). *Air Pollution Control Technologies for Wastewater Treatment*. *Journal of Environmental Management*, 678.

Pope, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K., & Thurston, G. D. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of the American Medical Association*, 287(9), 1132-1141.

Ryckebosch, E., Drouillon, M., & Vervaeren, H. (2011). Techniques for transformation of biogas to biomethane. *Biomass and Bioenergy*, 35(5), 1633-1645.

- Simon, L., & Tóth, E.** (2020). A légszennyezés modellezése és hatásainak előrejelzése. *Műszaki Tudományos Folyóirat*, 56(4), 325-340.
- Sinha, V., et al.** (2018). "Secondary Air Pollution: A Critical Review." *Atmospheric Environment*, 172.
- Smith, M.** (2013). "The Role of Wastewater Treatment Plants in Greenhouse Gas Emissions." *Environmental Science & Policy*, 34, 78-86.
- Somlyódy László** (2002). *Vízminőség-védelem és szennyvíztisztítás Magyarországon*. MTA Környezetvédelmi Bizottság Kiadó.
- Sun, Q., Li, H., Yan, J., Liu, L., Yu, Z., & Yu, X.** (2015). Biogas upgrading technologies: Developments and innovations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 521-532.
- Szabó, T., Mészáros, A., & Molnár, G.** (2017). A levegőszennyezés forrásai és hatásai. *Környezet- és Természetvédelmi Közlemények*, 12(1), 22-30.
- Szilágyi, K., & Németh, D.** (2018). PM10 és PM2.5 részecskék egészségügyi hatásai. *Egészségtudományi Közlemények*, 10(2), 87-95.
- Tchobanoglous, G., et al.** (2014). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse* (4th ed.). McGraw-Hill, 265.
- Tchobanoglous, G., et al.** (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw-Hill.
- Tóth, R., Székely, S., & Szűcs, P.** (2020). Szén-dioxid kibocsátás és hatásai a környezetre. *Környezetvédelmi Kutatások*, 22(4), 45-59.
- Varga, R., & Papp, K.** (2019). Biológiai szennyező anyagok a szennyvíztisztító telepeken. *Környezetvédelem és Biotechnológia*, 7(1), 11-21.
- Váradi, G., & Kiss, J.** (2019). Légszennyezés hatása az ökoszisztémákra. *Agrártudományi Közlemények*, 71(1), 33-45.
- VITUKI.** (2010). "A Gödöllői szennyvíztisztító telep fejlesztési terve." *VITUKI Jelentés*.
- Wang, J., et al.** (2019). *Optimization of Sedimentation Processes in Wastewater Treatment Plants*. *Water Research*, 432.
- Weiland, P.** (2010). Biogas production: Current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(4), 849–860.
- WHO (World Health Organization).** (2018). "Ambient (Outdoor) Air Quality and Health." *WHO Fact Sheet*.
- Xu, Q., Christensen, B., Lindberg, R. H., & Hellgren, L.** (2018). Antibiotic-resistant bacteria in wastewater treatment plants and their dissemination in the environment: A review. *Science of the Total Environment*, 616, 1165-1173.

Zhang, Y., et al. (2020). "Air Quality Impact Assessment of Industrial Projects." *Journal of Environmental Management*, 255.

Internetes hivatkozások

http1:<https://www.mmkkornyezetvedelem.hu/>

8. MELLÉKLETEK

Mérés dátuma	Ammónia (NH ₃) (µg/m ³)	Kén-hidrogén (H ₂ S) (µg/m ³)	PM10 (µg/m ³)	PM2.5 (µg/m ³)	Metán (CH ₄) (ppm)
május 01	22	6	42	21	4.0
május 03	21	4	42	22	3.8
május 08	18	7	44	22	4.0
május 10	22	6	41	20	3.9
május 15	20	5	43	21	4.0
május 17	16	7	41	20	4.1
május 22	22	5	44	20	4.2
május 24	21	5	41	20	3.8
május 29	18	7	43	21	4.0
május 31	23	4	42	20	3.9
június 05	21	5	40	22	4.1
június 07	21	7	41	20	4.0
június 12	17	5	43	21	3.9
június 14	21	5	42	20	4.2
június 19	23	7	43	22	4.0
június 21	16	6	41	20	3.9
június 26	21	5	43	21	4.0
június 28	23	7	42	20	4.0
július 03	18	6	41	22	4.2
július 05	21	4	41	21	3.8
július 10	23	7	43	21	4.0
július 12	25	6	42	21	4.1
július 17	21	2	40	22	4.2
július 19	23	7	41	20	3.9
július 24	16	6	40	21	4.0
július 26	20	5	42	20	4.1
július 31	20	5	41	22	4.2
augusztus 02	22	4	41	20	3.8
augusztus 07	21	5	43	21	4.2
augusztus 09	23	5	42	20	4.2
augusztus 14	22	6	44	22	4.2
augusztus 16	21	3	41	20	3.9
augusztus 21	17	7	40	21	4.0
augusztus 23	22	6	42	20	4.1
augusztus 28	21	6	44	22	4.2
augusztus 30	18	7	42	20	3.8
szeptember 04	22	6	42	21	4.0
szeptember 06	21	5	42	20	4.1
szeptember 11	23	7	44	22	4.2
szeptember 13	20	4	41	22	3.9
szeptember 18	21	5	44	20	4.0
szeptember 20	19	7	40	22	4.0
szeptember 25	22	3	44	22	4.0

szeptember 27	18	6	44	20	3.8
szeptember 30	23	5	43	20	4.0

Mérés dátuma	Ammónia (NH ₃) (µg/m ³)	Kén-hidrogén (H ₂ S) (µg/m ³)	PM10 (µg/m ³)	PM2.5 (µg/m ³)	Metán (CH ₄) (ppm)
május 01	12	4	38	21	2.4
május 03	10	2	37	21	2.4
május 08	9	5	36	23	2.6
május 10	10	2	39	22	2.5
május 15	14	3	37	21	2.3
május 17	12	4	37	22	2.5
május 22	18	3	39	21	2.4
május 24	11	5	39	20	2.6
május 29	12	2	36	23	2.2
május 31	10	3	38	21	2.4
június 05	10	4	38	21	2.5
június 07	8	5	37	23	2.3
június 12	11	3	38	22	2.4
június 14	10	3	37	23	2.5
június 19	9	3	38	22	2.6
június 21	12	5	38	21	2.6
június 26	10	2	39	22	2.2
június 28	11	5	38	21	2.4
július 03	8	4	36	22	2.5
július 05	11	5	37	20	2.6
július 10	10	5	38	21	2.4
július 12	11	3	39	21	2.2
július 17	12	5	37	22	2.6
július 19	7	2	36	23	2.6
július 24	11	3	39	21	2.4
július 26	12	4	39	22	2.5
július 31	10	5	36	23	2.6
augusztus 02	11	3	38	21	2.4
augusztus 07	11	4	37	22	2.5
augusztus 09	10	5	39	21	2.6
augusztus 14	11	4	38	21	2.4
augusztus 16	8	2	36	23	2.2
augusztus 21	11	5	37	22	2.6
augusztus 23	12	4	39	21	2.5
augusztus 28	11	3	38	20	2.4
augusztus 30	6	5	37	22	2.6
szeptember 04	10	5	36	23	2.4
szeptember 06	11	3	39	22	2.4
szeptember 11	7	2	37	21	2.4
szeptember 13	10	5	37	21	2.6
szeptember 18	11	3	36	23	2.4
szeptember 20	10	5	39	22	2.5

szeptember 25	10	5	39	21	2.6
szeptember 27	8	2	36	22	2.5
szeptember 30	12	4	39	22	2.5

Mérés dátuma	Ammónia (NH ₃) (µg/m ³)	Kén-hidrogén (H ₂ S) (µg/m ³)	PM10 (µg/m ³)	PM2.5 (µg/m ³)	Metán (CH ₄) (ppm)
május 01	7	2	28	16	1.5
május 03	6	1	28	14	1.6
május 08	2	3	29	17	1.6
május 10	4	2	26	16	1.5
május 15	3	2	28	16	1.4
május 17	8	1	27	17	1.6
május 22	7	2	27	18	1.4
május 24	4	3	26	15	1.4
május 29	9	3	29	17	1.3
május 31	8	2	27	15	1.5
június 05	6	2	29	15	1.4
június 07	9	1	27	18	1.3
június 12	7	2	28	16	1.3
június 14	8	2	26	15	1.5
június 19	8	3	29	17	1.6
június 21	3	1	26	16	1.3
június 26	6	2	29	15	1.5
június 28	4	3	27	18	1.6
július 03	4	2	27	16	1.5
július 05	6	1	26	15	1.4
július 10	3	3	28	17	1.6
július 12	7	3	27	16	1.5
július 17	6	2	29	16	1.4
július 19	8	3	26	17	1.6
július 24	5	2	28	14	1.5
július 26	8	2	27	15	1.4
július 31	8	1	29	17	1.6
augusztus 02	6	2	26	16	1.5
augusztus 07	6	1	28	15	1.4
augusztus 09	8	3	27	17	1.6
augusztus 14	7	2	28	16	1.5
augusztus 16	6	2	28	15	1.3
augusztus 21	8	3	29	17	1.6
augusztus 23	7	1	26	14	1.5
augusztus 28	7	2	27	15	1.3
augusztus 30	6	3	26	17	1.6
szeptember 04	8	2	26	16	1.5
szeptember 06	6	2	28	14	1.5
szeptember 11	8	1	29	17	1.6
szeptember 13	4	3	29	15	1.3
szeptember 18	6	2	27	15	1.4
szeptember 20	8	3	29	17	1.3

szeptember 25	7	1	28	16	1.5
szeptember 27	6	2	28	18	1.4
szeptember 30	8	3	29	17	1.6

9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani a diplomamunkám megírásában nyújtott segítségért elsősorban Konzulensemnek Dr. Béres Andrásnak és a Gödöllői szennyvíztisztító telep munkatársainak, akik segítségükkel és türelmükkel lehetővé tették a dolgozat megszületését.

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Maródi György
A Hallgató Neptun kódja: BC2PK9
A dolgozat címe: Levegőtisztasági felmérés a Gödöllői szennyvíztelep területén
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: Környezettudományi Intézet

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítást tettem, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumba.
Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumban.

Kelt: 2024. november 08.

Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Maródi György (BC2PK9) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védelemre **javaslom / nem javaslom**¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: _____ év _____ hó _____ nap

belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendó.

² A megfelelő aláhúzendó.

