



BME Építészmérnöki Kar
Tudományos Diákköri Konferencia
2022

Közvetlenül burkolható lépéshang-szigetelések (Lépéshangszigetelés úsztatott padló nélkül)

Csiszár Hanna Mária
Hepke Alajos Miklós
Wild Zsófia Mária



Témavezető: Dr. Dobszay Gergely
Konzulensek: Mesterházy Beáta
Karádi Dániel Tamás
Dr. Hunyadi Zoltán

BME Épületszerkezteti Tanszék

Tartalomjegyzék:

Absztrakt:	3
1. Bevezetés	4
1.1. A kutatás témája, aktualitása:.....	4
1.2. A kutatás menete:.....	5
1.3. A téma lehatárolása:	6
2. Akusztikai alapok	7
3. Szakirodalmi áttekintés	9
4. Hipotézisek	10
5. Módszertan	11
5.1. Rétegalkotó termékek, anyagok	11
5.2. Padlóburkolati rétegfelépítések.....	12
5.3. Mérések	20
5.4. Az értékelés módszerei	26
5.4.1. A javító hatás összehasonlító elemzése	26
5.4.2. A követelmény-szempon্তু kiértékelés módszere	28
5.4.3. A dinamikai merevség mérések értékelése:	30
5.4.4. A szilárdságtani mérések értékelése	31
6. A burkolástechnikai probléma és annak szilárdságtani vonzatai	31
6.1. Ajánlás hidegburkolatok aljzatával szemben támasztható követelmények meghatározására .	32
6.1.1. szilárdsági (maximális hajlítómerevségi) követelmény (flexural rigidity);.....	33
6.1.2. együttdolgozási (nyírási) követelmény.	33
6.2. Ragasztóréteggel együttdolgozó hidegburkolat, hálóerősítésű ragasztóhabarcs.....	33
6.3. Perforált műanyaglemez alkalmazása a burkolati zóna erősítésére	36
6.4. A fejlesztett padlórétegtrend ellenőrző vizsgálata és tanulságai:	37
7. Az akusztikai mérések eredményeinek kiértékelése	39
7.1. Laborfödemen végzett mérések tapasztalatai	39
7.2. Feszültségmentesítő és padlófűtés rendszerlemezekkel végzett vizsgálatok.....	41
7.3. Meglévő panelházban végzett mérések tapasztalatai	43
7.4. Lépcsők javítására alkalmazható megoldások vizsgálata	45
7.5. Dinamikai merevség mérések tapasztalatai.....	47
7.6. A hazai MSZ 15601 szabványi követelményeknek való megfelelés vizsgálata.....	48
8. Az eredmények összegzés, a fő megállapítások	51
8.1. További kutatási javaslatok	52
Köszönetnyilvánítás:.....	52
Függelékek jegyzéke:.....	52
Bibliográfia:	53
1. Függelék: Termékgyártók:.....	54
2. függelék: Termékadatlapok:	55
3. Függelék: Mérőműszerek:.....	56
4. Függelék: Mérési eredmények:.....	56
5. Függelék: Fotódokumentáció:.....	56
6. Függelék: A folytatólagosan vezetett jegyzőkönyv:	56

Közvetlenül burkolható lépéshang-szigetelések (Lépéshangszigetelés úsztatott padló nélkül)

Absztrakt:

A szakirodalom és az akusztikus szakemberek véleménye szerint a födémek lépéshangszigetelését leghatékonyabban úsztatott padlófelépítménnyel lehet javítani. A KSH adatai alapján Magyarországon 2021-ben nagyságrendileg 1 millió m² lakás épült, melybe becslésünk szerint legalább 50.000 m³ esztrichbetont építettek be, melynek az anyagköltsége több mint 2 milliárd Forint, CO² egyenértékű karbonlábnyoma pedig legalább kb. 142 290 tonna. Ehhez képest az anyaggyártók palettáján megtalálhatók különböző közvetlenül burkolható lépéshangszigetelő anyagok, melyek hazai alkalmazása jelentéktelen.

A kutatás célja ezek teljesítményének, alkalmazási körének fölmérése, számszerűsítése, az úsztatott esztrichbeton nélküli rétegrendek lehetőség szerinti kidolgozása. Az akusztikai alap-összefüggések megismerése után számtalan mintát készítettünk és azokat laborméréseknek vetettük alá az Épületszerkezettani Tanszék Épületakusztikai Laboratóriumában.

Méréseinkhez 5 nemzetközi anyaggyártó cég több mint 15 féle anyagából kaptunk mintákat felhasználásra. Vizsgáltunk:

- különböző vastagságú burkolatokat azonos lépéshangszigetelő lemezeken,
- azonos burkolatokat különböző anyagú és vastagságú lépéshangszigetelő lemezeken,
- meglévő, a környező szerkezetektől eldilatálatlan lépcsőszerkezetekre épített, új lépéshangszigetelő burkolatok hatását,
- meglévő panelház jellemző rétegrendjének lehetséges javítását,
- különböző padlófűtés-rendszerlemezekkel és feszültségmentesítő domborlemezekkel készült aljzatok lépésszaj-csökkentő hatását,
- különböző lépéshangszigetelő lemezek rugalmassági modulusát és dinamikai merevségét.

Megállapítottuk, hogy az úsztatott beton hiánya burkolástechnikai problémákat okoz, ezért megvizsgáltuk a hidegburkolatok aljzatával szemben támasztott követelményeket. Felismertük, hogy mind hazai, mind nemzetközi szinten hiányoznak az erre vonatkozó szabályozások, mértékadó ajánlások. Ezért javaslatot tettünk a hidegburkolatok aljzatával szemben támasztott alakmerevségi követelmények meghatározására, egyfajta optimalizációs eljárás kidolgozására. Kidolgoztunk új rétegrendi javaslatokat a ragasztott hidegburkolati zóna hajlítási és nyírómerevségének növelésére.

Mintáinkat a BME Szilárdságtani Tanszékének Czakó Adolf laboratóriumában törésteszteknek vetettük alá. A különböző erősítő betétekkel készülő padlóburkolatok és lépéshangszigetelések kombinációira további akusztikai laborméréseket végeztünk. Ezzel megnyílt a lehetőség a közvetlenül burkolható lépéshangszigeteléssel készülő padlórétegrendek teljesítményének fokozására.

Megállapítottuk, hogy a vizsgált és fejlesztett új szerkezeti megoldások alkalmasak régi, úsztatott padló nélkül épült épületek akusztikai minőségének javítására, valamint megfelelő körülményekkel új épületek szerkezeteiként is betervezhetőek.

1. Bevezetés

1.1. A kutatás témája, aktualitása:

A tanszéken találtunk egy termékmintát, egy padló rétegrendjét. Ez ösztönzött minket arra, hogy vizsgáljuk annak lehetőségét, hogyan lehetne az úsztatott padlórétegrend helyett valami anyagtakarókosabb, környezettudatosabb és csaknem azonos minőséget elérni a lépéshangszigetelés terén.

A Nyugati országokban elterjedt a lépészajszigetelő lemezek gyártása, de erre itthon nincsen számottevő kereslet, ugyanis lépéshangszigetelés szempontjából a leghatékonyabb megoldásnak az úsztatott rétegrendet tartják. Felkerestünk részben Magyarországon is megtalálható gyártókat, hogy megvizsgálhassuk az adott közvetlenül burkolható lépéshangszigetelő termékek akusztikai teljesítményét az Épületszerkezet-tani Tanszék Épületakusztikai Laboratóriumában. Különböző sajátkezűleg épített padlóburkolati mintákat készítettünk el, és megmértük ezek lépéshangszigetelést javító hatását. Első körben a laboratórium szolgált a mérések helyszínéül, majd külső helyszíneken is végeztünk méréseket, mint például az St. épület lépcsőházában, és egy panelházban. Ezen kívül az összeállított rétegrendeket alávetettük a Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék Czákó Adolf laboratóriumában hajlító- és nyírószilárdsági vizsgálatoknak.

Témánk különösen fontos és aktuális, mivel régen a panelházakban nem alkalmaztak célzottan lépéshangszigetelési megoldást, a burkolatot kontakt módon ragasztották az aljzathoz. Hazánkban az 1960-80-as években több mint 500.000 panellakás épült, melyek többségében nem készült úsztatott beton aljzat, a meglévő födém és burkolat akusztikai szempontból nem felelnek meg a mai követelményeknek, nem nyújtanak megfelelő komfortérzetet használóiknak. Ezek a mai napig számos problémát vetnek fel. Az eredeti (lány) burkolatok többnyire már nincsenek meg, a használók ezeket kemény (hideg) illetve hajlékony (laminált parketta) burkolatra cserélték, ami az akusztikai minőséget a lány burkolatokhoz képest még rontja is. Utólagos hangszigetelés beépítése során korlátozott lehetőségeink vannak, nem készíthetünk akármekkora vastagságú hangszigetelő réteget, a belmagasság rovására. Így az úsztatott aljzat nem jöhet szóba, valamely más megoldást kell találni.

Másrészről Magyarországon 2021-ben nagyságrendileg 1 millió m² lakás épült, a KSH adatai alapján. Úsztatott padló esetén ezekbe becsléseink szerint legalább 50.000 m³ esztrichbetont építettek be, melynek az anyagköltsége több mint 2 milliárd Forint, CO₂ egyenértékű karbonlábnyoma pedig legalább kb. 142 290 tonna.

Ezért is tekinthető problémának, hogy a különböző közvetlenül burkolható lépéshangszigetelő anyagok hazai alkalmazása a mai napig jelentéktelen.

1.2. A kutatás menete:

Több hónapos kutatásunkat az Épületszerkezettani Tanszék Épületakusztikai Laboratóriumában kezdtük el, ahol az akusztika gyakorlati részét végeztük el és megépítettük az első modelljeinket a letakarított laborfödémén. Beszélgettünk épületakusztika szakértőkkel a födémek és padlók hangszigetelési lehetőségeinek elméleti hátteréről. A kutatásunk első lépéseként megtanultuk a lépéshangszigetelési és akusztikai alapokat, hogy a méréseket ennek függvényében el tudjuk végezni.

Megtanultuk a mérés technikát, kezelni a Larson Davis műszert, aminek a segítségével bonyolítottuk le az összes további akusztikai mérésünket. Első ilyen alkalomkor próbaméréseket végeztünk, alapzajt és nyersfödém mértünk és szabványos kopogógép segítségével teszteltük az eddig megépített rétegrendjeinket.

Méréseinkhez szükségünk volt különböző termékekre és anyagokra, ezért felvettük a kapcsolatot anyaggyártó cégekkel, segítségükkel hozzájutottunk különböző termékekhez, amiket a vizsgálatainkhoz fel tudtunk használni. Szakember vendégeket is hívtunk, beszélgettünk velük kutatásunkról, elmondták az anyagok gyártási technológiáját, azok előnyeit. Többek között a burkolástechnika egyesület vezetője (Brassnyó László) is ellátogatott hozzánk.

Következő vizsgálatainkat az St. épület lépcsőházának pihenőjén, illetve a lépcsőfokon végeztük el. A forrás helyiség az épület első irodája volt, a lépcsőház mellett. Fontos megfigyelés volt, hogy a forrás oldalon nyers szerkezetre helyezett burkolaton a kopogógép sokkal erősebb, élesebb és kellemetlenebb zajt okozott, mint a nyers födémén működtetett kopogógép. Ez újabb kérdéseket vetett fel bennünk, és új rétegrendekkel megismételtük a lépcsőházban való mérést a lépcsőfokon.

Újabb anyagok érkezését vártuk, és megállapítottuk, hogy kutatásunkhoz szükségünk lesz a Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék segítségére a használt anyagok különböző szilárdságtani vizsgálatához. {burkolástechnikai probléma és annak szilárdságtani vonzata} Ezért konzultáltunk a hajlító-, nyomószilárdság mérések, töréstesztek megvalósításáról. Ezekhez megfelelő újabb rétegrendet építettünk meg az akusztikai laboratóriumban, majd átvittük a korábban elkészített modelleket a Czakó Adolf laboratóriumba, és vizsgálatokat végeztünk el rajtuk. A próbatesteket szilárd födémre helyezve mértük hajlításra és nyomásra, és kéttámaszú, központos hajlítással, központos vonalmenti terheléssel figyeltük meg. {0, 0} Az egyes lépészajszigetelőlemezeket pedig síklapú tárcsával terhelve nyomtuk össze. Később szétszedtük a szilárdságtani mérés alkalmával széttört mintákat. Megvizsgáltuk a repedéseket és lefotóztuk.

Menetközben folyamatosan érkeztek újabb termékek, amik segítségével újabb mintákat készítettünk, később akusztikai és szilárdságtani méréseket terveztünk végezni rajtuk.

Az irodai mérés után lehetőségünk adódott egy panelházban helyszíni mérést csinálni, ahol már egy meglévő épületen végeztük el az eddigi mintáinkon a vizsgálatokat, ezen alkalommal utózengetési időt is mértünk.

Visszatértünk az irodába, majd elkezdtük a dinamikai merevséghez szükséges méréseket az akusztikai labor vezetőjével, Nagy Attilával. A mérés nem volt teljesen szabványos, azonban kutatásunkhoz megfelelő eredményt kaptunk.

Elkezdtünk gondolkodni a korábban felmerült burkolástechnikai problémákon, és ennek megfelelő új burkolástechnikai modelleket építettünk. Elgondolkodtunk és kitaláltuk, hogy hogyan lehet sérülésmentes padlókat csinálni.

Legnagyobb innovatív gondolatunknak a különböző erősítésű ragasztási zónával készült rétegrendet (ezen belül is a perforált polipropilén lemezzel erősített megoldást) tartjuk, mely a ragasztott burkolat aljzataként funkcionált. Feltételezzük, hogy nagy rugalmassági modulusa miatt a burkolólap relatív alakváltozását csökkenti, így a burkolati rendszer hajlítási törőterhét növeli. A lemez és a ragasztóréteg együttdolgozását, a polipropilén lemez perforációjával kívánjuk elérni, ennek a mintáját meg is terveztük.

1.3. A téma lehatárolása:

A padlószerkezetek rétegfelépítésében a burkolatok közül számunkra a hidegburkolatok vetik fel a legtöbb kérdést. Mindamelllett, hogy sok szempontból előnyös burkolattípus (esztétikus, tartós, kopásálló, valamint jól tisztítható), kontakt ragasztott burkolatként (pl: meglévő panellakás esztétikai felújítása keretében) lépéshangszigetelés szempontjából az egyik legelőnytelenebb opció. A csupasz födém szerkezet lépéshangszigetelési teljesítményét nem javítja.

A hidegburkolatok aljzatával szemben számos követelményt támasztottunk, melyek alkalmazása nélkül az akusztikai szempontból megfelelő alátétlemezekre ragasztott burkolatok könnyen tönkre mehetnek, a fugák megrepedhetnek, a lapok eltörhetnek, míg például a szalagparketták, laminált padlók vagy egyéb hajlékony padlótípusok rendelkeznek akkora rugalmassággal, hogy ezen alakváltozásoktól használhatóságukban és esztétikai megjelenésükben nem esik kár. Így ilyen szempontból a legproblémásabb és legtöbb követelményt támasztó burkolatot választottuk. Amennyiben a hidegburkolatokra sikerül megfelelő megoldást találnunk, akkor azon megoldások a hidegburkolatoknál rugalmasabb, hajlékony padlótípusokra is alkalmazhatók (az adott burkolatra optimalizálva), a biztonság javára tévedve.

Valamint úgy gondoltuk, hogy egy adott témába szeretnénk jobban belemerülni és elmélyedni (ez is vetett fel bőven több, különböző, ehhez kapcsolódó témát). A további témákat (pl. szárazpadlóra fektetett padlók) javasoljuk egy következő TDK vagy kutatás témájaként.

2. Akusztikai alapok

A hang fogalmán az emberi hallószerv által érzékelhető mechanikai rezgéseket és hullámokat értjük. A hallható hangok frekvenciája (másodpercenkénti rezgésszáma) 16-20000. A terjesztő közegtől függően levegőben terjedő léghangot és szerkezetben terjedő testhangot különböztetünk meg.

A lépéshang a födémszerkezetben keletkező - az emberi lépések által keltett - testhang, amelynek hatását valamely helyiség légterébe kisugárzott léghangként érzékeljük, illetve mérjük. A zaj fogalmán a nem kívánt, kellemetlen vagy káros hangot értjük. A hanghatások megítélése (az egészségre káros hangok kivételével) szubjektív. A lépéshangszigetelés minőségét a helyiségek légterébe kisugárzott léghangok erősségével jellemezzük.

Az emberi fül közvetlenül a léghangokat érzékeli, mely jelenség fizikailag a nyugalmi légköri nyomására szuperponálódott nyomásváltozásként értelmezhető. A hang keletkezéséhez és terjedéséhez hangforrás és hangterjesztő közeg szükséges. A hangforrás folyamatos mechanikai energiát ad a közegnek, amelyben az energia hullám formájában terjed. A hang terjedése a mechanikai rezgés- és hullámtannal analóg módon vizsgálható.

A hangerősség érzete a hang mechanikai teljesítményével áll szoros kapcsolatban, hangforrástól függő értéktartománya sok nagyságrendet foglal magában, ezért szintekkel jellemezzük, vonatkoztatási értékkel való arányosság logaritmikus skálán. Hangnyomás-, mert ez egy könnyen mérhető mennyiség, és -szint, mert az eltérő hangerősségek teljesítmény-aránya sok nagyságrendet átível, ezért logaritmikus skálán értelmezzük.

A kísérletekben vizsgált műszaki megoldásokat koncentrált mechanikai elemekből álló rezgő rendszerként modellezzük. A legegyszerűbb koncentrált rezgő rendszer az ún. tömeg-rugó-ellenállás rendszer (más néven: egy szabadságfokú rezgő rendszer), melynek meghatározó elemei a fajlagos tömegével jellemezhető mechanikai tömeg, a dinamikai merevségével jellemezhető rugó, valamint a veszteségi ellenállás, utóbbit számítások során elhanyagoltnak tekintjük. A rendszer jellemzői rezgéstani módszerekkel meghatározhatóak, a rendszernek kiemelt frekvenciája a rezonancia frekvencia. Mely a következő módon határozható meg:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s'}{m'}}$$

Ahol s' a rugó dinamikai merevsége, m' a tömeg fajlagos tömege.

A rugómerevség alatt dinamikai rugalmassági modulust értjük. A statikában ismert rugalmassági modulus bevezetésekor egy lineárisan viselkedő anyagmodellt feltételezünk, ezzel ellentétben, a hangterjedés (rezgés) során létrejövő gyors, dinamikus igénybevételek

közben nincs elegendő idő az anyag folyamatos visszarendeződésére, így az anyagban belső súrlódás következtében a mechanikai energia csökken, feszültség-elmozdulás görbájén ún. hiszterézis hurkok jönnek létre. Ugyanakkora feszültség hatására a dinamikai deformáció (ε_d) kisebb, mint a statikai deformáció (ε_s), azaz $\varepsilon_d < \varepsilon_s$, hasonló módon a dinamikai rugalmassági modulus nagyobb, mint a statikai rugalmassági modulus $E_d > E_s$.

A rezonancia frekvencia környezetében a tömeg-rugó jellegű szerkezeteknek hangszigetelési tulajdonságai leromlanak. A tömeg-rugóként működő úsztatott padló szerkezetek a rezonancia frekvencia fölött javítják az alapszerkezet lépéshangszigetelését. A tervezés célja a rezonancia frekvencia értékének csökkentése, mely a tömeg növelésével, illetve lágyabb rugó alkalmazásával érhető el.

Egyes épületszerkezeteket (födémeket, lépcső- és erkélyszerkezeteket) érő mechanikai hatások testhangot gerjesztenek. A födém szerkezet a hangenergia egy részét közvetlenül az alatta lévő helyiség légterébe sugározza le. A merev peremkapcsolatok miatt a hangenergia a többi szerkezeten, például falakon keresztül sugárzódik le a helyiségbe. A hangenergia egy része a merev szerkezeteken közvetítve távolabbi helyiségekbe is eljut, – ezt nevezzük közvetlen, illetve kerülőutas hangterjedésnek – továbbá az energia valamennyi része elnyelődik (hővé alakul).

A födémek önmagukban a lépéshangszigetelési követelményeket nem teljesítik, az ökölszabály szerint a födémek a helyiségek közötti léghangszigetelésért, míg a padlóburkolatok a helyiségek közötti lépéshangszigetelésért felelnek.

A padlóburkolatokat akusztikai szempontból az alábbi csoportokba sorolhatjuk:

- kemény padló: például: kerámia, kő közvetlenül az aljzatra ragasztva. A burkolatok a födém szerkezetek lépéshangszigetelését nem javítják.
- lágy padló: például: PVC, szőnyegpadló. A burkolatok a födém szerkezet lépéshangszigetelését a burkolat minőségének függvényében javítják, jellemzően $\Delta L_w \leq 30$ dB, e padlóburkolatok javító hatása általában 200 Hz fölött jellemző.
- hajlékony padló: például: laminált padló, parketta. A burkolatok a födém szerkezet lépéshangszigetelését a burkolat minőségének függvényében javítják, jellemzően $\Delta L_w \leq 20$ dB.
- úsztatott padló: tömeg-rugó rendszerként működik, melyben a tömeg az úsztatott aljzat, a rugó pedig az úsztató réteg. A burkolatok a födém szerkezet lépéshangszigetelését a burkolat minőségének függvényében javítják, jellemzően $\Delta L_w \leq 35$ dB. Az úsztató réteg és az úsztatott aljzat jellemzői jól méretezhetőek. E padló szerkezetek további előnye, hogy a padlóburkolat szabadon megválasztható.

3. Szakirodalmi áttekintés

A bázist a hangszigetelési szabványok jelentik, a laboratóriumi (ISO 10140-sorozat) és helyszíni (ISO 16283-sorozat) mérések, a kiértékelési (ISO 717-sorozat) és a kerülőutakkal kombinált várható helyszíni teljesítmény (ISO 12354), valamint a dinamikai merevség (ISO 9052-1) meghatározására szolgáló nemzetközi szabványok, melyek elméleti megalapozása leginkább a XX. század közepének német-holland akusztikai kutatásaihoz kötődik (Gösele, Gerretsen, Cremer, Heckl, Fasold és mások). Az alapok megismerését számunkra Reis Frigyes {1} és P. Nagy József {2} munkái tették lehetővé. Az építészeti akusztikán belül a lépéshangszigetelés nemzetközi szakirodalma is beláthatatlanul gazdag, de a kutatásunk tárgyát képező, közvetlenül burkolható lépéshangszigetelő lemezeket tekintve meglepően gyér.

Hongisto és társai a Turku Egyetemen egy összefoglaló vizsgálatot {3} készítettek 13 féle kereskedelmi forgalomban kapható szigetelőanyag tulajdonságait illetően, majd korrelációkat kerestek a fizikai és az akusztikai jellemzők között. A lépészajszigetelést úsztatott padlóként mérték, de a burkolat nem beton, hanem egy 2,1x1,2 m-es fakeretben elhelyezett, 19 mm vastag nyírfatábla volt. Ebben az értelemben a szituáció hasonlít a közvetlenül ragasztott hidegburkolatokra, mert könnyebb, mint az úsztatott betonok vastag, nehéz rétege. Relatív kemény anyagokat vizsgáltak, melyek alkalmasak lehetnének ráburkolásra, de csekély lépészaj-szigetelő képességgel. Viszont az alkalmazott vastagságok (5, 10, 20 cm) messze meghaladják a tényleges, lakásépítésben alkalmazható padlórétegrendeket, így eredményeik kevésbé relevánsak számunkra.

Ugyanez a csoport részletesen vizsgálta {4}, hogy az úsztatott és nemúsztatott padlók szabványosított mérések alapján történő rangsorolása megegyezik-e a szubjektív, psichoakusztikai tapasztalatokkal (4-féle természetes zajhatást is kipróbáltak). Megállapították, hogy a szabványos kopogógéppel történő vizsgálatok, azok egyszámados kiértékelése, valamint a szubjektív megítélés között nem elég erős a korreláció, mely a mérési szabványok továbbfejlesztése felé mutat. Ezt egyébként más javaslatok is többé-kevésbé hasonlóan megfogalmazzák.

Kylliäinen and Helimäki {6} megkülönböztetik a könnyű és nehéz úsztatott padlókat, melyek közül a könnyű ($m'=20-60 \text{ kg/m}^2$) rétegrendek egészen közel állnak az általunk vizsgált megoldásokhoz, de ezt csak a követelmény szabályozás vonatkozásában teszik, sajnos a tényleges szerkezetek összehasonlító vizsgálata hiányzik.

Cobos és társa {7} ipari hulladékokból készült új alátétszigetelésekre tesz javaslatot, de szintén úsztatott padlókkal együtt alkalmazva.

Kim K-W és társai {8} különböző dinamikai rugalmassági modulusú anyagok kombinációival elérhető lépészajcsökkentés függését vizsgálták a felületi egyenetlenség, rétegsorrend, és egyéb tényezőktől, de szintén csak úsztatott esztrichbetonnal.

Dolgozatunkhoz legközelebb R. Maderuelo és társai cikke áll {9}, mely a miénkhez nagyon hasonló (pl. gumi hulladékból préselt) vékony (5-20 mm) hangszigetelő rétegeket vizsgál. Azonban a rákerülő réteg nem derül ki egyértelműen, így az eredményeit kevésbé tudjuk értelmezni.

Érdekes még A. Schiavi és társai munkássága, akik a lépéshangszigetelő lemezek viselkedésén túl új, innovatív anyagokkal is foglalkoztak {10} {11}.

Összegezve: az úsztatott beton elhagyásával készülő, közvetlenül burkolható lépészajszigetelő termékek tényleges viselkedéséről tudományos igényességű publikációt nem találtunk, így kutatásunk ezt a hiányt is igyekszik részlegesen pótolni.

4. Hipotézisek

Azt gondoltuk, hogy a közvetlenül burkolható lépéshangszigeteléseként gyártott és forgalmazott termékekkel készült padlófelépítményeknek van egy érdemi mértékű javító hatása (ellenkező esetben értelmetlen lenne ezek gyártása). Nem vártuk azt, hogy ezek versenyképesek az úsztatott padlókkal, de reméltük, hogy szerencsés kombinációkkal (esetleg új, továbbfejlesztett megoldásokkal) nemcsak felújítások, hanem esetleg új épületek esetén is képesek lehetünk a hazai szabványos követelményeket is kielégítő szerkezetek javaslatára teljesítésére. Reméltük, hogy a mostani, szokványos, "pazarlónak" tűnő (nagy cementfelhasználású és nagy helyigényű) megoldásokhoz képest takarékosabb megoldások is lehetségesek. Biztosak voltunk abban, hogy az úsztatott beton tömegének hiánya (elsősorban a mély frekvenciákon) meg fog mutatkozni, tehát a vékonyabb rétegrendek a kisebb tömegű födémeken nem lesznek reálisan alkalmazhatók.

Bízunk abban, hogy meglévő, úsztatott beton nélküli épületeknél (elsősorban a panelépületeknél) érdemi javítást tudunk javasolni, érdemi belmagasság-csökkenés nélkül.

Valószínűsítettük, hogy az akusztikai szempontból leginkább kedvező rétegek burkolástechnikai szempontból kockázatot is hordoznak, ha nincs merev úsztatott aljzat. De bízunk abban, hogy található "kompromisszum" a hangszigetelő lemezek merevsége, vastagsága és a burkolati aljzattal szemben támasztott követelmények között.

Reméltük, hogy a témánk egy TDK adta kereteken belül képesek leszünk megfelelő méréseket és kiértékelést végezni, érdemi megállapításokat tenni.

5. Módszertan

Módszerünk lehetőleg minél többféle anyaggal, padló rétegrend kombinációval és situációban végzett összehasonlító mérésorozatok végzése, kiértékelése, a tendenciák felismerése és ennek alapján további, alkalmasabb rétegrendek keresése volt. A méréseket laborkörülmények között, az Épületszerkezettani Tanszék NAH által akkreditált Épületakusztikai Laboratóriumában és műszereivel, valamint az St. épület lépcsőházában, a Budapest, Bartók Béla út 106-110. alatti panelházban, a szilárdságtani méréseket pedig a Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék Czakó Adolf Laboratóriumában végeztük. Az anyagmintákat a kutatást támogató ipari partnerektől kaptuk, a próbatesteket sajátkezűleg állítottuk elő.

5.1. Rétegalkotó termékek, anyagok

A felhasznált anyagféleségek egyszerűsített megnevezését az alábbi táblázat tartalmazza. A termékek márkanéveit, részletes fizikai tulajdonságait, a függelékben közöljük.

Lépéshang-szigetelésként vizsgált anyagok		
jel	vastagság	leírás
01	3,5 mm	kétoldali fátyolréteggel kasírozott PE nehézlemez
02	2 mm	gumi és parafa őrlemény hangszigetelő alátétlemez
03	4 mm	gumi és parafa őrlemény hangszigetelő alátétlemez
04	3,8 mm	parafa őrlemény lemez
05	31 mm	nyomásálló, mélyhúzott polisztirol padlófűtés aljzatképző rendszerlemez
06	45 mm	formahabosított polisztirol padlófűtés aljzatképző rendszerlemez
07	20 mm	L2-CP5 osztályú polisztirol lépéshangszigetelő lemez (1 zöld csík)
08	20 mm	L4-CP3 osztályú polisztirol lépéshangszigetelő lemez (2 zöld csík)
09	8 mm	filckasírozású bitumen és elasztoplasztomer szendvicslemez
10	20 mm	hidrofobizált műgyanta kötésű kőzetgyapot lépéshangszigetelő lemez
11	10 mm	kémiaailag térhálósított PE hab lépéshangszigetelő lemez
12	10 mm	poliészter textíliával laminált zártcellás PE hab léghangszigetelő lemez
13	3 mm	feszültségmentesítő lemez
Padlóburkolatok		
14	38 mm	beton kerti járólap
15	8 mm	30x30 cm-es kerámia lapburkolat

16	8 mm	20x60 cm-es famintázatú kerámia lapburkolat
Ragasztórétegek és erősítések		
17		ponthegeesztett, tűzihorganyzott acél háló ($\varnothing=1$ mm)
18		erősítő üvegszövet háló, lúgálló
19	4-7 mm	cementkötésű ragasztóhabarcs
20	8-32 mm	cementkötésű aljzatkiegyenlítő simítóhabarcs
21	3 mm	nagy sűrűségű, általunk perforált polipropilén lemez

5.2. Padlóburkolati rétegfelépítések

Az összeállított rétegfelépítéseket a kutatás céljainak megfelelően 4 típusba soroltuk:

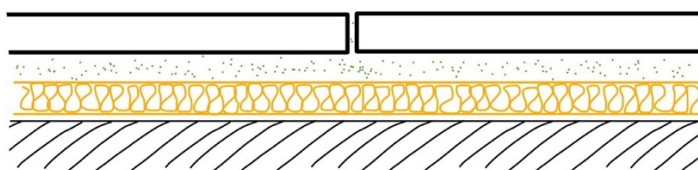
A - közvetlenül burkolható lépéshangszigetelő lemezekkel készült rétegrendek

B - "hibrid" rétegrendek: többféle termék kombinációjával készült rétegfelépítések

C - hálóerősítéssel javított burkolati zónával készült rétegrendek

D - feszültségmentesítő és padlófűtés rendszerlemezek alkalmazási lehetőségei

A-típusú rétegrendek



A.1.	2 mm gumiparafára ragasztott kerámiaburkolat	$\Sigma=15$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	fa mintázatú kerámiaburkolat	16
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
2 mm	gumiparafa	02

A.2.	4 mm gumiparafára ragasztott kerámiaburkolat	$\Sigma=17$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	fa mintázatú kerámiaburkolat	16
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
4 mm	gumiparafa	03

A.3.	3x4 mm gumiparafára ragasztott kerámiaburkolat	$\Sigma=25$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	fa mintázatú kerámiaburkolat	16

kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
3x4 mm	gumiparafa	03

A.4.	5x4 mm gumiparafára ragasztott kerámiaburkolat	$\Sigma=33$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	fa mintázatú kerámiaburkolat	16
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
5x4 mm	gumiparafa	03

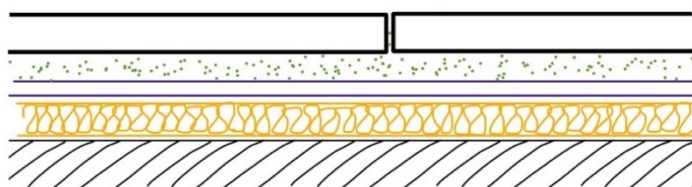
A.5.	2x3,8 mm parafaőrleményre ragasztott kerámiaburkolat	$\Sigma=20,6$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	fa mintázatú kerámiaburkolat	16
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
2x3,8 mm	parafa	04

A.6.	4 mm gumiparafára ragasztott beton kerti járólappal	$\Sigma=47$ mm
vtg.	megnevezés	termék
38 mm	beton kerti járólappal	14
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
4 mm	gumiparafa	03

A.7.	3x4 mm gumiparafára ragasztott beton kerti járólappal	$\Sigma=55$ mm
vtg.	megnevezés	termék
38 mm	beton kerti járólappal	14
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
3x4 mm	gumiparafa	03

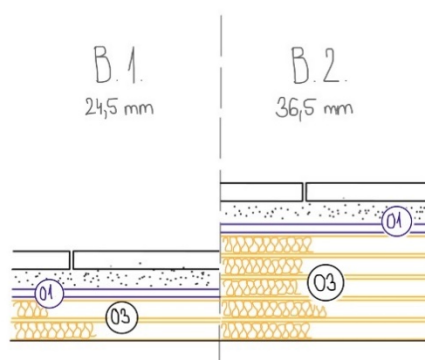
A.8.	5x4 mm és 1x2 mm gumiparafára ragasztott kerámiaburkolat	$\Sigma= 35$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	kerámia burkolat	14
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
2 mm	gumiparafa	02
5x4 mm	gumiparafa	03

A.9.	kerámiaburkolat PE nehézlemezre ragasztva	$\Sigma=16,5$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	kerámia burkolat	15
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
3,5 mm	kétoldali fátýolréteggel kasírozott PE nehézlemez	01

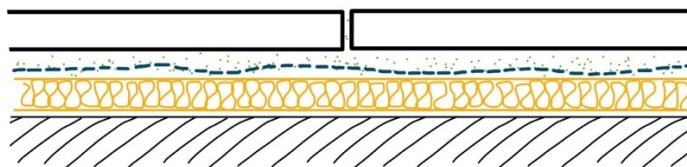
B-típusú rétegrendek

B.1.	2x4 mm gumiparafára ragasztott kerámiaburkolat PE nehézlemezzel	$\Sigma=24,5$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	kerámia burkolat	15
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
3,5 mm	kétoldali fátýolréteggel kasírozott PE nehézlemez	01
2x4 mm	gumiparafa	03

B.2.	5x4 mm gumiparafára ragasztott kerámiaburkolat PE nehézlemezzel	$\Sigma=36,5$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	kerámia burkolat	15
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
3,5 mm	kétoldali fátýolréteggel kasírozott PE nehézlemez	01
5x4 mm	gumiparafa	03



1. ábra: A B-típusú rétegrendek szemléltetése és összvastagsága

C-típusú rétegrendek

C.1.	2 mm gumiparafára ragasztott kerámiaburkolat, ragasztórétegbe ágyazott üvegszövet háló erősítéssel, 5x4 mm gumiparafával	Σ=35 mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	kerámiaburkolat	15
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
	erősítő üvegszövet háló	18
2 mm	gumiparafa	01
5x4 mm	gumiparafa	03

C.2.	2 mm gumiparafára ragasztott kerámiaburkolat, ragasztórétegbe ágyazott acél háló erősítéssel, 5x4 mm gumiparafával	Σ=35 mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	kerámiaburkolat	15
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
	ponthegeesztett, tűzihorganyzott acél háló (Ø=1 mm)	17
2 mm	gumiparafa	01
5x4 mm	gumiparafa	03

C.3.	2 mm gumiparafára ragasztott kerámiaburkolat, ragasztórétegbe ágyazott acél háló erősítéssel, 2x20 mm EPS L2-CP5 lépéshangszigetelő lemezzel	Σ=55 mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	kerámiaburkolat	15
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
	ponthegeesztett, tűzihorganyzott acél háló (Ø=1 mm)	17
2 mm	gumiparafa	02
2x20 mm	L2-CP5 polisztirol lépéshangszigetelő lemez	07

C.4.	2 mm gumiparafára ragasztott kerámiaburkolat, ragasztórétegbe ágyazott acél háló erősítéssel, 2x20 mm PS L4-CP3 lépéshangszigetelő lemezzel	$\Sigma=55$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	kerámiaburkolat	15
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
	ponthegeesztett, tűziorganyzott acél háló ($\varnothing=1$ mm)	17
2 mm	gumiparafa	02
2x20 mm	polisztirol lépéshangszigetelő lemez	08

C.5.	2 mm gumiparafára ragasztott kerámiaburkolat, ragasztórétegbe ágyazott acél háló erősítéssel, 2x20 mm kőzetgyapattal	$\Sigma=55$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	kerámiaburkolat	15
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
	ponthegeesztett, tűziorganyzott acél háló ($\varnothing=1$ mm)	17
2 mm	gumiparafa	02
2x20 mm	hidrofobizált műgyanta kitöltésű kőzetgyapot	10

C.6.	kerámiaburkolat ragasztórétegbe ágyazott PP lemez erősítéssel, 2x20 mm kőzetgyapattal	$\Sigma=56$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	kerámiaburkolat	15
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
3 mm	nagy sűrűségű perforált polipropilén lemez	21
2 mm	gumiparafa mint elválasztó technológiai réteg	02
2x20 mm	hidrofobizált műgyanta kitöltésű kőzetgyapot	10

C.7.	kerámiaburkolat ragasztórétegbe ágyazott PP lemez erősítéssel, 2x20 mm EPS lépéshangszigetelő lemezzel	$\Sigma=56$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	kerámiaburkolat	15
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
3 mm	nagy sűrűségű perforált polipropilén lemez	21
2 mm	gumiparafa mint elválasztó technológiai réteg	02
2x20 mm	L2-CP5 polisztirol lépéshangszigetelő lemez	07

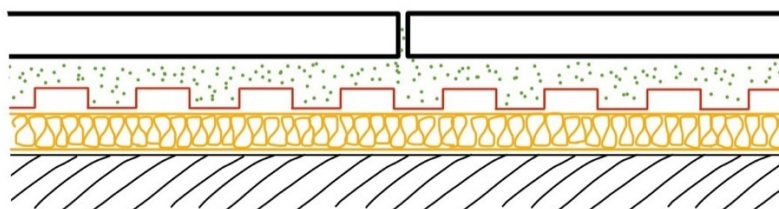
C.8.	kerámiaburkolat ragasztórétegbe ágyazott PP lemez erősítéssel, 2x20 mm PS lépéshangszigetelő lemezzel	$\Sigma=56$ mm
-------------	--	----------------------------------

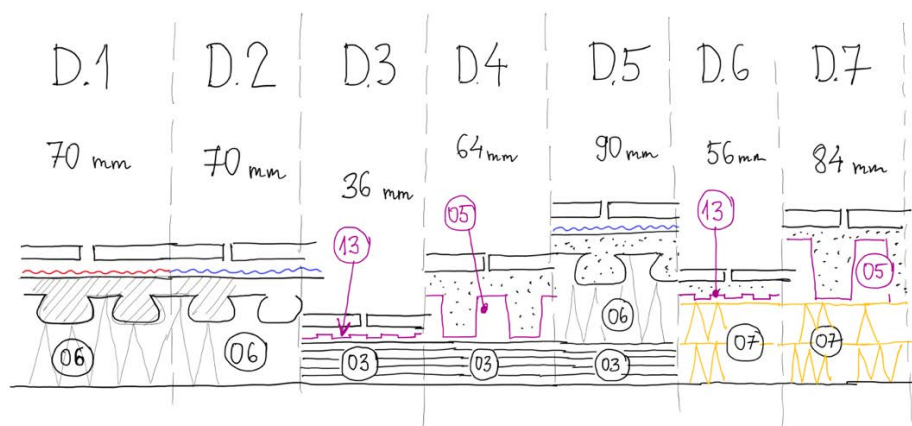
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	kerámiaburkolat	15
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
3 mm	nagy sűrűségű perforált polipropilén lemez	21
2 mm	gumiparafa mint elválasztó technológiai réteg	02
2x20 mm	L4-CP3 polisztirol lépéshangszigetelő lemez	08

C.9.	2 mm gumiparafára ragasztott kerámiaburkolat, ragasztórétegbe ágyazott acél háló erősítéssel, 2x10 mm kémiaailag térhálósított PE hab lépéshangszigetelő lemezzel	$\Sigma=35$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	kerámiaburkolat	15
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
	ponthegeesztett, tűzihorganyzott acél háló ($\varnothing=1$ mm)	17
2 mm	gumiparafa	01
2x10 mm	kémiaailag térhálósított PE hab lépéshangszigetelő lemez	11

C.10.	kerámiaburkolat ragasztórétegbe ágyazott PP lemez erősítéssel, 2x10 mm kémiaailag térhálósított PE hab lépéshangszigetelő lemezzel	$\Sigma=36$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	kerámiaburkolat	15
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
3 mm	nagy sűrűségű perforált polipropilén lemez	21
2 mm	gumiparafa mint elválasztó technológiai réteg	02
2x10 mm	kémiaailag térhálósított PE hab lépéshangszigetelő lemez	11

D-típusú rétegredek





2. ábra: A D-típusú rétegrendek szemléltetése és összvastagsága

D.1.	4 mm gumiparafára ragasztott kerámiaburkolat formahabosított polisztirol lemezzel	$\Sigma = 70$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	fa mintázatú kerámia burkolat	16
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
4 mm	gumiparafa	03
8-32 mm	cementkötésű aljzatkiegyenlítő simítóhabarcs	20
45 mm	formahabosított polisztirol padlófűtés aljzatképző rendszerlemez	06

D.2.	PE nehézlemezre ragasztott kerámiaburkolat formahabosított polisztirol lemezzel	$\Sigma = 70$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	kerámia burkolat	15
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
3,5 mm	kétoldali fátolréteggel kasírozott PE nehézlemez	01
8-32 mm	cementkötésű aljzatkiegyenlítő simítóhabarcs	20
45 mm	formahabosított polisztirol padlófűtés aljzatképző rendszerlemez	06

D.3.	feszültségmentesítő lemezre ragasztott kerámiaburkolat 5x4 mm gumiparafával	$\Sigma = 36$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	kerámia burkolat	15
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
3 mm	feszültségmentesítő lemez	13
5x4 mm	gumiparafa	03

D.4.	nyomásálló, mélyhúzott polisztirol padlófűtés-rendszerlemezre ragasztott kerámiaburkolat 5x4 mm gumiparafával	$\Sigma=64$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	kerámia burkolat	15
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
31 mm	nyomásálló, mélyhúzott polisztirol padlófűtés aljzatképző rendszerlemez	05
5x4 mm	gumiparafa	03

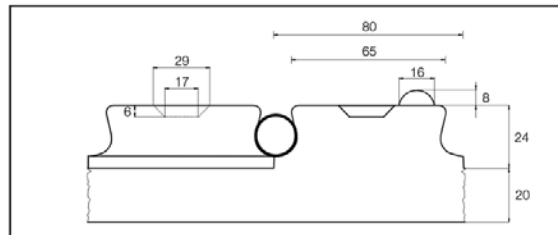
D.5.	PE nehézlemezre ragasztott kerámiaburkolat formahabosított polisztirol lemezzel és 5x4 mm gumiparafával	$\Sigma=90$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	kerámia burkolat	15
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
3,5 mm	kétoldali fátjolréteggel kasírozott PE nehézlemez	05
8-32 mm	cementkötésű aljzatkiegyenlítő simítóhabarcs	20
45 mm	formahabosított polisztirol padlófűtés aljzatképző rendszerlemez	06
5x4 mm	gumiparafa	03

D.6.	feszültségmentesítő lemezre ragasztott kerámiaburkolat 2x20 mm PS lépéshangszigetelő lemezzel	$\Sigma=56$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	kerámiaburkolat	15
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
3 mm	feszültségmentesítő lemez	13
2x20 mm	L2-CP5 polisztirol lépéshangszigetelő lemez	07

D.7.	nyomásálló, mélyhúzott polisztirol padlófűtés-rendszerlemezre ragasztott kerámiaburkolat 2x20 mm PS lépéshangszigetelő lemezzel	$\Sigma=84$ mm
vtg.	megnevezés	termék
8 mm	kerámiaburkolat	15
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
31 mm	nyomásálló, mélyhúzott polisztirol padlófűtés aljzatképző rendszerlemez	05
2x20 mm	L2-CP5 polisztirol lépéshangszigetelő lemez	07

Megjegyzések:

- A formahabosított polisztirol pogácsás rendszerlemezen cementkötésű aljzatkiegyenlítő simítóhabarcsot alkalmaztunk, ennek vastagságát a pogácsák tetején található gyári dudorhoz igazítottuk, vagyis a gyártó által javasolt minimális vastagsággal dolgoztunk.
- A simítóhabarcs kötése során jelentős hőtermelést követően jelentős zsugorodást figyelhattunk meg, ennek következtében a polisztirol tábla enyhe ívet vett fel, a szélein felgöbült. Ennek következtében a kopogógép alatt a mintha enyhén billegett.



3. ábra: A 06 számú formahabosított polisztirol padlófűtés aljzatképző rendszerlemez

5.3. Mérések

Méréseinket - amennyire csak lehetséges volt - a vonatkozó nemzetközi szabványok (a labormérésekre vonatkozó **ISO 10140**-sorozat és a helyszíni mérésekre vonatkozó **ISO 16283**-sorozat) szerint igyekeztünk végezni.

A padlófelépítmények lépéshangszigetelő javításának mérése - elsősre meglepő módon - (a laborfödémén elhelyezett több mintán, többféle elrendezéssel működtetett szabványos kopogógép által keltett zajnak a födém alatti vevőtérben többféle mikrofon pozícióban mért, majd energiaátlagolt) **léghangnyomásszint** méréssel történik, mivel a szerkezet lépéshangszigetelő képességét közvetlenül nem lehet mérni (illetve sokkal bonyolultabb lenne, és a tényleges használati érték szempontjából is ez az érdekesebb).

A minták előkészítését (darabszámát, méretét stb.) az ISO 10140-1 szabvány H-függeléke írja le. Ezek közül az előírások közül egy TDK keretében minden előírást nem lehet teljesíteni, így méréseink nem szabványosak:

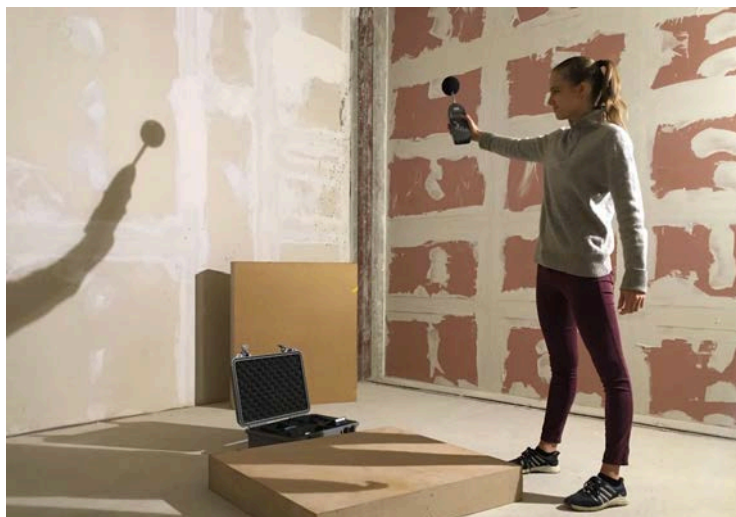
- minták, mérések, pozíciók száma, a minták mérete
- a méréseinknél nem alkalmaztunk előterhelést
- a ragasztott mintáknál nem vártunk 28 napos teljes szilárdulást (csak 2-3 napot)
- nem foglalkoztunk a környezeti hőmérséklet és páratartalom kérdéseivel, mivel a méréseket nagyjából azonos feltételek között, 2 hónapon belül végeztük.

Ennek ellenére úgy gondoljuk, hogy méréseink a fő tendenciák felismerésére és mérnöki gondolatmenetek megalapozására biztosan alkalmasak.

A vizsgálólabor metszetét a 5. ábra mutatja. A mintákat az I. mérőhelyiség fölötti 15 cm vastag monolit vasbeton laborfödémén helyeztük el és működtettük a szabványos kopogógépet. A hangnyomásszintet az I. helyiségben, hitelesített Larson Davis 824 hangnyomásszintmérő és valósidejű analízátorral, A-súlyozással mértük. A méréseket 30 másodperces sorozatokban végeztük, minden mérést megismételtünk, különböző pozíciókban. A mérés során a műszerrel a szabványban leírt körmozgást írtuk le, során minden alkalommal ugyanannyi ember tartózkodott (2 fő), a mintavételi rátát "slow"-ra állítottuk. A helyszíni méréseknél ugyanezen elvek mentén dolgoztunk. Minden méréssorozat elején vagy végén alapzajt mértünk. A nyersfödém működtetett kopogógép okozta hangnyomásszintet minden alkalommal megmértük, így a nyersfödém jellemzésére több, kiátlagolható adat is rendelkezésünkre állt.



6. ábra: A laborfödémre helyezett minták mérése a szabványos kopogógéppel



7. ábra: Hangnyomásszint-mérés az I. sz. mérőhelyiségben

A mérésekről folyamatosan vezetett jegyzőkönyvet készítettünk, mely ezen a [hivatkozáson](#) keresztül bárki számára megtekinthető. A méréseket egy saját rendszerben kiosztott kóddal

azonosítottuk, az adatokat minden mérési nap végén számítógépre .csv formátumba konvertálva számítógépre mentettük, majd ezeket egy közös excel táblázatba illesztettük, mely ezen a [hivatkozáson](#) bárki számára megtekinthető. Az ismételt méréseket kiátlagoltuk.

Kérdésként merült föl (és jónéhány publikáció foglalkozik ezzel a problémakörrel), hogy a szabványos kopogógép mennyire jellemzi a valós gerjesztési hatásokat. A szabványok is deklarálják, hogy ezek a módszerek nem egyeznek tökéletesen a valós hatásokkal, mégis, jelen kutatásban nincs mód arra, hogy a zajhatásokat eltérő módon vizsgáljuk. Mindenesetre, amennyiben a vizsgált szerkezetek tényleges alkalmazási lehetőségeiről objektív képet akarunk kapni, akkor egy következő kutatásban érdemes lenne erre a problémára is kitérni.

A **helyszíni (in-situ) méréseket** igyekeztünk az ISO 16283-2 szabvány szerint végezni, mely a laboratóriumi mérési módszertanhoz hasonlóan a helyszíni mérések menetét írja le. A fő különbség az, hogy a helyszínen nincs lehetőség nyers földém mérésére, így ott nincs mód közvetlenül ΔL javító hatás számítására. A burkolt födémelek tulajdonságait a szabványos kopogógéppel keltett, a védendő oldalon mért hangnyomásszinttel lehet csak jellemezni.

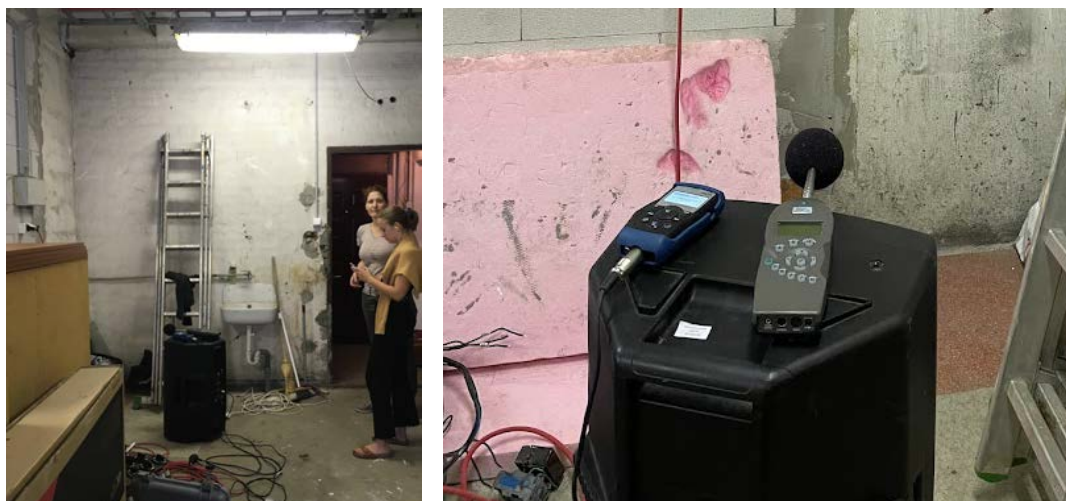
Lépcső méréseket két helyen végeztünk: az ST épület lépcsőpihenőjére és lépcsőfokára helyezett kopogógép által keltett hangot a szomszédos irodahelyiségben mértük. A panelház lépcsőfokára helyezett gép által keltett hangot a szomszédos lakás alatti tárolóhelyiségben mértük.



8. ábra: Az St. épület és a panelház lépcsőkarján működtetett kopogógép

Az **utözengési időket** illetően a labormérések esetében az akkreditált labor korábbi, szabványosan meghatározott adatai rendelkezésünkre álltak. A panelház mérések esetén a lakás alatti tárolóhelyiségben (vevőtér) utözengési idő mérést végeztünk, melyhez a következő műszereket használtuk: zajgenerátor (NTi Minirator MR-PRO), aktív hangsugárzó (JBL EON 615) és hangnyomásszintmérő és valósidejű analízátor (Larson Davis 824). Az St.

épületben térfogatszámítással, az ott található bútorozás, mint hangelnyelési felület becslésével történt az utózenngési idő felvétele.

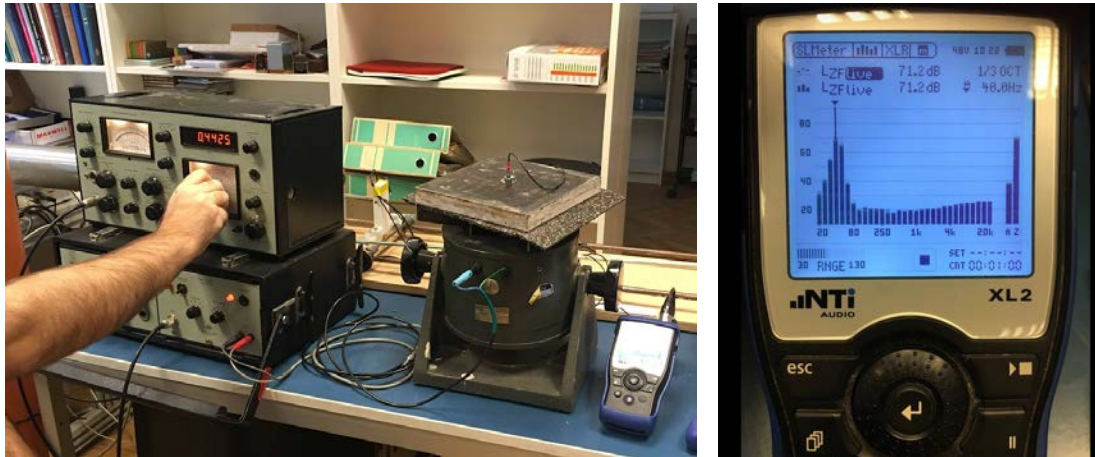


9. ábra: A panelház vevőtérben használt hangkeltő eszközök az utózenngési idő mérésére

A dinamikai merevség méréseket az Épületakusztikai Laborban végeztük, Nagy Attila laborvezető irányításával és eszközeivel. A mérésnél az MSZ EN 29052-1 szabvány szerint igyekeztünk eljárni, mérésünk ennek ellenére nem tekinthető szabványosnak, de tájékozódásra, a fő tendenciák felismerésére mindenképpen alkalmas. A szabvány a dinamikai merevség meghatározását a rezonanciafrekvencia mérésnek módszerével írja elő, ahol a 20x20 cm méretű vizsgálandó anyagot egy 8 kg-os terhelő lappal látják el. Alulról gerjesztik a rendszert és felül helyezik el a rezgésmérő műszert. A legnagyobb mért nyomáshoz tartozó frekvenciából számítják vissza az anyag dinamikai merevségét az

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s'_t}{m'_t}}$$

összefüggés alapján, ahol s'_t a próbadarab felületegységnyi dinamikai merevsége, m'_t pedig a terhelő tömeg. Ennek alapján $s'_t = 4\pi^2 m'_t f_r^2$, nagy légáramlási ellenállású termékek esetére $s' = s'_t$. Igyekeztünk valamennyi, a vizsgálatainkban előforduló terméket megmérni. Fontos megjegyzés, hogy ezek a mérési eredmények csak tájékoztatásul szolgálnak, nem írják felül a kereskedelmi forgalomban kapható termékek teljesítménynyilatkozatait, piaci célokra nem használhatóak.



10. ábra: A dinamikai mérés összeállítása és a mérőműszeren kijelzett rezonanciafrekvencia

A mérés menete a generátor frekvencia durva, majd kézi finom állítása, a mérőműszeren megfigyelt maximális mért teljesítményhez tartozó frekvencia megkeresése volt.

Szilárdságtani méréseket a Czákó Adolf Laboratórium hitelesített Zwick/Roell Z150 univerzális gépével, Karádi Dániel laborvezető segítségével, három célból végeztük:

- bizonyos termékek nyomószilárdsági-alakváltozási jellemzőinek mérésére, annak a dinamikai merevség mérésekkel való összevetésére,
- burkolati anyagok és komplett rétegrendek hajlítási-törési vizsgálatára,
- különböző rétegrendek burkolati fugáinak nyírási tönkremenetelének vizsgálatára.



11. ábra: Hajlítási törésteszt és az egyoldalon terhelt fuga nyírási vizsgálata

A töréstesztet elmozdulásvezérelt terheléssel végeztük Karádi Dániel laborvezető irányításával. A műszer az adott elmozdulásokhoz tartozó erőket rögzítette, melyet képernyőn tudunk követni. A törésekre jellemző visszaeséseket követően a törésképp rajzolatát gondos vizsgálatnak vetettük alá, és ebből próbáltunk következtetéseket levonni.

5.4. Az értékelés módszerei

Az értékelés módszereit a vonatkozó szabványok mellett a kutatás célja határozza meg. Ennek alapján kétféle fő szempontból értékeltünk az eredményeket:

- a) az egyes padlófelépítmények viselkedésének összehasonlító vizsgálata
- b) a szerkeztípus alkalmazhatósága a követelményszabvány alapján.

Az a) összehasonlító értékelés a fő tendenciák megértésére, a vastagságoktól, anyagfajtáktól, az egyes rétegalkotóktól, kapcsolatoktól remélhető javító hatás megismerésére és ennek alapján a rétegfelépítések továbbfejlesztésére, új rétegrendek javaslatára alkalmas.

A b) követelményértékelés a valós körülmények közötti alkalmazhatóság körének behatárolására alkalmas.

A lépéshangszigetelés teljesítményét általánosan a $\Delta L = L_{n,0} - L_n$ képlettel leírható lépéshangnyomásszint-csökkenéssel jellemezzük, melyet frekvenciasávonként külön-külön, a burkolat nélkül és a burkolattal történt mérések eredményeinek kivonásával kapunk, ahol:

$L_{n,0}$ a burkolatlan referenciafödém normalizált lépéshangnyomásszintje

L_n a referenciafödém normalizált lépéshangnyomásszintje a padlóburkolattal együtt.

A normalizálás azt jelenti, hogy a mért értékeket a vevőtér egyenértékű hangelnyelő felülete és egy szabványosított fiktív labor egyenértékű hangelnyelési felülete ($A_0 = 10 \text{ m}^2$) arányával korrigálni kell. (Ha a mérések között a vevőtér egyenértékű hangelnyelési felülete nem változik, akkor a ΔL értéke megegyezik a mért hangnyomásszintek különbségével (ISO 10140-1, Annex H.1, nincs szükség normalizálásra).

Ezután az eredményt - ha releváns - korrigálják még a kopogógép által az adótérben lesugárzott léghangjának a vevőtérbe jutott részével is, mert csak a testhangokra vagyunk kíváncsiak. Megfelelően záródó laborajtók esetén ez a kerülőutas teljesítmény nem jelentős. A spectrum adaptation term színeképillesztési tényező értéke az ISO 717-2, Annex B szerint masszív födémekre és hatékony burkolat esetén zéróra vehető.

5.4.1. A javító hatás összehasonlító elemzése

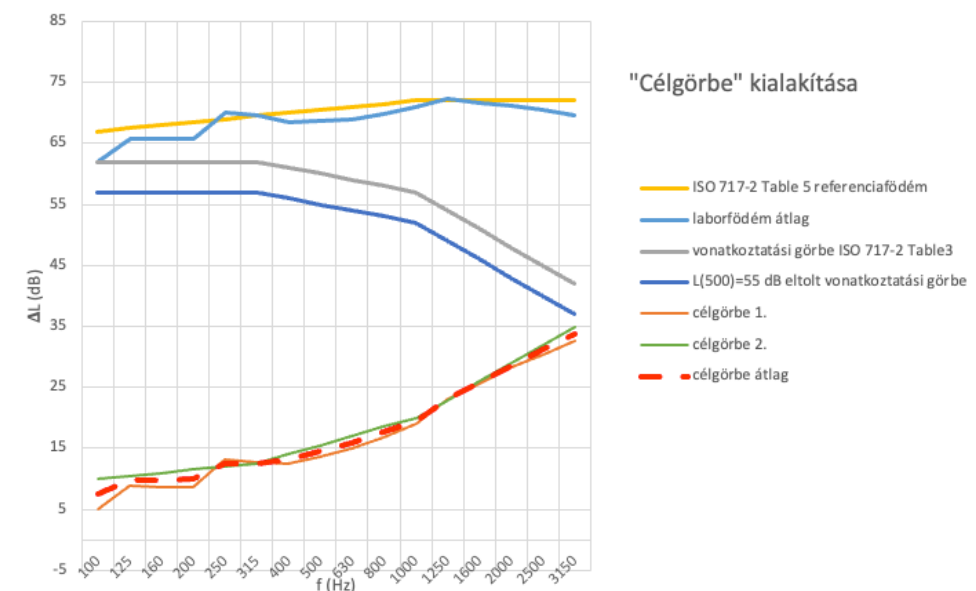
Az ISO 717-2 szabvány célja az, hogy a labor- vagy in-situ mérési eredményekből egyszámadatos jellemzőt adjon a vizsgált szerkezet akusztikai teljesítményére. A szabvány kifejezett célként tűzi ki, hogy az egyszámadatos formulával leegyszerűsítse a nemzeti követelmények meghatározását. Mint már említettük, a padlófelépítmény lépéshangszigetelési teljesítménye egy " Δ "-jellegű hangnyomásszint csökkenés lesz, mely frekvenciasávonként külön-külön mutatja meg a szerkezet teljesítményét. Az ISO 717-2 szabvány segítségével készített egyszámadatos érték azonban elfedi az egyes szerkezetek frekvenciafüggően eltérő viselkedését, így kevésbé alkalmas a mérnöki megfontolások megalapozására. Az egyszámadatos jellemző inkább a szerkezet alkalmazhatóságát eldöntő

MSZ 15601-es nemzeti szabványban foglalt (funkciótól függő) követelményértéknek való megfelelés vizsgálatára alkalmas, melyet az 5.4.2. részben tárgyalunk.

Ezért a mérési eredményeinkből " ΔL " jellegű excel diagramokat képeztünk, és ezeken figyeltük, hogy az egyes anyagok a különböző frekvenciákon hogyan teljesítenek. A szemléltetés érdekében készítettünk egy "célgörbét":

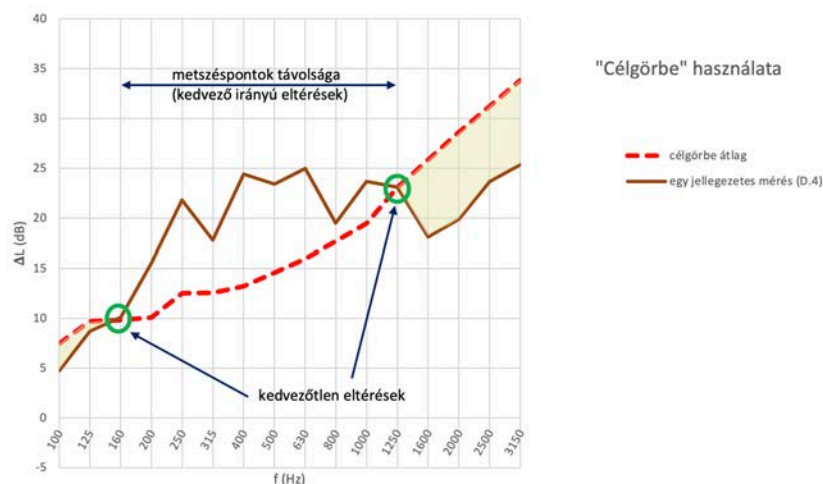
- Először a nyersfödém méréseinket kiátlagoltuk és az $L_{n,0}$ szinteket diagramon ábrázoltuk,
- majd a 717-2 (4.3.1) szerinti vonatkoztatási görbét eltoltuk az $L_{500} = 55 \text{ dB}$ pozícióba,
- a kettő közötti különbséget ("elvárt javító hatás") egy ún. célgörbén ábrázoltuk,
- ezt a célgörbét beszúrtuk az egyes padlófelépítmények " ΔL "-ábráiba,
- megnéztük, hogy a mért görbe "karaktere" hogyan viszonyul a mérési eredményekhez,
- az összehasonlítható rétegrendek által megpróbáltuk megérteni, hogy az egyes frekvenciákon tapasztalt pozitív vagy kedvezőtlen eltérés minek köszönhető.

Az egyszámadatos értékelés a kedvezőtlen irányú eltéréseket veszi figyelembe. Így ezek eliminálásához a többi frekvencián akár jelentős "túteljesítés" is előállhat. Ha viszont ismerjük, hogy a különböző rétegrend típusokban melyik rétegalkotók miképpen járulnak hozzá az összteljesítményhez, akkor a követelményekhez sokkal jobban igazodó, ám anyagtakarékos padlófelépítményeket fejleszthetünk. Az általunk alkalmazott szemléletes ábrázolás tehát egy alkalmas módszer az új rétegrendek koncipiálásához.



1. diagram: A "kívánatos" javító hatást bemutató célgörbe képzése

A diagramon jól látszik, hogy a laborfödém elég jól illeszkedik az ISO 717-2 (Table 5) által leírt referenciafödémhez. A célgörbe 1. a szabványos, a célgörbe 2. a laborfödém javításához "szükséges" értékeket mutatja, a célgörbe átlag a kettőből képzett, a szükséges javító hatás KARAKTERÉT bemutató görbe, ezt fogjuk a következtetéseink során alkalmazni.




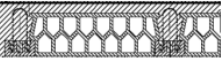

2. diagram: A "célgörbe" használata a javító hatás "karakterének" vizsgálatára

Nyilvánvaló, hogy "leggazdaságosabban" a vonatkoztatási görbére illeszkedő mért hangnyomásszintek, követelmény-szemponitú megközelítéssel a célgörbére simuló mérési eredmények lennének a legoptimálisabbak. A két metszéspont közötti minél nagyobb távolság azt mutatja, hogy az azon kívül eső, kedvezőtlen eltérésű tartomány annál kisebb lesz. Ez az a tartomány, amelynek átlagát az egyszámadatos kiértékelés során 2 dB alá kell szorítani a vonatkoztatási görbe eltolásakor. A jelentős pozitív eltérés a szabvány szerint nem segít a kedvezőtlen eltérések ellensúlyozásában, de a valóságban igenis van fizikai tartalma. A tényleges zajhatások frekvenciamenetétől függően egy a 13. ábrán bemutatott padló is lehet megfelelő, de a kedvezőtlen eltérésű területek helye és mérete figyelmeztet bennünket az alkalmazott padlófelépítmény gyengeségeire, kockázataira.

5.4.2. A követelmény-szemponitú kiértékelés módszere

A vizsgált szerkezetek alkalmazhatósági körét a hazai követelményszabvány alapján lehet meghatározni (MSZ 15601-1:2007). Ez a szabvány a helyszínen mért $L'_{n,w}$ értékekre ad meg felső határértéket. Jellemző értéke mind lakások között, mind lakáson belül (irányadó érték) $L'_{n,w} = 55 \text{ dB}$ (alapkövetelmény). Nem határozza meg a zajkeltés módját, de implicite beleérthető, hogy a helyszíni méréseket leíró ISO 16283-2 szabvány szerint a szabványos kopogógépet kell alkalmazni. Mivel ez a gép nem képes tökéletesen "szimulálni" a valós zajforrásokat, elképzelhető, hogy a szabvány szerint nem megfelelő szerkezet alatt is békés életet lehet élni, míg egy szabványnak megfelelő földem fölött élő család is örületbe kergetheti az alatta lakókat. A labormérések és a helyszínen várható teljesítmény között az ISO 12354-as szabvány termet kapcsolatot, elsősorban a kerülőutak figyelembevételé miatt (a szabványos laborban elvileg a kerülőutas hangterjedés ki van zárva). Ez a szabvány egyszerűsített módszert ajánl a termékek, szerkezetek laborban mért és abból képzett egyszámadatos

jellemzője (ΔL_w) és a födém ismeretében a helyszínen várható teljesítmény becslésére. A helyszíni nyersfödém figyelembevételéhez egy $L'_{n,r,0,w} = 78 \text{ dB}$ jellemzőjű monolit vasbeton referenciafödém (ISO 717-2, Table 4.), valamint a szakirodalom által ismert, födém típusonként eltérő tulajdonságú adatok állnak rendelkezésünkre:

Födém típus	vast. v, cm	fajlagos tömeg m', kg/m ²	léhanggátlás			szüks., ΔL_w dB		
			súlyozott léhang- gátlási szám R_w dB	színkép- illesztési tényező C, dB	értékelés			
E-gerendás födém	19+5	370	53	-2	NFM	80	>30 (28)	
kerámia béléstestés födém	17+4	300	48	-	NFM	87	>37 (35)	
körüreges födempalló	20+5	390	53-55	-	?	74-76	>24 (22)	
monolit vb födém	16	370	54	-1 - -2	NFM	76	>26 (24)	
monolit vb födém	20	480	56	0 - -1	MF	74	>24 (22)	

12. ábra: Födém típusok épületakusztikai jellemzői (Mesterházy Beáta szíves közlése)

(Jelmagyarázat: MF= megfelel, NMF= nem felel meg)

A vélelmezhető helyszíni teljesítmény az ISO 12354-szabvány szerint homogén, nehéz födémekre a $L'_{nw} = L_{nweq} - \Delta L_w + K$ képlettel közelíthető, ahol a ΔL_w a burkolat súlyozott javító hatást egy $L_{nweq} = 164 - 35 \cdot \log \frac{m''}{1 \frac{kg}{m^2}}$ képlettel számítható homogén födém "működtetjük", a K-korrekciós tényezővel pedig a kerülőutas hangterjedés és lesugárzás hatását vesszük figyelembe. Egy valós tervezési szituációban, ha ismert a meglévő/tervezett burkolatlan vagy javításra váró födém teljesítménye, akkor a becslő számításnál azzal fogunk számolni. Ennek érdekében az összes vizsgált padlófelépítmények előállítottuk a 717-2 szabványban leírt módszerrel a $\Delta L_{n,w}$ jellemzőjét.

Mivel a célunk a vizsgált padlófelépítmények alkalmazhatósági körének meghatározása, a szabványos számításban kiinduló pontunk áll az elvárt L'_{nw} érték. Mivel a $\Delta L_{n,w}$ jellemzőket meghatároztuk, a következő lépés azon födémek, szerkezetcsoportok meghatározása, amelyek a padlófelépítményeinkkel együtt jó eséllyel meg tudnak felelni a követelménynek.

Ehhez azonban szükség lenne a födémek frekvenciafüggő adataira is, mert könnyen elképzelhető, hogy egyes, az egyszámadatos értékelés szerint nem megfelelő födém-padló kombinációk ténylegesen szerencsésen semlegesítik egymás gyengeségeit, és a szerkezet ténylegesen megfelel. Erre a jelen TDK keretében nem volt lehetőségünk, de egy következő kutatásnak célszerű lenne erre fókuszálni.

A kerülőutak hatását egyszerűen figyelembe vevő K-korrekciós tényezőt illetően eltérnek a vélemények. P. Nagy [2] szerint a nyersfödémek súlyozott helyszíni szabványos lépéshangnyomásszintje gyakorlatilag azonosnak tekinthető a kerülőutak nélkül laborban mért értékkel, mert a 3. típusú kerülőutak "energiaelszívó" hatása lényegében annullálja a 2. típusú kerülőutak negatív hatását. Reis [1] és mások szerint ez az egyszerűsítés nem indokolt, így elsősorban az Önorm gyakorlatára alapozva a födém és az átmenő fal tömege függvényében 0-6 dB-es korrekciót javasolnak.

Födém fajlagos tömege, kg/m ²	Az átmenő falak átlagos fajlagos tömege, kg/m ²								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	1	0	0	0	0	0	0	0	0
150	1	1	0	0	0	0	0	0	0
200	2	1	1	0	0	0	0	0	0
250	2	1	1	1	0	0	0	0	0
300	3	2	1	1	1	0	0	0	0
350	3	2	1	1	1	1	0	0	0
400	4	2	2	1	1	1	1	0	0
450	4	3	2	2	1	1	1	1	1
500	4	3	2	2	1	1	1	1	1
600	5	4	3	2	2	1	1	1	1
700	5	4	3	3	2	2	1	1	1
800	6	4	4	3	2	2	2	1	1
900	6	5	4	3	3	2	2	2	2

13. ábra: A kerülőutakat figyelembe vevő K-korrekciós tényező ajánlott értékei [1] alapján.

5.4.3. A dinamikai merevség mérések értékelése:

A mérések során talált rezonanciafrekvenciákból lehetőség van a szabvány szerint a dinamikai merevség visszaszámolására a $s'_t = 4 \pi^2 m'_t f_r^2$ képlet alapján. A szakirodalom szerint, ha ismert egy $\Delta L_{n,w}$ súlyozott javítási követelmény, abból visszaszámolható a padlófelépítménytől elvárt rezonanciafrekvencia, abból pedig kiszámolható annak megvalósításához szükséges dinamikai merevség. Erre az Önorm B 8115-4 egyszerűsített grafikonos tervezési segédletet is nyújt. Méréseink leginkább az egyes rétegalkotók kiválasztására, új padlórétegrendek fejlesztésre szolgálnak.

5.4.4. A szilárdságtani mérések értékelése

A mérések ún. útvezérelt, tehát a nyomófej előrehaladását vezérlő algoritmus szerint folytak, az adott elmozduláshoz tartozó erő feljegyzésével. A kiértékelés elsősorban a jelentős visszaesésekhez tartozó, tehát a tönkremenetel fázisait jelző pontok megkeresését jelentette. A kiértékelés során azt vizsgáltuk, hogy a tönkremenetelhez tartozó erők a normál lakáscélú alkalmazások során fellépő koncentrált erőket jelentősen meghaladják. A kiértékelés másik módszere a repedéskép gondos megfigyelése volt, melyre a rétegrend továbbfejlesztésére vonatkozó javaslatokat alapozhattunk.

6. A burkolástechnikai probléma és annak szilárdságtani vonzatai

A rétegrend akusztikai optimalizálása során hamar eljutottunk arra felismerésre, hogy nemcsak akusztikai, hanem egy komoly burkolástechnikai problémával állunk szemben:

Az úsztatott esztrich elhagyásával egyrészt a tömeg-rugó rendszer tömeg-komponense jelentősen lecsökkent, csak a burkolat és annak ragasztórétege képez tömeget. Érdeklünkben áll tehát vastagabb, nehezebb burkolatok és masszív ragasztóréteg alkalmazása, életszerű korlátok között. Ennél nagyobb probléma, hogy amíg az úsztatott beton a hidegburkolat számára egy merev aljzatot képezett, addig a miáltalunk vizsgált rendszerekben közvetlenül a hangszigetelés képezi a burkolat aljzatát. A hidegburkolat megfelelő leragasztásához merev, repedésmentes aljzat lenne szükséges, de a hangszigetelő lemez nem ilyen.

Két ellentmondó érdek feszül tehát egymásnak, akusztikai szempontból a kis merevségű, vastag, lágy réteg lenne célszerű, míg burkolástechnikai szempontból az lenne jó, ha a hangszigetelő réteg kemény, merev lenne. Lehet-e egyáltalán közvetlenül a hangszigetelő lemezre burkolni? Nem fog-e eltörni a hidegburkolat, vagy megrepedni annak fugái? Milyen tulajdonságokkal rendelkezzen a hangszigetelő réteg ahhoz, hogy közvetlenül burkolni lehessen rá?

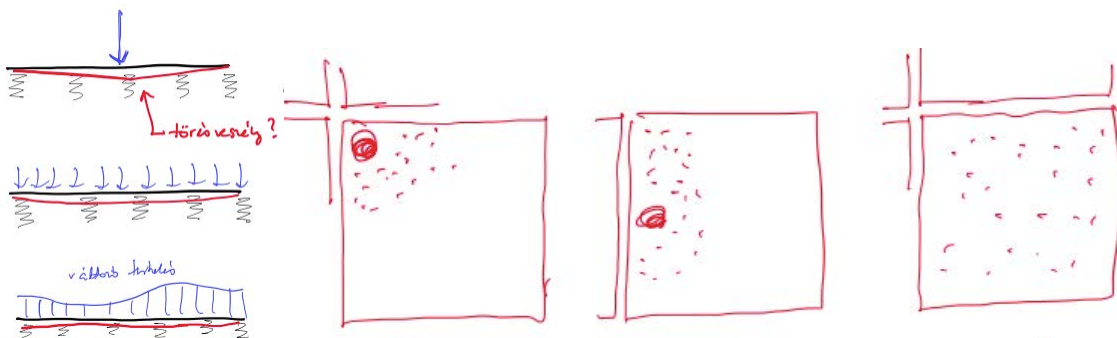
A válasz érdekében megnéztük, hogy az előírások, irányelvek milyen követelményeket támasztanak a hidegburkolatok aljzatával szemben. Bármilyen meglepő, azt találtuk, hogy lényegében nincsenek ilyenek a nemzetközi szakirodalomban. Ami létezik, az mindössze az úsztatott esztrichréteg síkpontosságára és hajlítószilárdságára vonatkozik, vagyis nem az általunk vizsgált szerkezetre. Szükségesnek látszik tehát végiggondolni a hidegburkolatok aljzatával szemben támasztott követelményeket, mint a közvetlenül burkolt hangszigetelő rendszer működőképességének szilárdságtani feltételeit.

6.1. Ajánlás hidegburkolatok aljzatával szemben támasztható követelmények meghatározására

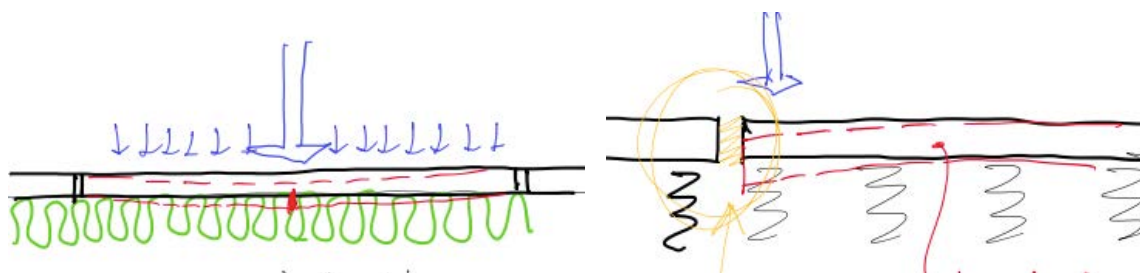
A burkolatot érő **egyenletesen** megoszló terhek a padló egyenletes süllyedését okozzák. Ez a jelenség a merev úsztatott esztrichek tapasztalatai alapján jellemzően nem eredményez károsodást a hidegburkolatban.

A burkolatot érő **koncentrált** terhek viszont véleményünk szerint kétféle tönkremenetelhez vezető igénybevételt okozhatnak, ha nincs a burkolat alatt kellően merev betonaljzat:

- ha a teher lapközépen hat, akkor hatására a burkolat (rugalmasan ágyazott lemezre jellemző, korlátozott mértékű) hajlítást szenved, amikor a görbület eléri a lap maximális hajlíthatóságát, a lap megreped, ami esztétikailag elfogadhatatlan, a burkolatot tönkrementnek kell tekinteni.
- ha a teher a lap szélén vagy sarkán hat, akkor hatására a csatlakozó lapok egyike jobban lesüllyedhet, mint a szomszédos, kis alakváltozás hatására (a két lap egymáshoz képest történő elmozdulása) a fugázóanyag rideg törése bekövetkezik, a fuga kireped és a burkolat esztétikailag elfogadhatatlanná válik, a burkolatot tönkrementnek kell tekinteni.



14. ábra: Hidegburkolat, mint rugalmasan ágyazott lemez. A terhelés esetei



15. ábra: A két jellemző tönkremenetel: a hajlított lapok törése és a fugák elnyíródása

Az is látszik, hogy a burkolat aljzatával szemben támasztható követelménynek függenie kell:

- a rákerülő burkolat anyagától, vastagságától, szilárdságától (maximális görbületétől),
- a fugák szélességétől és kitöltésétől, és a felületek együttdolgozási minőségétől (rugalmas fugázóanyaggal jobban bírja a rendszer).

Javasoljuk, hogy a burkolat aljzatával szemben tehát kétféle követelmény legyen támasztva:

6.1.1. szilárdsági (maximális hajlítómerevségi) követelmény (flexural rigidity);

6.1.2. együttdolgozási (nyírási) követelmény.

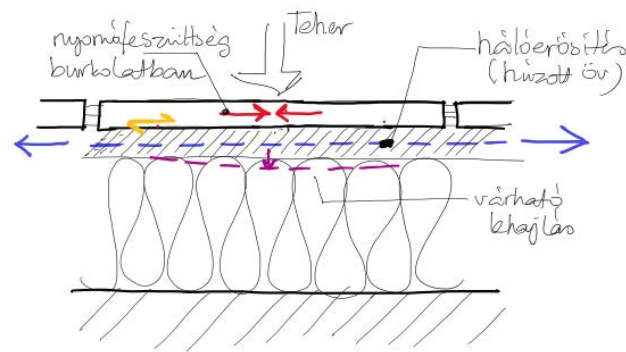
A hajlítási merevség alatt ebben az esetben a tönkremenetelhez tartozó aljzat alakváltozásának görbületi sugarát, a nyírási követelmény alatt a tervezett fugaszélességre vetített függőleges elmozduláskülönbséget értjük.

Ezzel együtt azt is felismertük, hogy a közgondolkodásban mind az úsztatott padlóról, mind az építőlemezes szárazpadlókról azt vélelmezzük, hogy a fenti követelmények teljesülése esetén magára a burkolatra elhanyagolható a tönkremenetelt eredményező igénybevétel (azokat az úsztatott beton vagy a szárazpadló veszi föl). Könnyen belátható, hogy az akusztikailag szóba jöhető hangszigetelő aljzatokkal ez nem teljesíthető. Ez azonban nem azt jelenti, hogy nem lehet ezekre burkolni. Rájöttünk ugyanis, hogy a burkolat alatti ragasztóréteg nemcsak a tömege révén hasznosul, hanem megfelelő erősítéssel a burkolattal együttdolgozó, hajlításra és nyírásra is tervezhető szerkezet hozható létre, melyet a továbbiakban burkolati ZÓNA néven fogunk elemzeni.

Jelentős különbség van tehát a "mindent visz" burkolati aljzatok és az általunk fejlesztendő padlóburkolati zóna működése között, amikor a hajlítási és együttdolgozási követelményt a burkolati zóna és a hangszigetelő réteg egy közös rendszerként kell kielégítse. Az aljzatra megfogalmazott követelményt (ajánlást) tehát valójában nem is az aljzatokra, hanem a továbbiakban a teljes padlófelépítményre együttesen lehet és kell vonatkoztatni. A következőkben tehát olyan padlórétegrend-kombinációkat igyekeztünk kifejleszteni, amelyek normál lakóterekre jellemző terhek mellett a labormérések tanúsága szerint képesek együttdolgozó rendszerként kielégíteni a fenti követelményeket.

6.2. Ragasztóréteggel együttdolgozó hidegburkolat, hálóerősítésű ragasztóhabarcs

Az úsztatott betonréteg elmaradásával az akusztikai tömeget a burkolat és az ágyazó-ragasztóhabarcs együtt alkotják. Ez vastagabb burkolatok és ragasztóréteg felé viszi a gondolkodást. Emiatt merült fel az ötlet, hogy nem lehetne-e a merev aljzat hiányát a ragasztóréteg erősítésével pótolni. Egyes rendszerek bizonyos helyzetekben (pl. hajlékony padló esetén) eleve a ragasztóba ágyazott műanyag háló vagy üvegszövet erősítést írnak elő. Más termékek esetén a ragasztóhabarcs van gyárilag bekevert száladalékkal erősítve. Ezek az erősítések a ragasztóréteg húzószilárdságát, pontosabban húzási merevségét javítják, amik - a burkolattal egy rendszert alkotva - egy önmagában növelt hajlítószilárdságú burkolati "zónát" eredményeznek. Ebből kiindulva különböző erősítő anyagokat ágyasztunk be a ragasztórétegbe és mértük a hajlítási tulajdonságok javulását, melynek magyarázatát a 3. ábra mutatja be.



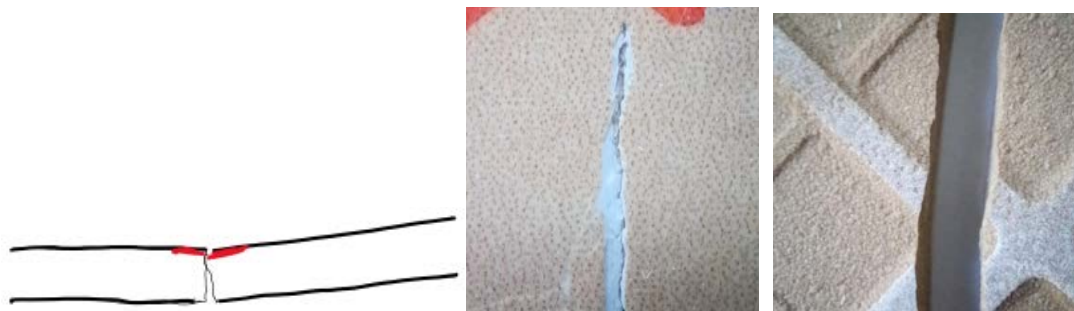
16. ábra: Az erősített ragasztású burkolat vélelmezett működése

- húzott öv: hálóerősítés a ragasztóhabarcsba ágyazva
- nyomott öv maga a burkolat (és annak fugázója)
- nyírófeszültség a ragasztóhabarcs és burkolat hátlapja között

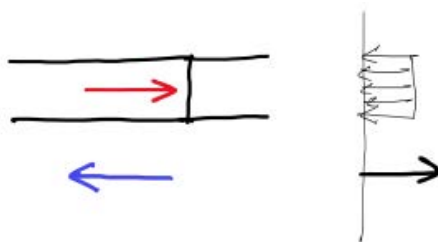
A rendszer vélelmezett működése:

A ragasztórétegbe előbb műanyag, majd fémhálót ágyaztunk be. Úgy véltük, hogy a hálóerősítés a hajlítás következtében húzóerőt vesz fel, míg a burkolat fogja a nyomott övet képviselni. Ezt igazolta az a tapasztalat, hogy a törési teszteken a burkolat repedését csak a füllel hallható zaj és a műszer képernyőjén látható diagram jelezte, mert a repedés szabad szemmel nem látható, zárt (összenyomott) maradt. Az erősítés nélküli teszteknel a burkolólap felső felületén lévő máz repedt le, ami logikus, hiszen a hajlított lap felső élén jelentkezett a maximális nyomófeszültség, míg az alsó élén (húzási törés) éles peremet kaptunk. Az a tény viszont, hogy az erősített ragasztású burkolat repedései egyáltalán nem nyíltak meg, arra utal, hogy a burkolat teljes keresztmetszetében a nyomott zónába került. Úgy viselkedett, mint a túlvasalt vasbeton, ahol a nyomott betonöv éri el előbb a képlékeny viselkedés során a határszilárdság értékét és morzsolódik. Az acél nem szakadt.

Mindez azt jelenti, hogy a burkolat részt vesz az erőjátékban, a hajlítási követelmény kielégítésében. Ettől kezdve a burkolat anyaga (nyomószilárdsága) és vastagsága döntő szerephez jut. Hasonlóan fontos lesz a burkolat alsó felületének tapadása a ragasztóhoz a nyomott és húzott öve közötti nyírófeszültséget átadása miatt. Ezért a ragasztási technológia (lap alsó felületének érdessége, előnedvesítés, habarcs-konzisztencia és bedolgozási idő) is lényegessé válik.



17. ábra: A hajlított lap tipikus törése: a felső mázréteg kagylós lerepedése a felső törési él mentén, az alsó húzási törés éles peremekkel



18. ábra: Az erősített ragasztású burkolat vélelmezett működése: teljes burkolati vastagság a nyomott zónába kerül (a zárt repedések nem voltak lefotózhatók)

Kedvezőtlen tapasztalatunk volt, hogy nem sikerült elérni, hogy a háló mindig ugyanabba a magassági pozícióba kerüljön. Az üvegszövet háló elmerült a ragasztóban, az acél hálót nem sikerült teljesen kisimítani a fektetés előtt, így középen felgöbült, a szélein pedig letámaszkodott. Mindez azt jelenti, hogy a húzott és nyomott öv közötti erőkart nem lehetett egy méretezhető értékre beállítani. Márpedig, ha a teherbírás növekedés nem tervezhető, akkor a fejlesztett padlófelépítmény működésére nem lehet garanciát vállalni. Ezért tovább gondolva a rétegrendet arra jutottunk, hogy egyrészt kedvező lenne, ha a húzott öv a lehető legmélyebben lenne, közvetlenül a lépéshangszigetelés fölött (legnagyobb erőkar). Másrészt jó lenne, ha a fugák elnyíródása elleni védekezésben is részt tudna vállalni a beágyazott anyag, melyhez nem a hálóerősítés, hanem inkább egy vastagabb lemez lenne alkalmas:



19. ábra: A két fotón jól látszik a hálóerősítés felgöbülése, a háló magassági pozíciójának bizonytalansága

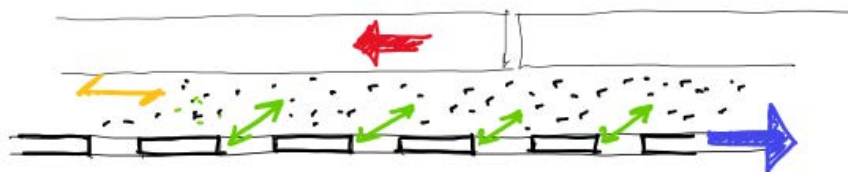
6.3. Perforált műanyaglemez alkalmazása a burkolati zóna erősítésére

Az előzőek alapján olyan erősítő lemezt kerestünk, melynek húzási merevsége (tensile modulus, elasztikus merevség, E_t) kellően magas, mert a kis húzási alakváltozás a cél, hiszen jelentős nyúlás esetén a görbület nagy lesz, és a burkolat hamar eléri a törési alakváltozást. Tehát nem a szakítószilárdság a cél, hanem a húzási merevség. Másrészt a lemezeknek be kell segítenie a szomszédos burkolati lapok közötti együttdolgozási-nyírási követelmény teljesítésébe, amiben sokat fog számítani a lemez vastagsága, tehát fóliaszerű vékony anyagok nem jöttek szóba. Harmadrészt biztosítani kell a húzott-nyomott öv közötti csúsztató-nyírási erők felvételét, tehát először valamilyen érdes, jól tapadó felületre gondoltunk. Szempontként merült fel még, hogy nem túl drágán beszerezhető és könnyen szabható, elhelyezhető (tekerces) anyag lenne reális, mely a lakásépítésben el tudna terjedni.

A választásunk egy nagysűrűségű polipropilén lemezre esett, melynek tulajdonságai:

- neve: Umundum PP-DWST
- anyaga: PP-H
- sűrűség: $0,905 \text{ g/cm}^3$
- húzási rugalmassági modulus: 1400 MPa
- szakadási nyúlás 8%

A választott anyag felülete kemény, nagyon sík, melyhez semmilyen ragasztóhabarcs nem tapad, ezért a csúsztatófeszültségek felvételére felületérdesítés, síkból kiálló mintázat nem jöhetett szóba. Ehelyett kitaláltunk egyfajta perforációt, melybe a habarcs beágyazódik, és sok kis nyírási "csap" által képes a vízszintes erők átadására.



20. ábra: A keményműanyaglemez és a ragasztóhabarcs tervezett kapcsolata a nyírási erőket átadó perforációkkal (beékelődő habarcsfogácsákkal). A ragasztóhabarcs a semleges zónába kerül. A felső csúsztatófeszültség átadást a kerámiaburkolat hátoldali mintázata és a hidraulikus kötés (tapadás) adja.

Olyan mintázatot és vastagságot kerestünk, amely mindkét irányban folytonos lemezsávokkal biztosítja a lehető nagyobb felületek együttdolgozását és minden metszetében marad elegendő nyírási keresztmetszete is. Ezért egy 60 fokos hálót és relatív nagyméretű lyukakat, valamint 3 mm lemezvastagságot választottunk.

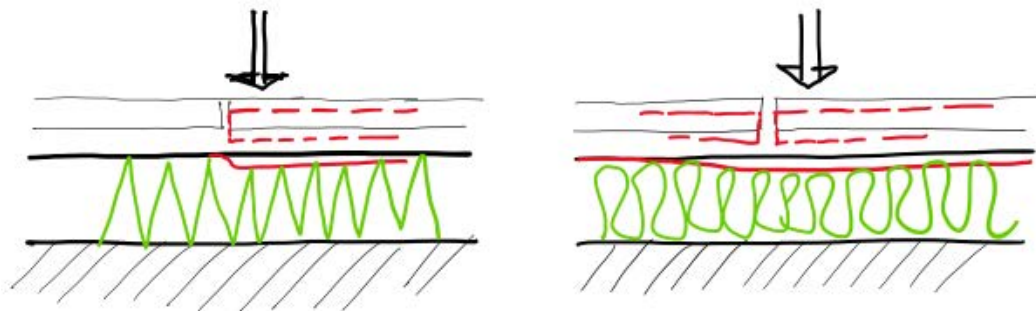


21. ábra: A perforált lemez mintázata és beépítése (a habarcs eldolgozása és a burkolólap beágyazása előtt)

6.4. A fejlesztett padlórétegrend ellenőrző vizsgálata és tanulságai:

Összehasonlító hajlítási tesztet végeztünk az előző pont szerint kialakított padlórétegrenddel, majd ezután a fugák nyírási (a burkolat együttdolgozási) vizsgálatára került sor. Jól látszott, hogy az új burkolati zóna jól vizsgázott: mind a hajlítás, mind a fugák egyoldali terhelése messze a hétköznapi, lakossági körülmények esetén fellépő terhelések FÖLÖTT okozott csak tönkremenetelt. Ezért a következő kísérletnél a hangszigetelő aljzatot már jóval bátrabban választottuk meg: olyan termékeket helyeztünk a próbatest alá, melyek egyébként csak betonesztrich alatt fordultak eddig elő (EPS, kőzetgyapot), és jóval lágyabb aljzatot jelentenek, mint a "gyárilag közvetlenül burkolható"-ként forgalmazott termékek. Ezekről azután jóval hatékonyabb lépéshangcsökkentést remélhettünk.

Meglepetésünkre ezek a kombinációk nemhogy rontották volna a törési eredményeket, hanem inkább javították. Az aljzat nagyobb összenyomódása a foltszerű terhek eloszlását, "szétterítését" okozta. A viszonylag merev burkolati zóna a szomszédos mezőket a fugák alatt is együttműködésre kényszerítette. Az összesített alakváltozások ugyan nagyobbak lettek, de a burkolat tönkremenetele még később következett be.



22. ábra: A lágyabb hangszigetelés kedvezőbb (együttdolgozás, együttmozgás) viselkedése a perforált merevítő lemez alkalmazása esetén

Összegezve megállapítottuk, hogy az akusztikai szempontból kedvezőbb, lágy alátét rétegek alkalmazása a merevítő műanyaglemez betéttel erősített burkolati zóna segítségével megbízható burkolati megoldást eredményez. A megoldás további vizsgálata, részletes mechanikai modellezése, méretezése túlmutatna jelen dolgozat keretein, erre most nem volt lehetőségünk.

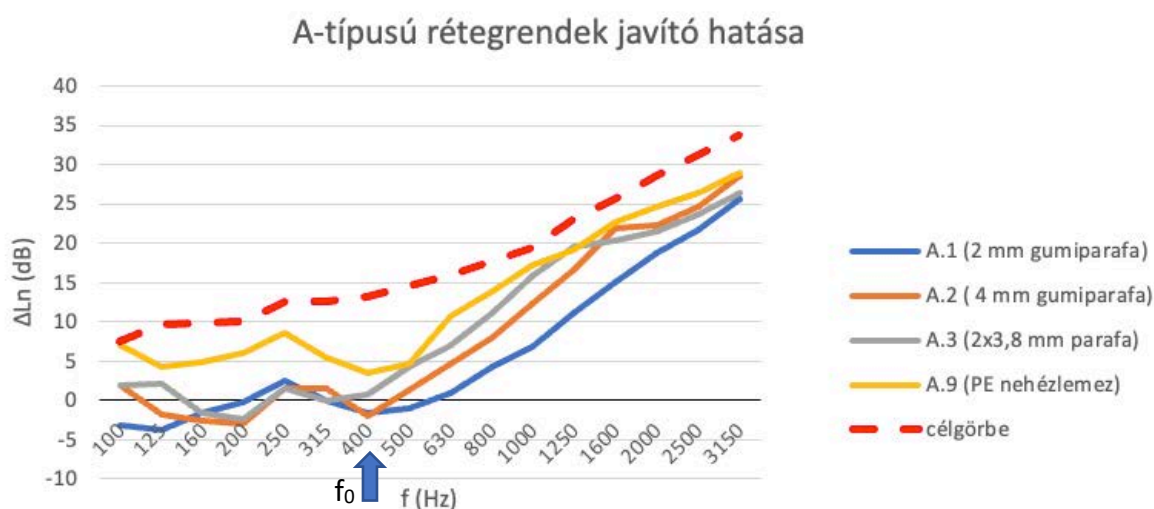
7. Az akusztikai mérések eredményeinek kiértékelése

A kiértékelés módszereit az 5.4. fejezetben leírtak szerint a kutatás céljaihoz igazítottuk:

- a rétegalkotók és padlófelépítmények összehasonlítása és továbbfejlesztése
- a vizsgált szerkezetek (követelmény-szemponútú) alkalmazhatósági köre

7.1. Laborfödémén végzett mérések tapasztalatai

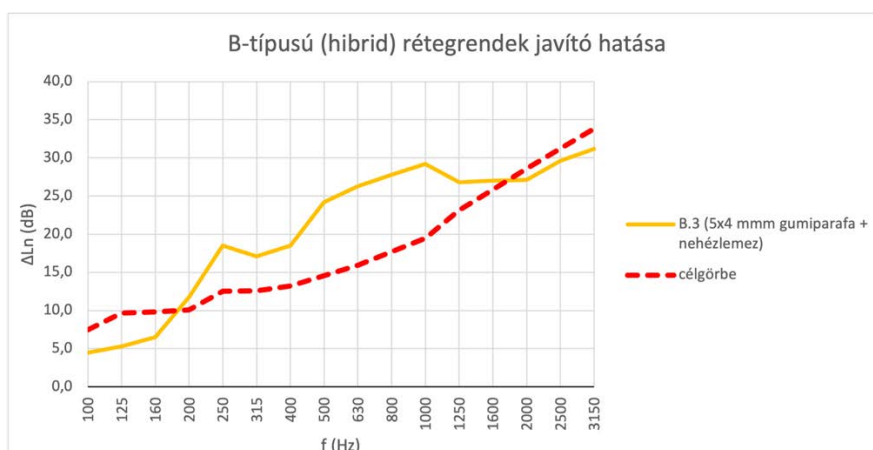
A közvetlenül lépéshangszigetelő lemezre ragasztott kerámiaburkolatok javító hatásának összehasonlítását a 3. diagramon ábrázoltuk.



3. diagram: A laborfödémre helyezett A-típusú vékony rétegrendek hatása

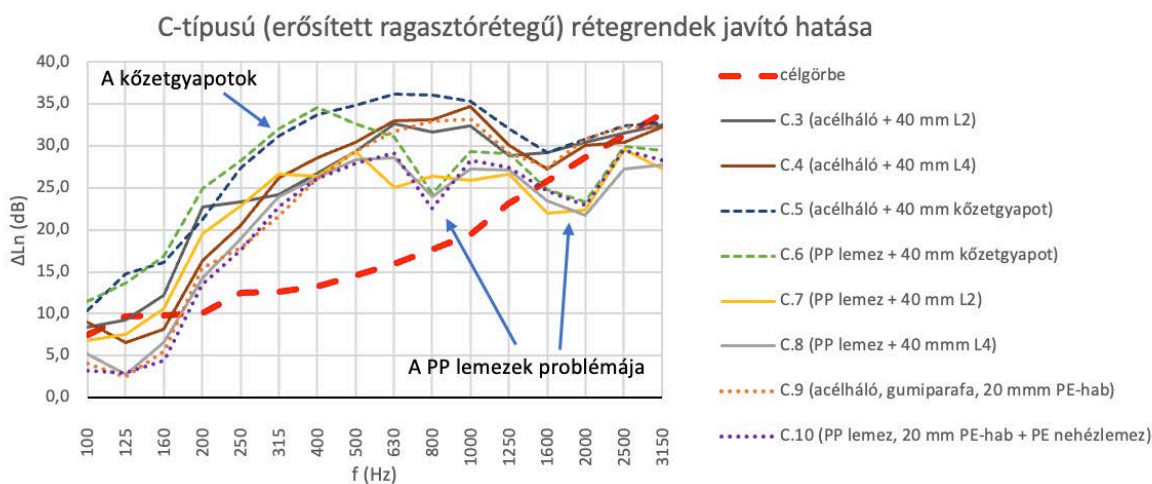
Jól látható, hogy a javító hatás minden esetben elmarad a várttól, tehát a közvetlenül ragasztott vékony rétegrendek várhatóan nem fogják teljesíteni a követelményeket. (2-3 cm összvastagság biztosan nem elegendő egy jól működő padlófelépítményhez). Az elmaradás szembetűnő a 400 Hz körül (mely várhatóan ezen rétegrendek rezonanciafrekvenciája lesz). Mindazonáltal a görbék formája (karaktere) hasonlít a célgörbéhez, tehát a teljesítmény növelése esetén (rétegszám, vastagság növelése esetén a kedvezőtlen eltérések a teljes spektrumban nagyjából egyidejűleg javíthatók. Érdekes az A.9 nehézlemez teljesítménye, mely a vékonysága (3,5 mm) ellenére jobban teljesít, mint a társai.

Az A.2.-es minta számított rezonancia frekvenciája $f_0=437$ Hz ($m'=30$ kg/m², $s'=226$ MN/m³).



4. diagram: tipikus B-típusú (hibrid) rétegredek javító hatása

A hibrid rétegredek a késztermékek többszörözésével és kombinálásával állítottuk elő, legtöbbjük a lépcsőkön és a panelházban vizsgáltuk. A gumiparafa sokszorozásával és a nehézlemezrel egyesítettük a kettő előnyeit, a vastagságnövekedés (véltetően a gumiparafa többszörözésének hatása) az egész görbét feljebb tolta, és a görbe középső részén kialakuló "hát" következtében (véltetően a PE lemez hatása) a közbezárt terület nagy része a kedvező eltérés zónájába került. A rezonanciának köszönhető visszaesés viszont továbbra is a 250-400 közötti tartományba esik, tehát a mély frekvenciákon a tömeg hiánya problémás.



5. diagram: a C-típusú rétegredek javító hatása

A burkolástechnikai problémák és a hibrid rétegredek azt az ötletet adták, hogy a lépéshangszigetelő lemezeket felülről lefelé haladva egyre lágyabb lemezekkel sorolva kialakítható egy olyan kombináció, melynek során a legfelső keményebb rétegek biztosítják a burkolat repedésmentességét, együttműködését, míg az alsóbb rétegek a hangszigetelésre "optimalizálhatók". Végülis ugyanez történik az úsztatott padlóknál is, csak ebben az esetben a tömeget és az aljzat merevségét a ragasztóréteg és burkolat biztosítják. Kezdetben a

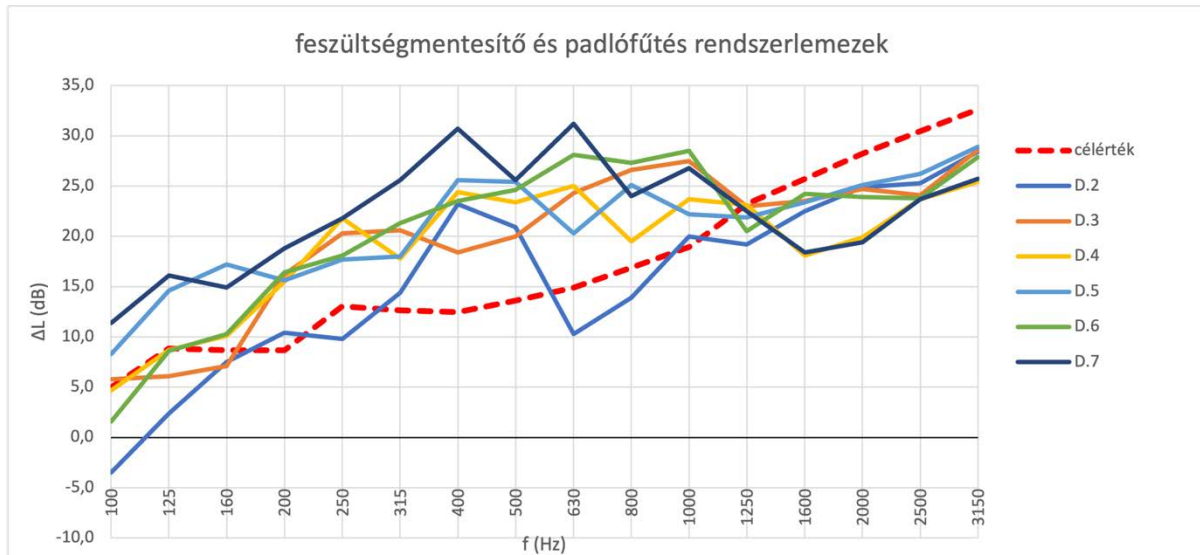
közvetlenül burkolható lemezekon végeztünk ilyen kísérleteket, végül - a burkolati zóna töréskeresztekkel igazolt megfelelőségén felbátorodva - a hagyományos lépéshangszigetelő lemezeket kezdtük alkalmazni.

Jól látható, hogy szinte mindegyik görbe a célérték fölött teljesít, azonban a PP lemezes erősítések esetében 800 Hz körül és az 1600 Hz fölötti zónában is erős letörés tapasztalható. Ez a kedvező erőtani megfigyelések ellenére óvatosságra int az új rétegrendek fejlesztésénél. Megfigyelhető (és a dinamikai merevségi jellemzőkkel egybevág), hogy a kőzetgyapotos rétegrendek a beszédzónában (illetve mindenütt) kimagaslóan teljesítenek. A sűrűn pöttyözött PE lágyhabok alacsonyabb értékei a vékonyabb rétegrenddel függenek össze, de ezekből a várható nagy alakváltozásokra tekintettel nem mertünk vastagabbat alkalmazni. Sajnos a nagyszámú mérés ellenére ezeknél nem volt lehetőségünk a burkolati zóna vastagságával parametrizálni, pedig érdekes lenne egy - az úsztatott beton és a szokásos ragasztóhabarcs közötti - közepes tömegre is hasonló méréseket végezni.

7.2. Feszültségmentesítő és padlófűtés rendszerlemezekkel végzett vizsgálatok

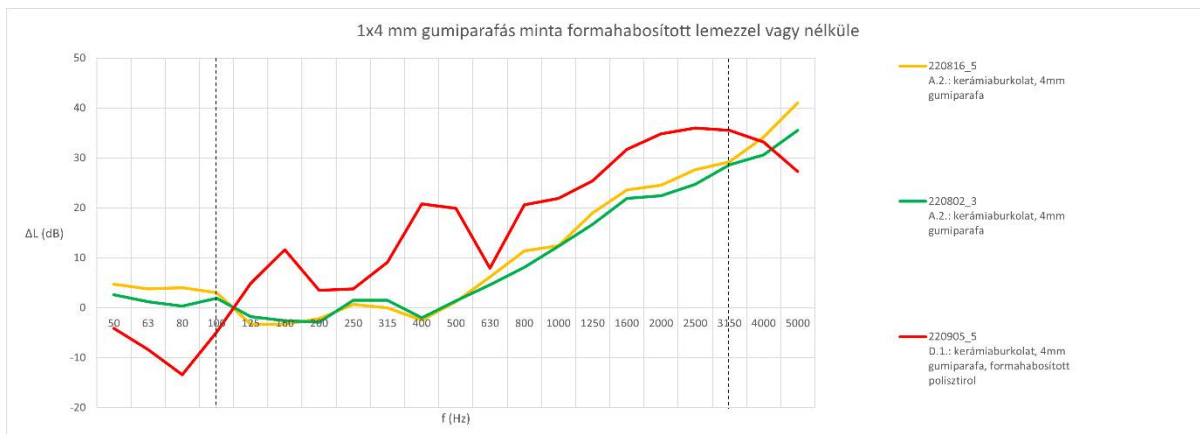
Tekintettel arra, hogy az alacsony energiaigényű korszerű épületeket már szinte kivétel nélkül felületfűtéssel látják el, érdekelt bennünket a padlófűtéshez gyártott termékek hangszigetelő hatása is. Alapgondolatunk a következő: míg a tömeg-rugó modell az idealizált komponensek között merev kapcsolatot feltételez, addig egy valós rétegrendben minden anyagváltás "gyengíti" a rétegek közötti csatolást. A szárazon elhelyezett rendszerlemezek hipotézisünk szerint "rontják" ezeket az energiaátadó kapcsolatokat, így, ha ilyeneket alkalmazunk a burkolati rétegrendünkben, akkor kevesebb energia jut el a födémig, így kisebb értékeket mérhetünk a vevőtérben.

Kísérleteztünk úgynevezett burkolati feszültségmentesítő, valamint padlófűtés lemezekkel, melyek mélyhúzott polisztirol domborlemezeket és formahabosított polisztirol padlófűtés rendszerlemezt jelentettek. Természetesen annak érdekében, hogy a burkolatot ragasztani lehessen, ezeket a teljes vastagságukban (sőt afölött) ki kell tölteni egy kiegyenlítő habarccsal a gyártóktól. Ezzel a burkolati zóna tömege is megnövekszik, ami előnyös lehet. Másrészt ezeket a felépítményeket ugyanolyan hangszigetelési kombinációkkal is mértük, mint a B- és C-típusokat, majd összevetettük a rendszerlemezek nélküli rétegrendekkel:



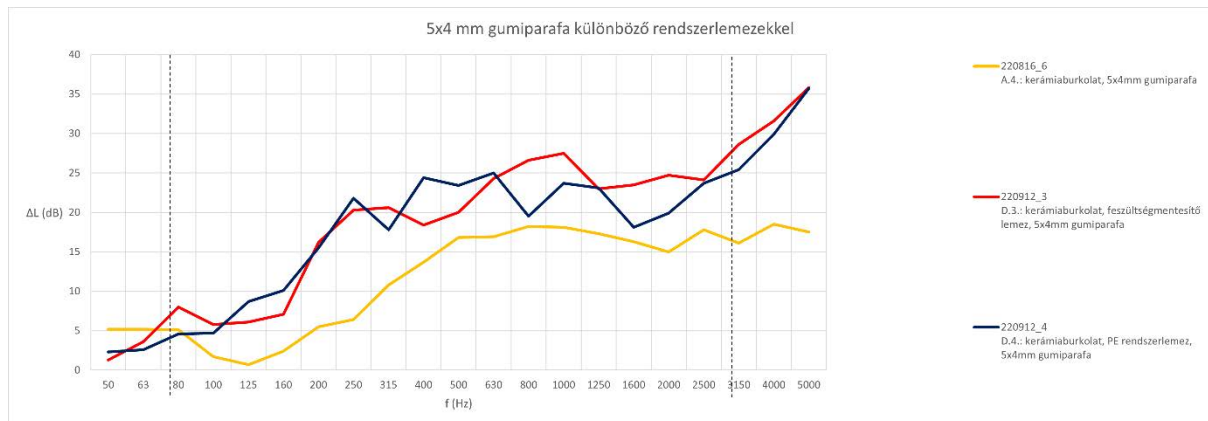
6. diagram: a feszültségmentesítő és padlófűtés rendszerlemezek összegző értékelése

Összességében az látható, hogy a célérték egy kivétellel (D.2 -relatív vékony rétegrend) nagyjából elérhető, de magas frekvenciákon továbbra is jelentős visszaesés tapasztalható. A továbbiakban a rendszerlemez nélküli rétegrendekkel való összevetést mutatjuk be.



7. diagram: A padlófűtés rendszerlemez hatása az A.2 rétegrendhez képest.

A javulás a közvetlenül burkolható (A-típusú) rétegrendekhez képest számottevő. A növelt vastagságú hangszigetelést mind a feszültségmentesítő lemezzel, mind a padlófűtéssel kombinálva további javulás érhető el. Vélelmezzük, hogy ez a növekvő tömeg és a rétegek közötti "száraz" csatolás együttes hatása.

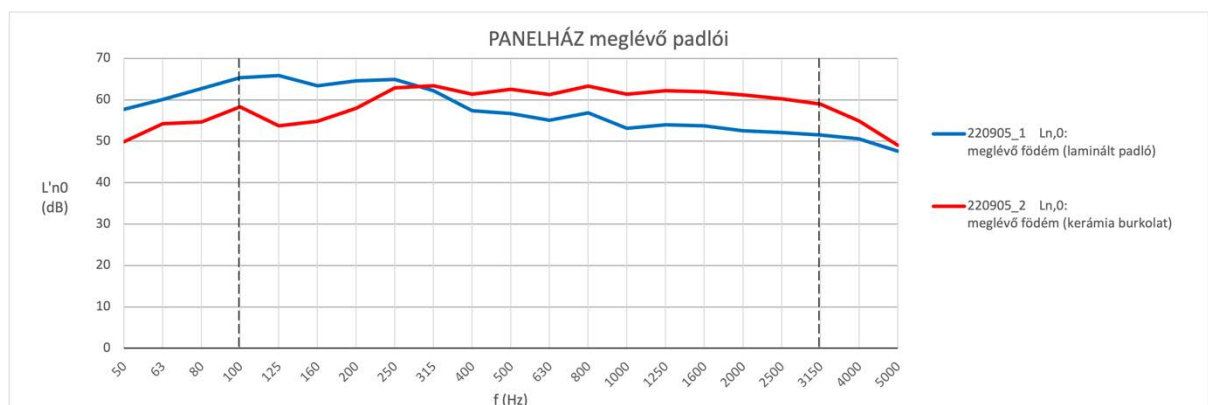


8. diagram: Vastag lépéshangszigetelésre helyezett rendszerlemezek további javító hatása

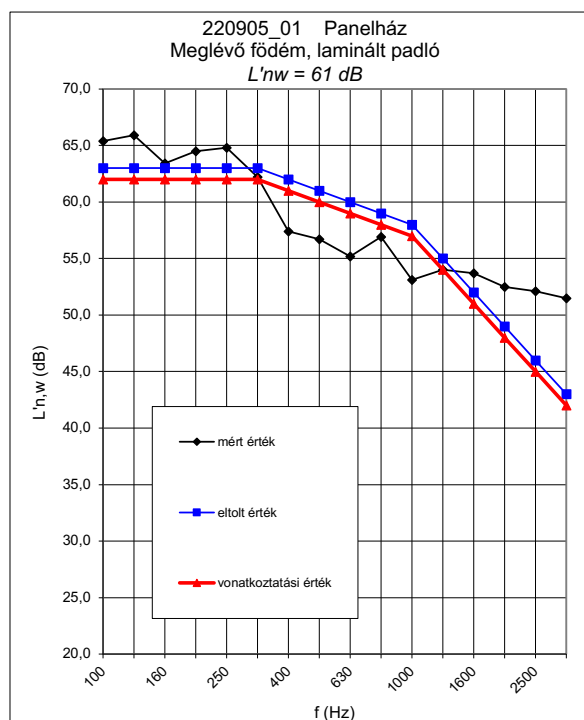
7.3. Meglévő panelházban végzett mérések tapasztalatai

A panelházak túlnyomórészt úsztatott padló nélkül készültek, a minimális lépéshangszigetelést csak a burkolat szolgáltatta. Az évek során a lakók az eredeti (pl. PVC) burkolatokat eltávolították, helyette a vizes helyiségekben, előszobában kerámialapokat, a nappaliban és lakószobában szőnyegpadlót, esetleg laminált padlót helyeztek el. Ez a hidegburkolatú helyiségekben rontást eredményezett, a melegpadló esetében enyhe javulást eredményezett, de ennek mértéke sem jelentős.

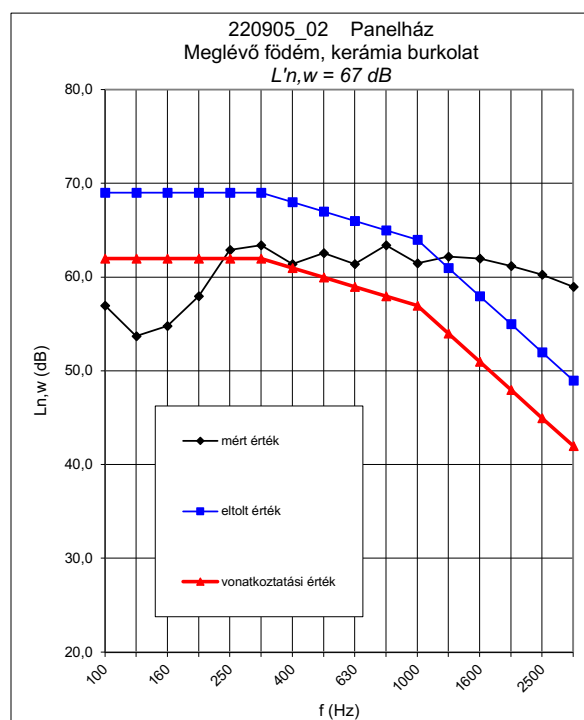
Méréseinkhez egy első emeleti lakás szolgált adótérként, amely alatt egy nagy belmagasságú tároló helyezkedett el, mint vevőtér. A helyszínen talált szerkezetek teljesítményét az alábbi diagram mutatja:



9. diagram: a helyszínen fellelt szerkezetek teljesítménye.



10. diagram: Panelház laminált padló



11. diagram: Panelház kerámiaburkolat

Jól látható, hogy ezek az értékek (részben a lakók által végrehajtott beavatkozásoknak köszönhetően is) messze túllépi a hazai szabályozások által előírt határértéket. A kerámiaburkolat a felsőbb tartományban gyengébb, mivel a hidegpadrón a gerjesztés csatolása erősebb, alsóbb tartományban a nagyobb tömege miatt viszont kedvezőbb.

Az előszoba kerámia padlóját a következő felépítményekkel javítottuk:

- A3:

8 mm	fa mintázatú kerámiaburkolat	16
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
3x4 mm	gumiparafa	03

- B1:

8 mm	kerámia burkolat	15
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
3,5 mm	kétoldali fátýolréteggel kasírozott PE nehézlemez	01
2x4 mm	gumiparafa	03

- D1:

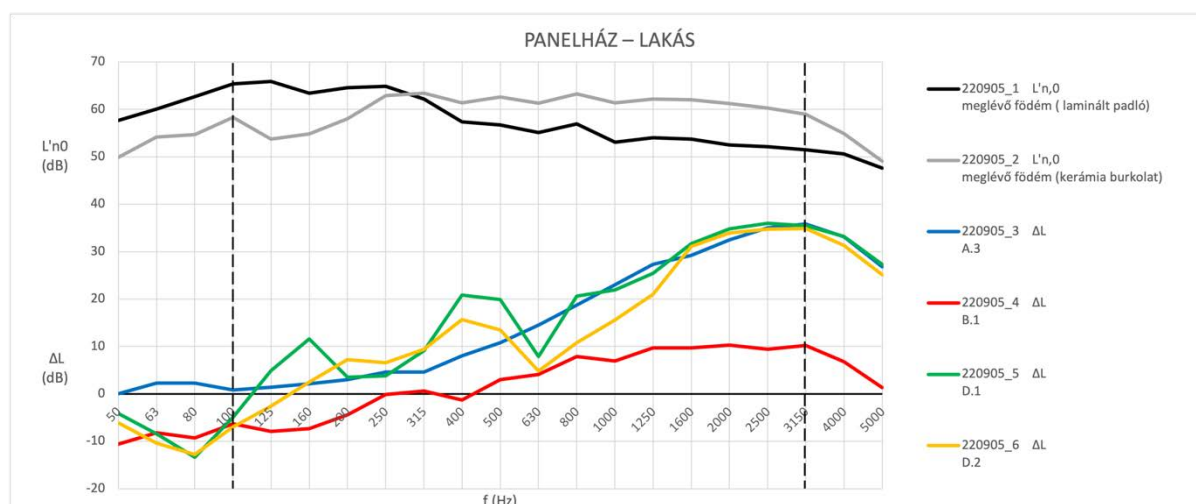
8 mm	fa mintázatú kerámia burkolat	16
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
4 mm	gumiparafa	03
8-32 mm	cementkötésű aljzatkiegyenlítő simítóhabarcs	20

45 mm	formahabosított polisztirol padlófűtés aljzatképző rendszerlemez	06
-------	--	----

- D2

8 mm	kerámia burkolat	15
kb. 5 mm	ragasztóhabarcs	19
3,5 mm	kétoldali fátyolréteggel kasírozott PE nehézlemez	01
8-32 mm	cementkötésű aljzatkiegyenlítő simítóhabarcs	20
45 mm	formahabosított polisztirol padlófűtés aljzatképző rendszerlemez	06

A padlófelépítmények javító hatását az alábbi diagram szemlélteti:



12. diagram: A panellakásban alkalmazott padlófelépítmények javító hatása

Észrevehető, hogy a padlófűtés rendszerlemezekkel nagyjából ugyanolyan vagy gyengébb hatás érhető el, mint a többszörözött direkt burkolható lemezekkel. Kitűnik a B.1 hibrid rétegrend, ami a többinél jelentősen gyengébb javítást ért el (igaz, hogy sokkal vékonyabb).

7.4. Lépcsők javítására alkalmazható megoldások vizsgálata

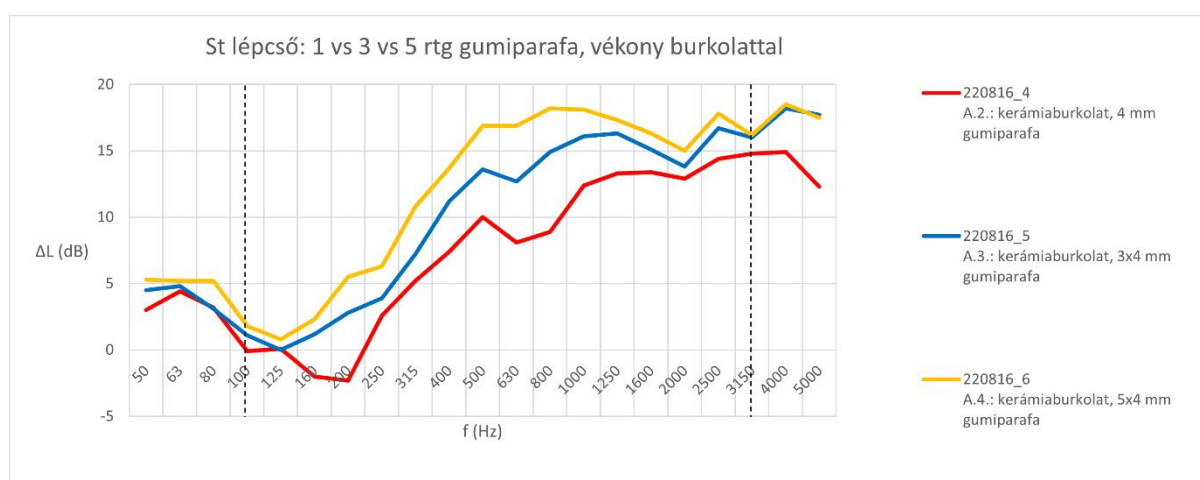
A közvetlenül burkolható lépéshangszigetelések egyik fontos alkalmazási területe a meglévő lépcsők akusztikai minőségének javítása. Manapság a legegyszerűbb séma szerint a kontakt burkolatú lépcsőket a lépcsőkarok feltámaszkodásainál eldilatáljuk, a pihenőket úsztatott rétegrenddel látjuk el. Korábban a lépcsőknek monolitikus kapcsolatai voltak a környező szerkezetekkel, így a hangteljesítmény a kapcsolódó szerkezeteken keresztül a helyiségekbe lesugárzódott. Ezek a lépcsők akusztikai szempontból nem felelnek meg a jelenlegi

követelményeknek, javításukra van szükség. Azonban a szerkezet utólagos elválasztása nem opció.

A javítás történhet a meglévő burkolatra kerülő vékony lemezzel és egy új vékony burkolattal, vagy a régi burkolat eltávolítása után új vastagabb (pl. műkő) burkolattal. Lépcsőn történő méréseinket az St épületben, valamint egy meglévő panelházban hajtottuk végre.

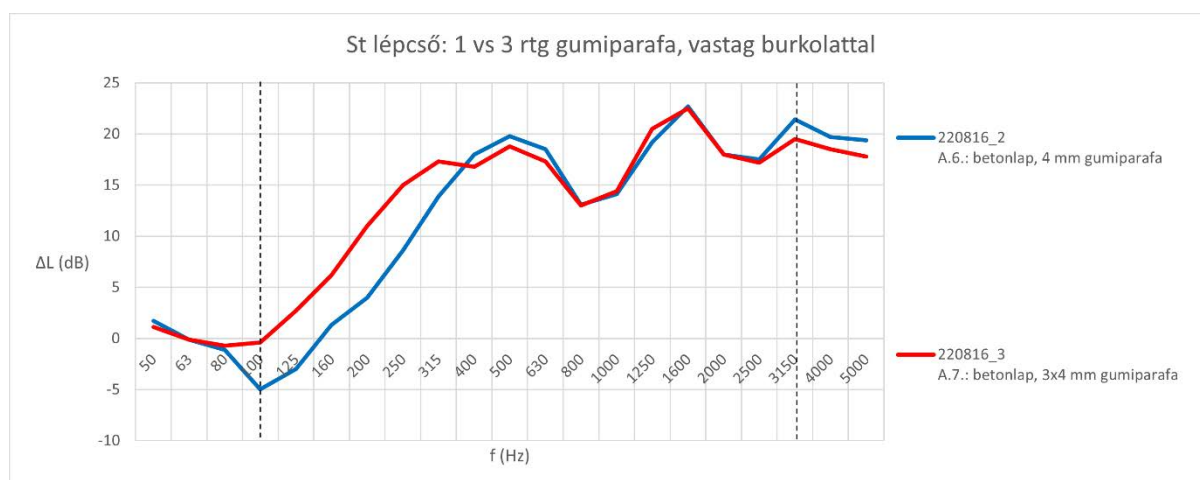
Az St épület lépcsőjén egyaránt mértünk vékony és vastag burkolatot, különböző rétegszámú alátétlemezekkel.

A diagramon jól leolvasható, hogy ha több rétegben alkalmazott lépéshangszigetelő lemezt helyeztünk a burkolatunk alá, akkor nagyobb mértékű javulást értünk el. Ez a rugó vastagság növelése miatt az elméletből is könnyen levezethető.



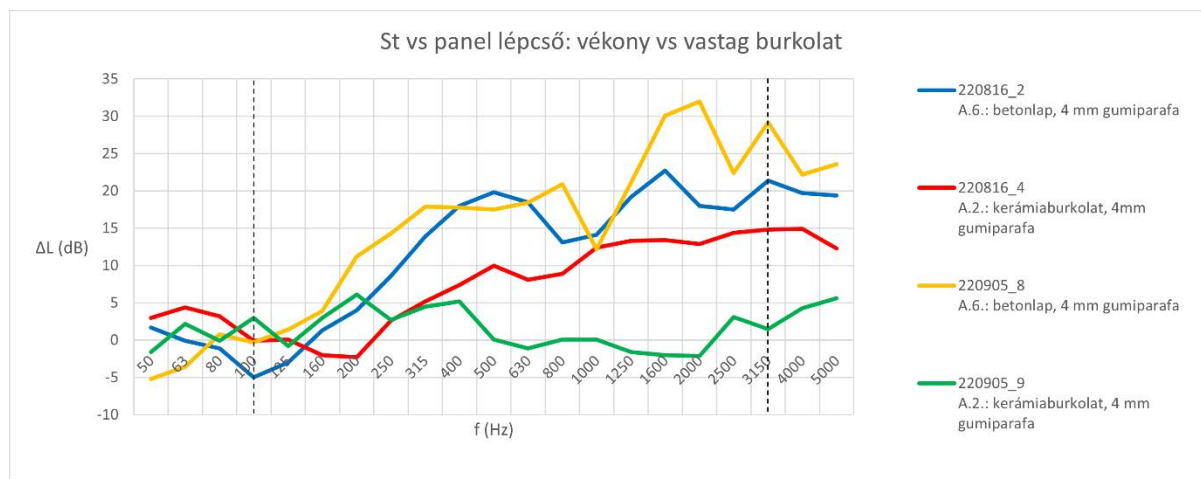
13. diagram: A lépcsőn alkalmazott padlófelépítmények javító hatása

Ezután a burkolat vastagságával kísérleteztünk. A vastag burkolat esetén a lépéshangszigetelő lemez vastagságának növelése inkább csak a mély frekvenciákon okozott további javulást.



14. diagram: A lépcsőn alkalmazott padlófelépítmények javító hatása

A következő diagramon a burkolat vastagságokat hasonlítjuk össze. Ahogy az az elmélet alapján is várható volt, a vastag burkolat lényegesen jobban teljesít, mint az ugyanolyan alátétlemezzel mért vékony burkolat. Főleg a panelházban végzett méréseink során látszik markánsan a különbség (sárga, valamint zöld vonal), a vastag és vékony burkolatok teljesítményében.



15. diagram: A lépcsőn alkalmazott padlófelépítmények javító hatása a burkolat függvényében.

7.5. Dinamikai merevség mérések tapasztalatai

A dinamikai rugalmassági modulus a tömeg-rugó rendszer rugójának anyagjellemzője. Megmértünk anyagjellemzőket, tulajdonságokat, és számítások segítségével megállapítottuk a dinamikai merevségüket. Ha egyforma tömegű felépítmények esetében változtatjuk az alátétréteget kisebb dinamikai merevségűre, akkor ez jelentősen befolyásolja a kopogóhangszigetelést.

A mérés során a korábban összeállított rázóasztalra helyeztük el a levágott 20x20 cm-es mintákat. A rázóasztal tetején egy 8 kg-os vaslemez található, melyhez egy rezgésérzékelőt tapasztottunk méhviasszal. A mérés nem volt teljesen szabványos, azonban összehasonlítás céljának megfelelt.

A rázóasztalos vizsgálat segítségként szolgált az akusztikai mérések eredményeink vizsgálata alapján levont tapasztalatokhoz, külön számítást nem végeztünk velük. Célunk nem a matematikai modellek igazolása volt.

Összességében elmondható, hogy az általunk várt fizika bekövetkezett, a dinamikai merevség érték összefüggésben van az akusztikai mérési tapasztalattal. Legjobban a 09-es számú anyag teljesített.

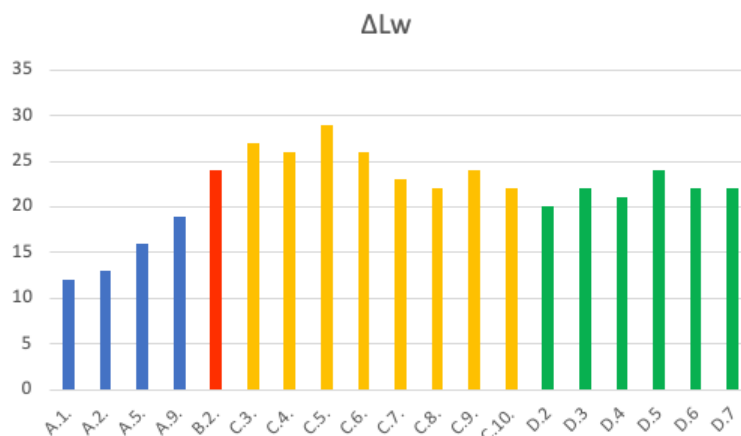
Az alábbi képletekkel számoltuk a dinamikai rugalmassági modulust:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s'}{m'}} \text{ [Hz]} \text{ valamint } s' = \frac{E_d S}{d} \text{ [MN/m}^3\text{]}$$

Alapadatok	Vaslemez súlya (kg)		8		
	Felület (mm ²)		40000		
Jel	Leírás	vtg (mm)	f _r (Hz)	s' (MN/m ³)	Ed (MPa)
03	gumiparafa lemez	4	169	226	22,5
07	L2 polisztirol	20	107	90	45,2
08	L4 polisztirol	20	115	104	52,2
05	padlófűtés domborlemez	3,8	149	175	16,6
01	PE nehézlemez	3,5	339	907	79,4
09	bitumen-elasztomer szendvicslemez	8	91	65	13,1
09	bitumen-elasztomer szendvicslemez	8	92	67	13,4
04	natúr parafaőrlemény lemez	3,8	264	550	52,3
04 (x2)	natúr parafaőrlemény lemez	7,6	250	493	93,7
07 (x2)	L2 polisztirol 2 rétegben	40	80	51	50,5
08 (x2)	L4 polisztirol 2 rétegben	40	85	57	57,0
03 (x2)	gumiparafa két rétegben	8	117	108	21,6
06	polisztirol pogácsáslemez	45	95	71	80,2
03 (x6)	gumiparafa 6 rétegben	24	75	44	26,6
10	kőzetgyapot tábla	20	79	49	24,6
10 (x2)	kőzetgyapot két rétegben	40	59	27	27,5

7.6. A hazai MSZ 15601 szabványi követelményeknek való megfelelés vizsgálata

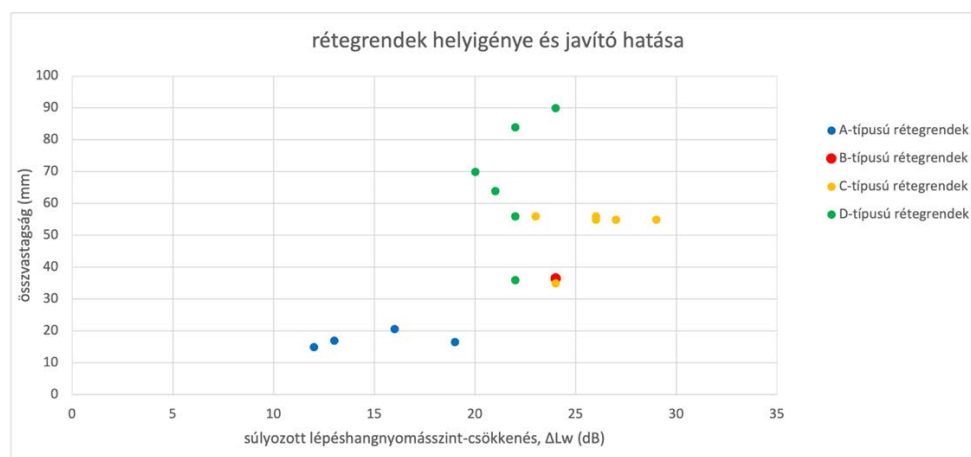
A fenti szabvány a lakásokhoz tartozó helyiségekre $L'_{n,w} = 55$ dB alap-, és 52 dB fokozott követelményt ír elő, mely a védendő térben mért helyszíni lépéshangnyomásszintre vonatkozik. Amint azt az 5.4.2. fejezetben elemeztük, a követelménynek való megfelelés a tényleges földem ismeretében vagy egy azzal ekvivalens (referencia) földemmel együtt tervezhető/ellenőrizhető, az ISO 12354-szabványsorozatban leírtak szerint. Tekintettel arra, hogy jelen kutatásban az általunk összeállított mintákon mért és kiértékelt súlyozott lépéshangnyomásszint-csökkenés jellemzők állnak rendelkezésünkre, a további gondolkodásunkban a szabványban leírt teljesítmény-bebecslés megfordul: a vizsgált szerkezet alkalmazási köre azon földem típusok között keresendő, amelyek az adott követelményeket a vizsgált szerkezetek súlyozott lépéshangnyomásszint-csökkentő hatásával, a helyszíni kerülőutas hangterjedés rontó hatását is figyelembevéve - kielégítik. Ennek érdekében elvégeztük az összes vizsgált padlófelépítmény ISO 717-2 szerinti egyszámadatos értékelését:



16. diagram: a vizsgált padlófelépítmények egyszámados javító hatása

A $L'_{nw} = L_{nweq} - \Delta L_w + K$ képletből ismert tehát a baloldali követelményérték. A K-korrektíós tényezőt (tekintettel arra, hogy a mai, többszintes lakóházak átmenő falszerkezeti vasbetonból készülnek, a födémmel azonos tömegűek, szakirodalmi ajánlások alapján 3 dB-re vesszük. A képlet átrendezésével, az ismert tagok behelyettesítésével azok a födécek, amelyekre alkalmazva a vizsgált rétegrendek a követelményeket kielégítő megoldást tudnak adni, az $L_{n,w,eq} = 52 + \Delta L_w$ képlettel számíthatók. A mért és számított eredményeink alapján azok a födécek, amelyekre alkalmazva a vizsgált rétegrendjeink a hazai szabványnak megfelelő megoldást tudnak nyújtani, az $L_{n,w} = 64 \dots 79$ dB tartományba kell esnek. Megállapítható, hogy ilyen födécek minden további nélkül készíthetők. A legkedvezőbbnek a C-típusú, tehát hagyományos hangszigeteléseken készített erősített burkolati zónával rendelkező rétegrendek tűnnek. Jelen kutatásunknak nem volt tárgya a födécek részletes vizsgálata, de valószínűsíthető, hogy a részletes frekvenciamenetek ismeretében a padlófelépítmények tovább is optimalizálhatók, ha - kedvező esetben - a padló leghatékonyabban javító frekvencia-zónái éppen a födém gyenge teljesítményű frekvenciazónáihoz esnek.

Mind a meglévő épületek akusztikai minőségének javítása, mind az új tervezésű épületek esetében döntő kérdés a padlófelépítmény helyigénye. A vizsgált szerkezetek helyigényének (magasságának) és javító hatásának összefüggését mutatja a következő diagram:



17. diagram: A rétegredek magassága és javító hatása.

Jól látható, hogy a közvetlenül burkolható lemezekkel készített rendszerek a kis magasság mellett csak csekély mértékű javításra alkalmasak. A padlófűtés rendszerlemezekkel elérhető javító hatás ára a jelentős helyigényük. A két - egymásnak ellentmondó - szempont közötti optimumot, tehát az elfogadható magasság (50-60 mm) és kiemelkedő javító hatás (23-27 dB) a C-típusú rétegrendjeink nyújtották. Pontosan ezek a rétegredek azok, amelyek a szilárdságtani teszteken is a burkolástechnikai (tartóssági) szempontokat legjobban kielégítették. Ez a rétegrend-típus a dolgozatunk egyik fő eredménye, újdonsága.

8. Az eredmények összegzés, a fő megállapítások

Legfontosabb eredményeinket az alábbiak szerint összegezzük és emeljük ki:

- Kutatásunk során 28 féle rétegrendet hoztunk létre és vizsgáltunk, 22-féle labormérést végeztünk (természetesen mindegyik több mérést tartalmazott), 12-féle helyszíni mérést végeztünk, ebből lépcsőkre vonatkozó mérés 7-féle volt.
- Az adatok kiértékelése során összehasonlító elemzéseket végeztünk, a javító hatás szemléltetése érdekében egy, -a referenciadődém és az átlagos követelményszint közötti differenciát figyelembe vevő - "célgörbét" definiáltunk, melyet a diagramokon ábrázoltunk. Ezáltal lehetőségünk nyílt az egyes megoldások frekvenciafüggő viselkedésének vizuális felismerésére, a tendenciák azonosítására.
- Megállapítottuk, hogy a közvetlenül burkolható lemezekkel készült, gyári ajánlás szerinti vékony (2-3 cm) rétegrendekkel nem érhető el olyan mértékű javítás, amely a szerkezetek új épületen való alkalmazását reálissá tenné.
- Megállapítottuk, hogy a burkolható lemezek többszörözésével és kombinálásával elérhetők olyan rétegrendek, melyek igen jelentős javító hatást biztosítanak takarékos (5-6 cm) rétegvastagság mellett.
- Megállapítottuk, hogy az úsztatott beton elhagyásával a burkolat aljzatával szemben támasztott követelmények újradefiniálандók, javaslatot tettünk ennek két fontos elemére.
- Mérésekkel igazoltuk, hogy az úsztatott beton elhagyása ellenére létrehozhatók olyan középvastag rétegrendek, amelyek képesek a normál lakófunkció esetén szóba jöhető koncentrált terhek káros mértékű alakváltozás nélküli elviselésére.
- Mérésekkel igazoltuk, hogy a burkolati ragasztó különböző mértékű erősítése jelentősen javít a burkolat teherbírásán, a tönkremenetel megelőzésén.
- Kifejlesztettünk egy új erősítési eljárást, amelynek során szívós műanyag lemezből készítettünk egy speciálisan perforált, együttdolgozó erősítést, melynek teljesítményét szilárdságtani szempontból megfelelőnek találtuk.
- Megállapítottuk, hogy a feszültségmentesítő és padlófűtés rendszerlemezek nem alkalmasak a hangszigetelő réteg kiváltására, de azokkal jól kombinálhatók
- Behatároltuk azon födémelek körét, amelyekkel a vizsgált rétegrendek együtt alkalmazva reálisan teljesíthetik a hazai követelményt új épület esetében is.
- Kijelenthetjük a vizsgált szerkezetek alkalmasak meglévő épületek és lépcsőszerkezetek érdemi javítására, az akusztikai komfort és életminőség jelentős javítására.

8.1. További kutatási javaslatok

Véleményünk szerint a kutatásunk szinte több kérdést vetett föl, mint amennyit meg tudtunk válaszolni. Az eddig végzett mérések pontosításán túli igényként további érdekesebbnél érdekesebb témák merültek fel, melyek akár mind külön-külön megérnek egy kutatást. További kutatásokat érdemelne:

- Az erősített ragasztórétegű, rugalmasan ágyazott burkolatok erőtani modellezése
- A hajlítómerev szárazpadlóra fektetett (akár hidegburkolatú) padlók vizsgálata
- A vizsgált padlók hatása az adótér akusztikai komfortjára.

Köszönetnyilvánítás:

Szeretnénk köszönetünket és hálánkat kifejezni azoknak az oktatóknak és szakembereknek, akik végigkísérték és segítették a munkánkat.

Elsősorban Dr. Dobszay Gergely témavezetőnknek szeretnénk megköszönni a több hónapos közös munkát és támogatást. Tudása, tapasztalata és útmutatása a kezdetektől fogva előrevitte kutatásunkat. Mindig jó kedvvel járult hozzá a tanulmányhoz, így minket is motivált. Továbbá szeretnénk megköszönni Mesterházy Beáta, Dr. Hunyadi Zoltán, Karádi Dániel Tamás és Nagy Attila egyetemi oktatóknak a mérések prezentálását, és végrehajtásában való segítséget, valamint az elméleti háttér bemutatását. Külön köszönet Mesterházy Beátának a panelházás mérés helyszínének lebonyolításáért, Karádi Dánielnek a szilárdságtani laborban végzett mérésekben való segítségért és Nagy Attilának a rázóasztal összeállításáért.

Köszönet azoknak a gyártóknak és képviselőknek, akik kutatásunkhoz mintaanyagokkal, konzultációval, együttgondolkodásukkal hozzájárultak: Kruchina Sándor (Austrotherm), Brassnyó László (Knauf Insulation, Burkolástechnikai Egyesület), Mándity Zoltán (Mapei), Kranabeth Gábor (Schlüter), Marosy Géza (Trocellen). Medvey Boldizsárnak és Bakonyi Dánielnek köszönjük a Stuttgarti minikonferencia előadására való előkészülést.

Budapest, 2022.11.02.

Csiszár Hanna Mária, Hepke Alajos Miklós, Wild Zsófia Mária

Függelékjegyzéke:

1. A vizsgált termékek azonosítása
2. Termék adatlapok, teljesítménynyilatkozatok
3. A mérőműszerek adatai
4. A mérési eredmények (excel) online [elérhetősége](#)
5. A fotódokumentáció online [elérhetősége](#):
6. A folytatólagosan vezetett jegyzőkönyv online [elérhetősége](#):

Bibliográfia:

- {1} Reis Frigyes: "Az épületakusztika alapjai", Terc, 2003, ISBN: 963 86303 6 1
- {2} P. Nagy József: „A hangszigetelés elmélete és gyakorlata”, Akadémiai Kiadó, 2004, ISBN: 963 05 8133 7
- {3} Hongisto, V., et al. "Acoustic Properties of Commercially Available Thermal Insulators – an Experimental Study." *Journal of Building Engineering*, vol. 54, 2022. SCOPUS, www.scopus.com, doi:10.1016/j.jobe.2022.104588.
- {4} Hongisto, V. et al.: "Impact sound insulation of floating floors: A psychoacoustic experiment linking standard objective rating and subjective perception", *Building and Environment*, Volume 184, 2020, doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107225.
- {5} ISO 9052-1:
- {6} Kylliäinen and Helimäki: "Effects of new sound insulation requirements on concrete floors in Finland", Vol. 47 No. 2 (2003): Baltic-Nordic Acoustical meeting (B-NAM 2002) proceedings, Vol. I
- {7} Cobos, F.J.G and Maderuelo-Sanz, R.: "Using different waste as resilient layers for impact sound insulation improvement: New alternative to commercial layers?", *Building Services Engineering Research and Technology*, Volume 43, Issue 4, doi: 10.1177/0143624421105371
- {8} Kim, K-W et al: "Correlation between dynamic stiffness of resilient materials and heavyweight impact sound reduction level", *Building and Environment*, Volume 44, Issue 8, 2009, doi: 10.1016/j.buildenv.2008.10.005.
- {9} Maderuelo-Sanz, R. et al.: "The performance of resilient layers made from recycled rubber fluff for impact noise reduction", *Applied Acoustics*, Volume 72, Issue 11, 2011, doi: 10.1016/j.apacoust.2011.05.004.
- {10} Schiavi, A. et al.: "Estimation of Acoustical Performance of Floating Floors from Dynamic Stiffness of Resilient Layers", *Building Acoustics*, Volume 12, Issue 2, doi: 10.1260/1351010054037938
- {11} Schiavi, A. et al.: "Acoustical and mechanical characterization of an innovative expanded sintered elasticized polystyrene (EPS-E) used as underlayer in floating floors", In: *Proceedings of 19th International Congress on Acoustics*; 2007.
- {12} Hoda S.S. et al: "Technical Note: Controlling the Impact Sound Insulation of Concrete Slab Floors", *Building Acoustics*, 2006, Volume 13, Issue 3, doi: 10.1260/135101006778605361

1. Függelék: Termékgyártók:

Lépészsajszigetelésként vizsgált anyagok			
jel	gyártó	termék neve	leírás
01	Schlüter	Ditra Sound	kétoldali fátyolréteggel kasírozott PE nehézlemez
02	Mapei	Mapesonic CR	gumi és parafa őrlemény hangszigetelő alátétlemez
03	Mapei	Mapesonic CR	gumi és parafa őrlemény hangszigetelő alátétlemez
04	-	-	parafa őrlemény lemez
05	Schlüter	BEKOTEC-EN 12 FK	nyomásálló, mélyhúzott polisztirol padlófűtés aljzatképző rendszerlemez
06	Schlüter	BEKOTEC-EN 2520 P	formahabosított polisztirol padlófűtés aljzatképző rendszerlemez
07	Austrotherm	AT-L 2	expandált polisztirol lépéshangszigetelő lemez
08	Austrotherm	AT-L 4	polisztirol lépéshangszigetelő lemez
09	Mapei	Mapesilent Roll filc	bitumen és elasztoplasztomer réteg poliészter erősítőrétellel, poliészterhálóval erősített, polipropilén szövettel kasírozott szendvicsszerkezet
10	Knauf Insulation	PTN	hidrofobizált műgyanta kitöltésű kőzetgyapot
11	Trocellen	Trosil	kémiaailag térhálósított PE hab lépéshangszigetelő lemez
12	Trocellen	Trosil tech	kémiai térhálósítású, zártcellás, CFC-mentes polietilén (PE) hab, nem-szőtt poliészter textíliával laminált, léghangszigetelő lemez
13	Schlüter	Ditra 25	feszültségmentesítő lemez
Padlóburkolatok			
14	Leier	Classic line, natúr	beton kerti járólap
15	-	-	kerámia burkolat
16	Cersanit	Royalwood Beige (60x20)	fa mintázatú kerámia
Ragasztórétegek és erősítései			
17	Praktiker	hegesztett háló	ponthegeesztett, tűzihorganyzott acél háló (Ø=1 mm)
18	Mapei	Mapenet	erősítő üvegszövet háló, lúgálló
19	Mapei	Keraquick Maxi S1	cementkötésű ragasztóhabarcs
20	Mapei	Planipatch	cementkötésű aljzatkiegyenlítő simítóhabarcs
21	A-Plast	Polipropilén lemez	nagy sűrűségű perforált polipropilén lemez

2. függelék: Termékadatlapok:

jel	gyártó	termék neve	termékadatlap
01	Schlüter	Ditra Sound	https://www.schlueter.hu/schlueter-ditra-sound_1.aspx
02	Mapei	Mapesonic CR	https://www.mapei.com/hu/hu/termekek-es-megoldasok/termeklista/termek-reszletei/mapesonic-cr
03	Mapei	Mapesonic CR	https://www.mapei.com/hu/hu/termekek-es-megoldasok/termeklista/termek-reszletei/mapesonic-cr
04	-	-	parafaőrlemény lemez
05	Schlüter	BEKOTEC-EN 12 FK	https://www.schluter.co.uk/bekotec-en-12-fk.aspx
06	Schlüter	BEKOTEC-EN 2520 P	https://www.schlueter.hu/media/schlueter_db_9_1_bekotec_hu.pdf
07	Austrotherm	AT-L 2	https://www.austrotherm.hu/termekek/austrotherm-eps/austrotherm-eps-at-l2-lepeshangszigetelo-lemez
08	Austrotherm	AT-L 4	https://www.austrotherm.hu/termekek/austrotherm-eps/austrotherm-eps-at-l4-lepeshangszigetelo-lemez
09	Mapei	Mapesilent Roll filc	https://www.mapei.com/hu/hu/termekek-es-megoldasok/termeklista/termek-reszletei/mapesilent-roll
10	Knauf Insulation	PTN	https://pim.knaufinsulation.com/files/download/ki_ptn_2017_05.pdf
11	Trocellen	Trosil	https://szigeteloanyag-kereskedelem.hu/termek/trocellen-trosil-trosil-tech?gclid=Cj0KCQjwqc6aBhC4ARIsAN06NmNoEsgDw0BRm2RfSnUp2oM0lg9mp30Xb88FbAG1tfQ27DWsYbq_aE0aAm21EALw_wcB
12	Trocellen	Trosil tech	https://szigeteloanyag-kereskedelem.hu/termek/trocellen-trosil-trosil-tech?gclid=Cj0KCQjwqc6aBhC4ARIsAN06NmNoEsgDw0BRm2RfSnUp2oM0lg9mp30Xb88FbAG1tfQ27DWsYbq_aE0aAm21EALw_wcB
13	Schlüter	Ditra 25	https://www.schlueter.hu/ditra.aspx
Padlóburkolatok			
14	Leier	Classic line, natúr	https://www.leier.hu/leier-classic-line-lapok
15	-	-	kerámia burkolat
16	Cersanit	Royalwood Beige (60x20)	https://cersanitcsempe.com/hu/cersanit-royalwood/cersanit-royalwood-beige-185x598-padlolap
Ragasztórétegek és erősítései			
17	Praktiker	hegesztett háló	https://www.praktiker.hu/kert/kertepites/kerites-kapu-drot/330977-hegesztett-halo-500x100x0-1cm-1-27cm-galvanizalt-bevonattal
18	Mapei	Mapenet	https://www.mapei.com/hu/hu/termekek-es-megoldasok/termeklista/termek-reszletei/mapenet-150

19	Mapei	Keraquick Maxi S1	https://www.mapei.com/hu/hu/termekek-es-megoldasok/termeklista/termek-reszletei/kerquick-maxi-s1
20	Mapei	Planipatch	https://www.mapei.com/hu/hu/termekek-es-megoldasok/termeklista/termek-reszletei/planipatch
21	A-Plast	Polipropilén lemez	https://umundum.hu/pp-h/pp-h-extrudalt-lemez

3. Függelék: Mérőműszerek:

BK 3204 szabványos kopogógép (S/N: 168363);

NTi Minirator MR-PRO zajgenerátor (S/N: G2P-RAEUD-G0);

JBL EON 615 aktív hangsugárzó (S/N: 15014980074);

Larson Davis 824 kézi hangnyomásszintmérő és valósidejű analízátor (S/N: 824A4107);

(<http://www.larsondavis.com/product-support/sound-level-meter/824>)

Zwick/Roell Z150 univerzális anyagvizsgáló gép

4. Függelék: Mérési eredmények:

<https://bmeedu.sharepoint.com/:x/s/TDKBurkolhatLpszajszigetels/EQ9yo5t6zRVLjZWSnILyZnAB5M4EQ6JMTGe7VN3KYnGOOg?e=szDpkF>

5. Függelék: Fotódokumentáció:

<https://drive.google.com/drive/folders/1c-4QUk7hu1FKWgpv9k4ln2BLqm5Nt9r5?usp=sharing>

6. Függelék: A folytatólagosan vezetett jegyzőkönyv:

<https://bmeedu.sharepoint.com/:w/s/TDKBurkolhatLpszajszigetels/EZ9ypNRPI0FLo0rgl16N71EBBH49o5IK-Y-gKWsDIVnZAA?e=yD3TrP>