

A számítás menetének ismertetése

A hang terjedését a szabadban a 15036-os Magyar Szabvány szerint számoljuk. E szabvány tárgya a meghatározott környezeti feltételek között, az észlelés helyén keletkező zajterhelésnek a környezeti zajforrások zajkibocsátási adatai alapján való számítási módszer.

E szabvány célja, hogy egységes számítási eljárást nyújtson a tervezéshez, a tervezés ellenőrzéséhez, és a különféle létesítmények és berendezések által okozott zajkibocsátás, valamint a zajterhelés meghatározásához.

A számításokat általában frekvenciasávonként kell elvégezni. Az A-hangnyomásszinttel közelítő számítást lehet végezni, amelynek során a frekvenciától függő terjedési tényezőket az 500 Hz-es oktáv- vagy tercsáv értékeivel lehet figyelembe venni.

A számítás módszerének áttekintése

E szabvány a zajkibocsátás (teljesítményszint) és a vizsgált területen észlelhető zajterhelés (hangnyomásszint) közötti összefüggésekkel foglalkozik, azzal, hogy miként lehet kiszámítani a zajszintjét az észlelés helyén a zajkibocsátási adatokból kiindulva, az előre megadott terjedési feltételek mellett.

A szabadban lévő hangforrás által a hatókörében (környezetében) létrejövő hangnyomásszint függ a hangforrás tulajdonságaitól, továbbá a hangtér geometriájától a topográfia, a növényzet és a beépítettség által meghatározott, helyi terjedési feltételektől és az időjárástól. A hangforrás tulajdonságain a zajkibocsátási jellemzőket, azaz a hangteljesítményszintet, az irányjellegörbét és a színeképet értjük. A hangtér geometriáját a terjedési jellemzők, tehát a vizsgált pont és a hangforrás helyzete, továbbá ezeknek a talajhoz és a hangtérben lévő akadályokhoz való viszonya határozza meg.

Bár az időjárási viszonyok hatása a hangforrás közelében többnyire elhanyagolható, azok a távolság növekedtével egyre erősebben hatnak a hangterjedésre, és emellett a talajhatás és az akadályok miatti hangnyomásszint-csökkenést is megváltoztatják.

Ez a módszer olyan körülményeket feltételez, amelyek kedveznek a hang terjedésének, ezért **ezzel a módszerrel számított hangnyomásszintek általában nagyobbak a hasonló helyzetben mérésel meghatározott szinteknél.** A számítottnál magasabb szintek ritkán, csak különleges körülmények egybeesésekor várhatók.

A számítás alapja olyan időjárási helyzet, amely segíti a hang terjedését. A tapasztalat azt mutatja, hogy hosszabb időn keresztül és különböző időjárási viszonyok közt mért hangnyomásszintek átlagos értékei a szélirányú terjedés értékei alatt vannak.

A szélesség és a hőmérséklet-ingadozás hatása a hangterjedésre

A szél hatása

Mivel a szél- és a hangsebesség irányfüggően (vektoriálisan) összeadódik, a hang terjedése szélirányban "gyorsabb", míg ellenszélben "lassabb". A talaj közelében a növényzet és a beépítettség miatti sűrűlódás csökkenti a szélességet, ezért csökkenő magassággal a szélesség is kisebb lesz.

Így a magasabb légrétegekben a hang terjedési sebessége szélirányban növekszik, és ellenszélben csökken. A hanghullámok legrövidebb útja ezért szélben a talaj irányába, ellenszélben a talajtól távolodva görbül.

Ellenszél esetén a hanghullámok a talajtól egy bizonyos távolságra már nem érik el az észlelőt, ennek következtében hangárnyék alakul ki. Ezért egy átmeneti zóna mögött lévő területen a hangnyomásszint csökkenése léphet fel, ennek mértéke a 30 dB-t is elérheti.

A terjedő hanghullámokat a talaj (részben) visszaveri. Ezek a visszaverődések részlegesen vagy esetleg még teljesen is megszüntethetik az akadályok miatti hangnyomásszint-csökkenéseket.

A szélesebbég változása (gradiense) helytől, időtől és magasságtól függ. Ez a hangnyomásszint változását, ingadozását eredményezi főleg a hangforrástól távolabb, kiváltképp viszonylag csekély kiterjedésű hangforrások esetén, melynek kiterjedése viszonylag csekély. A hangforrás erős irányítottsága ezt a hatást növelheti.

A hangterjedés szabálytalanságait a levegő turbulenciái is erősíthetik. Az örvények a hangenergiát szétszórják, illetve elnyelik. Ezek a hatások azonban általában elhanyagolhatók. Kivételt képeznek az olyan hangterek, amelyekben erős irányítottságú hangforrások vagy árnyékszónák vannak.

A hőmérséklet-ingadozás hatása

A hanghullámok törését a talaj felé, illetve a talaj felől a légkör hőmérséklet-különbségei is okozhatják. A széllel ellentétben azonban a levegő hőmérséklete a hangsebesség minden irányában egyenletesen hat.

Bizonytalan időjárási helyzetben a nappali talaj melegedés következtében fellépő levegőhőmérséklet-emelkedés a magasság növekedésével csökken, ezáltal negatív hőmérsékleti gradiens lép föl. A hőmérséklet csökkenésével a hanghullámok terjedési sebessége is csökken, ezáltal a hanghullámok eltérülnek a talajtól, így létrejön a hangárnyékszóna.

Stabil légrétegződés (talajinverzió) mellett a magassággal emelkedik a hőmérséklet, és ezzel együtt a hang terjedési sebessége is. A hanghullámok ilyenkor a talaj felé hajlanak el. Egyenetlen hőmérsékleti viszonyok esetében, ami pl. felmelegedett felületek felett jön létre, turbulenciák alakulnak ki, és szóródást hoznak létre. Ha a hanghullámok ilyen területen haladnak át, akkor hangnyomásszint-ingadozások jöhetnek létre.

Ingadozó légrétegződés

A nap folyamán: napsütéses napokon nappal

Az év folyamán: túlnyomóan nyári időszakban

Stabil légrétegződés

A nap folyamán: tiszta, szélcsendes esti és éjjeli időszakban

Az év folyamán: elsősorban télen.

A hangforrások jellemzése

Egyedi hangforrások (pontforrások)

Valamely hangforrás által d távolságban lévő pontban létrehozott hangnyomásszintet ebben a szabványban a következő összefüggés szerint kell számítani:

$$L_{AT} = (L_{WA} + D_C + K_{\Omega}) - A \quad (1)$$

L_{AT} – a terhelési (észlelési) pontban fellépő hangnyomásszint

L_{WA} – a zajforrás hangteljesítményszintje

D_C – a zajforrás iránytényezője

K_{Ω} – a sugárzási térszög miatti korrekció

Az (1) összefüggésben a zárójelben lévő rész a forrás zajkibocsátási jellemzőit, az A kifejezés pedig a hangterjedés során fellépő korrekciós tényezőket tartalmazza.

A D_C irányítási index figyelembe veszi az egyes egyedi források sajátos sugárzási tulajdonságait minden irányban. Az irányítási index D_C , megadja, hogy a vizsgált terjedési irányban hány dB-vel alacsonyabb vagy magasabb a hangforrás hangnyomásszintje, mint egy iránytalanul sugárzó, azonos hangteljesítményű hangforrásé ugyanabban a távolságban.

$$D_C = D - 0 \quad (2)$$

$$D = 10 \log\{1 + [d^2 + (h_s - h_r)^2] / [d^2 + (h_s + h_r)^2]\} \quad (3)$$

D – visszaverődés a talajról

h_s – a zajforrás föld feletti magassága

h_r – a hangérzékelő pont föld feletti magassága (rendszerint 5 m)

d – a zajforrás és a hangérzékelő pont közötti távolság

A d távolságot (x,y) koordináták segítségével határozzuk meg, ahol az (x_s, y_s) a hangforrás, az (x_r, y_r) a hangérzékelő koordinátáit jelölik:

$$d = ([(x_s - x_r)^2 + (y_s - y_r)^2])^{1/2} \quad (4)$$

A K_{Ω} irányítási tényező a hangforrás közelében lévő visszaverő felületeket veszi figyelembe, melyek a hangtér egy-egy részében megnövekedett lesugárzáshoz vezetnek. Mivel a hangforrás a térben bárhol, magasan a talajszint fölött helyezkedik el $K_{\Omega} = 0$.

Az A kifejezés a hangterjedés során fellépő korrekciós tényezőket tartalmazza.

Az A magában foglalja az összes hangnyomásszint-csökkenést, amely szélirányú terjedés esetén a veszteségmentes hangterjedéshez képest fellép.

A következő hatásokat kell figyelembe venni:

- a távolság miatt fellépő csillapodás hatását kifejező korrekció A_{div} ,
- a levegő hangelnyelő hatását kifejező korrekció A_{atm} ,
- a talaj és a talajközeli meteorológiai viszonyok miatti csillapodást kifejező korrekció A_{gr} .

- az akadályok hangárnyékoló hatását kifejező korrekció A_{bar} .
- a beépítettség miatti szintcsökkenést kifejező korrekció A_{misc} .

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \quad (5)$$

Az A_{div} tényező egy akadálytalanul és minden irányban (gömbszerűen) terjedő, pontszerűnek tekintett hangforrásból kibocsátott hanghullám távolságtól függő hangnyomásszint-csökkenését határozza meg (6 dB minden távolságkétszereződés esetén). Az A_{div} távolságtól függő tényező a gömbhullám elméletéből adódik:

$$A_{div} = 10 \log (4\pi d^2 / (1 \text{ m})^2) = 20 \log (d / 1 \text{ m}) + 11 \text{ dB} \quad (6)$$

d - a terhelési (észlelési) pont és a zajforrás távolsága

$$A_{atm} = 500 d / 1000 \quad (7)$$

500 - a levegő hangelnyelési együtthatója (= 1.9 dB/km)
(10° C hőmérséklet és 70 % légnedvesség esetén)

A talaj- és a meteorológiai viszonyok szoros összefüggésben fejtik ki hatásukat, ezért az A_{gr} mennyiség ezeket együttesen tartalmazza. Ezek a hatások nagy ingadozást okozhatnak a zajterhelésben. A csillapító hatásukat e szabvány szerint minden frekvenciasávban a (8) összefüggés szerint kell számítani:

$$A_{gr} = 4,8 - 2h_m/d (17 + 300/d) \quad (8)$$

h_m - a talajszint feletti közepes magasság

$$h_m = (h_s + h_r)/2 \quad (9)$$

Ha $A_{gr} < 0$ akkor $A_{gr} = 0$, a negatív számítási értékeket nullának kell tekinteni.

Mivel a szélérőmű-park helyszíne a lakóterületől, illetve az erdőtől távol esik, ezért az akadályok hangárnyékoló hatását A_{bar} , és a beépítettség miatti szintcsökkenést A_{misc} korrekciókat elhanyagoljuk, vagyis $A_{bar} = 0$, $A_{misc} = 0$.

Csoportos egyedi hangforrások

Több hangforrás esetén az egyes hangforrások által okozott hangnyomásszintet a terhelés helyén egyenként kell meghatározni és aztán energetikailag kell összegezni.

Az eddig tárgyaltak során az adott időpontban csak egy hang- vagy zajforrás szerepelt. Amikor adott időpontban n számú elkülönített (azaz külön-külön kezelhető) forrás szerepel (szélérőmű-park), akkor ezek eredőjét a következő képlettel határozzuk meg:

$$L_{AT} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{Ai}} \quad (10)$$

L_{AT} - a terhelési (észlelési) pontban fellépő hangnyomásszint

L_{Ai} - az i -edik zajforrás hangteljesítményszintje

A következő számítással – az előző képleteket felhasználva – előrevelezzük az 1-es számú szélérőmű zajterhelését Hárskút belterületének szélső A pontjára (ld. 14. melléklet).

A gép száma	d [m]	L _{AT} [dB]	L _{WA} [dB]	h _s [m]	h _r [m]	D _C [dB]	A _{div} [dB]	A _{alm} [dB]	h _m [m]	A _{gr} [dB]	A _{nr} [dB]	A _{misc} [dB]	A [dB]
1	3283	14,19	103	100	5	3,01	81,33	6,24	52,5	4,25	0	0	91,82

d – a terhelési (észlelési) pont és a zajforrás (gép) távolsága $d = [(x_s - x_r)^2 + (y_s - y_r)^2]^{1/2}$,

L_{AT} – a terhelési (észlelési) pontban fellépő hangnyomásszint, $L_{AT} = (L_{WA} + D_C + K_Q) - A$

L_{WA} – a zajforrás hangteljesítményszintje

h_s – a zajforrás föld feletti magassága (a szélgenerátor tengelymagassága)

h_r – a hangérzékelő pont föld feletti magassága (rendszerint 5 m)

D_C – a zajforrás iránytényezője, $D_C = D - 0$, $D = 10 \log\{1 + [d^2 + (h_s - h_r)^2] / [d^2 + (h_s + h_r)^2]\}$

K_Q – a sugárzási térszög miatti korrekció, K_Q = 0

A_{div} – a távolság miatt fellépő csillapodás hatását kifejező korrekció, $A_{div} = 20 \log(d / 1m) + 11$ dB

A_{alm} – a levegő hanghelyelő hatását kifejező korrekció, $A_{alm} = 500 d / 1000$

h_m – a talajszint feletti közepes magasság, $h_m = (h_s + h_r) / 2$

A_{gr} – a talaj és a talajközeli meteorológiai viszonyok miatti csillapodást kifejező korrekció, $A_{gr} = 4,8 - 2h_m / d (17 + 300/d)$

A_{bar} – az akadályok hangárnyékoló hatását kifejező korrekció, A_{bar} = 0

A_{misc} – a beépítettség miatti szintcsökkenést kifejező korrekció, A_{misc} = 0.

A – a hangterjedés során fellépő korrekciós tényezők, $A = A_{div} + A_{alm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}$

A terhelési (észlelési) pontban az összes szélturbínából származó hangnyomás-szintet az $L_{AT} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{AT}}$ képlettel számíthatjuk, amelybe az L_{AT} értékeit helyettesítjük az i- edik gépre vonatkoztatva.

A számítás alapján a Hárskút belterülete szélén észlelhető összesített zajterhelés értéke **38,90 dB** lesz.

A következő számítással – az előző képleteket felhasználva – előrejelezzük az 1-es számú szétermű zajterhelését Hárskút belterületének szélső B pontjára (ld. 14. melléklet).

A gép száma	d [m]	L _{AT} [dB]	L _{WA} [dB]	h _s [m]	h _r [m]	D _C [dB]	A _{div} [dB]	A _{atm} [dB]	h _m [m]	A _{gr} [dB]	A _{bar} [dB]	A _{misc} [dB]	A [dB]
1	4495	9,01	103	100	5	3,01	84,05	8,54	52,5	4,40	0	0	97,00

d – a terhelési (észlelési) pont és a zajforrás (gép) távolsága $d = ((x_s - x_r)^2 + (y_s - y_r)^2)^{1/2}$,

L_{AT} – a terhelési (észlelési) pontban fellépő hangnyomásszint, $L_{AT} = (L_{WA} + D_C + K_Q) - A$

L_{WA} – a zajforrás hangteljesítményszintje

h_k – a zajforrás föld feletti magassága (a szélgenerátor tengelymagassága)

h_r – a hangérzékelő pont föld feletti magassága (rendszerint 5 m)

D_C – a zajforrás iránytényezője, $D_C = D - 0$, $D = 10 \log\{1 + [d^2 + (h_s - h_r)^2] / [d^2 + (h_s + h_r)^2]\}$

K_Q – a sugárzási térszög miatti korrekció, K_Q = 0

A_{div} – a távolság miatti fellépő csillapodás hatását kifejező korrekció, $A_{div} = 20 \log(d / 1m) + 11$ dB

A_{atm} – a levegő hangelnyelő hatását kifejező korrekció, $A_{atm} = 500 d / 1000$

h_m – a talajszint feletti közepes magasság, $h_m = (h_s + h_r) / 2$

A_{gr} – a talaj és a talajközeli meteorológiai viszonyok miatti csillapodást kifejező korrekció, $A_{gr} = 4,8 - 2h_m / d (17 + 300/d)$

A_{bar} – az akadályok hangáryékoló hatását kifejező korrekció, $A_{bar} = 0$

A_{misc} – a beépíttség miatti szintcsökkenést kifejező korrekció, $A_{misc} = 0$.

A – a hangterjedés során fellépő korrekciós tényezők, $A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}$

A terhelési (észlelési) pontban az összes szélturbínából származó hangnyomás-szintet az $L_{AT} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{ATi}}$ képlettel számíthatjuk,

amelybe az L_{AT} értékeit helyettesítjük az i- edik gépre vonatkoztatva.

A számítás alapján a Hárskút belterülete szélén észlelhető összesített zajterhelés értéke **34,79 dB** lesz.

