



FAP-2024/113-AT

Ipari zajmodell adatszolgáltatási segédlet

Segédlet szakági tervezők részére környezeti zajmodell készítéséhez

KÉSZÍTETTE:

Márkus Miklós

szakértő

MMK 01-12943

LEKTORÁLTA:

Muntag András

szakértő

MMK 01-2075

Nagy Attila Balázs

szakértő

MMK 01-14167

Budapest, 2025. január 22.



Tartalom

1. Bevezetés	4
1.1. A tervezési segédlet célja	4
1.2. A tervezési segédlet célcsoportja	4
1.3. A segédlet felépítése	5
1.4. Használati javaslatok	5
2. Alapfogalmak	6
2.1. Hang	6
2.2. Zaj	6
2.3. Hangnyomás	6
2.4. Hangnyomásszint	6
2.5. Frekvencia	7
2.6. Környezeti zajterhelés	7
2.7. Zajterhelési határérték	7
2.8. Hangteljesítmény	7
2.9. Zajforrás	7
2.10. Hangterjedés	8
2.11. Zajmodell	8
2.12. Zajtérkép	8
3. Alapelvek	11
3.1. A zajmodellezés alkalmazási területei	11
3.2. Miért készítünk zajmodellt?	13
3.3. Szabadtéri hangterjedés számítás módszere	14
3.4. Területi és geometriai adatok szerepe	15
4. Forrásadatok	16
4.1. Zajmodell és forrásadatok összefüggései	16
4.2. Terepmodell előállításához szükséges adatok	16
4.3. Felületmodell előállításához szükséges adatok	17
4.4. Zajforrások forrásadatai	18
4.5. Közlekedési források adatai	19
4.6. Zajadatok előállításának módszerei	19



5. Adatszolgáltatás	21
5.1. Helyszínrajzok és alaprajzok	21
5.2. Geometriai adatok	21
5.3. Zajforrások adatai	22
5.4. Zajforrások elhelyezkedése	28
6. Alkalmazás	30
6.1. Zajmodellező szoftverek integrációja	30
6.2. Adatszolgáltatás folyamata	31
6.3. Ipari zajmodell készítésének általános folyamata	32
MELLÉKLETEK	35
M1. Mintatáblázatok	36
M2. Irodalomjegyzék	37



1. Bevezetés

1.1. A tervezési segédlet célja

A környezeti zajmodellezés mára iparági sztenderd megoldássá vált a környezetvédelmi tervezési feladatok között. A zajmodellező szoftvert a zaj szabadtéri hangterjedésének és a kialakuló hangnyomásszintjének számítására, továbbá zajterképek előállítására alkalmazzuk. Az előzetes tervek (akár koncepciók tervek) alapján egy tervezett ipari beruházás várható környezeti zajhatása szoftveres zajmodell alkalmazásával becsülhető. A várható környezetterhelés meghatározása jogszabályi kötelezettség, a hatósági eljárások része. Mára alapelvárás, hogy az ipari beruházások környezetvédelmi tervezési feladatait minél kisebb bizonytalansággal, és minél hatékonyabban elvégezzük. Ugyanakkor a tervezési feladatok egyik legösszetettebb fázisa az akusztikai tervezés, amely a megfelelő adatok rendelkezésre állása esetén jelentősen hatékonyabban elvégezhető, így minden fél érdeke a megfelelő adatszolgáltatás előállítása.

A jelen tervezési segédlet célja, hogy átláthatóan és érthetően ismertesse a különböző szakágak tervezőivel a zajmodellezés alapvető elveit, céljait és adatszolgáltatási követelményeit. E segédlet gyakorlati útmutatót nyújt a zajmodellezéshez szükséges adatok szolgáltatásához, azok típusairól, formátumairól, valamint az adatok előkészítésének és integrálásának folyamatáról.

1.2. A tervezési segédlet célcsoportja

A segédlet az ipari beruházásokon dolgozó szakági tervezőknek készült, akikben általában felmerül a kérdés, hogy milyen célból és hogyan készül el egy ipari létesítmény zajmodellje. Tervezett beruházások esetén a zajvédelmi szakértő a háromdimenziós hangterjedési modellt a tervezői adatszolgáltatások és egyeztetések alapján készíti el. A zajmodell alkalmazásával számított eredmények annál pontosabbak, minél pontosabbak a forrásadatok. Az ipari beruházásokkal kapcsolatos tervezői egyeztetéseken számos különböző mérnöki szakterület tervezői vesznek részt, a teljesség igénye nélkül a következők:

- **Építészmérnökök:** a tervezett épületek geometriai és szerkezeti adataival kapcsolatos információk megadásához;
- **Építőmérnökök:** a tervezett építmények, objektumok, közművek vagy szállítási útvonalak geometriai és egyéb adataival kapcsolatos információk megadásához;
- **Gépészmérnökök / technológus tervezők:** a zajforrásként szolgáló berendezések elhelyezésével, műszaki adataival, gyártói adatszolgáltatásával kapcsolatban;
- **Geodéták:** a tervezett létesítmény elhelyezkedésével, terepi magasságokkal, illetve a meglévő épületekkel és objektumokkal, növényzettel és földtakaróval kapcsolatos adatszolgáltatáshoz;
- **Környezetvédelmi szakértők:** jogszabályi előírások, engedélyezési-, vagy előzetes hatásvizsgálati eljárások kapcsán, a zajterhelési és engedélyeztetési követelmények ismeretének biztosításához;
- **Egyéb szakági tervezők:** akik bármilyen formában hozzájárulnak az ipari létesítmény zajkibocsátásának modellezéséhez és kezeléséhez.



Emellett a segédlet célzottan a **zajvédelmi szakértőket és akusztikai tervezőket** is segíti, számukra elérhető és jogszerűen használható támogatást nyújt a zajmodellezési folyamatok megértéséhez, a zajmodellezési projektekben részt vevő szakemberek közötti együttműködés elősegítéséhez, valamint közvetetten az adatminőség, a számítási pontosság és a hatékonyság javításához.

A segédlet célkitűzése, hogy csökkentse a tervezői egyeztetési időket és egységesítse a kommunikációt. A segédlet elérhető minden modellezéssel foglalkozó akusztikai tervező számára, így akár már az ajánlatadási fázisban átadható a megbízó számára a várható adatszolgáltatási igények egyértelműsítése céljából. Ezzel – a jelenleg sajnos általános – több körös, iterációs tervegyeztetési időszak jelentősen csökkenthető.

1.3. A segédlet felépítése

A segédlet – a szándékaink szerint – átláthatóan és logikusan felépített fejezetekben tárgyalja a zajmodellezés alapelveit, folyamatát, a szükséges adatok körét, az adatszolgáltatás formátumait és alkalmazási példákat.

A segédlet főbb tartalmi elemei:

- 1. fejezet** a tervezési segédlet célját, célcsoportját és alapvető felépítését taglalja
- 2. fejezet** a segédletben használt alapvető akusztikai alapfogalmakat ismerteti
- 3. fejezet** a zajmodellezéssel kapcsolatos alapfogalmakat és módszereket ismerteti
- 4. fejezet** a szükséges forrásadatokat mutatja be és több szempontból elemzi ezeket
- 5. fejezet** a szükséges adatszolgáltatást és a preferált állományok formátumát ismerteti
- 6. fejezet** a szolgáltatott adatok feldolgozását és a modellezés folyamatát mutatja be

1.4. Használati javaslatok

A **2. és 3. fejezet** nélkülözhetetlen a szakszerűség miatt, definiálja a segédlet értelmezési tartományát, de elsősorban azok számára szolgál számos hasznos információval, akik nincsenek még tisztában a zajmodellezési feladatokkal. A szakmai gyakorlat szempontjából a **4. és 5. fejezet** alkalmazása javasolt leginkább, mivel ezek tartalmazzák a segédlet céljának megfelelő ismereteket. A **6. fejezet** olyan kiegészítő információkkal szolgál ezekhez, amelyek közérthetőbbé és gyakorlatban könnyebben alkalmazhatóbbá teszik a leírtakat.

A segédletet a következőképpen ajánlott használni különböző szituációkban:

- **Első olvasásra:** megismerni a zajmodellezés célját, alapelveit és a folyamat alapvető elemeit.
- **Adatszolgáltatás előtt:** ellenőrizni, hogy minden szükséges információ rendelkezésre áll-e.
- **Projekt közben:** hivatkozási alapként a tervezőkkel való együttműködéshez.
- **Képzési anyagként:** új kollégák oktatásához vagy belső képzésekhez.



2. Alapfogalmak

A zajmodellezés megértéséhez és hatékony alkalmazásához elengedhetetlen, hogy pontosan tisztában legyünk a legfontosabb alapfogalmakkal. Ezek az alapfogalmak biztosítják az egységes terminológia használatát és segítenek abban, hogy a zajmodellezés komplex folyamata mindenki számára érthető és strukturált legyen.

2.1. Hang

A hang rugalmas közegben nyomáshullám (mechanikai hullám) formájában terjedő rezgés. A rugalmas közeg részecskéit az egyensúlyi állapotukból kimozdító energiaforrás a hangforrás. A hangforrások által gerjesztett hangok terjedhetnek levegőben léghang formájában, szilárd közegben testhang formájában és folyékony közegben folyadékhang formájában. [1]

2.2. Zaj

A zaj szubjektív megítélés szerint nem kívánt, kellemetlen, zavaró vagy adott esetben káros hatású hang. A zaj pszichés hatása, zavaró jellege nem kapcsolható egyértelműen a zaj fizikai paramétereire, rendkívül nagy szerepe van az egyéni érzékenységek, az érintett személy zajforráshoz fűződő kapcsolatának. Sok esetben a zaj megítélésében meghatározó szerepe van a zaj információtartalmának is. [1]

2.3. Hangnyomás

A hangforrás mechanikai energiát ad át a körülötte lévő közegnek, így a közegben nyomásingadozást okoz, vagyis hangot kelt. Ennek következtében a levegőben a légköri nyomáshoz egy kismértékű nyomásingadozás adódik, melyet *hangnyomásnak* nevezzük. Mivel a pillanatnyi nyomásérték ingadozik, ezért a hangnyomás magnitúdójának jellemzésére az effektív értékét (időfüggvényének négyzetes középértékét) használjuk. A hangnyomás jele: p , mértékegysége: *Pascal* [Pa]. A forrástól távolodva a hangenergia általában egyre nagyobb felületen oszlik meg (illetve részben elnyelődik, visszaverődik, átalakul), ezért a hangnyomás, vagyis a *zajimisszió*, minden esetben csak a forrástól mért távolsággal és a terjedését befolyásoló egyéb hatások figyelembevételével együtt értelmezhető. [2]

2.4. Hangnyomásszint

Mivel az emberi hallószerv hangosság-érzékelése a hangnyomás tekintetében közelítőleg logaritmikus jellegű, ezért az effektív hangnyomást az alsó hallásküszöb (a fül által éppen meghallható legkisebb hangnyomás) értékével arányosítva tízes alapú logaritmikus skálán (szint formájában) fejezzük ki. A hangnyomásszint jele: L , mértékegysége: *decibel* [dB]. [2]



2.5. Frekvencia

A hangforrások a *frekvencia* függvényében nem egyenletesen megoszló hangenergiát bocsájtanak ki. A szabadtéri hangterjedés során a különböző frekvenciájú hangok eltérő módon viselkednek, továbbá a keskenysávú (tonális) jellegű hang szubjektív megítélés szerint zavaróbb, ezért a forrásadatok biztosítása a frekvencia függvényében szükséges. A frekvenciaspektrumot a hallástartományon belüli oktávsávokban vagy harmadoktávsávokban (tercsávokban) adjuk meg, a sávokat pedig a sávközépi frekvenciával azonosítjuk. [2]

2.6. Környezeti zajterhelés

A környezeti zajterhelés a környezetben jelen lévő zajforrásoktól származó zajnak olyan mértékű hangnyomásszintje, amely adott helyen és időben mérhető és az ott élő emberekre hatást gyakorol. Ez magában foglalja az ipari, szabadidős, építési és közlekedési források által generált zajokat, de része lehet a flóra és fauna, illetve az emberi tevékenység által keltett zajhatás is. A környezeti zajterhelést különböző hosszabb időszakokra, úgynevezett megítélési időkre vonatkoztatjuk, így értelmezünk nappali és éjjeli zajterhelést is, amelyek megítélését eltérő (jogszályban rögzített) időtartamok alapján végezzük. A különböző típusú zajforrások (pl. ipari létesítmények vagy közúti közlekedés) környezeti zajterhelését eltérő módon ítéljük meg.

2.7. Zajterhelési határérték

A zajvédelmi határértékek célja a zaj emberekre ártalmas hatásainak szabályozása, kezelése és csökkentése. A zajterhelési határérték az adott zajtól védendő területre vagy helyiségre vonatkozó, jogszályban meghatározott legnagyobb elfogadható hangnyomásszint. Ezek az értékek jellemzően különböznek az eltérő funkciójú zajtól védendő területeken (pl. üdülő-, lakó- vagy gazdasági területeken), valamint a napszak függvényében is eltérnek. Külön kezeljük tehát a nappali és éjjeli zajterhelést, a nappali és éjjeli időszakokra vonatkozó határértékek közötti különbség általában 10 decibel. A hazánkban érvényes szabályozás a napszakokat további részekre nem bontja, továbbá nincs differenciálás munkanap és pihenőnap, illetve ünnepnap között sem.

2.8. Hangteljesítmény

A zajforrás környezeti hatását a forrás által a körülötte lévő közegnek átadott akusztikai energia, vagyis a *hangteljesítmény* határozza meg. A hangteljesítmény jele: P , mértékegysége: *Watt* [W]. A közegben a hanghullám ezt az akusztikai energiát szállítja a terjedésének irányában. Tehát a forrást az akusztikai teljesítménye, a *zajemisszió* jellemzi, amely nem távolságfüggő. A hangteljesítményszint jele: L_w , mértékegysége: *decibel* [dB]. [2]

2.9. Zajforrás

A zajforrás lehet üzemi, szabadidős, építési, közlekedési vagy egyéb létesítmény, gép, berendezés, tevékenység, amely a környezetben zajt kelt. A szabadtéri hangterjedés számításakor az üzemi zajforrásokat modellezéskor (a hangteljesítmény lesugárzásának irányítottsága szerint) három fő kategóriába soroljuk: *pontforrás* (pl. motor, szivattyú, ventilátor), *vonalforrás* (pl. közlekedési útvonal vagy csővezeték) és *felületforrás* (pl. nagyobb levegőbeszívó nyílás vagy gépjármű parkoló területe). [2]



2.10. Hangterjedés

A hangterjedés a mechanikai rezgési energia mozgása a közegen keresztül, például a levegőn vagy szilárd anyagokon keresztül. A zajforrás által okozott hangnyomásszint számításánál (a módszereket a [3.3. pont](#) tartalmazza) a hang szabadtéri terjedését befolyásoló alábbi alapvető tényezőket kell figyelembe venni:

- a távolság miatt fellépő geometriai csillapodás
- a levegő hangelnyelő hatása
- a növényzet csillapítása
- a forrás és a megítélési pont közötti, illetve a terjedés során hangvisszaverő felületek hatása
- a hangárnyékolás (különbéle akadályok, épületek, falak és a domborzati viszonyok) hatása
- a meteorológiai hatások (leginkább a szél és a hőmérséklet hatása)
- a talaj hangelnyelő és visszaverő hatása

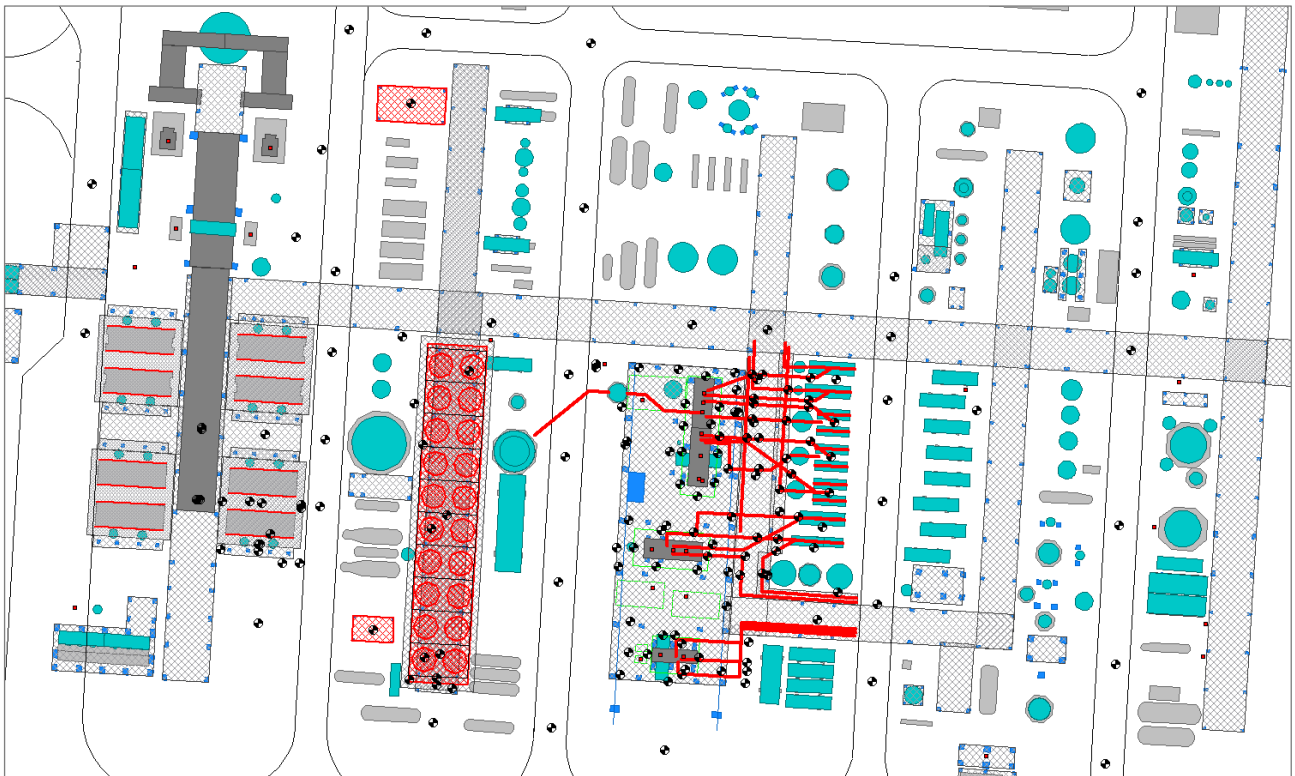
2.11. Zajmodell

A zajmodellt a zaj szabadtéri hangterjedésének és a kialakuló hangnyomásszint számítására, továbbá zajtérképek előállítására alkalmazzuk. A hangterjedést mindig valamilyen szabványos módszer alkalmazásával végzi a modellező szoftver, az ipari zajmodellezés legelterjedtebb módszere jelenleg az ISO 9613 szabvány. Alapvetően a zajmodellezés egy GIS-alapú megoldás a hangterjedés háromdimenziós modellezésére, 3D digitális alaptérkép (geodéziai adatbázis) felhasználásával és a zajforrásadatok integrálásával. A zajmodell általában a következő adatokat tartalmazza:

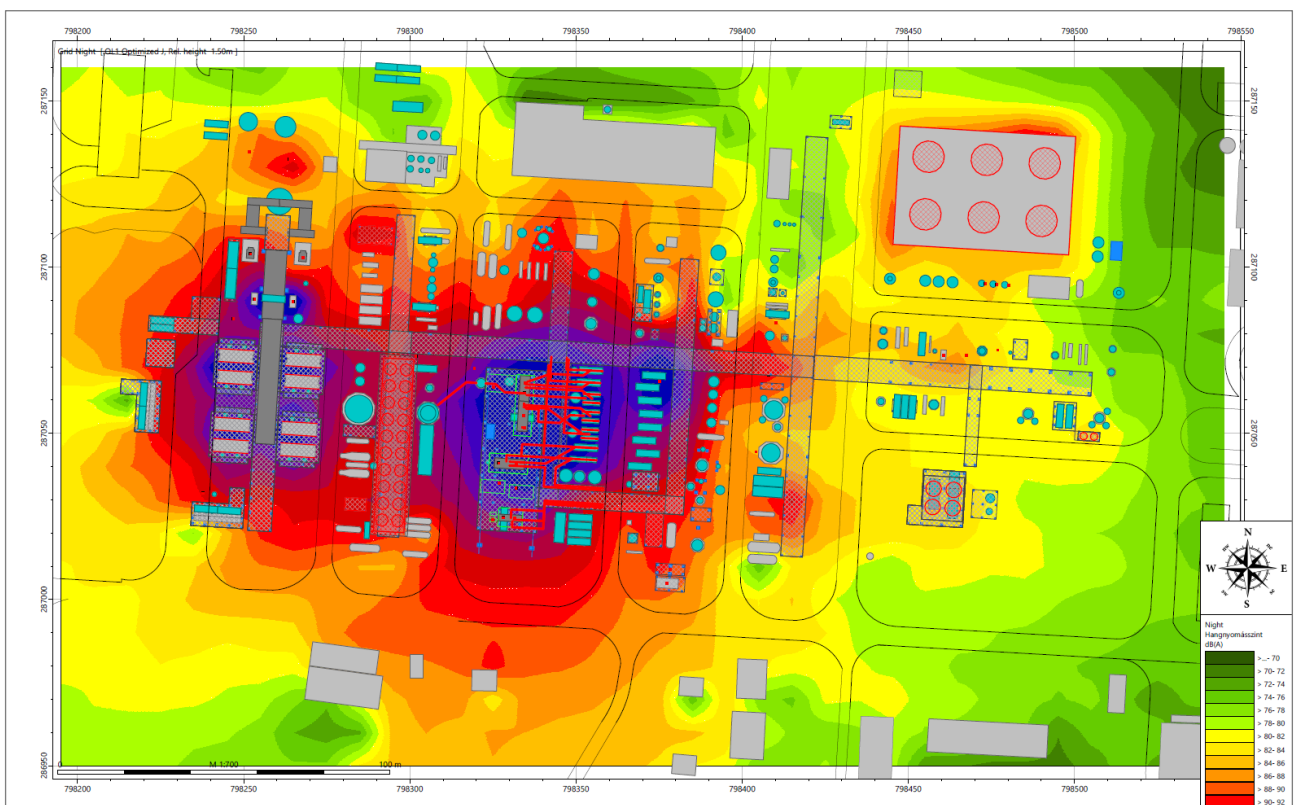
- magassági szintvonalak / magasságpontok
- épületek/építmények relatív terepi magassággal (a domborzat figyelembevételével)
- hangterjedést befolyásoló tereptárgyak és egyéb objektumok (pl. tartályok, oszlopok, csőhidak stb.)
- nagyobb kiterjedésű növényzet (terepi magassággal és akusztikai paraméterekkel)
- zajforrások topográfiai- és forrásadatai (hangteljesítményszint, irányítási tényező, karakterisztika)
- közlekedési létesítmények vonalai és forrásadatai (forgalom, jelleg, összetétel, burkolat stb.)
- területhatárok, telekhatárok, segédvonalak

2.12. Zajtérkép

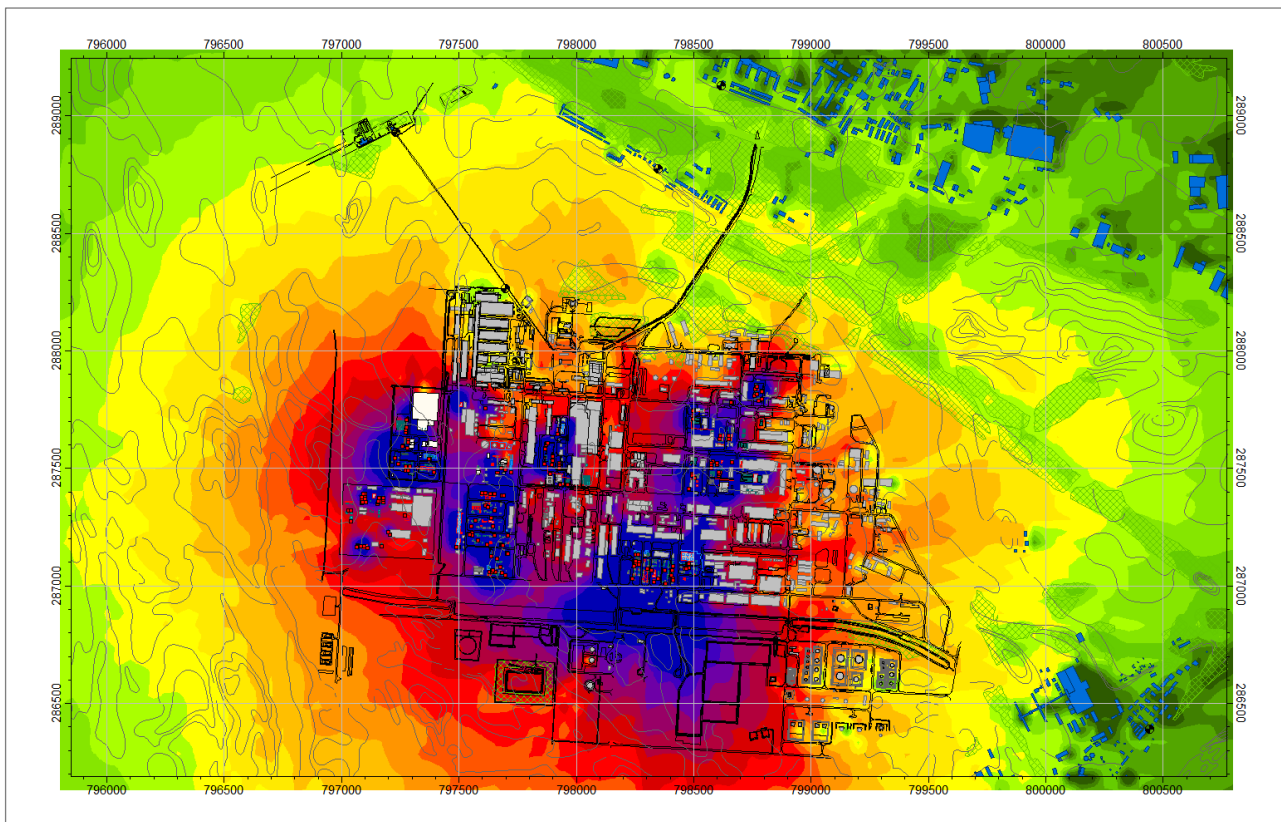
A zajtérkép a számított hangnyomásszintek grafikus megjelenítésére alkalmas, figyelembevétel a hangterjedést befolyásoló tényezőket, úgymint a hang visszaverődését és elhajlását, továbbá az épületek geometriáját és a terület topográfiáját. A terület egyes pontjaira számított vagy interpolált hangnyomásszinteket a rácsháló pontjain jelenítjük meg, amelyből az isophon (azonos hangnyomásszintű) görbék alkalmazásával állítható elő a kontúrtérkép. A zajtérképen alkalmazott színskála a hangnyomásszintek vizuális megjelenítésére és a zaj térbeli eloszlásának bemutatására szolgál. A színskála segítségével a térképen egyértelműen azonosíthatók a zaj szempontjából kritikus területek, vagy csendes övezetek, illetve a domináns zajforrások. Az alkalmazott színskála a zajtérképezési feladat függvényében jogszabályban vagy szabványban rögzített lehet.



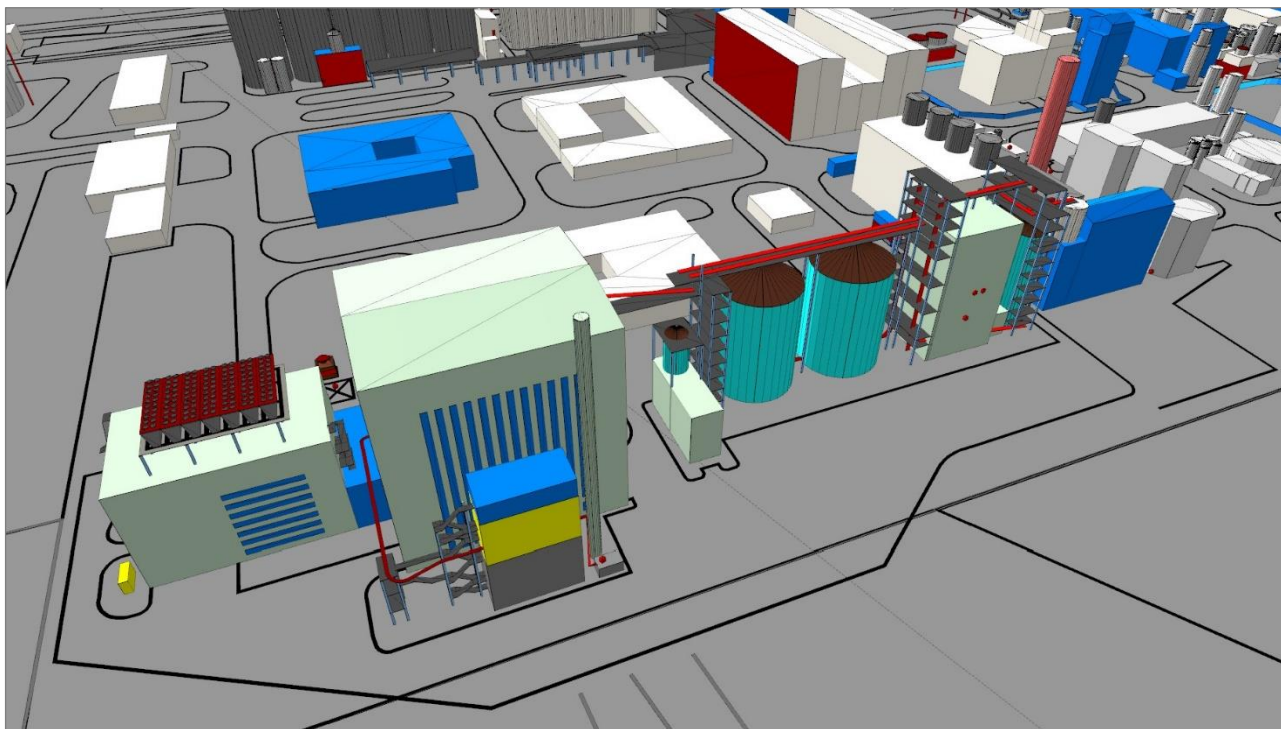
1. ábra: Zajmodell megjelenítése a zajmodellező szoftverben [3]



2. ábra: Üzemi terület közvetlen környezetének zajtérképe [3]



3. ábra: Iparterület környezeti zajterképe (a színskálát titokvédelmi okokból nem ábrázoljuk) [3]



4. ábra: Zajmodell 3D nézete a zajmodellező szoftverben [3]



3. Alapelvek

3.1. A zajmodellezés alkalmazási területei

A szoftveres hangterjedési modellek sokoldalúsága lehetővé teszi, hogy a környezetvédelem, a munkavédelem, a várostervezés vagy az építészet egyaránt profitáljon ebből az eljárásból. Az alkalmazási területek részletezése rámutat, hogy a zajmodellezés nemcsak a problémák azonosításában, hanem azok megoldásában is kulcsfontosságú szerepet játszik.

Ipari létesítmények zajmodellezése

Az ipari zajmodellek elsődleges célja a létesítmények által kibocsátott zaj minél pontosabb becslése, annak érdekében, hogy a következőket megvalósítsuk:

- **Megfelelés a környezetvédelmi előírásoknak:** Az ipari üzemek zajkibocsátása jelentős hatással lehet a környező lakóövezetekre és a zajtól védendő területekre. A zajmodellt az engedélyezési vagy előzetes vizsgálati eljárások során használjuk abból a célból, hogy bizonyítsuk, a várható zajterhelés megfelel a vonatkozó jogszabályban, illetve hatósági határozatban előírt határértékeknek.
- **Zajforrások dominanciájának meghatározása:** Az ipari zajforrások (pl. motorok, szivattyúk, ventilátorok) által keltett zaj modellezése segít abban, hogy egy összetett ipari létesítmény esetében meghatározzuk, az egyes berendezések milyen hatással vannak a környezetre, mekkora szerepet játszanak a környezeti zajterhelés alakulásában, azonosítsuk és kezeljük a problémát okozó zajforrásokat
- **Zajcsökkentési intézkedések tervezése:** A szoftverek lehetővé teszik különböző zajcsökkentési megoldások – például különböző berendezések vagy technológiai elrendezések, zajárnyékoló falak, hangtompítók stb. – hatékonyságának előzetes elemzését, továbbá különböző variációk, pl. a zajcsökkentés előtti és utáni állapot összehasonlítását.

Egy tipikus ipari zajmodell bemeneti adatai közé tartoznak a terepi adatok, épületek és építmények geometriai adatai, a zajforrások elhelyezkedése és akusztikai jellemzői, valamint a hangterjedést befolyásoló terep, talaj, növényzet és egyéb objektumok hangelnyelő képessége. Az ipari zajmodellek segítenek megelőzni a lakossági panaszokat és hozzájárulnak az élhető környezet fenntartásához.



Általános akusztikai modellezés

A számítógépes modellezés az ipari zaj vizsgálatán túl más akusztikai területeken is fontos szerepet játszik:

- **Teremakusztika:** Ebben az esetben célunk különböző akusztikai funkciókra, például koncertekre, zenehallgatásra, oktatásra vagy konferenciára tervezett terek akusztikai tulajdonságainak tervezése. A számítógépes modellezés lehetővé teszi a belső terek hangelnyelésének, -visszaverésének, teremakusztikai tulajdonságainak (pl. hangeloszlás vagy beszédérthetőség) előzetes vizsgálatát. A megfelelő forrásadatok alkalmazásával optimalizálható a terem geometriája, belső kialakítása, elrendezése, valamint tervezhető a burkolatok és építőanyagok hangelnyelő képessége. A szoftverek lehetővé teszik a hangosítási rendszerek, különböző hangforrások, pozíciók és forráskarakterisztikák modellezését is.
- **Épületakusztika:** Ebben az esetben célunk az épületen belüli hangterjedés, illetve a hangszigetelési kérdések vizsgálata, például különböző funkciójú helyiségek (lakószoba és valamilyen zajos helyiség, iroda és tárgyaló stb.) közötti lég-, vagy lépéshanggátlás tervezése. A szoftveres modellek segítenek az épületek szerkezeti elemeinek zaj- és rezgéscsökkentési hatékonyságát megítélni, különböző elrendezéseket, építőanyagokat, rétegrendeket, vagy épületszerkezeti megoldásokat összehasonlítani.

Munkavédelmi célú zajmodellezés

A munkavédelmi jogszabályok a dolgozók megengedhető zajterhelésére (zajexpozíciójára) vonatkozóan tartalmaznak előírásokat. A zajmodellezés itt a következő célokat szolgálja:

- **Zajos területek kijelölése:** Olyan munkaterületek meghatározása és lehatárolása, ahol a zajszint meghaladja a megengedett határértékeket, ezért valamilyen munkavédelmi intézkedés végrehajtása szükséges (pl. ezekben a zónákban egyéni hallásvédő eszközök használata kötelező).
- **Munkahelyek elrendezésének optimalizálása:** A munkahelyi zajterhelés minimalizálása érdekében a zajforrások és a munkaállomások elrendezésének modellezése, az adott helyiségben kialakuló hangnyomásszintek meghatározásával és belsőtéri zajtérkép készítésével.
- **Zajvédelmi intézkedések tervezése:** Munkahelyi szituációkban alkalmazható műszaki zajcsökkentési vagy szervezési beavatkozási lehetőségek modellezése, különböző variációk, pl. a zajcsökkentés előtti és utáni állapot összehasonlítása.

Városi stratégiai zajmodellezés

A zajmodellezés egyik alkalmazási területe a városi léptékű stratégiai zajmodellezés, amely a városi zajforrások által keltett zajnak a lakosság egészségére és életminőségére gyakorolt hatását vizsgálja.

- **Stratégiai zajtérképek készítése:** A stratégiai zajtérkép vizualizálja a különböző zajforrások – például közúti- vagy kötött pályás közlekedés, ipari létesítmények – által generált zajszinteket a város egész területén. Ezek a térképek segítenek a zajos vagy zajvédelmi szempontból érzékeny területek (pl. kórházak, iskolák) azonosításában, valamint a zaj által érintett lakosság számának becslésében.



- **Intézkedési tervek készítése:** Az Európai Unió vonatkozó irányelve (2002/49/EK) megköveteli az öt-évente elkészített stratégiai zajtérképek és az azokon alapuló, a zaj városi léptékű csökkentését célzó intézkedési tervek bemutatását. A zajtérképek nem csak a zajterhelés csökkentésére irányuló stratégiai döntések alapját képezik, de lehetővé teszik a városok zajvédelmi szempontból előnyös növekedését és fejlődését.
- **Prediktív szimulációk:** A zajmodell lehetővé teszi jelenleg még nem létező szituációk, például új városi infrastruktúra (pl. utak, hidak) hatásainak előrejelzését, valamint alternatív tervezési lehetőségek (pl. eltérő településrendezés, elhelyezés vagy zajárnyékoló falak, útburkolat-változtatások) összehasonlítását.

Speciális alkalmazási területek

A szoftveres zajmodellezés további alkalmazási területei közé tartoznak többek között a repülőtéri vagy légi-közlekedési zajmodellezés feladatai (így többek között a repülőterek zajgátló védőövezetének kijelölése); erőművek, szélenergia-telepek vagy napelemparkok hatásainak vizsgálata; katonai lötérek vagy gyakorlóterek zajhatásának vizsgálata; speciális közlekedési szimulációk (pl. parkolók, garázsok vagy pályaudvarok) hatásvizsgálata. Zajvédelmi szakértői szempontból az elvégezhető feladatoknak általában a modellezésre használt szoftverek képessége, funkciói, illetve az adott szoftver által alkalmazott számítási szabványok száma szab határt.

3.2. Miért készítünk zajmodellt?

A zajmodellezés az ipari létesítmények tervezése, üzemeltetése, bővítése, illetve átalakítása során kulcsfontosságú eszköz a környezeti zajhatások vizsgálatára, előrejelzésére és kezelésére. A környezetvédelmi, munkavédelmi és akusztikai célok megvalósításában a zajmodellek nemcsak a vonatkozó jogszabályi előírások teljesítését segítik, hanem hozzájárulnak a hatékonyabb tervezési és üzemeltetési folyamatokhoz is.

A zajmodellek építéséhez, alkalmazásához, a hazánkban alkalmazandó számítási módszerekhez és egyéb követelményekhez számos hazai jogszabály, valamint magyar szabvány kapcsolódik, melyeket jelen tervezési segédletben nem részletezünk. Általánosságban elmondható, hogy az ipari létesítmények környezetvédelmi és építési engedélyeztetési folyamata során elengedhetetlen a zajmodellezés, amely biztosítja, hogy a zajtól védendő területeken (pl. lakóterületeken), létesítményeknél (pl. lakóházaknál) és helyiségekben (pl. lakószobákban) a kialakuló zajszint ne lépje túl a jogszabályban meghatározott határértékeket. Így a zajhatások elemzése alapján igazolható legyen az érintett lakosság egészségének és életminőségének védelme.



A zajmodellezés előnyei a következők:

- A zajmodell segítségével *pontosabban* megjósolható a zajforrás által okozott környezeti zajhatás, figyelembe véve a forrás akusztikai tulajdonságait, a terep jellemzőit, valamint a környezeti tényezőket.
- A zajmodell lehetőséget nyújt *alternatív* tervezési forgatókönyvek összehasonlítására, így például összehasonlítható különböző zajcsökkentési megoldások (pl. zajárnyékoló falak, hangtompítók) hatása, a zajforrások elrendezése optimalizálható a zajterhelés csökkentése érdekében, illetve különböző üzemeltetési forgatókönyvek (pl. nappali és éjjeli üzemállapot) hatása elemezhető.
- A zajmodell eredményeit *zajtérkép* formájában jeleníthetjük meg, amely vizuálisan ábrázolja a zajszintek eloszlását a vizsgált területen. Ez a vizualizáció segít bemutatni a tervezett létesítmény környezeti zajhatását, illetve segít a tervezőknek, döntéshozóknak és a lakosságnak könnyebben megérteni a várható zajhelyzetet, ezzel növelve a beruházás átláthatóságát. Ugyancsak alkalmas a különböző állapotok (pl. zajcsökkentés előtti és utáni állapot) összehasonlítására, vagy egyedi térképi ábrázolások (pl. zajvédelmi hatásterület kijelölés vagy érintettségi térkép) készítésére.
- A zajmodellezés jelentősen csökkentheti a beruházás *költségét*, mivel az előrejelzések alapján még a tervezési fázisban változtatható és ellenőrizhető a kedvezőbb zajkibocsátást okozó alternatíva. Ennek eredményeként akár egy tervszintű beavatkozással teljesíthető a követelmény (pl. az elrendezés módosításával, vagy egy kisebb zajkibocsátású gép választásával), a többszörösen költségesebb utólagos műszaki zajcsökkentési megoldás megvalósítása helyett.
- A zajmodell lehetővé teszi a már megvalósult ipari létesítmény későbbi bővítése vagy átalakítása kapcsán a követelményeknek való megfelelés fenntartását, ezzel támogatja a *fenntarthatóságot*, a BAT és egyéb komplex környezetvédelmi elvárásoknak való megfelelést.

A zajmodellezés számos ipari területen alkalmazható, például gyárak, üzemek, erőművek, szélenergia-telepek zajterhelésének kezelésére. A zajmodellek széleskörű alkalmazási lehetőségei és előnyei teszik őket nélkülözhetetlenné az ipari tervezés és a környezetvédelem területén. Az előrejelzések és elemzések révén nemcsak az aktuális problémák kezelhetők, hanem megelőző intézkedések is kidolgozhatók, amelyek hozzájárulnak a zaj okozta káros hatások minimalizálásához.

3.3. Szabadtéri hangterjedés számítás módszere

A zajforrások környezeti hatását az akusztikai energia, vagyis a *hangteljesítmény* (ld. 2.8. pont) határozza meg, melyet a hangforrás átad a körülötte lévő közegnek. A közegben a hanghullám ezt a kibocsátott akusztikai energiát, vagyis *zajemissziót* szállítja a terjedésének irányában. A forrástól távolodva a hangenergia egyre nagyobb felületen oszlik meg (illetve részben elnyelődik, visszaverődik, átalakul), ezért a forrástól mért távolsággal és a terjedést befolyásoló egyéb tényezőkkel együtt értelmezhető a kialakuló *hangnyomás*, vagy *zajemisszió* (ld. 2.3. pont).



A zajforrás által okozott hangnyomásszint számításánál a hang szabadtéri terjedését befolyásoló tényezőket kell figyelembe venni a [2.9. pontnak](#) megfelelően. A szabadtéri hangterjedést leíró összefüggést többek között magyar jogszabály (jelenleg a 93/2007. (XII. 18.) KvVM rendelet), illetve több különböző nemzetközi és magyar szabvány is tartalmazza. A számítás módszere különböző lehet a feladat céljától függvényében. Az Európában alkalmazott szabványos számítási módszerek célja, hogy egységes és összehasonlítható eredményeket biztosítsanak a zajterhelés elemzésekor:

- **ISO 9613-2:** a legszélesebb körben alkalmazott nemzetközi szabvány a zajterhelés modellezésére
- **CNOSSOS-EU:** az EU által 2015-ben elfogadott módszer különösen stratégiai zajtérképek készítéséhez
- **Harmonoise:** EU kezdeményezés a közlekedési zajforrások modellezésére (a CNOSSOS-EU elődje)
- **Nord2000:** skandináv országok által fejlesztett módszer rendkívül részletes és pontos eredményekhez
- **DIN 45691:** elsősorban Németországban alkalmazott módszer a zajterhelés numerikus modellezésére
- **Schall 03:** német szabvány a vasúti közlekedési zaj modellezésére
- **CRTNi:** az Egyesült Királyságban kifejlesztett módszer kifejezetten a közlekedési zaj modellezésére
- **ANSI/ASA S12.9:** főként Észak-Amerikában alkalmazott nemzetközi referencia módszer

A számítás módszere rendkívül összetett, így több különböző korrekciós tényező számítását kell elvégezni minden forrás és számítási pont között, minden terjedési úton (többek között a sugárzási iránytényező, a visszaverődések, a távolság miatti csillapodás, a levegő elnyelés, a talaj és a meteorológiai viszonyok, illetve a növényzet és a beépítettség, valamint a hangárnyékolás hatásának korrekcióját). A zajmodellező szoftverekkel kapcsolatos alapvető elvárás, hogy a hangterjedés-számítás módszerét *validáltan* alkalmazza.

A zajmodellező szoftver általában a szabadtéri hangterjedés szempontjából legideálisabb környezeti feltételekkel számol (kivéve a CNOSSOS-EU és Nord2000 módszereket), így a legideálisabb időjárási körülményeket veszi figyelembe minden irányban.

Hazánkban jelenleg a 93/2007. (XII. 18.) KvVM rendelet 11. mellékletében előírt számítási módszer alkalmazása kötelező, azonban várhatóan a közeljövőben áttérünk a CNOSSOS-EU számítási módszerének alkalmazására, tehát jogszabályi szinten kötelezővé válik az új módszer alkalmazása!

3.4. Területi és geometriai adatok szerepe

Mivel a hangterjedést három-dimenzióban számoljuk, a hosszúság és szélesség mellett szükségünk van a magassági adatokra is. A zajmodell számítási pontossága nagyban függ a terep és a hangterjedést befolyásoló objektumok (pl. épületek) geometriai adataitól. Az alábbi tényezők kiemelt jelentőségűek:

- **Terepmodell:** a domborzati viszonyok hatással vannak a hang terjedésére (árnyékoló hatás)
- **Épületek:** az épületek hangterjedési akadályként működnek (árnyékoló és visszaverő hatás)
- **Burkolatok:** a különböző anyagok eltérő mértékben nyelik el és verik vissza a hangokat
- **Talajtakaró:** a különböző felületek is eltérő akusztikai tulajdonságokkal rendelkeznek



4. Forrásadatok

4.1. Zajmodell és forrásadatok összefüggései

A szükséges forrásadatok részletességét befolyásolja a zajmodell célja és ennek következtében összetettsége. Amennyiben nagyvárosi léptékű modellt építünk stratégiai zajtérkép készítés céljából, érthető okokból az egyszerűsítés irányába mozdulunk, mivel a zajmodell hatalmas területre terjed ki és rengeteg objektumot tartalmaz. Az ipari létesítmények modellezése esetén nagy részletességű modelleket építünk, amelyeknél törekedünk a zajforrások egyedi modellezésére, mivel meg kell határoznunk az üzem domináns zajforrásainak sorrendjét, az esetleges zajcsökkentési beavatkozások prioritásait, illetve az egyedi zajcsökkentési igényeket. Ugyancsak célunk lehet egyes forráscsoportok kikapcsolása, hatásuk elkülönített elemzése, amelyhez minden meghatározó zajforrásnak szerepelnie kell a modellben. A zajmodell pontosságát és a számítás bizonytalanságát a rendelkezésre álló adatok minősége, részletessége és alkalmazhatósága határozza meg. Az alábbi táblázatokban a tapasztalataink alapján elemezzük a forrásadatok a következő szempontok szerint:

- **Összetettség:** a forrásadat hatása a modell komplexitására
- **Pontosság:** a forrásadat hatása a számítási eredmény pontosságára
- **Költség:** a forrásadat előállításának és feldolgozásának időigénye

4.2. Terepmodell előállításához szükséges adatok

A digitális terepmodell (Digital Terrain Model – DTM) elkészítéséhez szükségesek a domborzatot leíró adatok (magassági szintvonalak / magasságpontok), valamint a talajtakaró típusát (hangelnyelését) leíró adatok. Ezek az információk nem kiemelkedő fontosságúak, amennyiben a terepi adottságok miatt a terepviszonyok nem befolyásolják jelentősen a hangterjedést. A szükséges adatok általában nyilvánosan elérhető adatforrásokból vagy helyszíni felmérésekből származnak.

Terepmodellhez szükséges adatok	Összetettség	Pontosság	Költség
Nincs terepmodell	●	●	●
Nyilvánosan elérhető topográfiai adat	●●	●●	●
Topográfiai térkép digitalizálása	●●	●●	●●
Ortografikus fotók fotogrammetriai feldolgozása	●●	●●●	●●
Helyszíni geodéziai felmérés	●●●	●●●	●●●
LIDAR vagy egyéb lézerszenkeres felmérés	●●●●	●●●●	●●●●

1. táblázat: Terepmodell előállításához szükséges adatok összehasonlítása [4]



A fentiek alapján tehát a tapasztalatok szerint a leginkább költséghatékony megoldás a rendelkezésre álló ortografikus fotók fotogrammetriai feldolgozása. Amennyiben azonban rendelkezésre áll geodéziai felmérés eredménye, feltétlenül javasolt annak alkalmazása.

4.3. Felületmodell előállításához szükséges adatok

A digitális felületmodell (Digital Surface Model – DSM) elkészítéséhez szükségesek a hangterjedést befolyásoló tereptárgyak, épületek, építmények és egyéb objektumok, valamint a zajforrások helyzete és méretei. Ezek az információk kiemelkedő fontosságúak, mivel a geometriai adatok hiányában eleve nem építhető fel a zajmodell. A modell nem csak az ipari létesítmény területére terjed ki, hanem a teljes zajtól védendő környezetre (zajvédelmi hatásterületre), így a zajtól védendő létesítmények (pl. lakóházak) elhelyezkedése és mérete, illetve ezek adatforrása is lényeges bemenő adat. A részletes 3D geometriai adatok lehetővé teszik a pontos modell építését és növelik a hangterjedés számítások megbízhatóságát. A szükséges adatok általában a rendelkezésre álló tervrajzokból nyerhetők ki, illetve helyszíni felmérések során is előállíthatók.

Felületmodellhez szükséges adatok	Összetettség	Pontosság	Költség
Becslés fotók alapján	●	●	●●
2D rajz magassági adatokkal	●●	●●	●
Fotogrammetriai felmérés	●●	●●	●●●
Helyszíni felmérés (lézeres távmérővel)	●●	●●●	●●●
2D nézet és metszet rajzok (magassággal)	●●●	●●●	●
3D CAD (pl. Navisworks, Solidworks stb.)	●●●●	●●●●	●●
3D LIDAR / lézerszkenneres (drón) felmérés	●●●●	●●●●	●●●●

2. táblázat: Felületmodell előállításához szükséges adatok összehasonlítása [4]

A tapasztalatok szerint tehát a leginkább költséghatékony megoldás a 3D CAD állományok (pl. Navisworks, Solidworks, Civil 3D, Revit, ArchiCAD stb.) alkalmazása. 2D helyszínrajzok esetében elengedhetetlen a magassági adatok megadása, de sokkal előnyösebb, ha nézet és metszet rajzok is rendelkezésünkre állnak. Amennyiben a rajzi adatszolgáltatás nem teljeskörű (pl. magassági adat nem áll rendelkezésre), a lézeres távmérővel történő helyszíni felmérés és a 2D rajzok (valamint helyszíni fotók) kombinációja eredményez megfelelő pontosságot, bár a szükséges adatok előállítása időigényesebb. A zajtól védendő területeken elhelyezkedő védendő épületek, illetve azok adatforrásai (földhivatali állományok, szabályozási tervek) nagyon nagy bemenő adatigényt jelentenek (mind méretben, mind díjtételben), amely alapjaiban határozza meg a zajvédelmi munkarészt.



4.4. Zajforrások forrásadatai

A zajforrásokat a kibocsátott hangteljesítményszinttel vagy az adott távolságban mérhető hangnyomásszinttel jellemezzük. Teljesebb az adatszolgáltatás, amennyiben mindkét adat rendelkezésre áll, valamint a zaj spektrális eloszlása (frekvenciaspektruma) is megadásra kerül. Ezen információk elengedhetetlenek a zajmodell építéséhez. Az adatok általában az adott zajforrás gyártója által közölt gyári adatlapról származnak.

Zajforrás adat típusa	Összetettség	Pontosság	Költség
A-súlyozott hangnyomásszint (L_A / SPL)	●	●	●
Oktáv- vagy tercsávós hangnyomásszint	● ●	● ●	●
A-súlyozott hangteljesítményszint (L_W / PWL)	●	●	● ●
Oktáv- vagy tercsávós hangteljesítményszint	● ●	● ●	● ●
SPL és PWL tercsávós szintértékekben	● ● ●	● ● ●	● ● ●
SPL és PWL tercsávokban, irányítottsággal	● ● ● ●	● ● ● ●	● ● ● ●

3. táblázat: Zajforrás adat típusainak összehasonlítása [4]

A tervezőtől, beszállítótól, gyártótól a berendezések zajszintjére vonatkozóan egységes formátumban és műszaki tartalommal kell adatot kérni. Annak ellenére, hogy a fenti paraméterek mindegyikének mértékegysége *decibel [dB]*, a paraméterek egymással nem összehasonlíthatók. Csak az azonos módszerrel meghatározott, azonos fizikai jellemzőt kifejező paraméterek hasonlíthatók össze (pl. hangnyomásszint a hangnyomásszinttel).

A számítás szempontjából a forrásadatok megadásának legelőnyösebb formája a zajforrás által kibocsátott zaj frekvencia-spektrumának (színképének) megadása, mivel így figyelembe vehető a zaj esetleges keskenysávú (tonális) jellege, valamint pontosabb hangterjedési számítások végezhetők. A spektrum ismeretében a terjedés paraméterei is pontosabban számíthatók.

Amennyiben a vizsgált változás már megvalósult (tehát mérhető), illetve a tervezettel azonos jellegű zajforrás üzemel a létesítmény területén, úgy célravezetőbb lehet a forrásadatok előállítása helyszíni műszeres vizsgálatokkal (ld. alább).

Az érintett zajforrások forrásadatain túlmenően az elhelyezkedésre, geometriai paraméterekre vonatkozó adatok, rajzok, ábrázolások szükségesek. Mivel a hangterjedési számításokat három-dimenzióban végezzük, ezért elengedhetetlen a magassági paraméterek megadása. A feladat szempontjából legelőnyösebb olyan három-dimenziós CAD rajzok (illetve ezek kimenetei) formájában adatokat szolgáltatni, amelyeken a zajforrások is jól azonosíthatók.



4.5. Közlekedési források adatai

A helyhez kötött zajforrásokon túlmenően az üzem telephelyének *telekhatárán belüli közlekedés* (pl. gépjármű-forgalom) is *üzemi zajforrásnak minősül*, így a telephely környezeti zajterhelésének számításához az előzőekben felsoroltakon kívül szükséges lehet a forgalom adataira (lehetőleg gépjárműkategória szerinti bontásban, napszakos vagy órás adatként), valamint az útburkolat minőségére és a megengedett sebességhatárookra.

Egy üzem környezeti zajterhelésénél sokszor meghatározó az a közlekedési zaj, amit az üzem a környezetében indukál. Tehát szükségesek az olyan forgalmi- és útdatok, amelyek az üzem távlati „*vele*” és „*nélküle*” állapota mellett adódnak, valamint természetesen a jelenlegi állapotra vonatkozó adatok is. Ezekkel együtt meghatározható, hogy a vizsgált üzem megvalósítását követően a környező úthálózaton a jelenlegihez képest milyen zajnövekmények adódnak, illetve az is megállapítható, hogy ezek mennyire az adott üzemtől származnak. Sok környezeti konfliktus adódik az anyagok ki- és beszállításával kapcsolatban, de egy logisztikai központ esetében gyakorlatilag a telephely környezeti zajhatását a nehéztehergépjármű forgalom fogja meghatározni.

4.6. Zajadatok előállításának módszerei

Amennyiben a zajmodellt teljesen nulláról kell felépíteni, akkor általában a zajvédelmi szakértő teljes mértékben a forrásadatokat szolgáltató tervező kollégákra kénytelen bízni a forrásadatok előállítását. A zajadatok előállítását ugyancsak befolyásolják a már előzőekben vizsgált szempontok, miszerint mennyire komplex az adatszolgáltatás, milyen hatása van a modell pontosságára és mennyire időigényes vagy költséges az adat előállítása az adott módszerrel.

Zajadat előállítás módszere	Összetettség	Pontosság	Költség
Alapértelmezett értékek	●	●	●
Határértékből visszszámolt minimum követelmény	●	●●	●●
Nyilvános (online) zajforrás adatbázis	●●	●●	●●
Zajmodellező szoftver belső adatbázisa	●●	●●	●
Gyártói katalógusadat	●●	●●●	●●●
Helyszínen mért hangnyomásszint	●●●●	●●●●	●●●●

4. táblázat: A különböző zajadat-előállítás módszereinek összehasonlítása [4]



A forrásadatok előállítása során természetesen sokkal pontosabb adatokra teszünk szert meglévő objektumok, illetve zajforrások esetén, mivel ilyen esetben közvetlenül helyszíni műszeres méréssel meghatározhatók a szükséges adatok. A tervezett létesítmények esetén a forrásadatok bizonytalansága mindig sokkal nagyobb. A szakértői gyakorlatban ezért a tervezési feladatok esetén is gyakran előnyben részesítjük azt, ha a tervezett zajforráshoz hasonló forrás (valós működési körülmények között) felmérhető.

A már üzemelő zajforrások helyszíni felmérésének keretében meghatározott forrásadatok mindig megbízhatóbbak, mint a gyártói adatszolgáltatás adatai. A tapasztalatok szerint a gyártói adatlapokon gyakran becsült vagy valamilyen módszerrel számított adatok kerülnek megadásra, illetve nem egyértelmű ezeknek az adatoknak az értelmezése (pl. *Noise Level* megnevezéssel közölnek egy decibel mértékegységű számadatot, így nem egyértelmű, hogy az milyen típusú zajadat). A felmért zajforrások referenciapontjain mért eredmények integrálhatók a zajmodellező szoftverbe, amelyekkel pontosan kalibrálható a zajforrások zajkibocsátása, így az alkalmazott szabványos számítási módszerrel *validálhatók* a zajforrások kibocsátási paraméterei.



5. Adatszolgáltatás

5.1. Helyszínrajzok és alaprajzok

A modellépítés első fázisa a terepmodell létrehozása, melyhez elsősorban olyan helyszínrajzok és alaprajzok biztosítására van szükség, amelyeken a tervezett létesítmény pontos pozíciója és tájolása azonosítható, illetve elhelyezhető a környező területekhez és meglévő létesítményekhez képest. Az ipari létesítmény számára épített zajmodell általában a *magyarországi EOv koordináta-rendszerbe forgatott*. Ennek megfelelően minden tervezett objektum esetében preferáljuk az olyan helyszínrajzok és alaprajzok biztosítását, amelyek ugyancsak EOv koordináta-rendszerben készültek és rajzi méretekkal ellátottak. A nem EOv koordináták szerinti rajzokon szükséges a rajzi méreteken túlmenően a tájolás megadása.

Preferált állományformátum:

- **DWG / DXF:** széles körben használt CAD formátumok
- **SHP (SHAPE):** domborzati adatok tárolására alkalmas GIS formátum

Elfogadható állományformátum:

- **TIF (GeoTIFF):** georeferált térképek domborzati adatokkal
- **PDF (vektoros):** jól méretezhető és importálható vonalas rajzi állomány
- **JPG / PNG (raszteres):** kizárólag nagy felbontású pixeles állományok alkalmazhatók

A zajmodellező szoftverek általában alkalmasak vektoros (vonalas) és raszteres (pixeles) rajzi állományok importálására. A vektoros állományok közül a legelterjedtebb univerzális állományformátum a DXF, továbbá a domborzati adatok importálására a GIS-rendszerekben elterjedt SHP formátum.

Amennyiben a tervezett beruházás keretében a terep is átalakításra kerül – mivel ez befolyásolhatja a hangterjedést, javasolt a tervezett terep topográfiájának definiálása tengerszinthez viszonyított abszolút magasságú szintvonalakkal (legalább 1 méterenként). A zajtól védendő terület, illetve a zajtól védendő létesítmények (épületek) adatforrásai a földhivatali állományok, szabályozási terv mellékletek, illetve a területre kiterjedő ortofotók és műholdképek.

5.2. Geometriai adatok

Mivel a hangterjedés számítását háromdimenzióban végezzük el, ezért minden objektum esetében a szélességi és hosszúsági méreteken túlmenően a magassági paraméterekre is szükségünk van. Ezért feltétlenül szükséges a tervezett létesítmény alaprajzán túlmenően megfelelően méretezett nézetrajzok, homlokzati tervek, illetve metszetrajzok biztosítása. A legelőnyösebb olyan 3D CAD (pl. Navisworks, Civil 3D, Revit, ArchiCAD stb.) állomány biztosítása, amelyben a teljes tervezett létesítmény háromdimenzióban felmérhető. Amennyiben nem áll rendelkezésre háromdimenziós rajzi állomány, előnyös lehet 3D nézetrajzok biztosítása is.

**Preferált állományformátum:**

- **NWD / DWG / IFC:** részletes és mérhető geometriai adatok elterjedt 3D CAD formátumban

Elfogadható állományformátum:

- **PDF (vektoros):** méretezett vonalas rajzi állomány
- **JPG / PNG (raszteres):** méreteket tartalmazó nagy felbontású pixeles állomány

Leginkább olyan rajzi állományok preferáltak, amelyeken a zajforrások is jól azonosíthatók (pl. technológiai számokkal, vagy gép, illetve típusmegjelöléssel). A rajzok méretezése és a telephelyen belüli elhelyezése elengedhetetlen. Általában a rajzok fájlneve is már egyértelműen utal az adott technológiai egységre, blokkra, üzemszervezésre, így megfelelő rajzi rendszerbe illeszthetőek.

5.3. Zajforrások adatai

A zajforrások zajkibocsátását alapvetően az alábbi paraméterek valamelyike alapján lehet meghatározni:

A-jelű súlyozó szűrővel meghatározott hangteljesítményszint

- röviden: *A-hangteljesítményszint*
- jele: **L_{WA}** (egyres helyeken: L_{AWi} , L_{PAi} , PWL , PWR , SWL , SWL , Pac , L_{Pac})
- mértékegysége: *decibel(A) [dB(A)]*
- a zajforrás által kibocsátott hangenergia (emisszió)
- a távolságtól független
- preferált a számítási szabvány megadása (pl. ISO 3746)

A-jelű súlyozó szűrővel mért hangnyomásszint

- röviden: *A-hangnyomásszint vagy egyenértékű A-hangnyomásszint*
- jele: **L_A** (egyres helyeken: L_{Aeq} , L_{pA} , SPL)
- mértékegysége: *decibel(A) [dB(A)]*
- a forrás által a mérési pontban okozott terhelés (immisszió)
- távolságfüggő (illetve mérési módszer függő)
- a mérési távolság (és módszer) megadása elengedhetetlen (pl. $L_{Aeq\ 1m}$ vagy $SPL\ @\ 1m$)

Frekvenciaspektrum (színekép)

- szabványos oktávsávós vagy 1/3-oktávsávós (tercsávós) frekvencia spektrum
- általában 9 oktávsávban (31,5 – 8000 Hz) vagy 1/3-oktávsávokban (20 – 20000 Hz) megadva
- súlyozatlan (lineáris) vagy A-jelű súlyozó szűrővel
- mértékegysége: *decibel [dB]*
- hangnyomásszint esetén a mérési távolság (és módszer) megadása ugyancsak elengedhetetlen



Annak ellenére, hogy a fenti paraméterek mindegyikének mértékegysége decibel [dB], a paraméterek egymással nem összehasonlíthatók. Csak az azonos módszerrel meghatározott, azonos fizikai jellemzőt kifejező paraméterek hasonlíthatók össze (pl. hangnyomásszint a hangnyomásszinttel).

A leginkább preferált a fenti forrásadatok együttes biztosítása, tehát a frekvenciasávos hangteljesítményszint, illetve mért (vagy számított) hangnyomásszint, továbbá a szélessávú A-súlyozószűrővel mért (vagy meghatározott) hangteljesítményszint és hangnyomásszint megadása a legelőnyösebb.

A zajforrások definiálásához minimálisan szükséges forrásadatok a következők:

- üzemen belüli **technológiai egység**, blokk vagy üzembrész megnevezése
- a zajforrás **azonosítója**
- a zajforrás **megnevezése**
- a fentiekben leírt **zajforrásadat**, hangnyomásszint esetében a mérési pont **távolsága**
- zajforrás **elhelyezkedése** (épületen belül, talajszinten, homlokzaton, tetőn)
- kapcsolódó gyártói **adatlap** fájlneve vagy az adat forrásának **elérhetősége**

A zajforrások definiálását segítő további forrásadatok:

- **működési idő** (napszakok szerint / órákra bontva / gyakoriság)
- rendszeresen előforduló üzemállapotnak megfelelő **működés paraméterei** (teljesítmény, fokozat)
- a zajforrás adatok előállítására, illetve értelmezésére vonatkozó **szabvány**
- a forrás **típusa** (pont / vonal / felület)
- a forrás **méretei**
- a forrás (akusztikai) középpontjának **magassága**
- alkalmazott műszaki **zajcsökkentési megoldás** (pl. hangtompító) és akusztikai paraméterei

Az adatok közlését segítő mintatáblázatokat a [Melléklet](#) tartalmazza.

A fenti adatokat mindenképpen érdemes valamilyen **strukturált táblázat vagy adatbázis** formájában közölni, amelyben kereshetők, rendszerezhetők és másolhatók az adatok vagy adatsorok. Az adatok egyértelműségének biztosítása érdekében kerülni kell a görbékkel vagy görbeseregekkel történő megadást és a nem másolható adatsorok (csak manuálisan átírható adatok) alkalmazását.

Preferált állományformátum:

- **XLS:** jól áttekinthető, kezelhető és sok modellező szoftverbe integrálható forrásállomány

Elfogadható állományformátum:

- **DOC / TXT:** szöveges fájl formájában kialakított táblázat, amely közvetlenül nem integrálható



Amennyiben az adatszolgáltató számára nem egyértelmű a forrásadat paramétere, a gyártói adatlapot érdemes csatolni és az állományokat zajforrásonként meghivatkozni. Fontos, hogy a zajforrások azonosítója a biztosított helyszínrajzokon is azonos jelöléssel szerepeljen.

A fentiekén túl szükséges lehet megadni a zajforrás működési idejét (legalább napszakok szerint vagy órákra bontva), illetve gyakoriságát (pl. óránként 10 perc), továbbá a zajforrások üzemállapotát (pl. 75 %-os terhelés) és esetleges egyidejűségét (tartalék zajforrások, redundáns elemek, adott időszakban fokozott teljesítmény-igény miatt több zajforrás működik stb.).

1.3. Acoustic data

Sound power level (Lw)

- Air inlet	dB(A)	96,9
- Air outlet	dB(A)	97,1
- Casing	dB(A)	87,8
- Motors	dB(A)	90,8
- Total	dB(A)	100,7

Sound pressure level (Lp)

- at 1 m in front of air inlet	dB(A)	-
- at 50 m in front of air inlet	dB(A)	-
- at 650 m in front of air inlet	dB(A)	25

Equipment

- Fan type	low sound
- Silenceser in air inlet	yes
- Silenceser in air outlet	yes
- Impact absorbers	yes
- Special casing	yes

Test code

- Measuring test code	ISO 9613
-----------------------	----------

5. ábra: Mintapéllda hűtőtorony zajadatainak helyes megadására [5]

A fenti mintapéldában láthatjuk, hogy a gyártó közli a zajforrás egyes zajkibocsátó gépegységeinek A-hangteljesítményszintjét [dB(A)], valamint a zajforrástól 650 méterre számított A-hangnyomásszintet, illetve az értelmezéshez az alkalmazott számítási szabványt (ISO 9613), továbbá feltűnteti az alkalmazott zajcsökkentési megoldást is (hangtompító a szívó és nyomó oldalon).



Equipment:	Expected sound pressure/power levels [dB(A)]										
	Freq. [Hz]	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Total
Complete package	SPL ² [dB(A)]										80
(excl. Stack outlet)	SWL ² [dB(A)]	73	86	94	95	97	97	93	93	90	103
Air intake (openings)	SWL [dB(A)]	71	84	88	88	82	80	77	85	79	93
Gas turbine enclosure	SWL [dB(A)]	64	78	88	87	92	93	88	85	82	97

Measurement positions

The measurement positions are evenly distributed 1m from delivered equipment and 1,5 m above ground for near field sound as per the example in figure 1.

Operation of the gas turbine under test

The sound level measurements will be made during normal operation conditions at base load.

Measurement time and equipment

The sound levels are measured for 30-60 s at each measurement position for near field sound. Instruments will fulfil class 1, in accordance with IEC 651.

Sound levels

Sound pressure levels in free field conditions fulfil the table below.

Surface sound pressure level [$\bar{L}_{pA}$] ¹	≤ 80 dB(A)
--	------------

6. ábra: Mintapélda gázturbina frekvenciaspektrumának és az adatok értelmezésének helyes megadására [5]

A fenti mintapéldában látható, hogy a gyártó közli az egyes berendezések hangteljesítményszintjét (SWL) ok-táv-sáv-os spektrum értékekben, továbbá a szélessávú szintértékeket (Total), ahol megadja a számított hangnyo-másszint (SPL) értékét is (a leírásból kiderül, hogy 1 méterre értelmezve).

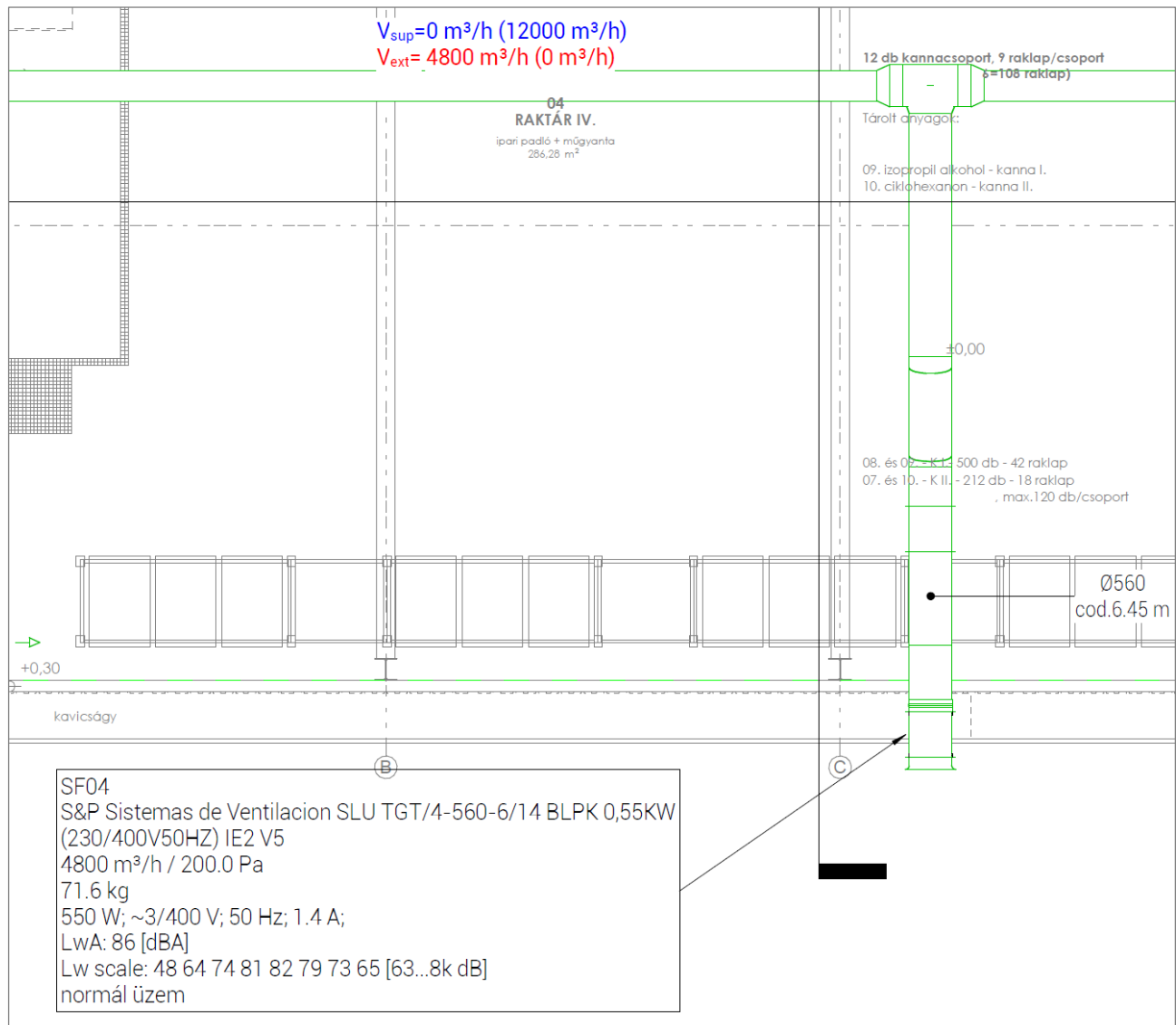


Exhaust:		Vol=7800m³/h			dPext=1200 Pa			V=1,8m/s (V2)				
Sound Power Levels:												
	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz		Total		
At outer Panel:												
Lw	79	64	67	61	61	60	59	38	dB	LwA	67	dB(A)
At Inlet Side:												
Lw	73	74	80	71	71	61	62	53	dB	LwA	76	dB(A)
At Outlet Side:												
Lw	82	82	89	85	86	84	83	75	dB	LwA	91	dB(A)

Supply Unit		Vol=8700m³/h			dPext=1200 Pa			V=1,5m/s (V1)				
Sound Power Levels:												
	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz		Total		
At outer Panel:												
Lw	79	78	63	56	53	51	46	32	dB	LwA	64	dB(A)
At Inlet Side:												
Lw	72	84	79	70	67	55	52	44	dB	LwA	74	dB(A)
At Outlet Side:												
Lw	77	89	84	75	72	60	57	49	dB	LwA	79	dB(A)

7. ábra: Mintapélda légkezelő egység oktávsváros hangteljesítményszint frekvenciaspektrumának megadására [5]

A fenti mintapélda csak hangteljesítményszint (L_w) adatokat tartalmaz, azok számítási, előállítási módjára (szabványra) nem tesz utalást a gyártói adatlap, ugyancsak hiányoznak a mért vagy számított hangnyomásszint értékek az adatok értelmezhetőségéhez és a zajforrások kalibrálásához.



8. ábra: Mintapélda elszívó ventilátor zajadatainak rajzon történő megadására [5]

A fenti mintapéldán az alaprajzon kerülnek megadásra a forrásadatok, így az A-hangteljesítményszint (L_wA) és a frekvenciaspektrum (L_w scale) oktávsávós értékei. Ugyan az adatszolgáltatás első pillantásra nem egyértelmű (nincsenek megadva az egyes frekvenciasáv középértékek), az adatokból kikövetkeztethetők a szükséges információk. Ugyanakkor itt is hiányoznak a mért vagy számított hangnyomásszint értékek az adatok értelmezhetőségéhez és a zajforrások kalibrálásához, illetve a vonatkozó referencia szabvány.

Az alaprajzokon vagy más dokumentumokban megjelenő processzált adatsorokat lehetőség szerint kerülni kell és törekedni kell a gyártói adatszolgáltatások alkalmazására. A más tervezők által utólag a dokumentumokra, rajzokra felvitt adatok fokozott hibalehetőséget rejtenek: az elgépelés mellett az eredeti adatsorok félreértelmezése is előfordulhat a legjobb szándékú és legprecízebb feldolgozás esetén is.



5.4. Zajforrások elhelyezkedése

Ipari létesítmények zajforrásai elhelyezkedhetnek **szabadtérben** vagy **épületen belül**. A források pozíciója, magassága, valamint az elhelyezés egyéb tényezői (pl. a közeli visszaverő felületek) jelentős hatással vannak a hangterjedésre és a környezeti zajterhelés alakulására.

Szabadtéri elhelyezkedés

Szabadtéri zajforrások elhelyezkedhetnek talajszinten, épületek homlokzatán vagy tetején. A pozíció nagyban befolyásolja a hang szabadtéri terjedését: általában a tetőn elhelyezkedő zajforrások környezeti hatása nagyobb, mivel a hang a terjedés során kevésbé ütközik akadályokba, míg a talajszinten elhelyezkedő zajforrások zajhatását számos árnyékoló-, visszaverő-, elnyelő hatás befolyásolhatja.

- **Talajszinten elhelyezett zajforrások**
 - **Például:** hűtőtornyok, hűtőventilátorok, szivattyúk, kompresszorok, csővezetékek
 - **Forrásadat:** a forrás elhelyezkedését ábrázoló alaprajzok
- **Homlokzaton elhelyezett zajforrások**
 - **Például:** kidobó kürtők, szellőzők, klímaberendezések, csővezetékek
 - **Forrásadat:** a forrás homlokzaton való elhelyezkedését (magasság) ábrázoló nézetrajzok
- **Tetőn elhelyezett zajforrások**
 - **Például:** kidobó kürtők, légkezelők, klímaberendezések, ventilátorok, kémények
 - **Forrásadat:** tetőrajzok és nézetrajzok pontos méretekkel és magassági adatokkal

Épületen belüli elhelyezkedés

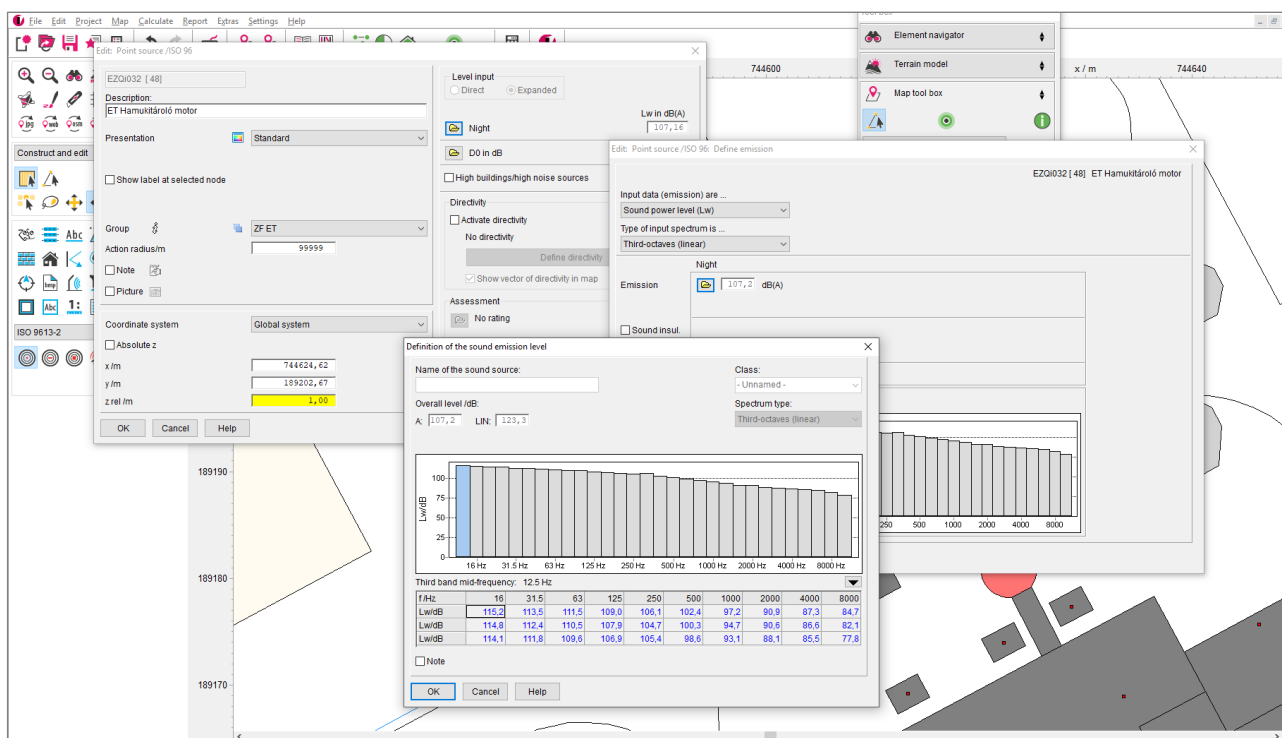
Az épületen belül elhelyezett zajforrások esetében a hangterjedési út komplexebb, mivel a kibocsátott zajt befolyásolja az épületen belüli elhelyezkedés (pl. emeleti homlokzati helyiségben vagy egy alagsori helyiségben), a helyiség teremakusztikai tulajdonságai (pl. hangelnyelés), valamint az épületszerkezeti elemek akusztikai jellemzői (pl. hanggátlás).

- **Épületen belül elhelyezett zajforrások**
 - **Például:** kompresszorok, generátorok, turbinák, kazánok, gyártósorok
 - **Forrásadat:** a forrás elhelyezkedését ábrázoló alaprajzok, a helyiség belső burkolata, a homlokzati épületszerkezet (egyres szituációkban a földémszerkezet) kialakítása és metszeti, szerkezeti rajza, a falazat és a nyílászárók épületszerkezeti elemei, azok gyártói adatlapja

Megjegyzés: Ténylegesen egyébként a helyiség átlagos belső hangelnyelési tényezőjét (α), vagy egyenértékű hangelnyelési felületét (A vagy A_s), illetve teremállandóját (R_T) kell meghatározni, amelyhez az utózenngési idő (T_{60}) ismerete is szükséges lehet, továbbá meg kell határozni a zajt a környezetbe lesugárzó épületszerkezeti elemek súlyozott léghanggátlási számát (R_w) is. Ezek az információk azonban általában csak a zajvédelmi szakértőknek, illetve akusztikai tervezőknek állnak rendelkezésre, ezért ezeket jelen segédletben nem részletezzük.

Fontos hangsúlyoznunk, hogy a berendezés pozíciója önmagában még nem feltétlenül elegendő a berendezéshez tartozó zajforrások pozíciójának meghatározásához. Például egy légkezelő egység esetén a frisslevegő beszívó, kezelt levegő befújó, hasznát levegő elszívó és fáradt levegő kidobó nyílások pontos helye csak a berendezés felépítését bemutató rajzok alapján határozható meg pontosan. Amennyiben pedig ezen terminálokhoz további légtechnikai elemek csatlakoznak, a beszívási és kidobási pontok helyzete is változik. Hasonlóan egy tetőre telepített elszívó ventilátor esetében, a kidobó nyílás függ a ventilátor alá szerelt zajcsillapító lábazat méretétől (nem azonos a rezgésszigetelő alátétekkel) és a kürtőre szerelt további hangcsillapító elemektől is. Ezért légtechnikai rendszerek esetén mindig szükség van a részletes légtechnikai terv ismeretére is.

A zajforrás elhelyezkedésének meghatározása és a szükséges forrásadatok biztosítása alapvető fontosságú a zajmodell építéséhez. Az épületen belüli források modellezése bonyolultabb, mivel figyelembe kell venni a belső akusztikai viszonyokat és a homlokzat hangszigetelését, míg a szabadtéri források esetében a pozíció, a hangterjedést befolyásoló akadályok és terepviszonyok dominálnak. A megfelelő forrásadatok teszik lehetővé azt, hogy a zajmodell kisebb bizonytalansággal tükrözze a várható környezeti zajterhelést.



9. ábra: Zajadatok definiálása a zajmodellező szoftverben [3]



6. Alkalmazás

6.1. Zajmodellező szoftverek integrációja

A hazánkban legelterjedtebb zajmodellező szoftverek (CadnaA, IMMI, Predictor-LimA, SoundPLAN) kompatibilitása a forrásadatokkal nagyon hasonló. Ennek oka egyrészt az, hogy a fejlesztésük kezdetétől (általában már a '80-as évektől) cél volt a GIS és CAD szoftverek kimeneteinek integrációja, másrészt az is egységes törekvés volt, hogy valamelyest átjárhatóságot biztosítsanak az egyes modellező szoftverek között.

A legelterjedtebb zajmodellező szoftverek közös jellemzői az alábbiak:

- széles körben alkalmazhatók ipari, közlekedési és városi léptékű zajmodellekhez
- támogatják az ISO 9613 és CNOSSOS-EU szabványokat
- nagy kiterjedésű területet és nagy mennyiségű objektumot képesek kezelni
- részletes zajtérképek és zajcsökkentési intézkedési tervek készítésére alkalmasak
- támogatják a következő formátumokat
 - importált formátumok: DXF / DWG (CAD), SHP (GIS), CSV / XLS, TXT / ASCII (numerikus adatok)
 - exportált formátumok: DXF, SHP, XLS / DOC (táblázatok)
- integrálhatók GIS (pl. ArcGIS vagy QGIS) és CAD (pl. AutoCAD) rendszerekkel

Az ingyenes, online elérhető vagy nyílt forráskódú alternatívák általában korlátozott funkcionalitással bírnak a kereskedelmi szoftverekhez képest, így például nem teljes körűen támogatják a számítási szabványokat, korlátozottabb a kezelhető terület vagy elemek száma, nem támogatnak sokféle bemeneti és kimeneti formátumot. Márpedig az adatformátumokkal való kompatibilitás és a CAD/GIS-integráció jelentősen növeli a modellezés hatékonyságát és pontosságát.



6.2. Adatszolgáltatás folyamata

Az adatszolgáltatás folyamata több lépésből áll, amelyek magukban foglalják az adatok előkészítését, ellenőrzését, valamint a projekt résztvevői közötti információcserét. Az adatszolgáltatás három fő szakaszra bontható:

- 1. Előkészítés:** Az adatok begyűjtése, feldolgozása és a megfelelő formátumokba történő konvertálása.
 - a. Titoktartási nyilatkozat és titokvédelmi eljárás előkészítése (amennyiben szükséges)
 - b. Helyszínrajzok és alaprajzok összegyűjtése
 - c. Méretezés és tájolás egyeztetése a rajzokon
 - d. Magassági információkra vonatkozó adatok (nézetrajzok vagy 3D CAD állományok) gyűjtése
 - e. Elnevezések egyeztetése (üzemrész, terület, épület, technológia, gép)
 - f. Felesleges vagy titokvédelmi szempontból nem átadható információk eltávolítása
 - g. Rajzok verziójának, revíziójának, rajzszaámok és dátumok ellenőrzése és integrálása
 - h. CAD vagy egyéb preferált kimeneti formátumokba konvertálás
 - i. Átadási és adatkezelési dokumentáció (táblázat) készítése
- 2. Adatátadás:** Az adatok megosztása a projekt résztvevőivel, megfelelő dokumentációval kiegészítve.
 - a. Kisebb adatállományok megküldése emailben (esetleg tömörített fájlban)
 - b. Nagyobb vagy összetett állományok megosztása felhő tárhelyen (pl. OneDrive, Google Drive)
 - c. Könyvtárakba szervezett állományrendszer megosztása jogosultságkezeléssel (pl. SharePoint)
 - d. Visszacsatolás kérése az adatok elérhetőségéről és feldolgozhatóságáról
- 3. Ellenőrzés:** Az adatok konzisztenciájának, pontosságának és alkalmazhatóságának ellenőrzése.
 - a. Adatok teljeskörűségének ellenőrzése
 - b. Adatállományok kompatibilitásának ellenőrzése
 - c. Ellentmondásos vagy hiányos forrásadatok jelölése és listázása
 - d. Zajforrásadatok validálása a zajmodellező szoftverben próbaszámítások futtatásával
 - e. Hiányzó információk pótlásának vagy előállításának egyeztetése

Az adatszolgáltatás során javasolt rendszeres egyeztetéseket folytatni. Tapasztalataink szerint a forrásadatok biztosítását követően nagy mértékben segíti a zajvédelmi szakértőket egy személyes vagy online (képernyőmegosztással folytatott) megbeszélés, amikor egyeztethetők a biztosított információk (pl. forrásadatok teljeskörűsége és alkalmazhatósága, zajforrások elhelyezkedése, biztosított rajzok pontossága és állapota, várható további változások a projektben stb.), továbbá kiszűrhetők az esetleges félreértések. A megbeszélés célja a hiányzó információk előállítására vonatkozó eljárás egyeztetése is.



6.3. Ipari zajmodell készítésének általános folyamata

Az ipari létesítmények környezeti zajmodelljének felépítése általában (az alkalmazott szoftvertől függetlenül) hasonló eljárással történik, amely mára szakmai sztenderddé vált. A teljes módszertant nem rögzíti jogszabály vagy szabvány, annak csak egyes lépéseit találjuk meg a különböző előírásokban (pl. a zajmérés, vagy a hangterjedés számítás módszerét).

Természetesen az adott tervezési feladat, ipari beruházás függvénye, hogy mely lépések mentén valósul meg a zajmodellezés, így például előfordulhat, hogy nincs szükség alapállapot mérésre vagy a geometriai paraméterek kiegészítő felmérésére. Meglévő létesítmény bővítése, barnamezős vagy zöldmezős beruházások esetében bizonyos mértékben eltérhet az alább ismertetett általános folyamat.

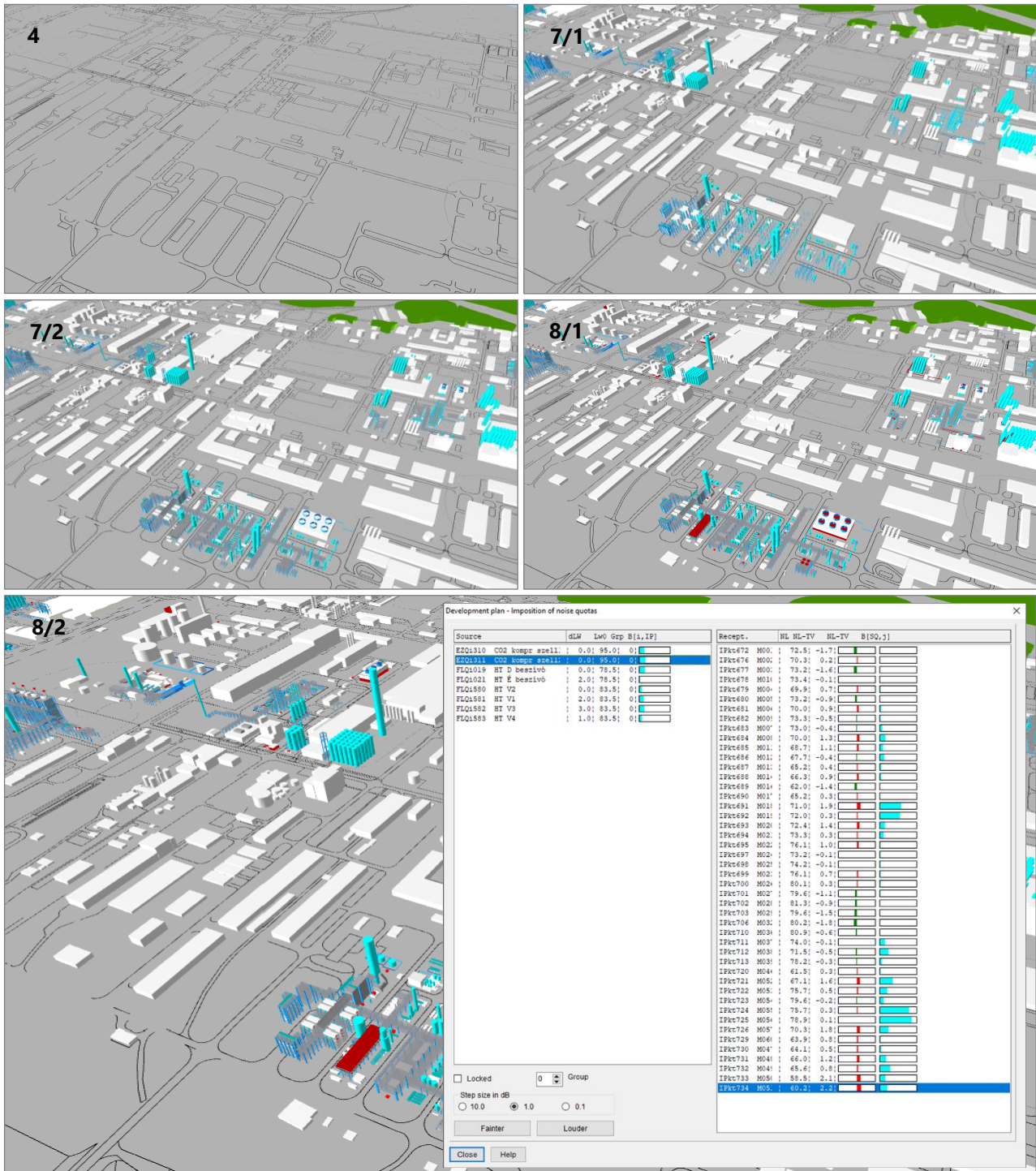
- 1 • Előkészítő megbeszélések, előzetes helyszíni szemle és szakértői bejárás
- 2 • Zajmodell építéshez szükséges forrásadatok bekérése és egyeztetése
- 3 • Kapott forrásadatok feldolgozása és alkalmazhatóságának ellenőrzése
- 4 • Topográfia és digitális terepmodell (DTM) előállítása
- 5 • Helyszíni alapállapot zajmérések végzése (elsősorban a zajtól védendő területeken)
- 6 • Geometriai paraméterek kiegészítő helyszíni felmérése (opcionálisan)
- 7 • Felületmodell (DSM) előállítása, épületek, növényzet, tereptárgyak, objektumok felépítése
- 8 • Zajforrások definiálása, beépítése és a számítási modell kalibrálása a forrásadatokkal
- 9 • Pont és rács hangterjedés számítások végzése, zajtérképek előállítása
- 10 • Környezeti zajterhelésben kiemelt szerepet játszó domináns zajforrások meghatározása
- 11 • Zajcsillapítási igények, prioritások és zajcsökkentési megoldások meghatározása
- 12 • Zajcsökkentés utáni állapotra vonatkozó zajtérképek és különbségi térképek előállítása
- 13 • Zajmodell számítási eredményeinek és a zajtérképek exportálása, dokumentáció készítése

[3]



Jelen segédlet gyakorlatilag a fenti folyamat **2. és 3. pontjára** vonatkozik, amelyek több tervezési szakág együttműködését igénylik, így a megfelelő és pontos zajmodell építéséhez elengedhetetlenek.

Az alábbiakban illusztráljuk a zajmodell építésének egyes jellemző fázisait a fenti folyamat alapján:



10. ábra: Zajmodell építésének különböző fázisai a terepmodell előállításától a zajforrások kalibrálásáig [3]



A megfelelő adatszolgáltatás alapfeltétele a megfelelő zajmodell építésének. Az előkészítés, adatátadás és ellenőrzés gyakorlatának követése biztosítja a modell pontosságát és alkalmazhatóságát, így hozzájárul az ipari létesítmény környezeti zajterhelésének hatékony kezeléséhez.

Márkus Miklós
szakértő



MELLÉKLETEK



M1. Mintatáblázatok

ID	Megnevezés	L _A	L _{WA}	Szabvány	Mérési		Zajforrás		
		[dB(A)]	[dB(A)]		távolság [m]	magasság [m]	típus	méret [m]	magasság [m]
01 BTRS	B Transzformátor – D oldal	60,0	75,0	ISO 3746	5,0	1,5	FS	3 x 5	1,5
02 BTRN	B Transzformátor – É oldal	63,0	78,0	ISO 3746	5,0	1,5	FS	3 x 5	1,5
03 BTRW	B Transzformátor – NY oldal	64,0	79,0	ISO 3746	5,0	1,5	FS	3 x 3	1,5
04 BTRE	B Transzformátor – K oldal	57,0	72,0	ISO 3746	5,0	1,5	FS	3 x 3	1,5

5. táblázat: Főbb zajadatok megadásának mintatáblázata

Zajforrás ID	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	3.15k	4k	5k	6.3k	8k	10k
01 BTRS	48,5	50,3	50,8	52,3	55,7	49,7	55,0	74,6	54,5	50,5	66,0	27,2	27,5	23,4	23,6	22,1	20,0
02 BTRN	48,5	50,5	49,4	50,8	54,1	50,0	57,5	77,5	57,3	50,6	70,6	27,7	27,2	25,9	25,5	26,4	26,7
03 BTRW	47,4	51,1	50,2	52,5	57,1	50,6	52,8	72,0	52,2	54,4	72,7	29,6	27,8	29,4	31,5	32,6	32,9
04 BTRE	49,6	49,4	47,9	49,0	55,8	48,3	49,5	68,1	48,3	45,4	57,1	25,3	26,0	24,9	23,2	23,3	23,7

6. táblázat: Lineáris hangteljesítményszintek 1/3-oktávásvos frekvenciasávokban [dB] mintatáblázat

Zajforrás	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L _{Aeq}
Gázturbina levegőbeszívó nyílás	71	84	88	88	82	80	77	85	79	93
Gázturbina gépház	64	78	88	87	92	93	88	85	82	97
Gázturbina gépház szellőző kidobó nyílás	66	75	88	91	93	89	84	80	73	97
Gázturbina gépház szellőző beszívó nyílás	53	68	79	74	75	77	85	85	79	90
Generátor gépház	64	78	88	87	92	93	88	85	82	97
Generátor gépház szellőző kidobó nyílás	37	59	63	67	68	63	62	59	53	73
Generátor gépház szellőző beszívó nyílás	38	45	58	47	47	48	47	52	45	60
Kipufogó kürtő	55	66	76	85	84	84	83	87	88	93
Kenőolaj hűtő (vízhűtés)	50	53	64	71	77	81	79	72	70	85
Olajköd szellőző kürtő	42	56	65	69	75	76	69	61	53	80

7. táblázat: A-súlyozott hangteljesítményszintek oktávásvos frekvenciasávokban [dB] mintatáblázat



M2. Irodalomjegyzék

- [1] Márkus Péter, Tóth Tibor, „Zajelhárítás,” OMKT, Budapest, 2003.
- [2] Márkus Miklós, „Zaj- és rezgésvédelem tantárgyi jegyzet,” BME KJK Mérnöktovábbképző intézet, 2020.
- [3] Márkus Miklós, „Az üzemi zajforrások speciális kérdései,” MMK Környezetvédelmi Tagozat - Zajvédelmi szakmai nap, (előadás), 2023.04.04.
- [4] Márkus Miklós és Takács Bettina, „Is there a middle ground in the complexity of industrial noise modelling?,” ACOUSTICS 2019 High Tatras, 2019.
- [5] Márkus Miklós, „Hibázunk - Megoldások és tanulságok nagyüzemek környezeti zajmodellezési és monitorozási gyakorlatában,” OPAKFI Zajvédelmi Szeminárium, 2022.