

Ingrid Leemet, Maris Vohta

LEEVENDUSMEETMED TRAMMI MÜRA JA VIBRATSIOONI VÄHENDAMISEL

Sissejuhatus

Trammiliiklus linnakeskkonnas võib tekitada häirivat müra ja vibratsiooni (eriti pöörangutel ja ristmike piirkonnas), mis võib mõjutada nii elukvaliteeti kui ka ehitiste ja taristu pikaajalist vastupidavust. Trammiliikluse vibratsiooni mõjuala on ulatuselt selgelt väiksem kui rongiliikluse puhul, kuid teisalt asuvad tihti ümbritsevad hooned trammiteele palju lähemal, mis võib põhjustada hoonetes vibratsiooni sh ka struktuurimüra häiringuid.

Leevendusmeetmed

Planeeritava rööbastee leevendusmeetmed, isolatsioonimaterjalid ning konstruktsiooni lahendused tuleb välja selgitada projekteerimise edasises etapis, kui on teada täpsed teostusjoonised, maapinna geoloogia, trammi tehnilised andmed ning trammitee tee konstruktsiooniline lahendus.

Vibratsiooni ja struktuurimüra leevendusmeetmetena kasutatakse järgmisi tehnoloogiaid:

- **Elastsed padjad (elastic rail pads/under-rail pads/baseplate pads)**

Elastne materjal paigaldatakse rööbaste ja nende kinnituste, alusplaadi, liiprite vahele, et vähendada ratta ja rööpa vahelist kokkupuudet ning sellest tulenevat müra ning vibratsiooni. Leevendab enamjaolt kõrgsageduslikku vibratsiooni, madalsagedusliku vibratsiooni osas (vibratsioon, mis kandub valdavalt hoonetesse) ei paku see meede märkimisväärset kaitset.



Foto 1, 2 Elastse materjali paigutus (allikas: <https://www.getzner.com>)

- **Ballastmatid (under-ballast mats)**

Elastsed ballastmatid paigaldatakse trammitee ballastkihi (killustikukiht rööbaste alla) ja aluspõhja (nt betoonalus) vahele, kus nad toimivad amortisaatoritena, et vähendada staatilisi ja dünaamilisi jõude, mis tekivad rongiliikluse tõttu. Need matid aitavad ühtlustada koormuste jaotust aluspinnale, vähendades vibratsiooni levikut ja pikendades raudteetaristu eluiga. Nad neelavad ja hajutavad energia enne, kui see kandub sügavamale pinnasesse või ümbritsevatesse hoonetesse. Ballastmatte on lihtne paigaldada, kuid meedet peetakse mõõdukaks leevendusmeetmeks, mis sobib lihtsamaks vibratsiooni leevenduseks.

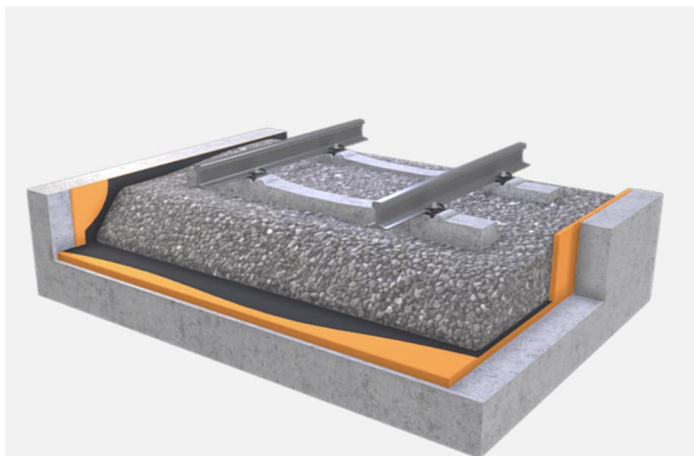


Foto 3. Elastne matt trammitee ballastkihi all (allikas: <https://www.getzner.com>)

- **Integreeritud rööpasüsteemid**

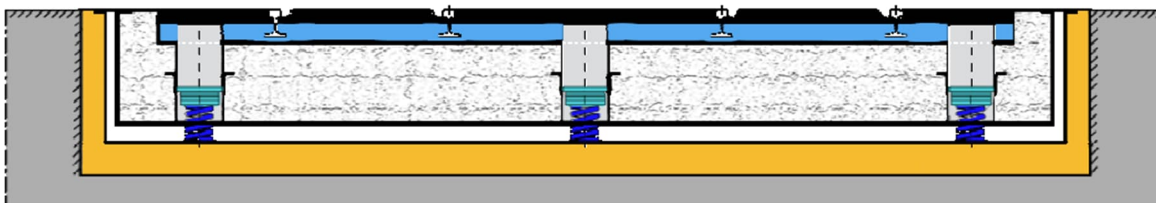
See süsteem hõlmab rööbaste paigaldamist elastsete materjalide ja betoonkanali sisse, mis võimaldab vähendada kontaktmüra ja väiksemat vibratsiooni, kus pole kõrgendatud nõudeid ning pikendada rööbastee eluiga.



Foto 4. Integreeritud rööpasüsteem (allikas: <https://www.edilonsedra.com>)

- **"Ujuv" süsteem**

Üks tõhusaimaks lahenduseks struktuurimüra ja vibratsiooni vähendamisel peetakse nn "ujuvat" trammitee konstruktsiooni. Elastne isolatsioonimaterjal asetatakse rööbastee alusplaadi alla ja külgedele. Paindlik isolatsioonimatt eraldab rööbastee alusplaadi maapinnast allpool ja külgnevatest tänavapinna konstruktsioonidest ning summutab tõhusalt vibratsiooni ja struktuurimüra levikut lähedale asuvatele hoonetele. Isolatsiooni saab rakendada kas rööbiti (kaks paralleelset plaati) või ühe lahendusena, kus mõlemad rööpad on ehitatud samale ujuvale plaadile. Alusplaadi külgedele mõeldud küljemattide (*side mats*) ülesanne on katkestada vibratsiooni levikutee tänava konstruktsioonides. Ujuvat lahendust kasutatakse eriti tihedalt hoonestatud ja müratundlike hoonetega aladel. See lahendus summutab nii kõrgsageduslikku kui madalsageduslikku vibratsiooni. Elastseid kihte saab valida vastavalt jäikusele ja sagedusvahemikule.



Skeem 1. Ujuva lahenduse läbilõige (allikas: Wagner, Hermann Floating Slab Track above ground for Trams in Tram Lines, 2007)

Seda süsteemi nimetatakse ka mass-vedru süsteemiks (*mass-spring system*). Süsteem isoleerib kogu rööbasteeploki maapinnast, vedrud ja elastsed kihid neelavad ja hajutavad energia, enne kui see jõuab maapinda või lähedalasuvatesse hoonetesse. Tulemuseks on tõhus vibratsiooni ja müra isolatsioon.

Tõhus isolatsioon saavutatakse siis, kui süsteemi loomulik sagedus (f_0) on vähemalt kaks korda madalam kui oodatavad vibratsioonisagedused. Näiteks kui raudteetransport tekitab vibratsioone sagedusvahemikus 40–80 Hz, kuid teatud juhtudel isegi juba alates 10 Hz. Peab süsteemi f_0 olema 5–8 Hz, et summutada kogu vibratsioonispektrit tõhusalt.

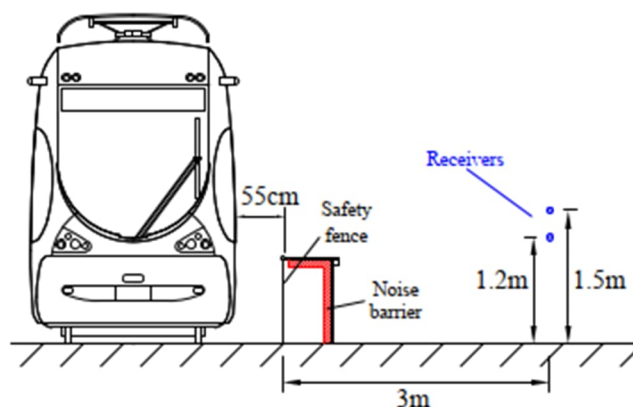
Kui trammirööpad on tänava osa, peavad need taluma ka autode ja veoautode raskust. Süsteemi dünaamiline läbipaine sõidukite mõjul (dünaamiline läbipaine näitab, kui palju rööbastee ajutiselt alla vajub kui sellele mõjub liikuva sõiduki kaal) peab olema väike (mõned millimeetrid), tagamaks sujuva ja ohutu liikluse. Selleks tuleb tänava ja paigaldatava süsteemi vahele jääva vahe (tühimik) samuti täpselt kavandada.



Foto 5, 6. Mass-vedru süsteemid (allikas: <https://www.getzner.com>)

Välisõhus leviva müra vähendamiseks, kaitsmaks vahetult teede/tänavate äärde jäävaid müratundlikke alasid, on peamiseks meetmeks mürakaitseekraanid. Mürakaitseekraanide rajamine linnakeskkonda võib olla keeruline, kuna keskkond ise seab ette piirangud.

On tehtud katsetusi (<https://core.ac.uk/download/pdf/48318155.pdf>), kus trammiteede äärde on rajatud madalad L-kujulised müratõkkeseinad, trammitee poolel on ekraan helineelav. Müra vähenemine oli keskmisel 10–13 dB (A), kaugemal 4–7 dB (A).



Skeem 2. Madala müratõkkeseina prototüübi skeem (allikas: *In situ measurement of the acoustic performance of a full scale tramway low height noise barrier prototype*)

Toodetakse ka vastavaid paneele, mida saab paigaldada trammiteede äärde. Need tõkked on kõrgusega umbes 850 mm ja suudavad vähendada müra ekraani taga kuni 10 dB(A).



Foto 7. Soundim madal müratõkkesein, Malminkartano, Helsinki, Soome (allikas: <https://www.soundim.fi/>)

Trammitranspordi puhul tekib veel eriline müraallikas, mis esineb kitsastes kurvides ja pöörangutel. See heli on kõrge (võib olla 100 dB (A) või enam), sisaldab tonaalsust, häirib oluliselt ümberkaudseid elanikke ja on sagedane kaebuste põhjus. Kui tramm sõidab kitsas kurvis, siis ratta liikumissuund ei ühti täielikult pöörderaadusega, tekib nurgaalne libisemine, mis põhjustab külgsuunalist hõõrdumist ratta ja rööpa vahel ning see tekitab häirivat heli. Kurvides/pöörangutes, mis on raadiusega alla 25 m, on sellise heli tekkimine suurema tõenäosusega. Lisaks suurendavad selle heli teket halvasti pööravad veermikud (bogid), ebasobivad rattaprofiil ja rööpapind, vale hõõrdetegur.

Tehnilised lahendused:

- Rööbaste määrimine, kus rööpa sisemist serva, mille vastu trammiratas kurvis surutakse, määratakse määrdeainega;
- Hõõrdemodifikaatorid (*top of rail friction modifiers*), kus rööpa ülemist pinda töödeldakse spetsiaalse ainega, mis vähendab häirivat müra;
- Ratta- ja rööpasummutid. Metallpindade vibratsiooni vähendatakse elastse materjaliga, mis kinnitatakse rööpa küljele või alla. Kasutada trammirastel summuteid või mürasummutavaid rattaid (Lucchini Soundproof Wheel).

- Pöördliikuga veermikuga trammid, mis vähendavad nurkset libisemist, võimaldades rattapaaridel pöörata kergelt kaasa kurvi suunaga.
- Õige profiiliga trammitree projekteerimine, et ratta ja rööpa kuju sobiksid paremini kokku ja veeremine oleks sujuvam.
- Mitte projekteerida kitsaid kurve ja pööranguid.