

A SZÁMÍTÁS ALAPJAI

KS Akusztikai számítási Program épületszerkezetek akusztikai teljesítőképességének meghatározására – 2.0 verzió

A program működésének alapjául a DIN EN 12354-1
„Épületakusztika – Épületek akusztikai tulajdonságainak számítása az
épületszerkezetek tulajdonságai alapján –
Első rész: Helyiségek közötti léghangszigetelés” című
európai szabvány valamint a Stuttgarter Műszaki Főiskola újabb kutatási
eredményei szolgálnak.

Tartalom

1. Útmutatás a számítási eljáráshoz
2. Az adatbevitel és a számítási eljárás kezelése
- 2.1 Épületszerkezetek négyzetméterenkénti tömegének számítási értékei
- 2.2 Információk a kerülőútmentes súlyozott léghanggátlási számokhoz
- 2.3 Előírások az előtétthéjak javító hatásáról
- 2.4 Tudnivalók elcsúsztatott alaprajzok esetére
- 2.5 Adatok a csomóponti gátláshoz
- 2.6 Tudnivalók a csomóponti gátlásról egy sarok csomópont esetében
- 2.7 A K_{ij} csomóponti gátlás legkisebb értékei

Herausgeber:

Der Kalksandstein
KS
DAS ORIGINAL

Wissenschaftliche Beratung:


FACHHOCHSCHULE HOCHSCHULE FÜR
STUTT GART TECHNIK
STUTT GART UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

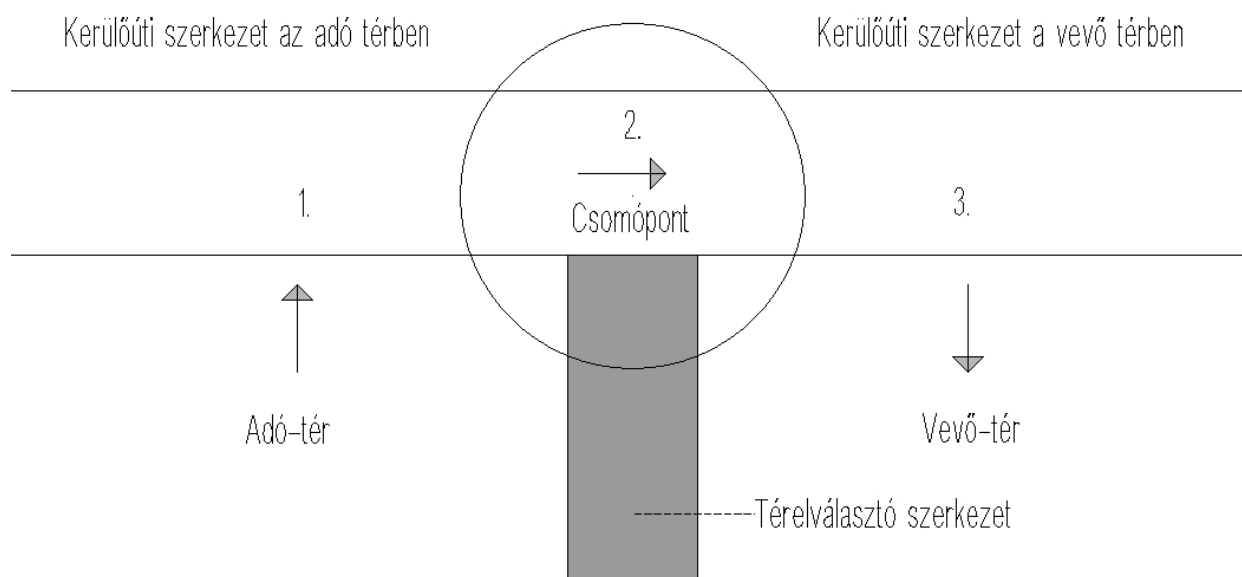
Fordítók: Velősy András és Juhász Gábor
Szakmai lektor: P Nagy József építésmérnök, a műszaki tudományok doktora

1. Útmutatás a számítási eljáráshoz

A program működésének alapjául szolgáló DIN EN 12354-1 Európai Szabvány 2000 áprilisában jelent meg. Ebben a szabványban debütált többek között az az egyszerűsített számítási modell is, ami ennek a programnak az alapját képezi.

A használati terek közötti léghangszigetelés annak ellenére, hogy a számítás a szerkezeti alapadatokon nyugszik, valójában a szerkezetek és a csatlakozások világosan nyomon követhető fizikai adottságaitól függ. Az épületszerkezeti alapadatok legnagyobb részét - a hivatkozott szabvány információs függeléké ajánlásai szerint - a négyzetméterenkénti egységnyi felülettömeg, a geometriai adatok és előtétthéjak esetén a rezonancia-frekvencia képezi.

A léghangszigetelés számítása a kerülőutas hangátvitel figyelembevételével történik. Az eljárásban figyelembe van véve minden olyan kerülőút ami befolyásolhatja az eredő hangátvitelt. Az eljárás az egyes építőanyagok fizikai tulajdonságain túl a szerkezeti csomópontok, kapcsolatok akusztikai tulajdonságainak figyelembevételével számol. A következő ábra bemutatja, hogy a számítási modell hogyan írja le a kerülőúti hangátvitelt, a saját léghanggátlási értéke és az úgynevezett csomóponti hanggátlási érték, a K_{ij} segítségével.



1.1-es ábra A kerülőutas hangátvitel működési sémája

- | | | | |
|----|-------------------------------|---|--|
| 1. | Gerjesztési gátlás | - | Adóoldali kerülőút tulajdonsága |
| 2. | Testhangátvitel a csomóponton | - | Az épületszerkezeti csomópont kialakításának függvénye |
| 3. | Kisugárzási gátlás | - | Vevőoldali kerülőút tulajdonsága |

Míg az 1.-es és 3.-as jelű gátlásokat az alkalmazott kerülőúti szerkezetek saját léghanggátlási számával jól leírhatjuk, addig a 2.-es jelű összetevő azaz a K_{ij} *csomóponti gátlás a csatlakozási mód jellemzője.*

A térelválasztó szerkezet közvetlen, kerülőútmentes léghanggátlása a főszerkezet $R_{s,w}$ súlyozott léghanggátlási számának és az esetleges előtétyszerkezet javító hatásának $\Delta R_{Dd,w}$ összege:

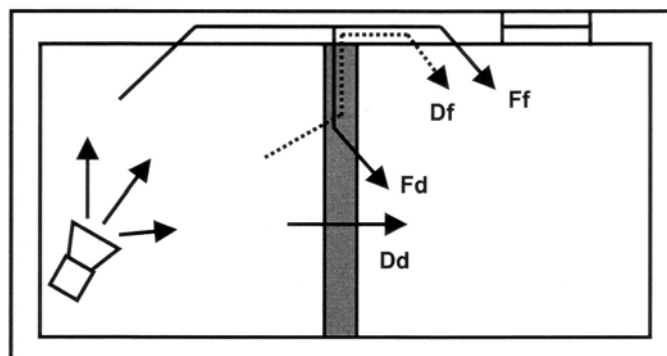
$$R_{Dd,w} = R_{s,w} + \Delta R_{Dd,w}$$

Homogén épületszerkezetek esetén a 4 lehetséges súlyozott kerülőutas léghanggátlási szám $R_{ij,w}$ - a hangátviteli úton kapcsolódó épületszerkezetek $R_{i,w}$ (adóoldali) és $R_{j,w}$ (vevőoldali) súlyozott léghanggátlási számából, az alkalmazott előtétáj javító hatásából $\Delta R_{ij,w}$, a csomóponti gátlás értékéből K_{ij} , a térelválasztó fal felületének nagyságából S_s valamint a közös élhosszából l_{ij} - a következő képlettel számítható:

$$R_{ij,w} = \frac{R_{i,w}}{2} + \frac{R_{j,w}}{2} + \Delta R_{ij,w} + K_{ij} + 10 \lg \left[\frac{S_s}{l_o l_f} \right] \text{ dB}$$

A közvetlen (kerülőútmentes) léghanggátlás, $R_{Dd,w}$ és a – szokásos négyszög alakú terek esetében meglévő – négy kerülőúti csomópontra - pl. fal-külső fal, fal-felső födém, fal- belső fal, fal-alsó födém - vonatkozó, három-három (F_f , F_d , és D_f) kerülőúti súlyozott léghanggátlási szám birtokában a következő képlet szerinti energetikai összegzéssel eljuthatunk az adott hangátviteli szituációt jellemző R'_w - a térelválasztó szerkezet és az elvileg lehetséges 12 kerülőút által meghatározott - súlyozott helyszíni léghanggátlási szám értékéhez:

$$R'_w = -10 \lg \left[10^{-0,1 R_{Dd,w}} + \sum_{i=1}^4 \left(10^{-0,1 R_{Ff(i),w}} + 10^{-0,1 R_{Fd(i),w}} + 10^{-0,1 R_{Df(i),w}} \right) \right] \text{ dB}$$



1.2.ábra

A hangátviteli utak, kerülőutak jelölése a DIN EN 12354-1 szerint

Gerjesztés:
szerkezet:

NAGYBETŰVEL, Kisugárzás: Kisbetűvel, Vizsgált térelválasztó
D – d, Kerülőúti szerkezet: F – f

Egy szokásos hasáb alakú helyiség esetén a térelválasztó szerkezet közvetlen, (kerülőútmentes) léhanggátlásának jele R_{Dd} , a 12 kerülőúti átviteli jellemzője pedig a négy kerülőúti szerkezetre vonatkozó lehetséges 3 – 3 F_d , D_f , F_f jelű átviteli úton: R_{Fd} , R_{Df} , R_{Ff} .

2. Falazott szerkezetű épület méshomoktéglaól

A helyiségek közötti léhangszigetelés számításához – az egyszerűsített számítási eljárás alkalmazásakor – a szükséges kiinduló adatok a léhanggátlási értékek, a csomóponti gátlási értékek, az esetleges előtét szerkezetek javító hatását jellemző értékek, valamint a geometriai adatok.

Ezeket a jellemzőket a program segédmenyiségekből határozza meg. (pl. a négyzetméterenkénti tömegből, rezonancia-frekvenciából)

A szükséges bemenő adatok:

	Geometriai adatok	Segédmenyiségek
Térelválasztó szerkezet	S , csomóponti geometria	m' (négyzetméterenkénti tömeg) f_0 (rezonancia frekvencia)
Kerülőutat képező szerkezetek	S_{ij} , l_{ij}	m' (négyzetméterenkénti tömeg) f_0 (rezonancia frekvencia)

S :	A térelválasztó szerkezet felülete
S_{ij}	A kerülőúti szerkezetek felülete az adó-(i) illetve a vevő(j) helyiségben, ablakok és ajtónyílások nélkül
l_{ij}	Közös csatlakozó élhossz a vizsgált térelhatároló szerkezet és a kerülőúti szerkezet között
m'	A szerkezet négyzetméterenkénti tömege a szerkezetek csomóponti K_{ij} gátlásának és súlyozott léhanggátlási számának R_w meghatározásához
f_0	Az esetleges előtét héj rezonanciafrekvenciája az előtét-szerkezet javító hatását leíró ΔR_w érték megállapításához

A következőkben ajánlásokat fogalmazunk meg arra vonatkozóan, hogy falazott szerkezetek esetén milyen bemenő adatokat célszerű használni és milyen módon kell ezeket meghatározni. A konkrét helyszíni körülmények természetesen eltérnek a számítás során feltételezett idealizált állapottól, amikor is két szomszédos hasáb alakú térre korlátozzuk a szituációt. Ezért is mutatunk be példákat arra vonatkozóan, hogy kell kezelni az egymástól elcsúsztatott helyiségeket, a hegyesszögű szerkezeti csatlakozásokat, vagyis: hogy lehet a számítási eljárást ezekre az ideálistól eltérő adottságokra alkalmazni.

2.1 Az épületszerkezetek tömegének számításba vehető értéke

A program a masszív szerkezetek négyzetméterenkénti tömegét a DIN 4109 1. melléklete szerint számolja. Ezeket az értékeket a falazat testsűrűségi osztályának és az alkalmazott falazóhabarcs típusának a figyelembevételével (hagyományos, könnyű vagy vékonyrétegű habarcs) - a kivitelezési mód függvényében - számolja.

Természetesen a felhasználó látja a bevitt adatok alapján rögtön a négyzetméterenkénti tömeget, mellyel később a program számol - tehát van mód pontos adatbevitelre.

Lehetőség van egyedi masszív négyzetméterenkénti tömeg és építőanyag fajta megadására igény szerint.

Ezenkívül a módszer figyelembe veszi a felhordott vakolatok anyagát, fajtáját és vastagságát is.

Többrétegű masszív falazatoknál, pl. homlokzati hőszigetelő rendszerrel kiegészített falak, vagy kéthéjú, belső hőszigetelő réteggel épült falak, illetve kettőzött, dilatált lakás-sorházi- vagy lépcsőházat vagy felvonó aknát határoló falak esetében a kerülőúti hangátvitel számításakor csak a vizsgált tér oldalára eső szerkezet tömegét veszi figyelembe a program. A hőszigetelő anyag tömege, vagy az azon kívül eső tömeg (vakolat, előtétfal, második faltest) a kerülőúti hangátvitel számításakor nincs figyelembe véve.

2.2 Információk a közvetlen (kerülőútmentes) súlyozott léghanggátlási számokhoz

Azok az eredmények, melyeket a Stuttgarter Műszaki Főiskolán, három fejlesztési projekt során – direkt erre a célra épült laboratóriumi vizsgálóállomásokon végrehajtott – sorozatos alkalmassági vizsgálat alkalmával határoztak meg, azt mutatják, hogy a DIN EN 12354-1 B2-es információs melléklete alapján a négyzetméterenkénti tömegekből számított súlyozott léghanggátlási számok lényegesen kisebbek, mint a mért értékek.

Ezért a Stuttgarter Műszaki Főiskolán a vizsgálóállomáson végrehajtott nagyszámú ellenőrző mérés eredményére támaszkodva a falazatokra új „tömegfüggvényt” határoztak meg. A méretező és ellenőrző program ezt alkalmazza.

2.3 Előírások az előtétthéjak javító hatásáról

A DIN EN 12354-1 szabvány 4.2.4 „Épületszerkezetek néhány fajtájának bemutatása” című bekezdésében támpontokat találunk a számítási eljárás használatához. A program használatakor ezeket az utasításokat feltétlenül be kell tartani. A masszív (nagy tömegű) épületszerkezetek esetében általános szabály, hogy csak a vizsgált belső előtéttszerkezetek hatását szabad (előtétfalat, álmennyezetet, úszópadlót) a ΔR_w javító értékkel figyelembe venni.

Az előtéttszerkezet rezonancia-frekvenciája meghatározható a DIN EN 12354-1 D.2-es melléklete szerint a rugóként működő szigetelőanyag dinamikai merevségéből, vagy az előtéttszerkezet négyzetméterenkénti tömegéből és a hordó szerkezettől mért távolságából.

Az előtéttszerkezet f_0 rezonanciafrekvenciája meghatározható még a DIN 4109 szabvány 2. mellékletének 1. táblázatában megadott képletekkel is.

Az f_0 rezonanciafrekvenciából és a masszív szerkezetek R_w léghanggátlási értékéből a DIN EN 12354-1 D.3 táblázata alapján meghatározható a súlyozott léghanggátlás ΔR_w javító hatása.

2.4 Tudnivalók elcsúsztatott alaprajzok esetére

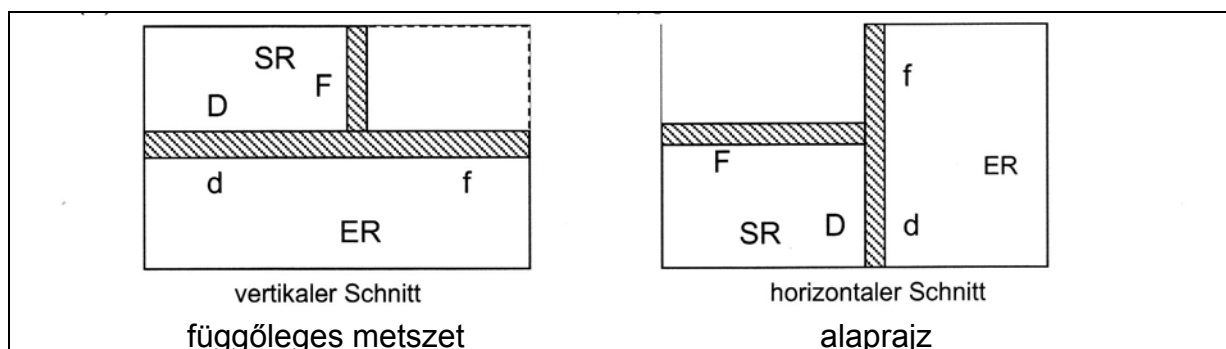
A DIN EN 12354-1 szabvány 4.2.4 fejezete utasításokat tartalmaz az elcsúsztatott terek kezelésére is. Az ilyen építészeti megoldások esetén a térelválasztó szerkezet „folytatását” – az alábbi vázlatokon látható módon – kerülőutas szerkezetként kell kezelni.

A hangátviteli utak jelölése a DIN EN 12354-1 szerint a következő :

a **NAGYBETŰK** az adó-teret (SR), a **kisbetűk** a vevő-teret (ER) jelzik,

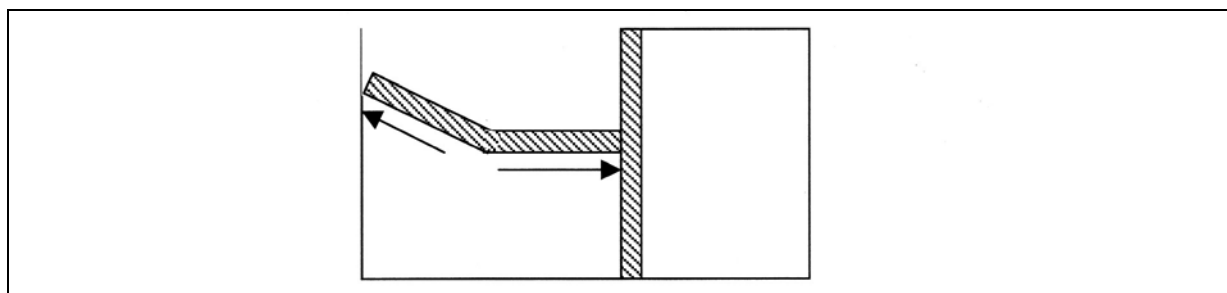
a térelválasztó szerkezet jeleilyenkor **d, D**,

a kerülőutas szerkezetek jele pedig **f, F** .



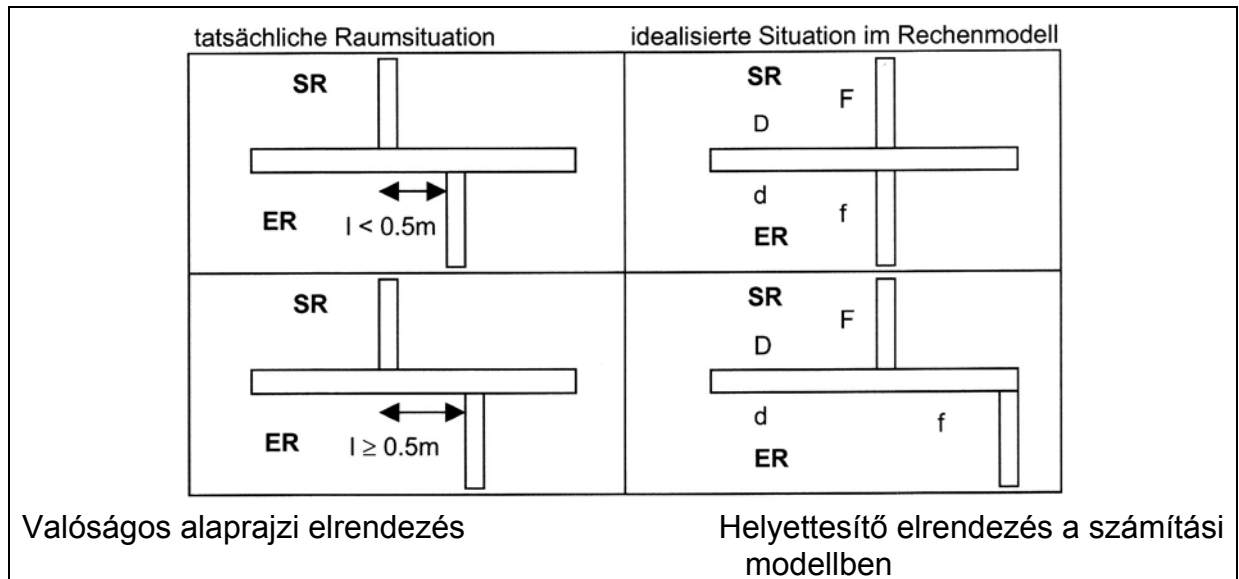
2.1 -es ábra: A hangátviteli utak jelölései alaprajzilag elcsúsztatott terek esetén

Nem derékszögű sarkok esetén, azaz sokszögű vagy íves szerkezeteket teljes felületükkel kell számításba venni. (a töréspont előtti és utáni szakaszt is)



2.2 -es ábra: Nem derékszögű sarkok kezelése a programban

Sokszor előfordul, hogy az alaprajzi elcsúszás csak igen csekély, amint azt a következő ábrák mutatják. A csomóponti hanggátlás mérése alapján megállapították, hogy ha az elcsúszás 50 cm-nél kisebb, akkor a szerkezet gyakorlatilag úgy viselkedik, mintha nem volna alaprajzi eltolódás. Ha pedig az elcsúsztatás nagyobb mint 50 cm, akkor a csomópontok „T” csatlakozásként viselkednek és az eltolódási szakaszt kerülőútként kezelhetjük.

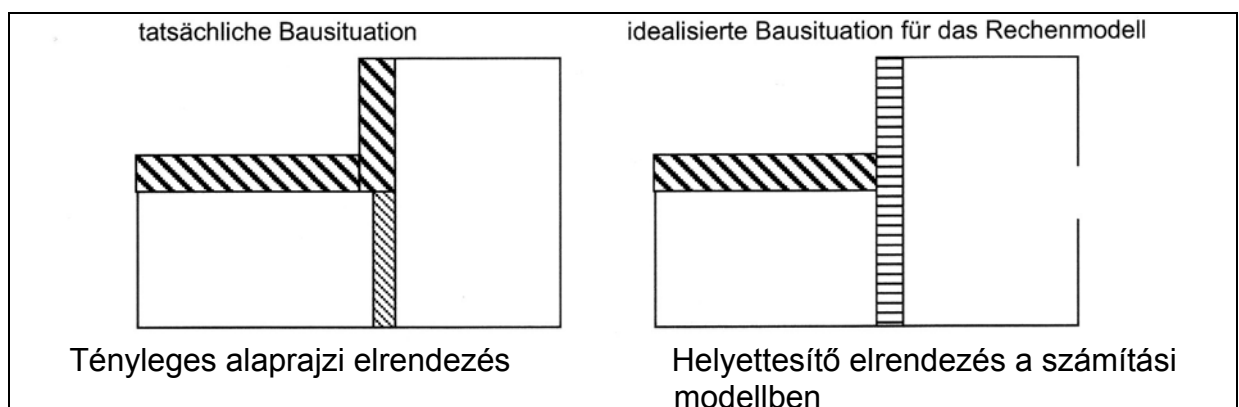


2.3-as ábra: Értelmező rajz "elcsúsztatott" csomópontok esetén a kerülőutas átvitel számításához

Elcsúsztatott alaprajzok esetén gyakori, hogy a vizsgált térelválasztó szerkezetet geometriailag folytató szerkezet (fal vagy földém) négyzetméterenkénti tömege – ellentétben a DIN EN 12354-1 E függelékében feltételezettel – eltér a szerkezeti csatlakozás előtti mértékadó négyzetméterenkénti tömegtől. Szigorúan véve a hivatkozott mellékletben leírtakat ilyen esetben a K_{ij} csomóponti hanggátlás nem volna meghatározható.

Ennek ellenére – mivel gyakran előforduló szerkezeti szituációról van szó – valahogy a többi eredménnyel összehasonlítható és használható értékhez kell jussunk.

Mivel ezideig semmilyen ilyen értelmű vizsgálatról nem tudunk ennek érdekében a következőt tehetjük: Képezzük a csomópont előtti (m_1) és utáni (m_2) négyzetméterenkénti tömeg matematikai átlagát $m_{12közös} = (m_1 + m_2) / 2$ / és a csomópont előtt és után is ezt véve figyelembe, a korábbi eljárás szerint egyszerű „T” csatlakozásként végezzük el a számítást.



2.4-as ábra: Értelmező rajz olyan esethez, amikor a csomópont előtt és után eltérő a határoló szerkezetek mértékadó négyzetméterenkénti tömege

2.5 Adatok a csomóponti gátláshoz

Ez az adat jellemzi a csomóponton áthaladó hangenergiát. A K_{ij} számítható a hangátvitelben résztvevő szerkezetek négyzetméterenkénti tömegeinek arányaiból. Értéke a csomópont geometriai kialakításától és az éppen vizsgált hangátviteli út irányától függ. A DIN EN 12354-1 E függeléke egyenleteket közöl K_{ij} számítására.

A már említett - Stuttgarteri Műszaki Főiskolán elvégzett három kutatási projekt során – a hivatkozott E függelékben közölt adatokkal ellentétben – a négyzetméterenkénti tömegek arányából az Fd és Df irányokra más összefüggéseket határoztak meg, az Ff irányú, több csomóponton áthaladó hangátvitelre vonatkozóan pedig határértéket állapítottak meg.

A K_{ij} értékek meghatározására a program a következő számítási formulákat alkalmazza:

$$M = \lg(m_2/m_1)$$

ahol m_2 a térelválasztó szerkezet, m_1 pedig a kerülőutat képező szerkezet négyzetméterenkénti tömege.

T – csomópontban:

$$K_{12} = 4,7 + 5,7M^2$$

$$K_{13} = 5,7 + 14,1M + 5,7M^2 \quad \text{ha } M > 0,215$$

$$K_{13} = 9,2 + 1,9M \quad \text{ha } M < 0,215$$

Kereszt csomópontban:

$$K_{12} = 5,7 + 15,4M^2$$

$$K_{13} = 8,7 + 17,1M + 5,7M^2 \quad \text{ha } M > 0,182$$

$$K_{13} = 10,6 + 6,4M \quad \text{ha } M < 0,182$$

ahol K_{12} : a terjedés iránya a csomópontban megváltozik (Fd vagy Df)

és K_{13} : a terjedés a kerülőúti szerkezetekben irányváltoztatás nélkül (Ff).

Akusztikai elválasztás

Ha a kerülőúti szerkezet a térelválasztó szerkezettől akusztikailag elválasztott, dilatált (nincs merev kapcsolatban) akkor a csomóponti gátlás értékeit a következő vázlatok alapján - a négyzetméterenkénti tömeg függvényében $M = \lg(m_1/m_2)$ számolja a program:

a, nincs megszakítás	$K_{Ff} = 5.7 + 14.1M + 5.7M^2$ $K_{Fd} = K_{Df} = 5.7 + 5.7M^2$	b, van egy megszakítás	$K_{Ff} = K_{Fd} = K_{ij,max}$ $K_{Df} = 15 \text{ IMI} - 3 \text{ dB}$
c, van két megszakítás	$K_{Ff} = K_{Fd} = K_{Df} = K_{ij,max}$	d, A kerülőúton nincs megszakítás	$K_{Ff} = 5 \lg f_c - 15 \text{ dB}$ $K_{Fd} = K_{Df} = K_{ij,max}$

2.5-ös ábra: Értelmező rajz a csomóponti gátlás számítására, ha a kerülőút a térelválasztó szerkezettől akusztikailag elválasztott

A 2.5 ábra b-d csomópontjai szerint kialakított akusztikai elválasztásokat $K_{ij,max}$ határértékeikkel veszi figyelembe a program.

A csomóponti gátlás mértéke egy ilyen elválasztás esetén elméletileg olyan nagy lehet, hogy a hangátvitel a kiragadott kerülőúton keresztül már egyáltalán nem befolyásolja az eredő helyszíni léghanggátlást.

Ez természetesen akkor érvényes az építéshelyen, ha a csomópontban az elválasztás folytonos.

Ha a kerülő szerkezet csak a térelválasztó faltól vagy födémtől van elválasztva, 2.5 b ábra előállhat a kerülőúti sarok csomópontban egy növelt átvitel.

Ilyen esetben 2. rendű hangátvitelről beszélünk, mely a számítási modellnél csak indirekt úton követhető.

Egy kísérleti épületben folytatott kutatások azt mutatták, hogy ilyen esetben a kerülőúti gátlás egy akusztikailag elválasztott könnyű belső fal esetében maximum 20 dB értéket érhet el.

Ez az érték a masszív építésben mint a kerülőutas gátlás - K_{ij} - felső határa adható meg.

$K_{ij,max}$ értékét általános esetekben a térelválasztó szerkezettől akusztikailag elválasztott szerkezetkapcsolatok mellett - a helyszínen elérhető csomóponti gátlás maximálisan elérhető értékének is tekinthetjük.

2.6 Tudnivalók a csomóponti gátlásról egy sarok csomópont esetében

A csomóponti gátlás a DIN EN 12354-1 E függeléke szerint

$$K_{ij} = 15 | M | - 3 \text{ dB} \quad \text{függvényel van megadva.}$$

A mérési eredmények sarok "L" csomópontokra azt mutatják, hogy a csomóponti gátlás a sarkoknál esetenként ennél jóval kisebb is lehet.

A programban a sarkok csomóponti gátlása dr. Sonntag nem publikált (személyes egyeztetés) javaslata alapján a következő függvényel van figyelembe véve:

$$K_{ij} = 2,7 + 2,7 M^2 \text{ dB}$$

Az utóbbi összefüggés szerint az L csomóponti gátlás átlagosan 3 decibellel kisebb, mint a T csomópontban adódó érték.

2.7 K_{ij} csomóponti gátlás legkisebb értékei

Ha a K_{ij} csomóponti gátlás számított értéke kisebb mint a a következő függvény szerint adódó mennyiség, a program ezzel a $K_{ij,min}$ minimummal számol:

$$K_{ij,min} = 10 \lg \left[l_f l_o \left(\frac{1}{S_i} + \frac{1}{S_j} \right) \right] \text{ dB}$$

Ez a legkisebb érték akkor adódik leggyakrabban, ha a térelválasztó szerkezet semmilyen vagy elenyésző kapcsolatban van a kerülőutas csomópontban.
(lásd a 2.5/d ábrát)

A jelölések jelentése:

S_{ij} A kerülőutas épületszerkezetek felületei, az adó és a vevőtérben, ablakok és ajtók nélkül

l_f közös csatlakozó élhossz a térelválasztó szerkezet és a kerülőutas felület között
 l_o vonatkoztatási hossz, = 1,0 m