



PEATÜKK 10
EHITUS-
AKUSTIKA

10.1 Akustilise projekteerimise alused

Heli ja inimesed

Tuhandete aastate jooksul on meie kuulmismeel arenenud väliskeskkonnas, mis on täis looduslikke helisid, nagu oja voolamine, linnulaul, puude vahel puhuv tuul ja inimeste helid. Tänapäeval veedame palju aega keskkonnas, kus on looduslikke helisid väga vähe. Liikluse ja ventilatsioonimasinate maldasageduslikud helid väsitavad meid, ilma et me seda märkaksime. Teisest küljest on ülakorruse korterist kostuvad sammud ja muusika naabri bassikõlarist on helid, mis sageli ärritavad.

Kuna me veedame suure osa oma ajast siseruumides, on oluline, et hoonetes oleks hea helikeskkond.

Seetõttu tuleks arvesse võtta 5 heliparameetrit:

- Öhuhelipidavus - õhu kaudu leviv heli, näiteks kõne, ei tohiks levida teistesse ruumidesse.
- Sammumüratase - kellegi kõndimise heli ei tohiks levida teistesse ruumidesse.
- Ruumiakustika - ruumid peaksid olema sobiva helipidavusega, et luua hea ruumiakustika.
- Ehitistehnika müra - tehnika, nagu liftid ja ventilatsioon, ei tohiks häirida.
- Liikluse müra ja muu välismüra - hoone välispiirdeid tuleb kaitsta välismüra eest.

Öhuhelipidavus

Öhuhelipidavuse eesmärk on takistada õhu kaudu leviva heli, näiteks kõne või kõlaritest kostuva heli levikut hoone teistesse ruumidesse. Vajadus helipidavuse järele sõltub heliallikatest „saatvas ruumis“ ja vajadusest vaikuse ja privaatsuse järele „vastuvõttavas ruumis“. All olev tabel näitab seost lähtuvalt heli tugevusest, hoone helikindluse ja häirivuse taseme vahel „vastuvõtturuumis“.

Allpool olevast tabelist on näha, et valju vestlust on võimalik kuulda, kui ruumide vaheline helipidavustase on 40 dB. Kui te töstate helipidavuse 48 dB-ni, siis ei saa te vestlusest aru. Selleks, et karjumine oleks kuuldamatu, on vaja 56 dB helipidavuse taset.

Öhuhelipidavusenõuded on väärtused, mida tuleb kontrollida kohapealsete mõõtmiste abil ja tähistatakse $D_{nT,w}$ või $R'w$.

Praktikas mõõdetakse helipidavusväärtust valmishoones ja seda ei tohi segi ajada laboratoorsete väärtustega. Seinaga tegelikku helipidavust väljendatakse R_w väärtusega. R_w on laboriväärtus, mis näitab seinahelipidavusvõimet, kui seda mõõdetakse laboris väga soodsates tingimustes arvestamata helide kaudset kandumist.

$D_{nT,w}$	Tavaline kõne	Kõvahäälneline kõne	Karjumine	Teler, raadio, mõistlik helitase	Ööklubi
25 dB					
30 dB	KOSTUB				
35 dB					
40 dB	VÕIB KOSTUDA	KOSTUB			
44 dB		VÕIB KOSTUDA	KOSTUB		
48 dB				KOSTUB	
52 dB			VÕIB KOSTUDA		
56 dB				VÕIB KOSTUDA	
60 dB	EI OLE TUVASTATAV	EI OLE TUVASTATAV	EI KOSTU	EI KOSTU	KOSTUB

Laboriväärtus

Laboris on saatv ruum ja vastuvõttev ruum. Toad on eraldatud umbes 10 m² suuruse seinaga. Ringsuunaline valjuhääldi edastab heli ülekanavas ruumis. Helitaset mõõdetakse nii saatvas kui ka vastuvõttavas ruumis. Labor on täielikult isoleeritud, seega on heli, mis kandub läbi seina karkassi, ebaoluline. Mõõdetud R_w väärtus on kaalutud ühekohaline väärtus, mis näitab, kui palju heli seina läbib.

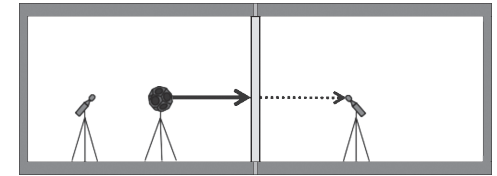
Joonisel 1 on näidatud laboris mõõdetud seinahelipidavus.

Helipidavus on väljendatud sagedusvahemikus 50 Hz kuni 5000 Hz. Võrdluskõverat kasutatakse seinahelipidavuse väljendamiseks ühe väärtusena. Võrdluskõver sisaldab sagedusribasid 100 Hz kuni 3150 Hz. Võrdluskõver on kohandatud mõõtekõverale nii, et negatiivne koguhälve mõõtekõvera ja võrdluskõvera vahel ei ületaks 32 dB. Võrdluskõverat nihutatakse 1 dB kaupa.

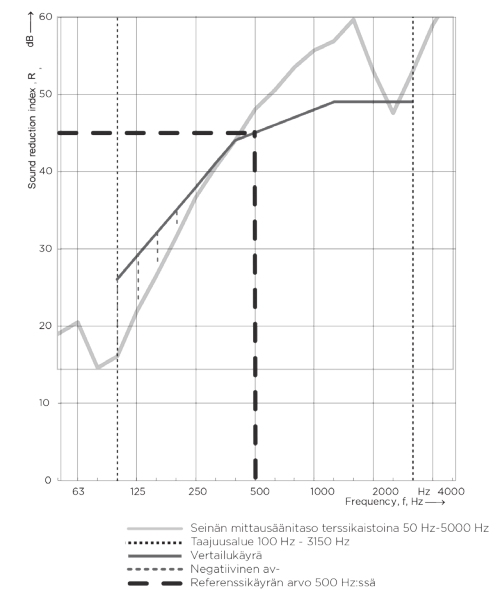
Kui sobitamine on tehtud, loetakse võrdluskõvera väärtus 500 Hz juures. Selle seinahelipidavuse tulemus on R_w 45 dB.

R_w -väärtus näitab seinahelipidavusvõimet vahemikus 100 Hz kuni 3150 Hz.

Teatud tüüpi hoonete puhul on nõutav helipidavustase vahemikus 50 kuni 3150 Hz. Seinahelipidavuse väljendamiseks nende sageduste vahel kasutatakse teist kaalumiskõverat, mis hõlmab sagedusribasid 50-3150 Hz. Kui see kõver sobitatakse mõõtekõveraga, saadakse väärtus, mis on märgitud $R_w+C50-3150$. See näitab seinahelipidavusvõimet vahemikus 50 kuni 3150 Hz, kui seda mõõdetakse laboris. Selle seinahelipidavuse tulemus on: R_w 45 dB ja $R_w+C50-3150$ 40 dB.



Näitaja 1

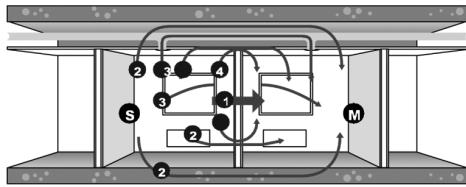


10.1 Akustilise projekteerimise alused

Ruumidevaheline helipidavus

Kohapeal saavutatavat helipidavustaset tähistatakse $D_{nT,w}$ või R'_w ja see ei sõltu ainult seina helipidavusest, vaid ka helilekkest ja külgsuunalisest helide kandumisest.

Joonisel 1 on esitatud näide, kuidas õhus leviv heli võib levida ühest ruumist teise.



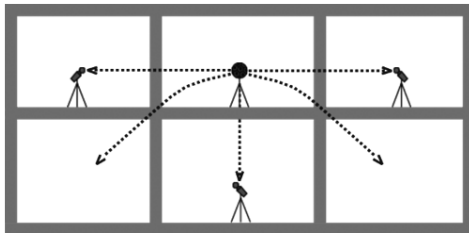
Joonis 1.

S Saatev ruum

M: Vastuvõttev ruum

1 näitab heli levimist läbi seina, seina R_w väärtust.

2, 3 ja 4 näitavad näiteid kaudse helikandumise ja helilekete kaudu leviva heli kohta.



R'_w ja $D_{nT,w}$

Hoones saavutatavat helipidavustaset saab väljendada kahel viisil: R'_w ja $D_{nT,w}$. Mõlemad meetodid põhinevad saatva ja vastuvõtva ruumi vahelise helitaseme erinevuse mõõtmisel. Need erinevad viisist, kuidas hinnatakse helide sumbumist vastuvõtvas ruumis sõltuvalt vaheseina suurusest.

Helipidavuse mõõtmine toimub järgmiselt:

1. Vastuvõtvas ruumis mõõdetakse järelkõla aeg (T). Mõõtes ruumi ruumala (V), saab Sabine'i valemi abil arvutada heli neeldumisteguri (A) vastuvõtvas ruumis.

$$T = \frac{V \cdot 0,16}{A}$$

2. Lülitage valjuhääldi sisse saatvas ruumis ja mõõtke helitaset ruumis. (L_1).

3. Kui valjuhääldi on sisse lülitatud, mõõdetakse vastuvõtva ruumi helitase (L_2).

4. Vaheseina pindala (S) mõõtmine.

R'_w arvutatakse järgmiselt.

$$R'_w = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$$

L_1 on saatva ruumi helitase (dB), L_2 on vastuvõtva ruumi helitase (dB). S on ruumidevahelise seina pindala (m^2), A on heli neeldumistegur vastuvõtva ruumis. (m^2S).

Kui helipidavust hinnatakse $D_{nT,w}$ abil, tehakse samad mõõtmised nagu punktides 1-3.

$D_{nT,w}$ arvutatakse järgnevalt:

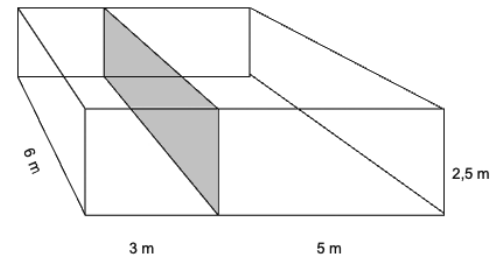
$$D_{nT,w} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{T_0}$$

L_1 on helitase saatvas ruumis. L_2 on helitase vastuvõtvas ruumis. T on vastuvõtvas ruumis mõõdetud järelkõla aeg. $T_0 = 0,5$ sekundit.

Erinevus R'_w JA $D_{nT,w}$ vahel

$D_{nT,w}$ -väärtus, mõõtmise suund on oluline, sest tulemus sõltub vastuvõturuumi ruumi sügavusest. (Ruumi sügavus = ruumi maht / vaheseina pindala).

Näide helipidavusväärtusest sõltuvalt sellest, kuidas helipidavust hinnatakse.



Ruum 1:

Laius 6 m, sügavus 3 m, kõrgus 2,5 m. Mahutavus 45 m^3 .

Ruum 2:

Laius 6 m, sügavus 5 m, kõrgus 2,5 m. Maht 75 m^3 . Ruume eraldava seinakonstruktsiooni pindala on 15 m^2 .

Sageli valitakse saatvaks ruumiks väiksem ruum, sest väiksemates ruumides on lihtsam luua kõrget helitaset. Kui ruum 1 on valitud saatvaks ruumiks, muutub ruum 2 vastuvõtva ruumiks.

Hindamine R'_w -ga

Vastuvõtva ruumi järelkõla aeg on 0,5 sekundit. Maht on 75 m^3 .

Sabine'i valemi abil arvutatud neeldumismäär (A) vastuvõtvas ruumis on järgmine 24 m^2 .

Ruumidevaheline vaheseinte pindala (S) on 15 m^2 (6 m x 2,5 m). L_1 (helitase saatvas ruumis) 110 dB.

L_2 (helitase vastuvõtvas ruumis) 50 dB.

$$R'_w = L_1 - L_2 + 10 \log S/A$$

$$R'_w = 110 - 50 + 10 \log 15/24$$

$$R'_w = 58 \text{ dB}$$

Hindamine $D_{nT,w}$ -ga

Hindamine $D_{nT,w}$ ruumist 1 ruumi 2. Vastuvõtva ruumi järelkõla aeg = 0,5 sekundit.

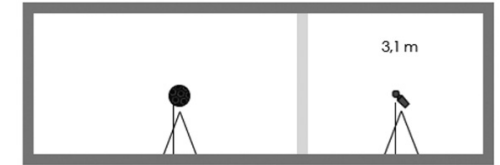
$$T_0 = 0,5 \text{ s}$$

L_1 (helitase saatvas ruumis) 110 dB.

L_2 (helitase vastuvõtvas ruumis) 50 dB.

$$D_{nT,w} = L_1 - L_2 + 10 \log T/T_0$$

Kui vastuvõtva ruumi sügavus on 3,1 m, on $D_{nT,w}$ ja R'_w samad.



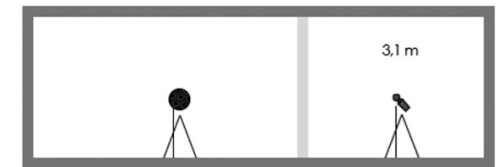
Kui vastuvõtva ruumi sügavus on suurem kui 3,1 m, on $D_{nT,w}$ suurem kui R'_w .



$$D_{nT,w} = 110 - 50 + 10 \log 0,5/0,5$$

$$D_{nT,w} = 60 \text{ dB}$$

Põhjus, miks $D_{nT,w}$ on 2 dB suurem kui R'_w , on see, et vastuvõtva ruumi ruumisügavus on 5 m. Kui vastuvõtva ruumisügavus on väiksem kui 3,1 m, siis on $D_{nT,w}$ väiksem kui R'_w .



Kui vastuvõtva ruumi sügavus on 2 m, on $D_{nT,w}$ 2 dB madalam kui R'_w .

Kui vastuvõtva ruumi sügavus on 5 m, on $D_{nT,w}$ 2 dB suurem kui R'_w .

$D_{nT,w}$ ja R'_w vaheline suhe on järgnev:

$$D_{nT,w} = R'_w + 10 \log (0,32 \cdot \text{vastuvõtva ruumi ruumisügavus})$$

$$R'_w = D_{nT,w} - 10 \log (0,32 \cdot \text{vastuvõtva ruumi ruumisügavus})$$

Ruumi sügavus arvutatakse meetrites.

Seina projekteerimisel tuleb arvestada vastuvõtva ruumi sügavust, kui $D_{nT,w}$ on määratud õuhelipidavuse nõue.

10.1 Akustilise projekteerimise alused

Konstruksioonimüra

Konstruksioonimüra on helilained, mis levivad vibratsioonina hoone karkassis. Konstruksioonimüra võib tekkida näiteks konstruksiooni külge kinnitatud pöörleva ventilaatori vibratsioonist. Konstruksioonimüra muutub kuuldavaks, kui konstruksiooni vibratsioon jõuab läbi vastuvõtva ruumi õhu meie kõrvadesse. Konstruksioonimüra isoleerimine on konstruksioonimüra isoleerimine mõnes punktis allika ja vastuvõtja vahel. Konstruksioonimüra isolatsiooniks võib olla näiteks vibreeriva ventilaatori isoleerimine, paigaldades selle vibratsiooni summutavatele kummipadjale.

Sammumüra

Sammumüra on üks karkassimüra liik, mis võib levida läbi hoone karkassi. Sammumürakindluse mõõtmine toimub saatva ruumi põrandale asetatud standardiseeritud sammumürasondi abil. Kui helisüsteem „taob“ põrandat, mõõdetakse helitaset alumises ruumis (vastuvõtvas ruumis). Mida madalam on löögi helitase, seda parem on sammumüra helipidavus. Sammumürataseme nõuet tähistatakse $L'_{n,T,w}$ ja see on valmis hoonetes mõõdetud sammumürataseme väärtus. Sõltuvalt hoone tüübist ja kasutusotstarbest on hoonetele kehtestatud erinevad nõuded. Sammumüra võib levida nii vertikaalselt kui ka horisontaalselt.

Ruumi akustika

Kui kuulete ruumis inimkõnet, siis kuulete nii nende häält kui ka ruumi helipeegeldusi ruumis. Sõltuvalt tegevusest soovitakse, et ruumis oleks rohkem või vähem peegeldusi. Laulja tahab palju peegeldusi, et laul oleks kõlavam. Õpetaja soovib, et klassiruumis oleks vaiksem, et õpilased saaksid aru, mida ta räägib. Kõne mõistetavust väljendatakse STI indeksiga, mis kirjeldab ruumi kõne mõistetavust ja võtab arvesse ruumi kaja, tausta helitase maskeerivat mõju ja kõne helitugevust. STI indeksit mõjutab ruumi järelkõla aeg.

Järelkõla aja mõõtmisel kasutatakse valjuhääldit, et tekitada ruumis helitase (umbes 100 dB). Pärast valjuhääldi väljalülitamist mõõdetakse aega, mis kulub helitugevuse 60 dB-ni langemiseks. Seda aega nimetatakse järelkajaks.

Järelkaja mõjutavad ruumi ruumala, ruumis olevate heli neelavate materjalide hulk, neelavate materjalide paigutus ja ruumi sisustus (heli hajutavad pinnad, mööbel ja sisustus). Sabine'i valem kirjeldab seost järelkõla aja (T), ruumi mahu (V) ja ruumi heli neeldumisaeg (A) vahel.

$$T = \frac{V \cdot 0,16}{A}$$

Ruumi helineeldumine (A) on põranda, seinte, lae, mööbli ja sisustuse helineeldumisaegade summa. Vajadus helineelavate materjalide järele varieerub vastavalt ruumis toimuvale tegevusele. Helineelavad materjalid liigitatakse erinevatesse neeldumisklassidesse A-st kuni E-ni, kusjuures neeldumisklass A näitab parimat neeldumisvõimet. Üldine probleem on see, et ruumis on pikk järelkõla aeg madalatel sagedustel. (125 Hz). Erinevalt kivi- ja betoonseintest on kipsseintel 125 Hz juures teatav neeldumise efekt.

Tehnosüsteemide helid

Hoone tehnosüsteemidest lähtuv heli ei tohi olla kuuldav. Madalsageduslikud helid väsitavad inimesi. Seetõttu peaks süsteemide helitase olema madal, eriti madalatel sagedustel. Oluline on mõõta ehitussüsteemide mürataset, kasutades nii dBA kui ka dBC sageduskoormust. Kui mürataset mõõdetakse dBA-s, filtreeritakse suur osa madalsageduslikest helidest välja erinevalt dBC-mõõtmisest, kus madalsageduslike helid ei filtreerita.

Liikluse müra ja muud välised helid

Kui hoone asub autoteede või muude tugevate müraallikate läheduses, on oluline, et hoone välispiirded tagaksid piisava helipidavuse, et välismüra ei häiriks hoonetes viibivaid inimesi. Aknad ja õhu sisselaskeavad on sageli fassaadi „nõrk“ lüli. Võttes arvesse välise heli allikate intensiivsust ja nende kaugust hoonest, annab akustika juhiseid selle kohta, kuidas hoone välisseinad ja katus peaksid olema projekteeritud.

Helitugevus ja sagedus

HELITUGEVUS (dB)

Helilained liiguvad läbi õhu pikkade lainetena, kuna õhuosakesed liiguvad edasi-tagasi selles suunas, milles heli liigub. Selle liikumise tulemuseks on õhurõhu väike erinevus võrreldes staatilise õhurõhuga. Rõhkude erinevus põhjustab kõrva trumminaha sisse- ja väljatõmbumist. Mida kõrgem on helitase (dB-tase),

seda rohkem liigub trumminahk. Kuna meie kuulmine hõlmab suurt rõhkude erinevuste vahemikku, kasutatakse helirõhutasete puhul logaritmilist skaalat. See tähendab, et heli allikate liitmine ja lahutamine annab järgmised tulemused:
60 dB + 60 dB ei ole 120 dB vaid 60 dB + 60 dB on 63 dB.

10 heli allikat 60 dB juures on 70 dB. 100 heli allikat 60 dB juures on 80 dB.

Näide: 80 dB + 70 dB on 80 dB. See tähendab, et kui jätta välja 70 dB heli allikas, on helitase ikkagi 80 dB.

Energia (heli allikate) vähendamine poole võrra tähendab helitugevuse vähenemist 3 dB võrra. Helitugevuse 10 dB tõusu/vähendamist tajutakse kui kahekordistumist/vähendamist (kehtib 1000 Hz heli puhul).

Kaugus heli allikast mõjutab helitugevust. Heli allika lähedal on helitugevus suurem.

SAGEDUS (Hz)

Sagedust mõõdetakse hertsides ja see näitab, kui sageli tekib rõhkude erinevus sekundis. Kõrged helid on kõrgsageduslikud, madalad helid on madalsageduslikud.

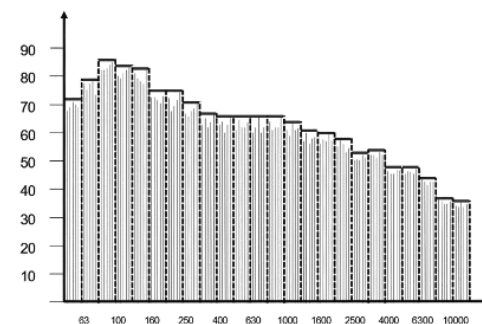
HELIRIBA, OKTAAVITASE, dBA JA dBC

Heli allikast lähtuva heli intensiivsust saab väljendada mitmel viisil; hooneakustikas kasutatakse heliribasid, oktaavitasemeid, dBA ja dBC.

HELIRIBA

Helitase analüüsimiseks kasutatakse heliribasid, jagades x-telje 24 osaks. Iga osa on üks heliriba. Heliribade analüüs on üsna täpne, sest heliribad on kitsad. Helitase peavad olema selgelt näidatud tertsonaalsetes sagedusalades. Joonisel 2 on näidatud, kuidas helitase muutub sõltuvalt sagedusest, näiteks 86 dB 80 Hz sagedusribas ja 36 dB 10 000 Hz sagedusribas.

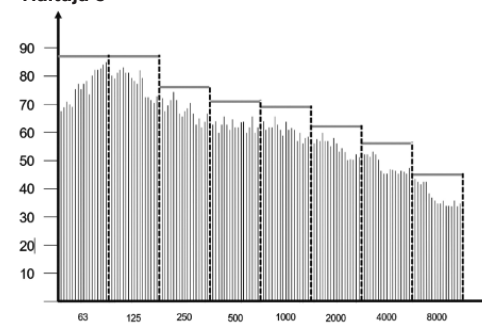
Näitaja 2



OKTAAVITASANDID

Üks oktaavitasand koosneb kolmest kõrvuti asetsevast heliribast, seega asendatakse 24 heliriba asendatakse 8 oktaavitasandiga. Kuna oktaavitasandid on laiemad, on oktaavitasandite analüüs veidi „umbmäärasem“ kui heliriba analüüs. Helitugevuse märkimisel tuleb näidata oktaavitasandit. Joonis 3 näitab, et helitase on 77 dB oktaavitasandil 250 Hz ja 42 dB oktaavitasandil 8000 Hz.

Näitaja 3



dBA ja dBC

Selleks, et näidata helitaset ühe numbrilise väärtusena, kasutatakse „kaalutud“ väärtusi; dBA ja dBC.

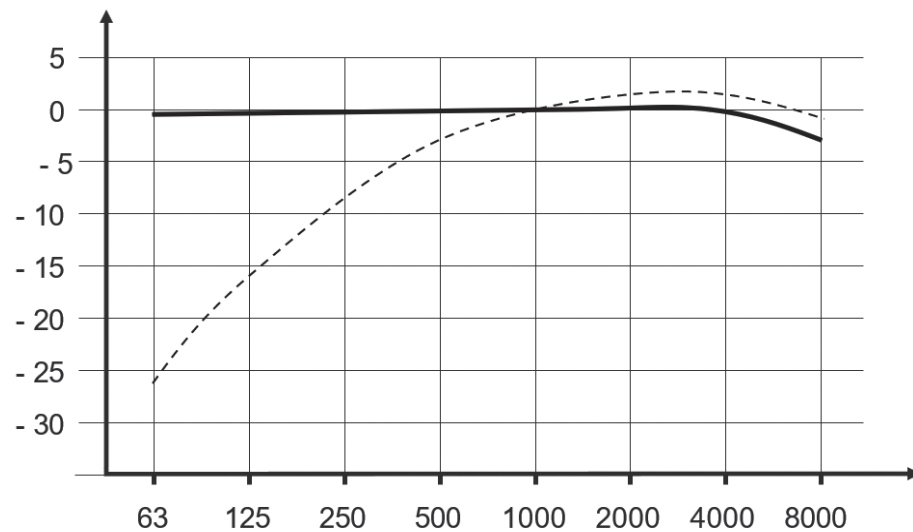
10.1 Akustilise projekteerimise alused

Meie võime tuvastada tasemeerinevusi erinevatel sagedustel sõltub heli intensiivsusest. Seetõttu kasutatakse nn kaalufiltreid, mis filtreerivad heli erinevalt. On olemas mitu erinevat kaalufiltrit, kuid ehitusakustikas kasutatakse A-filtrit ja C-filtrit.

Joonisel 4 on näidatud, kuidas helitasemed vahenevad kaalufiltrite A (katkendlik joon) ja C (must joon) abil.

Kui helitaset väljendatakse dBA, vähendatakse helitaset alla 1000 Hz vastavalt punktiirjoonele (köverjoon).

63 Hz juures mõõdetud helitase (dBA) väheneb 26,2 dB võrra, 125 Hz juures 16,1 dB võrra, 250 Hz juures 8,6 dB võrra ja 500 Hz juures 3,2 dB võrra. Pärast lahutamist summeeritakse kõik oktaavitasandid (63 Hz kuni 8000 Hz) üheks arvuk.



Kui helitaset mõõdetakse dBC-s, siis on allpool 1000 Hz väga väike vähenemine. Vt. musta joont (sirge).

Erinevus dBA ja dBC vahel seisneb selles, et dBA filtreerib välja helid, mis jääb alla 1000 Hz.

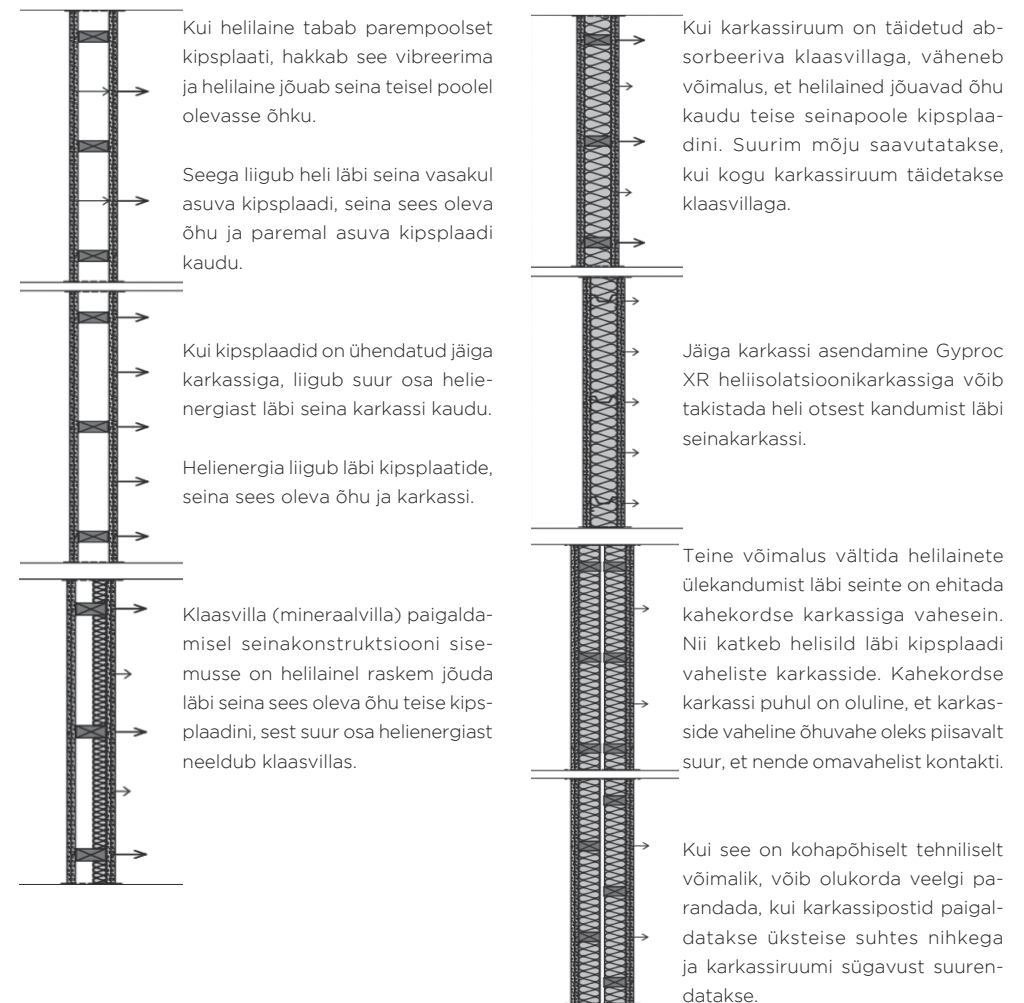
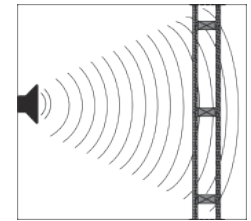
Kaalutud helitaseme väärtuse esitamisel tuleb märkida kasutatav sageduse kaalumise.

Kui joonistel 2 ja 3 esitatud mõõtmisi väljendatakse kaalutud väärtustena, on tulemused 75 dBA ja 90.

Gyproci siseseinasüsteemid koosnevad karkassist ja kipsplaadist.

Kui seina vasakul pool asuv kõlar väljastab heli, püüab heli läbida seina mitmel erineval viisil.

Kui helilaine tabab kipsplaati, hakkab plaat vibreerima. Kui vasakpoolne plaat vibreerib, jätkab helilaine oma teekonda seina sees läbi karkassiruumis oleva õhu.



10.2 Kipsplaatseinte heliomadused

Helipidavusnõuded ja soovitused

Soome Keskkonnaministeeriumi hoonete mürakesk-konda käsitlevas määruses on sätestatud eeskirjad ja suunised struktuurilise helipidavuse, müra- ja vibratsioonikontrolli kohta uutes hoonetes ning ümberhituste ja renoveerimiste puhul.

Uute hoonete puhul peab majutus- ja eluruumide ning eluruumide ja patsientide ruumide õhu- ja samumüra isolatsiooni projekteerimine ja rakendamine vastama järgmistele väärtustele:

Ruumide kirjeldus	Väikseim lubatud helipidavusklass $D_{nT,w}$ (dB)	Suurim lubatud sammumüraklass $L'_{nT,w} + C_{l,50-2500}$ (dB)
Eluruumide, majutusruumide või haiglaruumide vahel	55	53
Väljapääsust eluruumi, majutusruumi või haiglaruumi	39	63

Kui majutus-, eluruum või patsiendi ruum on konstruktsiooniliselt ühendatud ruumidega, kus tekib intensiivne, eriti häiriv või madalsageduslik müra, tuleb projekteerimisel ja ehitamisel pöörata erilist tähelepanu piisava helipidavusnõude täitmisele. Impulsiivse, kitsaribalise või madalsagedusliku müra ühe tunni keskmine müratase ei tohi magamiseks või puhkamiseks kasutatavates ruumides ületada 25 dB.

Õppe-, koosoleku-, söögi-, hooldus-, puhke-, spordi- ja kontoriruumide helipidavus tuleb projekteerida ja ehitada, võttes arvesse ruumide kavandatud kasutusviisi, nii et saavutatakse tegevuse jaoks piisavalt hea helikeskkond. Lisateavet selle osas võib leida Soome Keskkonnaministeeriumi juhendist „Ehitiste helikeskkond“ (2018).

Standardit SFS 5907 „Ehitiste akustiline klassifikatsioon“ on täiendatud eeskirjade ja suuniste soovistustega. Standardi klassid A ja B võimaldavad projekteerida tavapärasest parema akustikaga hooneid. Elamute ja eluruumide puhul sisaldavad kategooriad A ja B parandustegurit C, mis võtab arvesse ka mada-

late sageduste mõju helipidavusele. Näiteks B-klassi nõuetele vastamiseks peavad eluruumide vahel olema täidetud tingimused $D_{nT,w} + C_{50-3150} \geq 58$ dB ja $L'_{nT,w} + C_{l,50-2500} \leq 49$ dB. Standard sisaldab ka rangemaid väärtusi kui Soome Keskkonnaministeeriumi määruses esitatud soovitused järelokola aegade kohta.

Gyproc Käsiraamatus kirjeldatud Gyproc konstruktsioonid vastavad ettenähtud akustilistele omadustele ainult siis, kui kasutatakse kindlaksmääratud tooteid, näiteks Gyproc plaate ja teraskarkasse, mis on paigaldatud vastavalt Gyproci juhistele.

Kipsplaadi vahetamine

Jäigem plaat halvendab helipidavust. Lisaks sellele suureneb helide peegeldamine tugevalt, kui karkassisammu ei suurendata nii palju, kui suureneb jäikus (ei kehti lahuskarkasseintes ja XR karkasside puhul).

Raskem plaatkonstruktsioon parandab helipidavust kuna jäikus ei suurene proportsionaalselt. Näiteks seinakonstruktsiooni välimiste GN 13 plaatide asendamine GR 13 plaatidega parandab helipidavust vastavalt 1-1 või 2-2 seinakonstruktsioonides. Samuti parandab 1 või 2 mm Gyproc IBS sissemurdmiskindlate plaatide paigaldamine 2-2 seinakonstruktsiooni ühele küljele helipidavust vastavalt 2 või 3 dB võrra.

Kipsplaatide liimimine

Kipsplaatide liimimine massiivse- või karkasskonstruktsiooni külge ehitusliimiga ei taga tavaliselt paremat helipidavust. Kui kipsplaate liimitakse mõrdiga, nt konstruktsiooni sirgendamiseks, tuleb mõrt kanda kogu liimitavale alale (mitte kohati või ribadena), et plaadi taha ei jääks tühikuid. Tühikute vahe halvendab helipidavust (keskmistel sagedustel, nt 250-500 Hz).

Karkassikonstruktsioon

Karkassipostide vahekaugus ja karkassi jäikus mõjutavad tavakarkassiga kipsplaatseina helipidavust. Karkassisammu vähendamisel alla 600 mm, helipidavus tavaliselt halveneb. Gyproc XR karkassi puhul saavutatakse 450 mm sammuga samasugused helipidavusväärtused nagu 600 mm sammuga.

Kipsplaadikihtide arv

Täiendava kipsplaadikihi lisamine 1-1 või 2-2 seinakonstruktsioonile tagab parema helipidavuse. 1-2 seinakonstruktsioon saavutab tavaliselt 4 dB kõrgemad väärtused kui 1-1 konstruktsioon. 2-3 konstruktsioon saavutab tavaliselt 1-2 dB kõrgemad väärtused võrreldes 2-2 seinaga.

Mineraalvill

Karkassiruumi täielikult mineraalvillaga täitmine on kõige usaldusväärsem viis konstruktsiooni helipidavusnõude täitmiseks. Samas minimaalne täitepaksus on 50 mm 66 mm karkassiposti puhul ja 66-70 mm 95 mm karkassiposti puhul. Sobib kerge ja võimalikult pehme mineraalvill, mis võib olla plaatidena või rullides. Kõva mineraalvill on pigem kahjulik kui kasulik. Vältige karkassiruumi ületäitmist, sest see võib vähendada konstruktsiooni helipidavust.

Konstruktsiooni akustiline tihendamine

Akustiline tihendamine tähendab heliikindla konstruktsiooni loomist. Akustiline tihendamine seinaga sellega piirneva konstruktsiooni vukides on vajalik järgmiselt:

- Helipidavusklasside $D_{nT,w}$ ja $D_{nT,w} + C_{50-3150} = 48-65$ dB puhul Gyproc Acounomic või karkassialune tihend ja akustiline mastiks mõlemal pool seinaga.
- Helipidavusklasside $D_{nT,w}$ ja $D_{nT,w} + C_{50-3150} = 40-44$ dB puhul Gyproc Acounomic või karkassialune tihend ja akustiline mastiks seinaga ühel poolel.
- Helipidavusklass $D_{nT,w} = 35$ dB; 4 mm karkassialune tihend
- Helipidavusklass $D_{nT,w} < 30$ dB; Tihendamise vajadus puudub kui objektipõhine olukord seda eraldi ei nõua.

Akustiline tihendamine tähendab 7 -10 mm plaadivuugi täitmist vähemalt ühe kipsplaadi kihi paksuselt. Tihendusmastiks peab hästi kinnituma kipsplaadile, täitma vuugi ja pidama vastu konstruktsiooni mis tahes liikumisele. Üksikasjalikumaid juhiseid leiata kasutusjuhendi 8. peatükist.

Seinakonstruktsiooni täielik helipidavus (uksed, läbiviigid jne)

Alljärgnevas tabelis on näidatud seinakonstruktsiooni kogu helipidavus, kui on olemas helipidavust nõrgendavad komponendid, nagu ukсед, aknad jne.

Seina helipidavusklass $D_{nT,w}$ (dB)	35			40			44			48			52			55			
Konstruktsiooni üldine helipidavusklass R_w dB	30	35	40	30	35	40	30	35	40	30	35	40	30	35	40	30	35	40	
Paigaldiste ja läbiviikude, % kogu seinapinnast	50%	32	35	37	33	37	40	33	37	42	33	38	42	33	38	43	33	38	43
	25%	33	35	36	35	38	40	36	40	43	36	40	44	36	41	45	36	41	46
	10%	34	35	35	37	39	40	39	42	43	39	43	46	40	44	48	40	45	49

Vastavalt standardile SFS-EN ISO 12354-1 Ehitusakustika, osa 1, saab arvutada ruumidevahelise helipidavusindeksi $D_{nT,w}$. Arvutamisel kasutatakse konstruktsioonielementide, näiteks uste või muude seonduvate ehituskomponentide R_w helipidavusväärtusi.

10.2 Kipsplaatseinte heliomadused

Tehnilised ruumid - kliimaseadmed

Ventilatsiooniruumide ja sarnaste ruumide helipidavuse saavutamiseks on sageli vaja massiivseid seinakonstruktsioone. Kui seadme tekitatud helivõimsuse tase ventilatsiooniruumis on väiksem kui $L_w, 63 \text{ Hz} = 60 \text{ dB}$ oktaavisagedusel 63 Hz ja seadme kaugust seinast on min. 15 cm, saab täita ventilatsiooniseadmete jms seotud eluruumide müra-tasemenõudeid kergkonstruktsioonide abil. Sel juhul tuleb sein ehitada kahekordse karkassi, kolmekordse kipsplaadikihiga mõlemal pool karkassi ja karkassiruumi täitva mineraalvillaga, Gyproc XR 66/66x2 (600) HNN-NNH M170.

Šahtiseinad

Eluruumide puhul on soovitatav kasutada šahtiseintes piisava madalsagedusliku helipidavuse saavutamiseks kolmekordset kipsplaati XR 66/66 NNN-O MO. Kontoriruumides piisab tavaliselt kahest plaadikihist šahtiseinas. Mõnel juhul võib piisata vähematest plaadikihtidest, kuid hindamiseks peaksite pöörduma akustiku poole. Kui šahtis olevad torud ei ole mineraalvillaga isoleeritud, tuleks šahtiseinad isoleerida karkassiruumi täitva isolatsiooniga (eriti avatud šahtide puhul, mis ühendavad mitut korterit).

Suurte ventilaatorite või jahutusseadmetega tehniliste ruumide heliisolatsioonikonstruktsioonide valimisel konsulteerige alati akustikuga, sest need seadmed tekitavad õhu- ja karkassimüra, mida on raske summutada.

10.3 Renoveerimine

Renoveerimise lähtepunktid

Hoone peab vastama konstruktsiooni tugevuse ja stabiilsuse, tuleohutuse, hügieeni, tervishoiu ja keskkonna, kasutusohutuse, müra kontrollimise, energiatõhususe ja soojustisolatsiooni põhinõuetele (olulised tehnilised nõuded), nagu seda nõuab selle kasutusotstarve.

Hoone peab olema otstarbekohane, remonditav, hooldatav ja kohandatav ning, kui hoone kasutamine seda nõuab, sobilik liikumispuudega või piiratud aktiivsusega inimestele.

Renoveerimis- ja ümberehitustöödel tuleb arvesse võtta hoone omadusi ja eripära ning selle sobivust kavandatud kasutuseks. Muudatused ei tohi vähendada hoone kasutajate ohutust või tervist.

Ehituskonstruktsiooni piirangud/võimalused sõltuvad renoveeritava kinnisvara seisukorrast ja aastakümnete jooksul kasutatud ehitustehnikast. Eelprojekteerimise etapis tuleb selgitada järgmised küsimused lähtekoht/lõpplahendus, mis mõjutavad oluliselt objekti maksumust ja ka ehitusgraafikut: tuleohutus, energia, heliisolatsioon, siseõhk, akustika, funktsionaalsus, määrjad ruumid, hoone arhitektuuriline väärtus ja fassaadid (aknad ja detailid), samuti hoone kultuuriline väärtus. Vajaduste hindamine määratleb remondivajadused, eesmärgid, ajakava, kuluhinnangud ja arendaja poolelt rahastamiskava. Lisaks muudele projekteerimisülesannetele on nende rõhuasetus järgmistel teemadel: seisundi hindamine/seisundiuringud, ehitusfüüsika (tuleohutus, heli, niiskus ja energia), eri tüüpi kahjustuste või tehniliste probleemide remondimeetodid, lammutamine (ohud/riskid) ja kahjulike ainete (asbest jne) tuvastamine ning renoveerimise kvaliteet ja selle edukust mõjutavad tegurid. Ametiasutuste ülesanded hõlmavad tavaliselt eelnevaid arvamusi, selgitustaotlusi (tule- ja helimõõtmised, muinsuskaitseamet jne) ja võimalusel ka tervishoiuasutuste arvamusi.

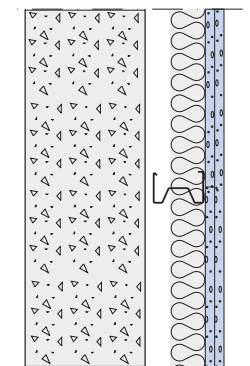
Kergkonstruktsiooni eelised renoveerimisel

Kergkonstruktsioonitehnikaga saavutab renoveerimisprojektides nõutavad standardid tuleohutuse, heliisolatsiooni, akustika, siseõhu ja niiskete ruumide osas, kui lahendused põhinevad Gyproc Käsiraamatul ja muudel Gyproci suunistel. Kasu remondikohtade jaoks on tõestatud ja turvaline üldlahendus, mida rakendatakse ilma kuivamisajata või remondikohtade lisaraskuse olulise suurenemiseta. Kergkonstruk-

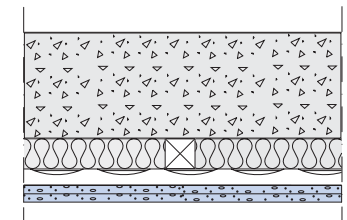
sioonides saavutatakse konstruktsioonikihid, mis võimaldavad õhemaid lahendusi võrreldes täismasskonstruktsioonidega.

Massiivse konstruktsiooni helipidavuse parandamine

Kiviseina (mass $> 80 \text{ kg/m}^2$) täiendav helipidavus saavutatakse vähemalt järgmiste konstruktsioonidega: 30 mm harvlaudis (k 600, vahel mineraalvill), mis on kinnitatud kiviseina külge, sellel Gyproc AP 25 akustiline roov Gyproc AP 25 (k 400) ja 1-2 Gyproc 13 mm plaati. Sama tulemus saavutatakse ka 66 mm karkassiga mis on min 10 mm kaugusel kiviseinast, karkassiruumis min 50 mm mineraalvilla ja katteks topeltkipsplaadid. Selline lahendus on aga oluliselt ruumimahukam võrreldes AP roovidega katteseinaga. Konstruktsioon ei tohi olla ühendatud/kontaktis massiivseinaga. Ülaltoodud meetoditega saavutatakse täiendav 10-15 dB helipidavus. Kui Gyproc AP 25 profiili (akustilised roovid) all kasutatakse 50 mm harvlaudist (koos 50 mm mineraalvillaga), saavutatakse täiendav helipidavus kuni 15 dB.



a) Täiendava helipidavusega massivsein



B) Täiendava helipidavusega massiv-vahelagi

10.3 Renoveerimine

Lisakonstruktsiooniga, mis on ehitatud massiivkonstruktsiooni mõlemale poolele ja kus 30 mm abikarkassile, ning AP 25 akustiliste profiilidele on paigaldatud topeltkipsplaadid, saavutatakse helipidavuse parandus 15-20 dB. Kasutades sama lahendust 50 mm abikarkassiga, saavutatakse helipidavuse parandus kuni 25 dB ja eeldsel et mõlemal juhul on karkassiruum täidetud mineraalvillaga. Helipidavusnäitajate parandus kehtib järgmiste seinade paksuste puhul: betoon \leq 100 mm, kergebetoon \leq 150 mm ja tellis \leq 130 mm. Paksemate seinade korral on parandamise mõju väiksem.

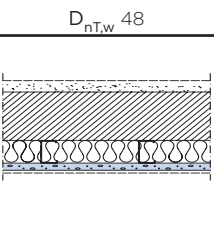
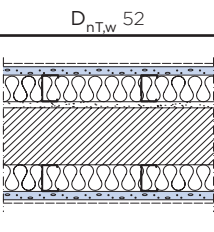
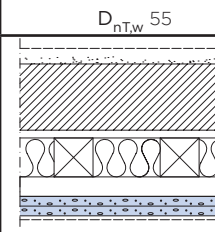
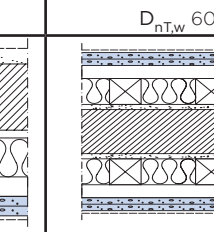
Kui soovitakse parandada massiivkonstruktsiooniga vahelae helipidavust (kaal > 120 kg/m³) teostatakse see lae lisakonstruktsioonidega, nagu on kirjeldatud punktis 5.2 või lihtsaima lahendusena kus topeltkipsplaadid kinnitatakse Gyproc AP 25 (samm 400

mm) akustilistele roovidele. AP 25 roovid kinnituvad omakorda 50 mm (samm 600 mm) pakustele abikarkassile, mis on kinnitatud vahelae külge. Abikarkasside vahe täidetakse mineraalvillaga. Selline lahendus tagab kuni 10 dB helipidavuse paranduse.

Ülal esitatud helipidavusparandused saavutatakse juhul, kui kaudne helide kandumine ei ole suur. Vajaduse korral tuleb helide kaudse kandumise tõkestamiseks kasutada objektipõhiseid lisameetmeid.

Massiivkonstruktsioonide helipidavuse parandamiseks kipsplaatkonstruktsiooniga, kus karkass kinnitatakse otse kandekonstruktsiooni külge, ei saa soovitada üldise lahendusena, kuid see võib teatud juhtudel olla piisav. Sellisel juhul on karkassipostide samm 600 mm. Nii saavutatakse ca 5-10 dB helipidavuse paranemine kesk- ja kõrgsageduslikul helialal.

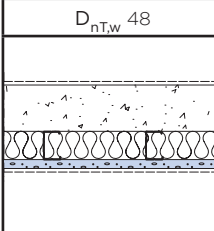
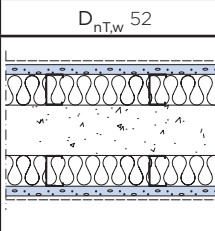
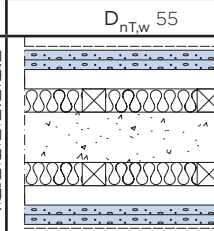
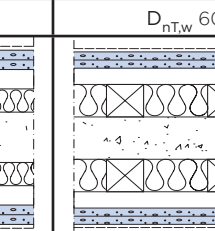

Näidislahendused tellisseinte helipidavuse parandamiseks

D _{nT,w} 48	D _{nT,w} 52	D _{nT,w} 55	D _{nT,w} 60
			
<ul style="list-style-type: none"> • viimistluskiht • krohv või tasandus • \geq 85 mm tellis • \geq 42 mm Gypsteel ELPR 42/40 karkassipost, k600 mm • \geq 45 mm ISOVER SLIM mineraalvill • \geq 12,5 mm Gyproc GEK 13 plaat • viimistluskiht 	<ul style="list-style-type: none"> • viimistluskiht • \geq 12,5 mm Gyproc GEK 13 plaat • \geq 42 mm Gypsteel ELPR 42/40 karkassipost, k600 mm • \geq 45 mm ISOVER SLIM mineraalvill • krohv või tasanduskiht • \geq 85 mm tellis • \geq 42 mm Gypsteel ELPR 42/40 karkassipost, k600 mm • \geq 45 mm ISOVER SLIM mineraalvill • \geq 12,5 mm Gyproc GEK 13 plaat • viimistluskiht 	<ul style="list-style-type: none"> • viimistlus- ja tasanduskiht • \geq 85 mm tellis • tasanduskiht • \geq 48 mm karkassipost, k600 mm • \geq 50 mm ISOVER Acoustic mineraalvill • Gyproc AP 25 akustiline roov, k400 • \geq 2x12,5 mm Gyproc GEK 13 plaat • viimistluskiht 	<ul style="list-style-type: none"> • viimistluskiht • \geq 2x12,5 mm Gyproc GEK 13 plaat • Gyproc AP 25 akustiline roov, k400 • \geq 48 mm karkassipost, k600 mm • \geq 50 mm ISOVER Acoustic mineraalvill • tasanduskiht • \geq 85 mm tellis • tasandus • \geq 48 mm karkassipost, k600 mm • \geq 50 mm ISOVER Acoustic mineraalvill • Gyproc AP 25 akustiline roov, k400 mm • \geq 2x12,5 mm Gyproc GEK 13 plaat

Joonised 4.1.5.a - 4.1.5.d:

Näide sellest, kuidas parandada telliskivikonstruktsioonide helipidavust, kasutades kergkonstruktsioonimeetodeid, ja saavutatavad helipidavustasemed.

Näidislahendused betoonseinte heliisolatsiooni parandamiseks

D _{nT,w} 48	D _{nT,w} 52	D _{nT,w} 55	D _{nT,w} 60
			
<ul style="list-style-type: none"> • viimistluskiht • \geq 70 mm betoon • \geq 42 mm Gypsteel ELPR 42/40 karkassipost, k600 mm • \geq 45 mm ISOVER SLIM mineraalvill • \geq 12,5 mm Gyproc GEK 13 plaat • viimistluskiht 	<ul style="list-style-type: none"> • viimistluskiht • \geq 12,5 mm Gyproc GEK 13 plaat • \geq 42 mm Gypsteel ELPR 42/40 karkassipost, k600 mm • \geq 45 mm ISOVER SLIM mineraalvill • \geq 70 mm betoon • \geq 42 mm Gypsteel ELPR 42/40 karkassipost, k600 mm • \geq 45 mm ISOVER SLIM mineraalvill • \geq 12,5 mm Gyproc GEK 13 plaat • viimistluskiht 	<ul style="list-style-type: none"> • viimistluskiht • \geq 2x12,5 mm Gyproc GEK 13 plaat • Gyproc AP 25 mm k400 mm • \geq 30 mm karkassipost k600 mm • \geq 30 mm ISOVER Acoustic mineraalvill • \geq 70 mm betoon • \geq 30 mm karkassipost k600 mm • \geq 30 mm ISOVER Acoustic mineraalvill • Gyproc AP 25 mm k400 mm • \geq 2x12,5 mm Gyproc GEK 13 plaat • viimistluskiht 	<ul style="list-style-type: none"> • viimistluskiht • \geq 2x12,5 mm Gyproc GEK 13 plaat • Gyproc AP 25 mm, k400 mm • \geq 48 mm karkassipost, k600 mm • \geq 50 mm ISOVER Acoustic mineraalvill • \geq 70 mm betoon • \geq 48 mm karkassipost, k600 mm • \geq 50 mm ISOVER Acoustic mineraalvill • Gyproc AP 25 mm, k400 mm • \geq 2x12,5 mm Gyproc GEK 13 plaat • viimistluskiht
			
	<ul style="list-style-type: none"> • viimistluskiht • \geq 70 mm betoon • \geq 65 mm karkassipost k600 mm • \geq 65 mm ISOVER Acoustic mineraalvill • Gyproc AP 25 mm k400 mm • \geq 2x12,5 mm Gyproc GEK 13 plaat • viimistluskiht 		

Joonised 4.1.5.e- 4.1.5.i:

Näide sellest, kuidas parandada betoonkonstruktsioonide helipidavust, kasutades kergkonstruktsioonitehnikat, ja saavutatavad helipidavustasemed.

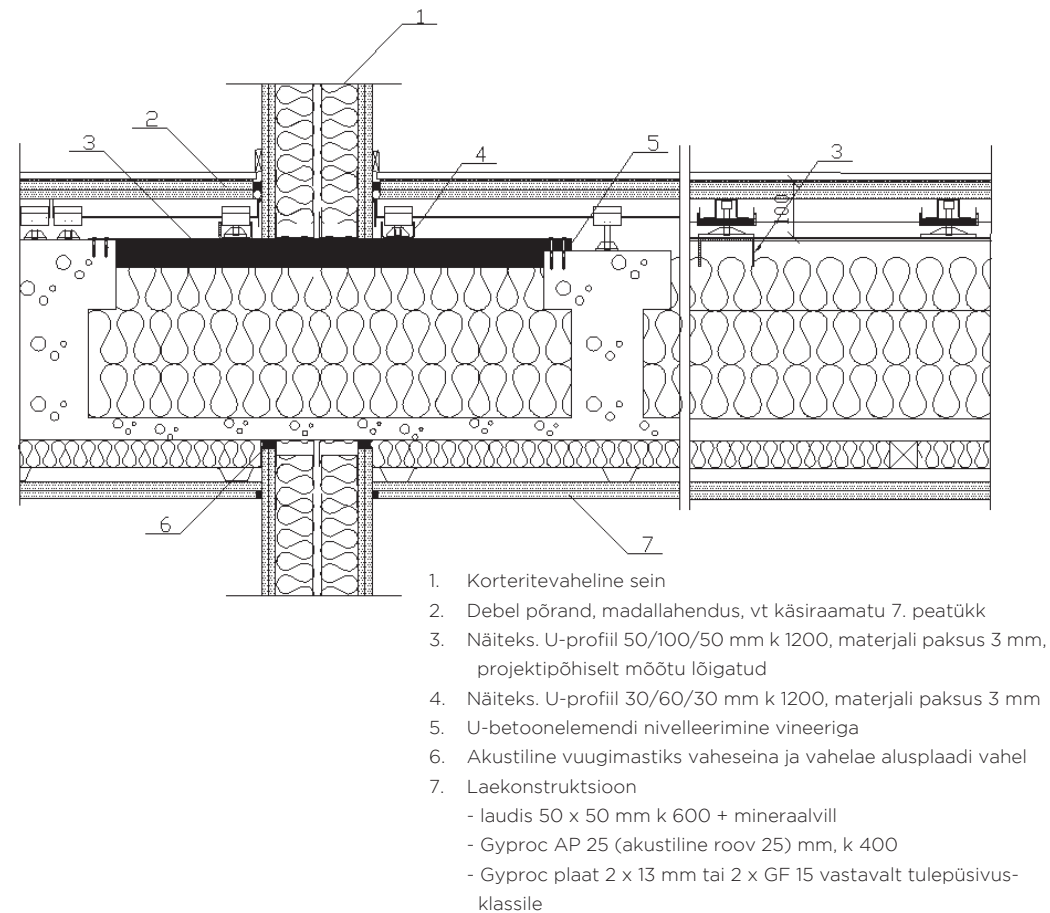
10.3 Renoveerimine

Vaheseinte ja vahelagede renoveerimine

Vanemates hoonetes võivad esialgsed vaheseinad olla aja jooksul muutunud korteritevahelisteks seinteks, kuna esialgsed suured korterid on jagatud väiksemateks. Kui korteri eri korruste vahel on tehtud muudatusi, võib helipidavus- ja tulepüsivusprobleemide lahendamine üldise renoveerimisprojekti raames muutuda keeruliseks.

Renoveerimistöde puhul on vahelaed erinevate kaudsete helikandumiste tõttu tavaliselt tervikuna kõige keerulisemad. Liited vahelagedega, kus korterite vahelised seinad viiakse vastavusse kehtivate normidega, osutub sageli väljakutseks. Käesoleva käsiraamatu punktis 5.2 on esitatud aastatel 1880-1980 Soomes ehitatud hoonete helipidavuse parandamiseks mõeldud vahelagede konstruktsioonitüübid.

Allpool on toodud näide objektist, kus kergkonstruktsioonimeetodite rakendamisega saavutatakse nii sammu- müra- ja helipidavusväärtused kui ka tuleohutusnõuded. Samamoodi saavutatakse korterite vaheliste seinte puhul õhuhelipidavusnõuded ja tulepüsivusklassid.



Joonis 4.1.5.1: Helipidavuse ja tulepüsivuse parandamine aluspõrandataladega renoveerimisprojekti.

Helide kaudse kandumise mõju saab arvutada vastavalt juhendile RIL 243-1-2007, mis põhineb standardil EN 12354-1. Arvutuse seisukohalt on oluline see, et kui vahesein on kergkonstruktsioon, võib analüüsist välja jätta terminid D_f ja F_d ning keskenduda väärtusele D_d ja külgnihkele F_f . Kui liituvad konstruktsioonid on karkasslahendusega, ei saa arvutusi selle mudeliga usaldusväärselt teostada; sel juhul tuleb kasutada käesolevas juhendis esitatud erinevate seinasüsteemide sõlmilahendusi.

Vee- ja kanalisatsioonisüsteemide renoveerimised on lihtne teostada Gyproc-lahendustega, mille abil täidetakse nii püstakute kui märgade ruumide tänapäevased tulepüsivuse- ja helipidavuse nõuded.

Liftide ja tehnorajatiste paigaldamine hoonesse peab olema projekteeritud ning teostatud selliselt, et nende tekitatud müratase ei ületaks korterites, eluruumides või majutusruumides või patsiendiruumides, samas või naabereluruumides avatavate akende puhkamiseks kasutataval rõdudel või hoovides või puhkealadel lehekülje allosas olevas tabelis esitatud väärtusi:

Soovituslike väärtuste kohaldamisel tuleb arvesse võtta ventilatsiooni ja muude müraallikate koosmõju. Kui ruumi siseneb heli rohkem kui ühest heliallikast, peab iga heliallika poolt eraldi tekitatud helitase olema piisavalt madal, et kombineeritud helitase ei ületaks lubatud helitaset. Mitme heliallika mõju üldisele helitasemele ruumis võetakse arvesse, summeerides kõigi ruumi heli kiirgavate seadmete helitasemed, kasutades järgmist valemit:

$$L_{A_{tot}} = 10 \lg(10^{L_{A1}/10} + 10^{L_{A2}/10} + \dots + 10^{L_{An}/10}), \text{ kus}$$

$L_{A_{tot}}$ = seadmete kombineeritud müratase
 $L_{A1} \dots L_{An}$ = iga seadme tekitatud müratase eraldi.

Siseruumid või väliala	Pidev lairibaheli		Impulsiivne või kitsasribaheli	
	Keskmine helitase $L_{A_{eq,T}}$ (dB)	Maksimaalne helitase $L_{A_{Fmax,T}}$ (dB)	Keskmine helitase $L_{A_{eq,T}}$ (dB)	Maksimaalne helitase $L_{A_{Fmax,T}}$ (dB)
Elamu-, majutus- või patsiendiruum	28	33	25	30
Kööki eluruumis või vaba aja tegevusruum hoones	33	38	30	35
Trepikoda või väljapääs	38	43	35	40
Väliala	45	50	40	45

10.3 Renoveerimine

Kergkonstruktsioonseinahelipidavuse parandamine

Kui olemasolevale kipsseinale lisatakse lisakiht kipsplaate, tuleb need alati kinnitada olemasoleva seinakarkassi. Parem tulemus saavutatakse, kui olemasoleva seinahelipidavuse ühelt küljelt kipsplaat eemaldatakse ja täiendatakse lahendust karkassiruumi sügavust suurendades (nagu on näidatud joonisel). Kui mingil põhjusel kipsplaati eemaldada ei ole võimalik, võib selle 40% ulatuses läbi puurida vähemalt 100 mm aukudega.

Joonisel on näidatud seinakonstruktsioon, mis pärast täiendavat helipidavuse parandamist vastab nõuetele $D_{nT,w} \geq 52$ dB.

Alternatiivselt võib konstruktsiooni helipidavuklassi parandada, asendades lisakarkassi vertikaalse posti külge kinnitatud horisontaalsete Gyproc AP 25 profiilidega (akustiline roov).

Allikad:

- Soome Keskkonnaministeeriumi määrus ehitiste helikeskkonna kohta 2018.
- RIL 129-2003 Helipidavuse teostamine
- RIL 243-1-2007 Hoonete akustilise projekteerimise alused

Gyproc Käsiraamatus kirjeldatud ühenduste tingimused

Betoonseinte ja vahelagede paksused on arvatud lähtematerjalide (1) kuni (4) alusel. Arvutused põhinevad statistilisel energiaanalüüsil ja neid on kontrollitud välismõõtmistega.

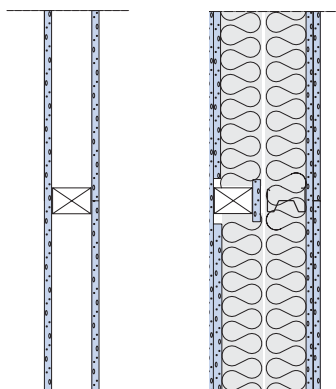
Betoonkonstruktsiooni paksus määratakse eeldusel, kus plaatkonstruktsioonide (põranda- ja laekonstruktsioon) kogu helipidavusklass vastaks nõutud heliklassile +5 dB. Samuti on vahelaekonstruktsiooni õõnespaneeli tüüp määratud eeldusel, kus plaatkonstruktsioonide (põranda- ja laekonstruktsioon) kogu helipidavusklass vastaks nõutud heliklassile +5 dB. Betoonseinate paksused on hinnatud eeldusel, kus betoonseinas toimiv helipidavusklass vastab nõutud heliklassile +10 dB.

Viited:

*) Käsiraamatu alajaotus 2.6: Ühendus massiivse konstruktsiooniga

Lähtematerjal, ühendused massiivsete konstruktsioonidega.

- [1] A-Insinöörit Suunnittelu Oy. Raport 1613303.3.
- [2] S. Ljunggren: "Sound Insulation of Buildings with Large Slabs". *Acustica*, 1986 (60), s. 135-143.
- [3] S. Ljunggren: "Airborne Sound Insulation of Thin Walls". *Journal of the Acoustical Society of America*, 1991 (89), s. 2324-2337.
- [4] S. Ljunggren ja B. Ottosson: "Sound Insulation in Buildings of Concrete. Comparisons of Calculated and Measured Values". *ACTA ACUSTICA* 1995 (3), s. 59-65.
- [5] S. Ljunggren: "A New Quiet House in Stockholm". *ACTA ACUSTICA* 1995 (3) s. 283-286



Pilt: Olemasolev (vasakul) ja parandatud (paremal) kergkonstruktsioonsein.