

Rail Baltic maakonnaplaneeringute KSH
aruanne
Lisa V – Müra ja vibratsiooni hindamine

13. märts 2017



TEHNILISE JÄRELEVALVE AMET



MAJANDUS- JA
KOMMUNIKATSIOONI-
MINISTEERIUM



Harju Maavalitsus



PÄRNU
MAAVALITSUS



Rapla Maavalitsus
Rapla County Government

Rail Balticu 1435 mm trassi Harju, Rapla ja Pärnu maakonnaplaneeringute teemaplaneeringute tehniline koostamine, asjakohaste detailplaneeringute, keskkonnamõju strateegilise hindamise ja keskkonnamõju hindamise ning raudtee eelprojekti ja raudteega seotud ehitiste eelprojektide koostamine

RAIL BALTIC MAAKONNAPLANEERINGUTE KSH ARUANNE

LISA V – MÜRA JA VIBRATSIOONI HINDAMINE

13. märts 2017

Käesoleva väljaande autor on selle eest ainuisikuliselt vastutav. Euroopa Liit ei vastuta selles sisalduva teabe mis tahes kasutamise eest.

SISUKORD

1.	Mära	4
1.1.	Siseriiklikud mära normväärtused	4
1.2.	Raudteemära normeerimise erisused Euroopa praktikas	7
1.3.	Raudtee liiklusproгноos	9
1.4.	Mära modelleerimise meetodika	11
1.5.	Mära modelleerimise tulemused	16
1.6.	Leevendavad meetmed	18
2.	Vibratsioon	28
2.1.	Ülevaade raudteest tingitud vibratsiooni mõjust	28
2.2.	Vibratsiooni piirväärtused ning ohutu vibratsiooni tase	30
2.3.	Vibratsiooni leviku hindamine	31
2.4.	Vibratsiooni vähendamise meetmed	33

1. MÜRA

1.1. SISERIIKLIKUD MÜRA NORMVÄÄRTUSED

Eestis on keskkonnamüra normväärtused kehtestatud keskkonnaministri 16. detsembri 2016. a määrusega nr 71 „*Välisõhus leviva müra normtasemed ja mürataseme mõõtmise, määramise ja hindamise meetodid*“. Määrus on kehtestatud atmosfääriõhu kaitse seaduse alusel ning reguleerib välisõhu müraolukorda (nt müratase hoone fassaadil või õuealal). Määrust ei kohaldata alal, kuhu avalikusel puudub juurdepääs ja kus ei ole püsivat asustust, ning töokeskkonnas, kus kehtivad töötervishoidu ja tööohutust käsitlevad nõuded.

Eesti seadusandluses kasutatakse normväärtustega võrdlemiseks müra hinnatud taset päeval ja öösel. Võrdlusperiood on üldjuhul pikaajaline aasta keskmine päeva ja öö müraolukord:

■ müra hinnatud tase päeval: L_d (7.00–23.00)

■ müra hinnatud tase öösel: L_n (23.00–7.00).

Müra hinnatud tase on etteantud ajavahemikus mõõdetud või arvutatud müra A-korrigeeritud ekvivalenttase, millele on tehtud parandusi, arvestades müra tonaalsust, impulssheli või muid asjakohaseid tegureid. Nt müra hinnatud tase päeval (L_d , 7.00–23.00) sisaldab õhtust aega (19.00–23.00), millele rakendatakse parandus-teguri +5 dB.

Lisaks pikaajalise keskmise müraolukorra normatiividele (ehk müra hinnatud tasemele) on kehtestatud ka lühiajalise maksimaalse mürataseme (nt ühe rongi möödumise hetkel esinev lühiajaline müratase) piirväärtused: $L_{pA,max}$ 85 dB päeval ja $L_{pA,max}$ 75 dB öösel. Lühiajaliselt on seega lubatud oluliselt kõrgem müratase, kui päeva või öö keskmisena.

Lühiajaline maksimaalne liiklusrüü on suhteliselt muutlik suurus (seda nii müra mõõtmisel kui ka modelleerimisel) ning reeglina seda liiklussituatsioonides normidega ei võrrelda. Üldjuhul ei ole maksimaalse hetkemüra normidega võrdlemine ka uute maantee- või raudteeprojekti puhul vajalik, kuna tiheda liiklusköormuse (sh kaubaveod) korral saab piiravaks teguriks päeva või öö nn keskmine mürafoon (ehk ekvivalentne või hinnatud müra tase).

Müra normatiivsuse hindamisel jaotatakse hoonestatud või hoonestamata alad üldplaneeringu alusel 4 kategooriasse:

- I kategooria – virgestusrajatiste maa-alad ehk vaiksed alad;
- II kategooria - haridusasutuste, tervishoiu- ja sotsiaalhoolekandeasutuste ning elamu maa-alad, rohealad;

- III kategooria – keskuse maa-alad;
- IV kategooria – ühiskondlike hoonete maa-alad.

Eluhoonete piirkondades (eelkõige väikeelamute alad aga ka ulatuslikud korruselamute kvartalid linnades), kus ei paikne muu kõrvalfunktsiooniga (äri, teenindus, tootmine) alasid on üldjuhul asjakohane II kategooria alade nõuete rakendamine. Samad normid kehtivad ka linnasisestel tervishoiu- ja puhkealadel.

Multifunktsionaalsed linnakeskuse alad, kus integreeritult paiknevad korruselamud, teenidus- ja äripinnad, tuleb reeglina välisõhu müra normväärtuste rakendamisel lugeda III kategooria aladeks.

Vastavalt keskkonnaministri 16. detsembri 2016. a määrusele nr 71 kasutatakse planeeringutes ja projekteerimisel järgmisi müra normtasemete liigitusi (olenevalt konkreetsest situatsioonist rakendatakse erineva rangusega nõudeid):

- müra piirväärtus – suurim lubatud müratase, mille ületamine põhjustab olulist keskkonnanähäringut ja mille ületamisel tuleb rakendada müra vähendamise abinõusid;
- müra sihtväärtus – suurim lubatud müratase uute planeeringutega aladel. Planeeringust huvitatud isik tagab, et müra sihtväärtust ei ületata.

Uue raudteetrassi rajamisel seni mürast mõjutamata aladel tuleb reeglina aluseks võtta sihtväärtus, mis tagab head tingimused seni märkimisväärselt mürast mõjutamata keskkonnas.

Määruses toodud piirväärtuse saab aluseks võtta piirkondades, kus olemasolev liikluse müra foonitase on juba sama kõrge või isegi kõrgem kui kavandatava raudtee kasutamisel tekkiv müra.

Eraldi normatiivid on kehtestatud liiklus- ja tööstusmürale, raudteemüra hindamisel kasutatakse liikluse müra normatiive (eraldi raudteemüra norme ei ole Eestis kehtestatud).

Tabel 1.1. Eestis kehtivad liikluse müra normtasemed (müra hinnatud tase päeval/öösel, dBA).

Ala kategooria üldplaneeringu alusel	I virgestusrajatiste maa-alad ehk vaiksed alad	II haridusasutuste, tervishoiu- ja sotsiaalhoolekandeasutuste ning elamu maa-alad	III keskuse maa-alad IV ühiskondlike hoonete maa-alad
Müra sihtväärtus	50/40	55/50	60/50 65 ¹ /55 ¹
Müra piirväärtus	55/50	60/55 65 ¹ /60 ¹	65/55 70 ¹ /60 ¹

¹lubatud hoonete teepoolisel (raudteepoolisel) küljel

Lisaks müraalases seadusandluses defineeritud normtasemetele on antud projekti raames erinevate kriteeriumite lõikes kasutusele võetud mõiste projekti taotlustase.

Projekti taotlustaseme all mõistetakse eesmärgiks seatavaid keskkonnatingimusi, mis käesoleva projektiga kavandatava raudtee lähiümbruses tuleb tagada (läbi KMH protsessi). Projekti taotlustase ning keskkonnaministri määruse nr 71 sihtväärtus üldjuhul ühtivad, kuid esineb ka erandlike situatsioone, kus nimetatud mõisted ei kattu.

Projekti taotlustase: Mära puhul käsitletakse olulise negatiivse mõjuna keskkonnaministri 16. detsembri 2016. a määruses nr 71 „Välisõhus leviva müra normtasemed ja mürataseme mõõtmise, määramise ja hindamise meetodid“ toodud normväärtuste ületamist.

- Elamualade, elu- ja ühiskondlike hoonete ning linnasiseste puhkelalade puhul on valdavalt eesmärgiks tagada müra tase, mis on väiksem kui 55 dB päeval ja 50 dB öösel. Toodud väärtused vastavad eespool nimetatud keskkonnaministri määruse sihtväärtusele;
- Märkatava olemasoleva mürafooniga piirkondades (nt Pärnu linn, Tallinna ringtee piirkond ning Muuga sadamasse viiva olemasoleva raudtee ümbrus) ei saa eesmärgiks seada kõige rangemate müraalaste nõuete täitmist (kuna juba olemasolev mürafoon võib olla müra sihtväärtusest suurem) ning koosmõju hindamisel tuleb lähtuda leebematest nõuetest ehk 60 dB päeval ning 55 dB öösel (sh on hoonete teepoolsel küljel lubatud 65 päeval ning 60 dB öösel). Toodud väärtused vastavad eespool nimetatud keskkonnaministri määruse piirväärtusele.

Liiklusmüra normtasemed hoonete siseruumides

Situatsioonides, kus välisõhu normväärtuse tagamine ei ole tehnoloogilistel, majanduslikel või muudel (lokaalsetel) põhjustel leevendusmeetmetega saavutatav tuleb sihiks seada heade tingimuste tagamine hoonete siseruumides.

Liiklusest põhjustatud müra normtasemed elamute ja ühiskasutusega hoonete vaikust nõudvates ruumides¹:

- Ekvivalentne müratase ($L_{pA,eq,T}$) eluruumides päeval – 40 dB;
- Ekvivalentne müratase ($L_{pA,eq,T}$) magamisruumides öösel – 30 dB.

¹ Sotsiaalministri 04.03.2002 määrus nr 42 « Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid »

Tüüpiliselt jääb hoonete puhul hoone välispiirde heliisolatsioon vahemikku 25-35 dB, olenevalt ehituskvaliteedist erandjuhul ka väiksemaks ning reeglina on kõige nõrgemaks lülilik aknad ja akende kinnituskohad. Uute majade puhul on helipidavus üldjuhul parem (minimaalselt 30-35 dB).

Reeglina (eeldades konservatiivselt heliisolatsiooniks 25 dB) on eespool nimetatud eluruumide päevased normväärtused siseruumides tagatud juhul, kui välisõhu mürafoon ei ületa 65 dB, magamistoa siseruumide nõue on vastavalt tagatud juhul, kui öine välisõhu mürafoon ei ületa 55 dB.

Hoonete välispiirde heliisolatsiooni parandamine tagab head tingimused ööpäevaringselt hoonete siseruumides (sh öisel kõige tundlikumal ajal, mil praktikas ei ole välisõhu müra normväärtuse tagamine esmase tähtsusega). Sel moel (parandades just hoonete heliisolatsiooni) on tihti võimalik tagada konkreetsel alal oluliselt paremad elutingimused ning elukvaliteet kui raudtee äärde pikki müratõkkeseinu ette nähes.

Hoonete siseruumide tingimuste parandamine võib teatud situatsioonides olla eelistatud meede, kuna nt raudteest ca 200 m kaugusel asuvate hoonete puhul vähendab raudtee äärne müratõkkesein eluhoone asukohas müra ainult 3-5 dB, kuid hoonete heliisolatsiooni parandamine võib siseruumides tervikuna (sh magamisruumides) tähendada juba enam kui 10-15 dB akustiliste tingimuste paranemist ja seda olenemata hoone ja raudtee vahe- maast.

1.2. RAUDTEEMÜRA NORMEERIMISE ERISUSED EUROOPA PRAKTIKAS

Raudtee puhul ei ole Eestis siseriiklikult kehtestatud eraldi müra norme ning rakendada tuleb üldisi liikluse müra normväärtusi, mis ei arvesta raudtee mõningase eripäraga ning ei pruugi kõigis situatsioonides asjakohased olla.

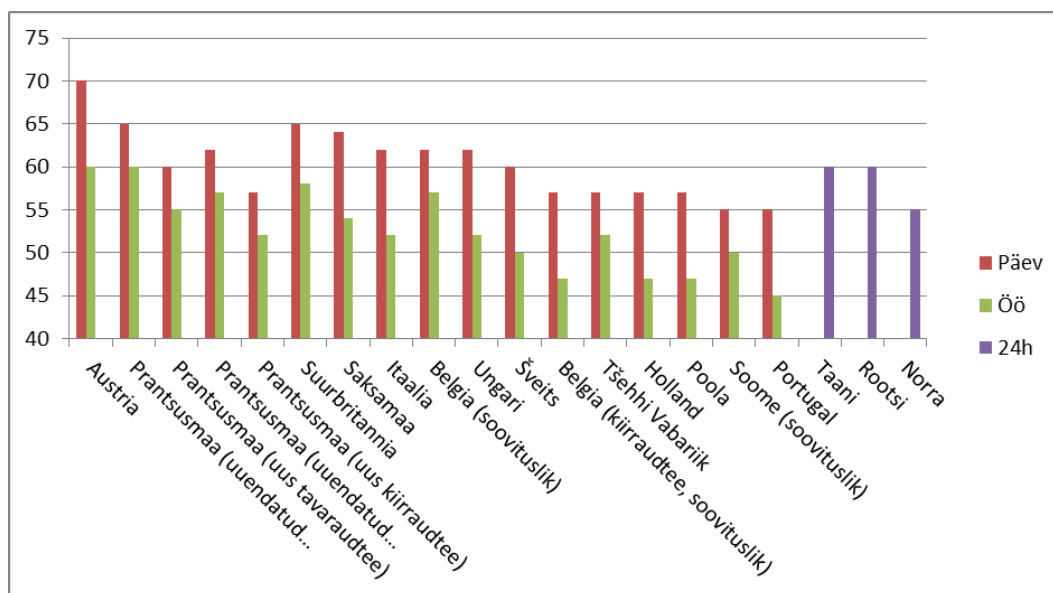
Raudtee- ning maanteemüra erinevus ilmneb eelkõige selles, et ka tiheda liiklusega maantee puhul on öine mürafoon ca 7-10 dB madalam kui päeval (sest maanteede öine liikluskõrgus on oluliselt väiksem kui päeval). Raudtee puhul ei ole harv aga ka vastupidine olukord, kus öine mürafoon on kaubarongide öise liiklemise tõttu kohati sama suur või isegi pisut suurem kui päeva keskmine müratase. Tihti on läbilaskevõime jaotumisest tingituna öine ja päevane mürafoon raudtee puhul ligikaudu samaväärsed.

Mitmetes euroopa riikides on kasutusel eraldi raudteemüra normid, mis on reeglina leebemad kui vastavad autoliikluse normväärtused. Näiteks Austria ja Saksamaa rakendavad juba müra hindamise faasis -5 dB parandust raudteemüra puhul (võrreldes maanteemüraga). Leebemad normid tulenevad eeldusest, et raudteemüra on reeglina mööduv ning lühiajaline häiring, mis erinevalt päeva lõikes pidevast liikluse mürast, võib kokkuvõttes põhjustada

väiksema häiringu². Inimeste öise unehäiringu võrdlemisel on leitud, et tavapärane liiklusrumür võib teatud juhtudel olla koguni 8-12 dB võrra häirivam kui vastava tasemega raudteemüra häiring. Juhul kui raudtee sõidugraafik on äärmiselt tihe (nt möödumised iga 5 või 10 minuti järel) võib raudteemüra samuti pidevaks häiringuks lugea ning sel juhul on liiklusrumüra samaväärsete normide rakendamine selgemalt põhjendatud.

Antud juhul näeb projekteeritava raudtee liiklusprognoos ette pigem keskmist või isegi madalat liiklusintensiivsust (päevasel ajal kahes sõidusuunas kokku maksimaalselt 2-3 rongi möödasõitu tunnis, öisel ajal 1-2 möödumist tunnis), mistõttu raudteemüra käsitlemine tavapärasest liiklusrumürast erinevalt võib olla põhjendatud.

Valdavalt jääb Euroopas (vt alljärgnev graafik³) uute raudteeliinide puhul müra normatiivsuse hindamisel öine sihttase vahemikku 52-57 dB. Praktikas on öise ekvivalentmüra normina tihti kasutusel ka 55 dB. Alla 55 dB öise mürafooniga (öine ekvivalenttase) piirkondades ei loeta müratõkete rajamist reeglina otstarbekaks, kuna iga järgneva dB vähendamine nõuab ebaproportsionaalselt suuri kulusi müratõkke pikemaks või kõrgemaks ehitamiseks ning saavutatav lisaefekt (täiendav mürahäiringu vähenemine) on tihti vaevu märgatav.⁴



² Exploring bearable noise limits and emission ceilings for the railways. Part I: National and European legislation and analysis of different noise limit systems. UIC Project „Bearable limits and emission ceilings“

³ A Study of European Priorities and Strategies for Railway Noise Abatement. Annex I. Retrieval of Legislation, EU Commission, Directorate-General for Energy and Transport

⁴ Bearable railway noise limits in Europe. F.B.J. Elbers, E. Verheijen, 2013

Joonis 1.1. Raudteemära normväärtused Euroopa riikides

Uute raudteeliinide rajamisel kasutatav päevane normväärtus varieerub Euroopas laias vahemikus ehk 55-70 dB, samuti jääb öine normväärtus laia vahemikku ehk 45-60 dB. Sealhulgas jääb valdav osa normväärtustest päeval vahemikku 57-62 dB ning öösel 52-57 dB.

Võrdlusena võib vaadata ka põhjamaade normväärtusi, nt Soomes on uute raudteeliinide raudteemära sihtväärtus (guideline) öösel 50 dB (ekvivalenttase), kuid reaalselt kasutatakse leevendavate meetmete rakendamise kriteeriumina ekvivalentmära väärtust 55 dB.

Rootsis eraldi normväärtusi päeva ja öö kohta ei ole kehtestatud, uute raudteetrasside müra hindamisel võetakse sihtväärtuseks 55 dB öösel (ekvivalenttase), olemasolevas raudteekoridoris on lubatud ka kõrgem mürafoon ehk 60 dB ööpäevaringselt.

1.3. RAUDTEE LIIKLUSPROGNOOS

Peamine raudteega seotud mürahäiring esineb pikkade kaubarongide möödumisel, eriti juhul, kui raudtee läbilaskvuse piiratuse tõttu jääb suur osa kaubarongide liiklusest öisele ajale (23.00-7.00). Reisirongid (kiirrongid) liiguvad valdavalt päevasel ajal.

Tehnilise Järevalve Ameti andmetel (liiklusandmete koostamisel lähtuti AECOM'i tasuvusuuringust) võib kaubarongide liikluskoormuseks kujuneda 8 rongipaari ööpäevas, mis tähendab kahes suunas kokku 16 kaubarongi möödumist. Maksimaalne rongikoosseisu pikkus on 750 m, keskmine kaubaveo kiirus 70 km/h (mürahinnangus lähtutakse pisut suuremast kiirusest ehk 80 km/h).

Lühemakoosseisuliste kiirreisirongide liiklussageduse määramisel arvestati väljumistega iga 2 tunni tagant ajavahemikus 6.00-24.00 (AECOM'i tasuvusuuringule tuginedes), mis tähendab kahes suunas kokku 20 kiirrongi möödumist ööpäevas. Rongikoosseisu maksimaalne pikkus on kuni 400 m (keskmine pikkus 250 m), maksimaalne sõidukiirus peatuste vahelisel alal on kuni 220 km/h (millest lähtutakse ka mürauuringus), keskmine kiirus peatuste vahelisel alal ca 200 km/h.

Võimalikest liiklusgraafikutest nähtub, et kõige olulisema mürahäiringu põhjustajaks võib kujuneda kaubarongide liiklus öisel ajal. Kiirreisirongid on tervikuna väiksemad mürahäiringu põhjustajad, kuna liiguvad valdavalt päeval (päevasel ajal on lubatud kõrgem mürafoon ehk müra normväärtused on leebemad) ning reisirongide

möödumise aeg (ehk mürahäiringu ilmnemise aeg) on oluliselt lühem.

Erinevalt kaubarongidest on kiirreisorongide puhul tegemist eranditult uue veeremipargiga, mis erinevalt vanemast (enne 2000ndaid toodetud) veeremist vastab rangematele üle-euroopalistele veeremile kehtestatud müra normväärtustele.

Vastavalt Tehnilise Järeelvalve Ameti poolt esitatud liiklusproгноosile võeti müraarvutustes aluseks alljärgnevates tabelites toodud stsenaariumite kohased liiklussagedused. Lisaks kiir- ja kaubarongidele analüüsiti ka regionaalrongide võimaliku lisandumise varianti.

Tabel 1.2. Stsenaarium 1 (ilma regionaalrongiliikluseta variant).

Rongi tüüp	Päev (7-19)	Õhtu (19-23)	Öö (23-7)
Kiirrongid	14	3	3 ¹
Kaubarongid	10	3	3

- Regionaalrongiliiklust ette ei nähta.
- Kaubarongid liiguvad valdavalt päeval.
- Kiirreisorongid väljuvad valdavalt päeval ajal ajavahemikus 6.00-24.00, mis osaliselt (2 tunni ulatuses) jääb öisele ajavahemikule (23.00-7.00)

Tabel 1.3. Stsenaarium 2 (regionaalrongiliiklusega variant).

Rongi tüüp	Päev (7-19)	Õhtu (19-23)	Öö (23-7)
Kiirrongid	14	3	3
Regionaalrongid	3	2	0
Kaubarongid	3	4	9

- Regionaalrongiliiklus toimub päeval ajal.
- Kaubarongid liiguvad valdavalt öisel ajal.
- Kiirreisorongid väljuvad valdavalt päeval ajal ajavahemikus 6.00-24.00, mis osaliselt (2 tunni ulatuses) jääb öisele ajavahemikule (23.00-7.00)

Mära mõju hindamisel kujuneb määravaks stsenaarium 2, mille kohaselt kaubarongid liiguvad valdavalt öisel ajal (öised müra normid on rangemad). Seetõttu keskendutakse mõju hindamise ning leevendusmeetmete väljatöötamisel just sellele (maksimaalse mõjuga) stsenaariumile.

1.4. MÄRA MODELLEERIMISE METOODIKA

Raudteemürast tingitud müra levik arvutati (modelleeriti) rahvusvaheliselt tunnustatud müralevi modelleerimise spetsiaaltarkvaraga SoundPLAN7.4 (Braunstein+Berndt GmbH, <http://www.soundplan.eu/>), mida kasutatakse laialdaselt keskkonnamüra leviku hindamiseks (sh raudteeprojektides) ning Euroopa Komisjonile esitatavate strateegiliste mürakaartide koostamisel.

Arvutusmeetodina kasutati Põhjamaade rongimüra arvutusmeetodit (Railway Traffic Noise: The Nordic Prediction Method - TemaNord No. 1996-524), mis sisaldab andmeid nii reisirongide kui ka erinevate diisel- ning elektrimootoriga kaubarongide kohta. Kaubarongide müra modelleerimisel kasutati rongitüüpi S-GoodsDi, mille emissiooniandmed põhinevad Rootsisis perioodil 1982-1993 teostatud T44 tüüpi veduritega kaubarongide müra mõõtmistulemustel, hõlmates andmeid nii elektri- kui ka diiselledurite kohta.

Reisirongide (nii rahvusvaheliste- kui ka regionaalrongide puhul) lähtuti müra modelleerimisel Rootsisis kasutusel olevast rongitüübist X60 (kasutuses alates 2006a), mis on mõnevõrra kaasaegsem kui näiteks samuti mudelis sisalduv X2000 rongitüüp (kasutuses alates aastast 1990) ja vastab paremini perspektiivse raudtee nõuetele (sh müranõuetele).

Samas on reisirongide müraemissioon ning vastavalt ka osakaal koosmõju hindamisel vähem oluline, kuna kriitilisemad situatsioonid on seotud eelkõige pikkade kaubarongide liiklemisega (eriti öisel ajal kui kiirrongide liiklus on minimaalne).

Perspektiivseid regionaalronge puudutavad andmed on müra koosmõju hindamisel teisejärgulised (ning modelleerimisel kasutati samuti X60 andmeid), kuna regionaalrongide liiklussagedus on oluliselt väiksem, öisel ajal regionaalronge ei liigu, rongikoosseis on lühem ning ka sõidukiirus madalam.

Kaubarongide müra

Raudtee valmimise järgse müraolukorra ülehindamine võib olla põhjustatud eelkõige kaubaronge puudutavatest andmetest, kuna arvutusmudelis sisalduvad kaubarongide emissiooniandmed on suhteliselt vanad (1980-90ndatest). On ka selge, et mudelis sisalduvad andmed ei saa kõige uuemaid või alles tootmisjärgus olevaid ronge kirjeldada, kuna sisend peab põhinema juba kasutuses olevate rongide müra reaalsel mõõtmistulemustel, lisaks nõuab mudeli rakendamine teatud testperioodi.

Antud juhul on raudtee eeldatava valmimise ajaks (varasemalt 2024-2025) arvutusmudelis sisalduvad kaubarongide andmed juba enam kui 30-40 a vanused ehk sisuliselt on modelleerimisel aluseks

oleva veeremi (eelkõige vagunid) eluiga selleks ajaks juba lõppenud või peagi lõppemas.

Samuti ei arvesta arvutusmudel uutele ja uuendatavatele kaubavagunitele alates 2006. aastast kehtivate üle-euroopaliste müraemissiooni piirangutega (TSI müranõuded)⁵, mis reeglina tagab 6-10 dB võrra väiksema müraemissiooni võrreldes vanema veeremiga. Tänu kaasaegsele pidurisüsteemile (uutele vagunitele ei paigaldata reeglina malmklotspidureid) vastavad TSI nõuetele juba ka mõned aastad varem Euroopa Liidus toodetud ehk suur osa 2000. aastal või hiljem ringlusse jõudnud vagunitest.

Veeremile esitatavate müranõuete tagamine on reeglina saavutatav kaasaegse pidurisüsteemi kasutamisel (malmklotspidurite asemel liitmaterjalist klotspidurite või ketaspidurite paigaldamisel) ja seda nii uue veeremi puhul kui ka vanemat tüüpi veeremi uuendamisel. Vanemate kaubarongide pidurisüsteemi modifitseerimine võeti Euroopa raudteevõrgustikus raudteest tingitud müra vähendamisel prioriteediks juba 1998⁶, kuid protsess kulgeb aeglaselt.

Uuele (ja uuendatavale) veeremile esitatavate müranõuete regulaarne ülevaatamine⁷ ning rangemaks muutmine on pidev protsess, mis tähendab, et Rail Baltic trassi võimaliku valmimise ajal (hinnanguliselt 2024-2025) kehtivad tänasest regulatsioonist veelgi rangemad nõuded ning vastavalt on ka tegelikud müra mõjutsoonid oluliselt väiksemad. Lisaks kaalutakse Euroopa Liidu siseselt ka vanema veeremi kaasamist müraregulatsiooni alla, kuid selles osas (2015-2016) veel selget kokkulepet ei ole.

Hetkel kehtivad rangemad müraalased nõuded siiski ainult uutele ja uuendatavatele kaubavagunitele ning teoreetiliselt on võimalik ka situatsioon, kus mingi perioodi (nt tüüpilise kaubavagunite eluea lõpuni) liigub trassil vähemalt osaliselt ka vanem veerem. Tüüpilise vagunite eluea korral (40 aastat) on raudtee valmimise ajaks (varasemalt 2024-2025) kasutusest väljas (eluea lõppemise tõttu) valdav osa enne 1985. aastat käibele lastud kaubavagunitest.

⁵ KOMISJONI OTSUS, 23. detsember 2005, mis käsitleb üleeuroopalise tavaraudteevõrgustiku alasüsteemi „veerem – müra“ tehnilisi koostalitlusnõudeid (teatavaks tehtud numbri K(2005) 5666 all) (2006/66/EÜ) (ELT L 37, 8.2.2006).

⁶ Freight Traffic Noise Reduction Action Programme. The International Union of Railways (UIC), the Community of European Railways and Infrastructure Companies (CER) and the International Union of Private Car Owners (UIP), 1998

⁷ COMMISSION REGULATION (EU) No 1304/2014 of 26 November 2014 on the technical specification for interoperability relating to the subsystem 'rolling stock – noise' amending Decision 2008/232/EC and repealing Decision 2011/229/EU

Kaubaveeremi uuenemise (ja uuendamise) prognooside⁸ kohaselt võib olemasolevatele kaubarongidele rangemaid müranõudeid rakendamata ehk ainult regulaarse raudteeveeremi uuenemise korral (nõ nullstsenaarium) vanema ehk mürarikkama veeremi (enne ca 2000. a toodetud) osakaaluks aastal 2020 kujuneda kuni ca 50%. Aastateks 2024-2025 on prognoositud vanema ning mürarikka veeremi osakaaluks 30-35%.

Lisaks viiakse Euroopa Liidus regulaarselt ellu vanemate ning mürarikkamate kaubavagunite pidurisüsteemide väljavahetamise poliitikat⁹ ning sellest tulenevalt võib raudtee valmimise ajaks järelejäänud vanema ning uuendamata veeremi tegelik osakaal jääda oluliselt väiksemaks kui nullstsenaariumi korral. Optimistlikumate prognooside kohaselt on selleks ajaks juba 100% Euroopa ühises raudteevõrgustikus liikuvast vanemast veeremist välja vahetatud või kaasaajastatud. Samas on kaubaveeremi uuendamine ja väiksemaks muutmine seni siiski suhteliselt aeglaselt tempos kulgenud (kuna tihti hoitakse veeremit kasutuses ka kauem kui 40 aastat) ning kõige optimistlikumaid prognoose ei ole alust lähtepunktiks võtta.

Hetkel on keeruline öelda, millises osakaalus hakkavad Rail Baltic raudteed kasutama uuemad ja/või vanemad kaubavagunid. Optimistlikumate prognooside kohaselt jääb raudtee valmimise ajaks vanema ning mürarikkama veeremi osakaal vahemikku 0-30%. Mära modelleerimisel lähtutakse konservatiivsest eeldusest, et raudtee kasutusperioodiks on Euroopa suunal liikuvast kaubaveeremist vanema ning mürarikkama veeremi osakaal jätkuvalt suurusjärgus 50%.

Vanema veeremi osakaal jätkab vähenemist ka raudtee valmimisele järgnevatel opereerimisaastatel. Pikas perspektiivis (2030-2040 ja hiljem) on selge, et reaalne mõju jääb väiksemaks kui praeguse informatsiooni põhjal prognoositakse, kuna vanem veerem jääb mingil ajahetkel täies ulatuses kasutusest välja juba oma eluea lõppemise tõttu.

⁸ COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT accompanying the COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL Rail noise abatement measures addressing the existing fleet Impact Assessment report {COM(2008) 432 final} {SEC(2008) 2204}

⁹ DIRECTORATE GENERAL FOR INTERNAL POLICIES. POLICY DEPARTMENT B: STRUCTURAL AND COHESION POLICIES. TRANSPORT AND TOURISM. REDUCING RAILWAY NOISE POLLUTION. STUDY. Brussels, European Union, 2012.

Võrreldes olemasoleva kaubarongide veeremiga võib uute (ja uuendatud) rongide müraemissioon olla suurusjärgus 6-10 dB (kohati ka enam) väiksem¹⁰, mis tähendab juba väga suurt erinevust ka mõjutsoonide ulatuses ning muudab paljudes piirkondades leevendavad meetmed reaalselt mittevajalikuks. Mära modelleerimisel lähtutakse konservatiivsest eeldusest, et uus veerem on 6 dB väiksema müraemissiooniga kui vana.

Leevendavad meetmed määratakse hetkel teadaoleva parima informatsiooni kohaselt ning lähtudes konservatiivsetest eeldustest (vältimaks võimalikku mõju alahindamist, mis omakorda toob tõenäolist kaasa perspektiivse mõju selge ülehindamise), võib öelda, et reaalselt tagatakse raudtee lähiümbruse aladel paremad tingimused, kui projektile esitatavad miinimumnõuded ette näevad.

Tõenäoliselt võib KSH raames toodud müra modelleerimise puhul esineda perspektiivse müraolukorra ülehindamine 2-5 dB ulatuses ning pikas perspektiivis (aastateks 2035-2040, mil vanem kaubavagunite veerem on suuresti kasutusest väljas) võib müraolukorra ülehindamine küündida suurusjärku 5 dB või rohkem.

Mära modelleerimise arvutusparameetrid

Raudteemära arvutustes kasutatud arvutusparameetrid:

- arvutusstandard: *Railway Traffic Noise: The Nordic Prediction Method - TemaNord No. 1996-524*,
- kaubarongi tüüp mudelis: S-GoodsDi,
- rahvusvahelise ja regionaalrongi tüüp mudelis: X60,
- raudtee tüüp: liiprid ballastil,
- kiirrongide sõidukiirus 220 km/h,
- kaubarongidel sõidukiirus 80 km/h,
- regionaalrongide sõidukiirus 160 km/h;
- kiirrongide keskmine pikkus: 250 m,
- kaubarongide pikkus: 750 m,
- regionaalrongide pikkus 150 m,
- ketaspiduritega või uuendatud klotspiduritega (LL-blocks, K-blocks) kaubarongide osakaal 50%,
- malmklotspiduritega vanemat tüüpi kaubarongide osakaal 50%,

¹⁰ Real noise reduction of freight wagon retrofitting Supporting communication on noise reduction. Synthesis report. Union Internationale des Chemins de Fer. January 2013 final (update)

- meteoroloogiline tingimused: allatuult mära levik (mära levikut soodustavad tingimused),
- maapinna helineelduvustegur (skaalal 0...1): valdavalt looduslik pinnas (koefitsient 1 ehk akustiliselt pehme helilainete levikut mõningal määral summutav pinnas), maanteed ja veekogud on defineeritud kui helilaineid peegeldavad pinnad (koefitsient 0),
- mära levikut tõkestavate objektidena on mudelis arvestatud hoonetega,
- mära levikut tõkestavate objektidena ei ole mudelis arvestatud tihedate haljasaladega, mis tegelikkuses võivad teatud kaitset pakkuda.

Teatud piirkondades (märkimisväärse olemasoleva liiklusrumma fooniga alad) tuleb hinnata ka kavandatava raudtee koosmõju olemasoleva maantee- ning raudteemüraga. Koosmõju võetakse arvesse kui kavandatava raudtee lähedusse (ca 1 km raudteest) jääb maantee, mille aasta keskmine ööpäevane liikluskogumus (AKÖL) on vähemalt 1500-2000 sõidukit ööpäevas või raudtee, millel toimub kaubarongide liiklus (sh öine kaubavedu).

- Maanteede puhul lähtutakse Maanteeameti 2015. a liiklusloenduse tulemustest (sh raskeveokite osakaal ja lõigu piirkiirus)¹¹;
- Raudtee puhul võeti aluseks AS Eesti raudtee poolt kehtestatud liiklusgraafik perioodiks 2015-2016¹².

Liiklusrumma arvutamiseks kasutati Prantsusmaa siseriiklikku arvutusmeetodit "NMPB-Routes-96", mis on Euroopa Parlamendi ja Nõukogu keskkonnamära hindamise ja kontrollimisega seotud Direktiivis 02/49/EÜ (5. juuni 2002) toodud soovituslik arvutusmeetod liikmesriikidele. Autoliikluse puhul eeldati järgnevat liikluse jaotumist ööpäeva lõikes:

- 7.00-19.00 – 78% aasta keskmisest ööpäevasest liikluskogumusest,
- 19.00-23.00 – 14% aasta keskmisest ööpäevasest liikluskogumusest,
- 23.00-07.00 – 8% aasta keskmisest ööpäevasest liikluskogumusest.

Kumulatiivse märaolukorra hindamisel ei arvestata tööstusettevõtete müraga, kuna summaarse märaolukorra hindamisel summeeritakse ainult sarnaste müraallikate poolt tekitatav müra (ehk summaarse liiklusrumma hindamisel summeeritakse ainult liiklus ja raudteemära). Tööstusmürale kehtivad eraldi normatiivid ning

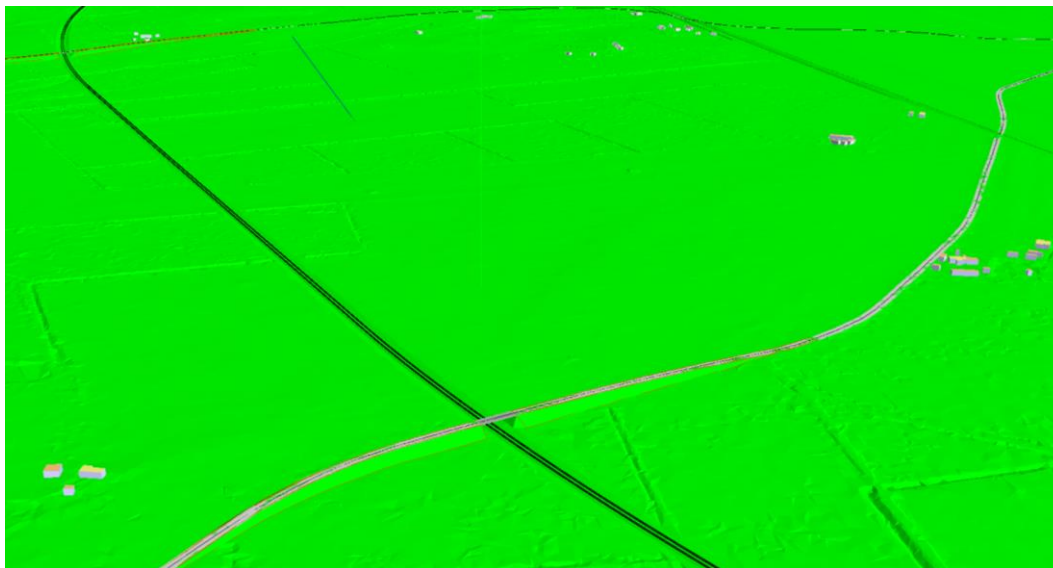
¹¹ http://www.mnt.ee/public/liiklusloendus/Lisa_6-8_2015.pdf

¹² <http://www.evr.ee/kliendile-ja-partnerile-liiklusgraafikuperiood-20152016-liiklusgraafikud>

tööstus- ja liiklusmära summale ei ole norme kehtestatud (kuna müraallikad ja nende iseloom on erinevad).

Maastikumudel

Mära modelleerimiseks koostati kolmemõõtmeline maastikumudel Lidar andmete (kõrguspunktide) ning raudtee tehnilise lahenduse vertikaalprofili kohaselt. Lisaks arvestati ka projekteeritavate maanteedest ristumistega.



Joonis 1.2. Väljavõtte müra modelleerimise tarkvara (SoundPLAN) kolmemõõtmelisest maastikumudelist

1.5. MÜRA MODELLEERIMISE TULEMUSED

Raudteemürast tingitud müra leviku kaardid (Lisa V-3. Mürakaardid) kirjeldavad järgmist olukorda:

- Eraldi mürakaardid päevase (7.00-23.00) ja öise (23.00-7.00) müraolukorra kohta;
- Kavandatava Rail Baltic raudtee liikluskoormus vastavalt stsenaariumile 2 (maksimaalse mõjuga stsenaarium);
- Kavandatava raudtee äärde on ette nähtud müratõkkerajatised, mis tagavad müraolukorra vastavuse projektis eesmärgiks seatud taotlustasemele;
- Eelprojekti täpsusastmes on arvestatud, et kõik müratõkkerajatised on müratõkkeseinad, mis asuvad 3,8-4 m kaugusel rööpme teljest. Täpsustava projekteerimise käigus on teatud piirkondades võimalik müratõkke asendada nt muldvalli või mõne muu meetmega;
- Mürakaardid kirjeldavad koosmõju märkimisväärse olemasoleva liiklusmära tasemega maanteedest ja raudteedest;

- Lisaks on märkimisväärse olemasoleva liiklusrära tasemega maanteed ja raudteede lähimbruses mürakaardil näidatud (lokaalsete väljavõtetenä) ka olemasolev liiklusrära tase ilma Rail Baltic raudteeta, toomaks esile võimalikku muutust mürarolukorras.

Järgnevalt antakse ülevaade modelleerimistulemustest:

1. Mürasituatsioon päeval (7.00-23.00, päeva nn keskmine ehk ekvivalentne müratase)

- Taotlustaseme võimalik ületamine (välisõhu taotlustase 60 dB päeval) on piiritletud ca 60-70 meetri laiuse tsooniga raudteest. Trassikoridoris (ca 175 m raudtee teljest) võib valdavalt päevane välisõhu mürarfoon ületada 50 dB;
- Lähtudes päevasest maksimaalse arengustsenaariumiga kaasnevast mürast tuleb müratundlike aladel heade tingimuste tagamiseks leevendavad meetmed ette näha raudteele lähemal kui 60-70 m asuvate elamualade puhul. Lokaalsetest tingimustest (nt süvend või sild/viadukt) tulenevalt võib vajaliku puhverala suurus erineda;
- Päeval ajal tuleb nii hoonete sees kui ka välisõhus (õuealal) tagada head tingimused ehk taotlustasemele vastav olukord.

2. Mürasituatsioon öösel (23.00-7.00, öö nn keskmine ehk ekvivalentne müratase):

- Öö keskmine mürasituatsioon on kaubarongide ööpäevaringse liiklemise korral reeglina olulisem kui päevane mära, kuna öised normid on üldjuhul (tüüpiliselt 5-10 dB) rangeamad;
- Öise taotlustaseme (50 dB) ületamise ala võib ulatuda ca 210-230 m kaugusele raudteest (tasasel maastikul mära levikut takistavate objektide nagu müratõkked, ulatuslikud metsaalad või hoonestus puudumisel);
- Lähtudes öisest maksimaalse arengustsenaariumiga kaasnevast mürast tuleb müratundlike aladel heade tingimuste tagamiseks leevendavad meetmed ette näha raudteele lähemal kui 210-230 m asuvate elamualade puhul. Lokaalsetest tingimustest (nt süvend või sild/viadukt) tulenevalt võib vajaliku puhverala suurus erineda.

Müratundlike alade põhiselt on mürarolukorda ning leevendavaid meetmeid käsitletud leevendavate meetmete registris¹³.

¹³ KSH aruande Lisa III-6 Leevendavate meetmete register

1.6. LEEVENDAVID MEETMED

Mära vähendavad meetmed võib üldjoontes jagada kolmeks:

- müraemissiooni vähendamisega seotud meetmed (mära teke piiramine),
- müra leviku piiramisega seotud meetmed (mära tõkestamine),
- vastuvõtja või müratundliku alaga seotud lokaalsed meetmed (häiringute vähendamine).

Järgnevalt antakse ülevaade efektiivsematest, kulutõhusamatest ning seega praktikas normväärtuste tagamisel eelistatumatest meetmetest.

1. Eelisjärjekorras tuleb rakendada meetmeid, mis vähendavad müra teket kogu trassi ulatuses:

- Raudtee infrastruktuuri heas korras hoidmine, rööpa pealispinna sileduse tagamine, ballastkeha deformeerumise vältimine;
- Veeremi hea tehnilise seisukorra tagamine - rongirataste pinna sileduse tagamine, veeremi vananemisel võivad ratas-tele tekkivad ebatasasused (lamedad kohad) põhjustada suuremat müra teket;
- Kaubavagunite pidurisüsteemide kaasajastamine (malmklotspidurite asendamine ketaspiduritega) – meede on Euroopas prioriteediks raudteemürast tingitud mürahäiringute vähendamisel. Tegemist on aeganõudva protsessiga, mis leiab aset Rail Baltic projekti realiseerimisest sõltumata. Tõenäoliselt on raudtee valmimise ajaks (varasemalt 2024-2025) suur osa Euroopa suunal liikuvatest kaubavagunitest juba uute või rekonstrueeritud pidurisüsteemidega varustatud, seega meede rakendub osaliselt igal juhul. Hiljemalt aastateks 2035-2040 on ilmselt valdav osa Euroopas kasutatavast kaubaveeremist kaasajastatud või välja vahetatud;
- Veeremile rangemate möödasõidumära piirväärtuste (üle-euroopalised TSI nõuded) rakendamine – nõue kehtib hetkel (2016) ainult uuele või uuendatavale veeremile. Tõenäoliselt on raudtee valmimise ajaks (varasemalt ca 2024-2025) suur osa vanemast kaubavagunite veeremist juba kasutusest väljas, seega meede rakendub osaliselt igal juhul. Raudtee valmimise järgselt koheselt nõudena kehtestada ei ole tõenäoliselt võimalik, kuna võib esialgu piirata kaubavedude tasuvust. Hiljemalt aastateks 2035-2040 on ilmselt valdav osa Euroopas kasutatavast kaubaveeremist kaasajastatud või välja vahetatud ning kasutuses olev on peaaegu 100% kooskõlas TSI ühe rangemaks muutuvate müra piirväärtustega;

- Administratiivse meetmena võib perspektiivis kaaluda ka mürrarikaste vanemate kaubarongide liikluskoormuse piiramist (eelkõige öisel ajal) või mürrarikaste kaubavedude täiendavat maksustamist, mis ühest küljest võib vähendada huvi raudteevedude teostamise vastu (ning halvendada raudtee konkurentsivõimet transpordisektoris), kuid samas võib soodustada kiiremat üleminekut kaasajastatud ning vaiksemale kaubaveeremile;
- Sõidukiiruse vähendamine – öise kaubarongide sõidukiiruse vähendamine võib lokaalset olla efektiivne meede müra vähendamiseks, kuid madalama sõidukiiruse laiemal rakendamisel võib tekkida vastuolu raudtee läbilaskevõime ning optimaalse sõidugraafikuga. Ilmselt saab meedet kaaluda ja rakendada ainult üksikute suuremate tiheasustusalade läbimisel.

2. Kuna praegusel ajahetkel ei ole kindel kõigi eespool nimetatud ning prioriteetsete emissiooni vähendavate meetmete 100-protsendiline rakendumine vahetult raudtee valmimise järgselt tuleb teatud piirkondades ette näha ka passiivseid müra levikut tõkestavad meetmed:

- Eelisjärjekorras tuleb müra leviku piiramiseks kaaluda raudtee ehitamise käigus pinnasetööst üle jäävast materjalist muldvalli rajamist, mis on müra vähendamise efektiivsusest ligikaudu võrreldav sama kõrgusega müratõkkeseinaga. Meetme rakendamisega täiendavaid kulusid sisuliselt ei kaasne, plussiks on üleliigse pinnase kaugemale transportimise vajaduse puudumine. Miinuseks on küllaltki suure vaba maa-ala vajadus, mistõttu ei pruugi meede paljudes piirkondades siiski rakendatav olla;
- Kitsastes oludes võib efektiivse lahendusena paigutada muldvalli tippu täiendava müratõkke. Sel moel on väiksema maavajadusega võimalik tagada suurem tõkke koondkõrgus ning efektiivsem müra vähendamine;
- Kui muldvalli rajamine ei ole tehniliselt võimalik, tuleb ette näha müratõkkeseinad. Kuna müratõkkeseina on võimalik rajada raudteele oluliselt lähemale kui muldvalli siis võib samaväärse müra vähendamise efektiivsuse tagamiseks sein olla ka pisut madalam. Sildadel ja viaduktidel piisab reeglina 1,5-2 m kõrgusest müratõkkeseinast, tasapinnalise raudteelõigu puhul võib vajalik tõkke kõrgus küündida 3-4 meetrini (erandjuhul ka kõrgemaks);
- Müratõkkesein paigutatakse reeglina 3,8 m kaugusele rööpme teljest. Suuri sõidukiirusi lubava raudtee puhul tuleb lisaks müratõkke akustilistele parameetritele silmas pidada ka aerodünaamilisi aspekte (aerodünaamiline surve), millest tulenevalt on nõuded müratõkete omadustele reeglina rangemad kui tavapäraste liiklusmüra tõkete puhul (nt Saksa

Raudtee (DB) regulatsioon RIL 804.550114). Samuti tuleb vahetult raudtee kõrvale rajatavate müratõkkeseinte puhul vältida helilainete peegeldumisest (müratõkke ja rongi vahel) tingitud mürataseme tõusu. Selleks tuleb müratõkke raudtee poolisel küljel kasutada kõrge helineeldenäitajaga heli absorbeerivaid materjale¹⁵;

- Üldjuhul ei ole raudtee äärse ja mitusada meetrit pika müratõkkeseina rajamine õigustatud aladel, kus tõke pakuks kaitset ainult ühele eluhoonele. Reeglina ületavad 200-300 m pika müratõkkeseina rajamise kulud ühe elamumaa kinnistu väärtuse. Olenevalt seina pikkusest ja kõrgusest (ehk tehtud kulutusest) ja konkreetse elamumaa väärtusest võivad raudtee äärse mürabarjääri rajamiseks tehtavad kulutused ületada ka 2-3 kinnistu väärtuse. Üksiku eluhoone puhul on kulutõhus meede muldvalli rajamine (võimalusel) või lokaalsed meetmed kinnistu ulatuses (nt lokaalne tõke kinnistu piiril või hoonete välispiirde heliisolatsiooni parandamine);
- Optimaalse kõrguse (kuni ca 4 m) ning pikkusega (200-300 m ühe kinnistu kaitseks) müratõkkeseinad on efektiivsed üldjuhul raudteest kuni ca 150-200 m kaugusel asuvate alade kaitseks. Lähima 50-100 m tsoonis jääb müratõkke efektiivsus suurusjärku 10 dB ning efektiivsus langeb vahe-maa suurenedes. Kaugemal kui ca 200 m jääb optimaalsete parameetritega müratõkke efektiivsus üldjuhul väiksemaks kui 5 dB, mis muudab küsitavaks müratõkke rajamise ots-tarbekuse ning kaaluma peab teisi meetmeid müratundlikel aladel heade elutingimuste tagamiseks. Suurtel kaugustel efektiivse mürakaitse tagamiseks tuleks raudtee äärse mü-ratõkke pikkust ning kõrgust hüppeliselt suurendada;
- Kui müratõke vähendab teatud piirkonna mürafooni vähem kui 2-4 dB ei pruugi positiivne efekt inimese jaoks ka enam märgatav olla, samuti ei ole kindlasti tegemist kulutõhusa lahendusega kui vaadata müra vähendamiseks 2-4 dB võrra tehtava investeeringu maksumust (tihti võetakse müratõk-keseinte rajamise minimaalseks tasuvuspiiriks eeldatav müra vähenemine vähemalt 5 dB võrra);
- Võimaliku müra levikut tõkestava meetmena võib käsitleda ka lokaalset kõrghaljastust ning ulatuslikumaid metsaalasid. Tuntava müra vähendava efekti saavutamiseks peab kõrge haljastus olema tihe (avadeta) ning vähemalt 20-30 m lai (soovitavalt minimaalselt 30-50 m), sel juhul võib eeldada

¹⁴ RIL 804.5501 "Noise Protection Systems at Railway Lines"

¹⁵ EVS-EN 1793-1. Maanteeliikluse müra alandamise meetmed. Katsemeetod akustilise toimevõime määramiseks. Osa 1: helineeldenäitajad

müra vähenemist suurusjärgus 5 dB või pisut enam. Mitmesaja meetri laiuste metsaalade puhul võib teoreetiliselt eeldada juba ka suuremat müra vähenemist, kuid seda ainult juhul kui nii alumiste kui keskmiste rinnete puhul on tagatud avadeta ning tihe looduslik puhver. Kuna tihti ei ole kõrghaljastuse puhul aastaringselt eespool nimetatud tingimused täidetud ning kõrghaljastus on väga varieeruva iseloomuga (eelkõige varieerub puistu tihedus ja laius) siis reeglina ei kasutata kõrghaljastuse mõju arvutuslikus müra hindamises (ka käesolevas KSH's ei ole haljastust müra modelleerimisel arvestatud). Lokaalselt võib teatud piirkondades siiski olla tegemist märkimisväärse loodusliku leevendava meetmega, mis vähendab kulukate müratõkete vajadust;

- Tihehoonestusaladel on müra vähendavate meetmetena käsitletavad raudtee äärde jäävad äri- või tootmishooned (mis ise ei klassifitseeri müratundlikeks aladeks), mis tiheda hoonerea korral toimivad raudteest kaugemal asuvate tundlike alade jaoks efektiivsete müratõketena.

3. Vastuvõtja või müratundliku alaga seotud lokaalsed meetmed (häiringute vähendamine kinnistu piires);

- Situatsioonides, kus müra vähendamise vajadus on minimaalne (päevase taotlustaseme ületamist ei esine ja ka öise välisõhu taotlustaseme ületamine jääb vahemikku 3-4 dB või väiksemaks) tuleb maaomanikega kokkuleppel analüüsida lokaalseid võimalusi müra piiramiseks vahetult müratundliku ala (elamukrundi) juures ning raudtee äärde pikki müratõkkeseinu pigem mitte ette näha;
- Võimalike asukohaspetsiifiliste lahenduste hulka kuuluvad lokaalsed müratõkkeseinad vahetult müratundliku ala lähistel nt elamukrundi piiril või õuealal mingis maaomaniku poolt eelistatud piirkonnas (puhkenurk, laste mänguväljak või grillnurk), lisaks on võimalik välja pakkuda ka puhkenurga või krundisiseselt eriti müratundliku ala ümberkujundamist või uude asukohta paigutamist;
- Hoonete heliisolatsiooni parandamine (peamiselt kõige nõrgema lüli ehk akende vahetamise teel) tagab head tingimused ööpäevaringselt hoonete siseruumides (sh öisel kõige tundlikumal ajal, mil praktikas ei ole välisõhu müra normväärtuse tagamine esmase tähtsusega). Sel moel (parandades just hoonete siseruumide olukorda) on tihti võimalik tagada konkreetsel alal oluliselt paremad elutingimused ning elukvaliteet kui raudtee äärde pikki müratõkkeseinu ette nähes. Müratõkkesein võib küll parandada kogu ala müraolukorda 5-10 dB (raudteest kaugel

asuvate hoonete puhul reeglina vähem kui 5 dB), kuid hoonete heliisolatsiooni parendamine võib siseruumides tervikuna (sh magamisruumides) tähendada juba enam kui 10-15 dB akustiliste tingimuste paranemist ja seda olenevata hoone ja raudtee vahemaast;

- Võimalik on ka toodud meetmete kombineerimine nt hoonete heliisolatsiooni parandamine ning täiendavalt õuealal teatud punktis heade tingimuste tagamine;
- Kui maaomanik ei soovi tema kinnistu kaitseks välja pakutud meetme (või meetmete paketi) rakendamist, tuleb alustada läbirääkimisi kinnistu võõrandamiseks või fikseerida kokkulepe, mille järgi elanik loobub müra vähendava meetme rakendamisest ning nõustub elama kõrgendatud mürafooniga piirkonnas.

Järgnevalt esitatakse detailne ülevaade müra vähendavatest meetmetest, meetmete efektiivsusest ja rakendatavusest.

Tabel 1.4. Müra vähendavad meetmed.

KSH tüüp-meetme kood	Meetme kirjeldus	Tõhusus	Rakendatavus	Märkus
2.1.1.	Muldvall kõrgusega 3-4 m (vajadusel kõrgem)	5-15 dB	Eelistatud meede kõigis piirkondades, kus see on tehniliselt teostatav	Kulutõhus meede ka üksikute hoonete korral, muldvalli rajamise kulud on võrreldes müratõkkeseina rajamisega väiksed, kuid efektiivsus on ligikaudu samaväärne. Eelkõige võib takistuseks saada piisava vaba ruumi olemasolu, kuna vall võtab enda alla ca 15-20 m laiuse maa-ala. Ei ole efektiivne kui raudtee asub mitme meetri kõrgusel muldel (vastavalt tuleb ka valli kõrgust suurendada või valli tippu rajada täiendav müratõke).
2.1.2.	Müratõkkesein kõrgusega 2-4 m (vajadusel kõrgem) minimaalselt 3,8-4 m kaugusel rööpme teljest	5-15 dB	Mitme hoonega eluhoonete grupid, sillad ja viaduktid	Hoonete grupi korral kulutõhus meede, üksikute hoonete puhul (ja võimalik, et ka ainult 2 hoone kaitseks) ei ole otstarbekas. Üks võimalik lahendus on raudteest eemal asuvale muldvallile rajatav madalam müratõke.
2.1.3.	Madalad (kõrgusega 0,3-1 m) müratõkkeseinad vahetult raudtee ääres (vähem kui 2 m kaugusel rööpme teljest)	5-8 dB	Mitme hoonega eluhoonete grupid	Kaherealise raudtee korral tuleb madalad tõkked rajada ka kahe sõidurea vahele, mis suurendab kulusid. Eriti kriitilistes punktides, kus on nõutav ca 8-10 dB müra vähendamine ei pruugi meede piisav olla. Lumetõrje läbiviimine on raskendatud.
2.1.4.	Lokaalsed müratõkked vahetult	Sõltub konkreetsest asukohast, lokaalselt 5-15 dB	Üksikute eluhoonete puhul ja olukorras, kus raudtee äärne	Lokaalselt sobiv lahendus (tõkke asukoht ja disain) tuleb leida koostöös maaomanikuga.

KSH tüüp-meetme kood	Meetme kirjeldus	Tõhusus	Rakendatavus	Märkus
	müra tundliku ala lähistel (mitte raudtee ääres)		müra tõke ei ole otsustav	Üksikute hoonete puhul kindlasti kulutõhusam ja ka efektiivsem kui raudtee äärne ning oluliselt pikem müra tõkkesiin.
2.1.5.	Hoonete heliisolatsiooni parandamine	Olenevalt hoone praegusest seisukorrast 10-20 dB siseruumides	Situatsioonis, kus välisõhu müra normväärtuse ületamine on väike (vähem kui 5 dB) ning raudtee äärne müra tõke ei ole otsustav	Parandab müra olukorda ainult siseruumides, kuid tajutav efekt võib olla suurem kui raudtee äärse müra tõkkesiina korral. Üksikute hoonete puhul kindlasti kulutõhusam ja ka efektiivsem kui raudtee äärne pikk müra tõkkesiin.
2.1.6.	Kõrghaljastus puhveralana	0-10 dB	Olemasolevad tihedad ning vähemalt 30-50 m laiused (soovitavalt laiemad) metsaalad on käsitletavad müra vähendava tõkkena	Lehtpuumets ei paku aastaringset kaitset müra eest, ka sega- ja okaspuumetsa korral tuleb puistu tihedust kriitiliselt hinnata. Kulutõhus, kuid nõuab suurt maa-ala, millele rakendub raiepiirang.
2.1.7.	Elastsed rööpakinnitused (sh „Rail pads“ ehk kummist padjad rööpme all)	2-4 dB	Piirkondades, kus müra normväärtuste ületamine on väike või kombineerides teiste meetmetega	Müra tõkkesiina odavam, kuid samas ka vähem efektiivne meetode. Eraldiseisva meetmena ei ole müra vähendamisel kriitilistes punktides piisavalt efektiivne. Meede tuleb ette näha mõlema sõidusuuna jaoks.
2.1.8.	Rail dampers (müra summutavad „klot-sid“ rööpme küljes)	2-7 dB	Piirkondades, kus müra normväärtuste ületamine on väike	Kaherealise raudtee korral tõstab koguhinda (kuna meede tuleb ette näha mõlema suuna jaoks) ning vähendab kuluefektiivsust.

KSH tüüp-meetme kood	Meetme kirjeldus	Tõhusus	Rakendatavus	Märkus
			või kombineerides teiste meetmetega	Müratõkkeseinast odavam, kuid samas ka vähem efektiivne meede (tüüpiline efektiivsus 2-4 dB, kuid testprojektides on kohati saavutatud ka suurem efektiivsus). Eraldiseisva meetmena ei ole müra vähendamisel kriitilistes punktides piisavalt efektiivne, võib kaaluda lisameetmena.
2.1.9.	Regulaarsed hooldustööd, rööpa sileduse tagamine (rail grinding)	3-10 dB	Vähendab müra kogu trassi ulatuses	Pigem meede infrastruktuuri kulumisest tingitud mürataseme suurenemise vältimiseks, meede kajastub ka raudtee tehnilises kirjelduses ¹⁶ . Kindlasti kuluefektiivsem kui opereerimisperioodil täiendavate müratõkkeseinte rajamine.
2.1.10.	Veeremile rangemate müra piirväärtuste (TSI) rakendamine	5-10 dB ning perspektiivis isegi rohkem	Vähendab müra kogu trassi ulatuses	Tõenäoliselt on raudtee valmimise ajaks (varasemalt ca 2024-2025) suur osa vanemast ning mürarikkast veeremist juba kasutusest väljas, seega meede rakendub osaliselt igal juhul. Ühese nõudena kehtestada ei ole tõenäoliselt võimalik, kuna võib esialgu piirata kaubavedude atraktiivsust. Hiljemalt aastateks 2035-2040 on ilmselt kogu vanem kaubavagunite veerem kaasajastatud või välja vahetatud ning kasutuses olev on pea 100% kooskõlas TSI piirväärtustega. Perspektiivis kulutõhusam ja efektiivsem kui raudteeäärne pikk müratõkkesein.
2.1.11.	Kaubavagunite pidurisüsteemide kaasajastamine (malmklotspidurite)	8-10 dB	Vähendab müra kogu trassi ulatuses	Tõenäoliselt on raudtee valmimise ajaks (varasemalt 2024-2025) suur osa kaubavagunitest juba uute pidurisüsteemidega varustatud, seega meede rakendub osaliselt igal juhul.

¹⁶ Lisandub järgmises etapis

KSH tüüp-meetme kood	Meetme kirjeldus	Tõhusus	Rakendatavus	Märkus
	asendamine ketaspiduritega)			<p>Ühese nõudena kehtestada ei ole tõenäoliselt võimalik, kuna võib esialgu piirata kaubavedude atraktiivsust.</p> <p>Hiljemalt aastateks 2035-2040 on ilmselt kogu vanem kaubavagunite veerem kaasajastatud või välja vahetatud.</p> <p>Perspektiivis kulutõhusam ja efektiivsem kui raudteeäärne pikk müratõkkesein.</p>
2.1.12.	Kiiruspiirang (eelkõige öisel ajal ja kaubarongidele)	2-5 dB	Võib kaaluda suurematel tiheasustusaladel	<p>Eraldiseisva meetmena ei ole müra vähendamisel kriitilistes punktides piisavalt efektiivne.</p> <p>Täiendavad kiiruspiirangud ei ole üldjuhul soovitatavad, kuna võib tekkida konflikt liiklusgraafikute ning kaubavedude tasuvusega.</p> <p>Suuremate tiheasustusalade piirkondades müratõkkeseinte rajamise asemel üks alternatiivne meede juhul, kui normväärtuse ületamine on väike.</p>
2.1.13.	Sõidugraafikute reguleerimine – öisel ajal mürarikaste kaubarongide liiklemise piiramine	Öise liikluskoormuse vähendamine 2 korda vähendab mürataset 3 dB	Vähendab müra kogu trassi ulatuses	<p>Rakendatavus võib olla piiratud, kuna võib tekkida konflikt liiklusgraafiku ning kaubavedude tasuvusega.</p> <p>Meetme efektiivsust tuleb hinnata koos kaubavedude mahtude ning tasuvusega.</p>
2.1.14.	Raudteega piisava vahemaa tagamine	Sõltub lokaalsetest oludest	Vähendab mürahäiringut kogu trassi ulatuses	<p>Meetmena käsitletakse projekteeritava raudteega piisava vahemaa säilitamist, raudtee põhiprojekti koostamisel on soovitatav raudteed müratundlikule alale lähemale mitte nihutada.</p> <p>Üldjuhul tagab müra taotlustasemele vastavad tingimused puhverala suurus 200-250 m, sildade ja viaduktide piirkonnas võib mõjuala olla pisut laiem, süvendi ümbruses on mõjuala väiksem.</p>

KSH tüüp-meetme kood	Meetme kirjeldus	Tõhusus	Rakendatavus	Märkus
2.1.15.	Uusi müratundlikke hooneid ja alasid mitte rajada	Võimaldab vältida müra konfliktalade teket	Vähendab mürahäiringut kogu trassi ulatuses	Leevendavaid meetmeid rakendamata ei ole soovitatav uusi müratundlikke alasid rajada lähima 200-250 m tsooni raudteest. Piisavate leevendusmeetmete (nt müratõkkeseinad) rakendamise korral ei saa välistada ka raudteele lähemale uute müratundlike hoonete ja alade rajamist, kuid lähima 100 m tsooni ei ole soovitatav uusi müratundlikke alasid ja hooneid siiski rajada.

2. VIBRATSIOON

2.1. ÜLEVAADE RAUDTEEST TINGITUD VIBRATSIOONI MÕJUST

Üldjuhul ei põhjusta maapinna kaudu leviv vibratsioon hoonetele kahjustusi (v.a lähima 10-15 meetri tsoonis asuvad kergkonstruktsiooniga hooned), kuid keskkonnamõju hindamise raames tuleb siiski tähelepanu pöörata vibratsiooni normväärtuste tagamisele ning võimalike vibratsioonist tingitud häiringute vähendamisele.

Raudteeliiklusest põhjustatud vibratsiooni tekkemehhanism on järgmine: liikuva rongi massist tingitud vibratsioon kandub edasi ratastele, rattad kannavad vibratsioonienergia edasi rööpale ning liipritele, raudtee alune täitematerjal ehk ballast summutab vibratsiooni edasist levikut, kuid mingi osa kandub siiski edasi maapinnale. Vibratsioon võib pinnase kaudu levida hooneteni ning kandudes edasi hoone konstruktsioonidesse võib põhjustada hoone struktuuride (aknad, põrand, seinad) vibreerimist ning kahjustusi. Vibratsioonist tingitud akende värisemine võib omakorda põhjustada lokaalset müra teket ning sellega kaasnevat lisahäiringut.

Lisaks maapinna kaudu levivale ning vundamendi kaudu hoonele üle kanduvale vibratsioonile võib kergema konstruktsiooniga struktuuride (eelkõige aknad) vibreerimist põhjustada ka intensiivne müra (helilainete poolt avaldatav rõhk). Üldiselt on inimesed enam häiritud just juhtudel, kus samaaegselt esinevad nii mürahäiring kui ka tajutav vibratsioon.

Üldjuhul kaasneb massiivsete ning pikemate kaubarongide liikumisega (samal sõidukiirusel) suurem vibratsiooni teke kui reisirongide puhul (samuti levib kaubarongide müra kaugemale), kuid antud juhul tuleb reisirongide liikumisega kaasnev vibratsioon sama oluliseks või isegi tähtsamaks lugeda, kuna rahvusvaheliste reisirongide sõidukiirus on oluliselt suurem kui kaubarongidel (220 vs 80 km/h).

Vibratsiooni mõjuala ulatus sõltub järgmistest teguritest, mille võib jagada kolme kategooriasse:

1. Vibratsiooni tekkega soetud tegurid:

- Raudteed kasutavate rongide mass;
- Rongide vedrustuse jäikus (jäik vedrustus põhjustab suuremat vibratsiooni);
- Rongide sõidukiirus;

- Rongirataste siledus, veeremi vananemisel võivad ratastele tekkida ebatasasused (lamedad kohad), mis põhjustavad suuremat vibratsiooni;
- Rööpme tüüp (uue raudtee rajamisel kasutatakse ainult jätkukohtadeta rööpaid, mis tekitavad vähem vibratsiooni);
- Rööpa pealispinna siledus;
- Raudtee tugisüsteemi tehnoloogiline lahendus (rööpme ja liiprite kinnituse jäikus, elastsed kinnitused põhjustavad vähem vibratsiooni);
- Raudtee tugistruktuuri massiivsus (massiivne ning toetatud turgistruktuur (sh viadukt) on väiksem vibratsiooni allikas);
- Ballast (ballast piirab vibratsiooni levikut ümbritsevasse keskkonda);
- Raudtee asumine sillal (sillal on vibratsiooni teke ja levik ümbritsevasse keskkonda raskendatud, mis tagab väiksema vibratsioonitaseme).

2. Vibratsiooni leviku tingimused:

- Raudtee tehnoloogiline lahendus (ballasti ja tugistruktuuri massiivsus, millest oleneb ümbritsevasse pinnasesse jõudva vibratsioonienergia hulk);
- Geotehnilised tingimused: pinnase niiskussisaldus, pinnase pehmus, savikihtide olemasolu (pehme savine pinnas soodustab üldjuhul vibratsiooni levikut), aluspõhja kivimite sügavus (õhuke pealispind (<10 m) juhib vibratsiooni paremini);
- Raudtee ja hoonete vahel asuvate tehisobjektide (nt müra leviku tõkestamiseks ette nähtud barjäär) võimalik vibratsiooni levikut tõkestav mõju;
- Vibratsiooni levikut katkestavate süvendite või kaevikute olemasolu.

3. Mõjutatud aladega seotud tegurid:

- Mõjutatud hoonete kaugus raudteest;
- Mõjutatud hoonete vundament (massiivsus), mis mõjutab vibratsiooni kandumist hoone konstruktsioonidesse;
- Mõjutatud hoonete ehituskvaliteet, seinte massiivsus ehk hoone konstruktsioonide vastupanuvõime võnkumise tekkimisele.

2.2. VIBRATSIOONI PIIRVÄÄRTUSED NING OHUTU VIBRATSIOONI TASE

Siseriiklikud vibratsiooni piirväärtused on kehtestatud Sotsiaalministri 17.05.2002.a. määrusega nr 78 „Vibratsiooni piirväärtused elamutes ja ühiskasutusega hoonetes ning vibratsiooni mõõtmise meetodid”. Määruse kohaselt ei tohi üldvibratsiooni korrigeeritud kiirenduse tase olemasolevate elamute magamisruumides ületada järgmisi väärtusi:

- päevasel ajal (7.00-23.00) - $0,0126 \text{ m/s}^2$ (82 dB);
- öisel ajal (23.00-7.00) - $0,00883 \text{ m/s}^2$ (79 dB).

Toodud vibratsiooni piirväärtused (üldvibratsiooni korrigeeritud kiirenduse tase) on eelkõige rakendatavad vibratsiooni mõõtmiste puhul.

Raudteest tingitud vibratsiooni hindamisel ning prognoosimisel kasutatakse praktikas üldjuhul alternatiivseid indikaatoreid. Tüüpiliselt kasutatav indikaator on vibratsiooni amplituudi ruutkeskmine väärtus (RMS, mm/s) ¹⁷.

Vibratsiooni mõju hindamisel lähtutakse erinevatest häiringu aspektidest¹⁵:

- Tajupiir (0,04 mm/s) – vibratsiooni tase, mille ületamisel on vibratsiooni esinemine tuntav;
- Häiringupiir (0,4 mm/s) – vibratsiooni tase, mille ületamisel tajutakse selget häiringut ning mis on reeglina mõju (shervisemõju) hindamisel peamiseks kriteeriumiks;
- Hoonetele kahjustuste põhjustamise piir (4 mm/s, ohustatud ajalooliste ehitiste puhul 2 mm/s) – vibratsiooni tase, mille ületamisel võivad hoonetele tekkida praod või muud kahjustused.

¹⁷ Train-Induced Ground Vibration and Its Prediction. Division of Soil and Rock Mechanics, Dept. of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology. Stockholm 2004

2.3. VIBRATSIOONI LEVIKU HINDAMINE

Maapinna kaudu leviva vibratsiooni leviku hindamine tuleb arvestada paljude teguritega, kuna vibratsioonienergia kandub edasi läbi mitme erineva keskkonnakomponendi ning erinevate omadustega materjalide (rong, rattad, rööpad, liiprid, ballast, mulle, maapind, hoonete vundament, hoone konstruktsioonid). Mitmed loetletud tegurid on omakorda väga muutliku iseloomuga, millest tulenevalt on selge, et ka prognoositav vibratsiooni väärtus mingil kaugusel raudteest on suure varieeruvusega. Seetõttu tuleb prognooside koostamisel jätta teatud varu määramatuse näol tagamaks, et mõju ei alahinnata. Reeglina tähendab see mõju tõsiduse ja olulisuse ülehindamist (ehk üldjuhul jääb tegelik mõjuala väiksemaks kui mõju hindamine välja toob).

Alljärgnevas tabelis on näitena esitatud USA Transpordiministeeriumi¹⁸ poolt fikseeritud mõjutatud alade kaugus (nn *screening distance*) raudteest „keskmiste“ vibratsiooni leviku tingimuste korral. Tegemist on võimalike konfliktalade kaugusega raudteest, kus hilisemates (ja detailsemates) mõju hindamise etappides tuleb vibratsiooni mõju vähendamisele tähelepanu pöörata. Ebasoodsates oludes (vähene hajumine keskkonnas) ehk heades vibratsiooni leviku tingimustes (nt valdavalt niiske või savine pinnas, eriti tähelepanelik tuleb olla pehme savipinnase korral) tuleb ohutu vahemaad hinnanguliselt kahekordistada. Tabelis märgitud vahemaad ei tähenda otseselt normväärtuste ületamise piirkonda, vaid alasid, kus detailsem vibratsiooni analüüs võib vajalikuks osutuda.

Tabel 2.1. Ohutu vahemaa erineva rongiliikluse sageduse ja sõidukiiruse korral.

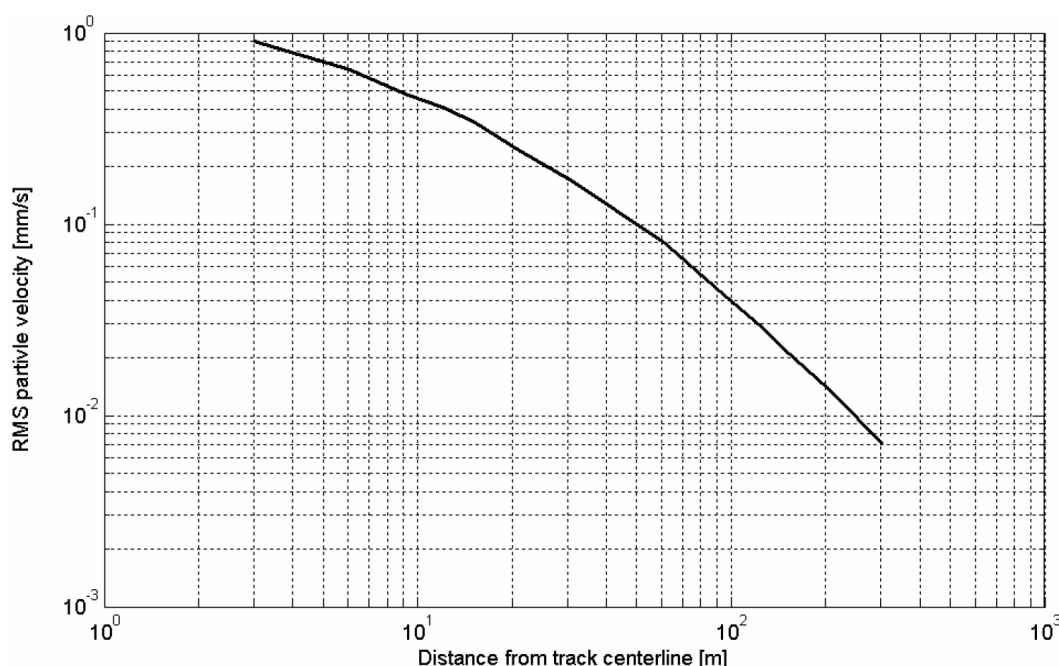
Maakasutus	Rongide möödumise sagedus	Ohutu vahemaa meetrites (sõltuvalt rongi kiirusest)	
		<160 km/h	160-320 km/h
Eluhoone	> 70 rongi ööpäevas	37	67
Eluhoone	< 70 rongi ööpäevas	18	30
Ühiskondlikud hooned	> 70 rongi ööpäevas	30	49
Ühiskondlikud hooned	< 70 rongi ööpäevas	6	21

Antud juhul klassifitseerub kavandatav raudtee madala liiklussagedusega raudteeks, kuna reisi- ja kaubarongide liikumisi on prognoositud maksimaalselt ca 40 möödumist kahes suunas kokku.

¹⁸ High-Speed Ground Transportation Noise and Vibration Impact Assessment. Final Report, 2012, DOT/FRA/ORD-12/15

Lähtudes ebasoodsatest oludest (head vibratsiooni leviku tingimused, mis tähendab, et tabelis toodud väärtused tuleb kahekordistada), võib eeldatava rongiliikluse sageduse korral võimaliku vibratsiooni mõjualana käsitleda ca 60 meetri laiust tsooni raudteest. Tavaleviku tingimustes (stabiilne pinnas) piirdub mõjuala ulatus ca 30 m laiuse tsooniga raudteest ehk raudtee kaitsevööndiga.

Lisaks eespool toodud üldisele metoodikale (mis käsitleb otsesest normväärtuse ületamise või häiringupiiri alast laiemat piirkonda) antakse dokumendis (High-Speed Ground Transportation Noise and Vibration Impact Assessment. US DOT. Final Report, 2012) detailsem ülevaade raudteest tingitud vibratsiooni mõju prognoosimisest sh esitatakse graafiliselt maksimaalne vibratsiooni leviku kurv, milles toodud vibratsiooni väärtusi üldjuhul ei ületata.



Joonis 2.1. Maapinna kaudu leviva vibratsiooni väärtused referentskiirusel 240 km/h. (High-Speed Ground Transportation Noise and Vibration Impact Assessment. US DOT. 2012)

Lisaks tuuakse välja erinevad parandustegurid olenevalt raudtee parameetritest, pinnaseomadustest ning vibratsioonitundliku ala iseloomust. Olulisemad vibratsiooni mõjuala ulatust mõjutavad parandustegurid on järgmised:

- Head vibratsiooni leviku tingimused – koefitsient 3,16 (+10 dBV);
- Hoonesisene võimendus nõrga konstruktsiooni korral – koefitsient 2,0 (+6 dBV);
- Raudtee sillal või viaduktil – koefitsient 0,32 (-10 dBV).

Graafiku (joonis 1) ning paranduskoefitsientide põhjal on võimalik määrata vibratsiooni mõjuala ulatus tavaleviku ning heade leviku

tingimuste korral. Toodud väärtused on aluseks ka mõju hindamisel ning leevendusmeetmete vajaduse määramisel.

Tabel 2.2. Vibratsiooni mõjuala erinevates olukordades (meetrites).

Leviku tingimused	Tavalevik		Head leviku tingimused	
Vibratsiooni hindamise punkt	Õueala	Siseruumid	Õueala	Siseruumid
Tajupiir: vahemaa, mis tagab 0,04 mm/s (RMS)	100	150-160	200-250	350
Häiringupiir: vahemaa, mis tagab 0,4 mm/s (RMS)	12-15	25	40	70-75
Hoonetele kahjustuste tekkimise madalaim lävi: vahemaa, mis tagab 2 mm/s (RMS)	2-3		10	

Tundlike objektide põhiselt on vibratsiooni ning võimalikke lokaalseid leevendusmeetmeid käsitletud KSH leevendavate meetmete registris.

2.4. VIBRATSIIONI VÄHENDAMISE MEETMED

Sarnaselt vibratsiooni tekke ja levikuga saab vibratsiooni vähendamise meetmed jagada kolmeks: vibratsiooni tekke piiramine, vibratsiooni leviku piiramine ja mõjutatud objektidega seotud meetmed.

1. Vibratsiooni tekke piiramisega seotud meetmed:

- Raudtee tehnoloogiline lahendus peab tagama infrastruktuuri stabiilsuse (massiivne ballast ja tugistruktuur, mis piirab vibratsiooni levikut ümbritsevasse pinnasesse);
- Raudtee aluse pinnase stabiliseerimine;
- Raudtee tugistruktuuri massiivsuse suurendamine;
- Raudtee tugistruktuuris massiivsete tugipostide kasutamine täiendavaks stabiliseerimiseks;
- Raudtee rajamine viaduktile (massiivsem konstruktsioon, väiksem kokkupuude ümbritseva keskkonnaga, vibratsiooni kandumine ümbritsevasse keskkonda on raskendatud);
- Rööpa pealispinna sileduse tagamine;
- Elastsete rööpakinnituste kasutamine;
- Ballastmattide kasutamine vibratsiooni leviku piiramiseks;

- Raudtee heas tehnilises korras hoidmine, regulaarne kontroll;
- Rongirataste pealispinna sileduse tagamine;
- Rongide sõidukiiruse vähendamine;
- Raudteed kasutavate rongide massi piiramine;
- Elastsete rongirataste ning vedrustuse kasutamine;
- Veeremile regulaarse tehnilise kontrolli teostamine

2. Vibratsiooni leviku tingimuste muutmisega seotud meetmed:

- Raudtee tehnoloogiline lahendus (massiivne ballast ja tugistruktuur) peab tagama, et ümbritsevasse pinnasesse jõuab võimalikult vähe vibratsioonienergiat;
- Pinnase tugevdamine (vajadusel kuivendamine, lubjakivi lisamine savipinnasele, nõuab ulatuslikke pinnasetöid);
- Raudtee ja hoonete vahele tõkete (nt betoonist) rajamine (sarnaselt müra leviku tõkestamiseks ette nähtud barjääridega kuid sügavama vundamendiga);
- Vibratsiooni levikut katkestavate süvendite või kaevikute rajamine (vajadusel koos massiivse täitematerjaliga, kuid kaeviku sügavus peab olema märkimisväärne ehk minimaalselt 3-6 m).

3. Mõjutatud aladega soetud tegurid:

- Mõjutatud hoonete vundamendi isoleerimine elastse toetusmaterjaliga;
- Mõjutatud hoonete ehituskvaliteedi parandamine, hoone konstruktsioonide (välispiirded, aknad) võnkumisele vastupanuvõime (sh massiivsuse) suurendamine;
- Raudtee kaitsevööndi (30 m äärmise rööpme teljest) piiri lähiste (ning kaitsevööndisse) jäävate eluhoonete puhul tuleb vajadusel kaaluda ka hoone vöörandamist. Vöörandamise vajadust hinnatakse objekti põhiselt maaomanike ning käesoleva töö tellija vahel peetavate läbirääkimiste käigus.

Järgnevalt esitatakse detailne ülevaade vibratsiooni vähendavatest meetmetest, meetmete efektiivsusest ja rakendatavusest.

Tabel 2.3. Vibratsiooni vähendavad meetmed.

KSH tüüp-meetme kood	Meetme kirjeldus	Tõhusus (6 dBV - vibratsiooni vähenemine 2 korda)	Rakendatavus	Märkus
2.3.1	Regulaarsed hooldustööd, rööpa sileduse tagamine (rail grinding)	5-10 dBV	Vähendab vibratsiooni kogu trassi ulatuses	Meede infrastruktuuri kulumisest tingitud vibratsiooni suurenemise vältimiseks, meede kajastub ka raudtee tehnilises kirjelduses ¹⁹ . Kindlasti kuluefektiivsem kui täiendavate tehnoloogiliste meetmete rakendamine raudtee infrastruktuuris.
2.3.2	Veeremi regulaarne ülevaatamine ja hooldus	5-10 dBV	Vähendab vibratsiooni kogu trassi ulatuses	Meede infrastruktuuri kulumisest tingitud vibratsiooni suurenemise vältimiseks. Kindlasti kuluefektiivsem kui täiendavate tehnoloogiliste meetmete rakendamine raudtee infrastruktuuris.
2.3.3	Elastsed rööpakinnitused	5-10 dBV	Lokaalne meede	Vajalik on tagada optimaalne elastsus, liigselt elastne kinnitus võib põhjustada rööpme liikumisest tingitud lisamüra (vähendades samal ajal pinnasesse jõudvat vibratsiooni), liiga jäik kinnitus kannab omakorda suurema vibratsiooni ümbritsevasse keskkonda.
2.3.4	Rail dampers (vibratsiooni summutavad „klotsid“ rööpme küljes)	5-10 dBV	Hoonete gruppide kaitseks	Praktikas laialdaselt kasutatav, meedet on võimalik lisada ka juba kasutuses olevale raudteele. Üldjuhul otstarbekas lahendus, kuid ei pruugi olla piisavalt efektiivne kõige kriitilisemates punktides.
2.3.5	Ballastmatid	10-15 dBV	Kriitilisemates punktides	Praktikas laialdaselt kasutatav vibratsiooni vähendav meede, meedet on võimalik lisada ka juba kasutuses olevale raudteele. Üks peamisi meetmeid kõige kriitilisemates punktides.

¹⁹ Lisandub järgmises etapis.

KSH tüüp-meetme kood	Meetme kirjeldus	Tõhusus (6 dBV - vibratsiooni vähenemine 2 korda)	Rakendatavus	Märkus
2.3.6	Liiprite ja rööpme alused matid	5-10 dBV	Hoonete gruppide kaitseks	Praktikas laialdaselt kasutatav meede, meedet on võimalik lisada ka juba kasutuses olevale raudteele.
2.3.7	Viadukt või sild, masiivne tugistruktuur, vajadusel vaiade kasutamine raudtee stabiliseerimiseks	10-20 dBV	Vähendab vibratsiooni mitmes piirkonnas	Teatud piirkondades standardlahendus.
2.3.8	Ümbritseva pinnase tugevdamine ja stabiliseerimine	5-15 dBV	Liigniisketes piirkondades võib osutada vajalikuks	Lokaalselt efektiivne kuid kulukas meede, efekti saavutamiseks tulen pinnasetöid teha suurel maa-alal.
2.3.9	Hoonete konstruktsiooni (piirded ja vundament) tugevdamine	Olenevalt hoone praegusest seisukorrast 5-15 dBV siseruumides	Eelkõige üks lisavõimalus üksikute hoonete puhul	Kuluefektiivsem kui täiendavate tehnoloogiliste meetmete rakendamine raudtee infrastruktuuris. Rakendatavus sõltub konkreetse hoone karakteristikutest.
2.3.10	Kaubavagunite pidurisüsteemide kaasajastamine (malmklotspidurite asendamine ketaspiduritega)	5-10 dBV	Vähendab vibratsiooni kogu trassi ulatuses	Kuluefektiivsem kui täiendavate tehnoloogiliste meetmete rakendamine raudtee infrastruktuuris. Tõenäoliselt on raudtee valmimise ajaks (varasemalt 2024-2025) suur osa vagunitest juba uute pidurisüsteemidega varustatud, seega meede rakendub osaliselt igal juhul. Ühese nõudena kehtestada ei ole aga tõenäoliselt võimalik, kuna võib esialgu piirata kaubavedude atraktiivsust.
2.3.11	Rongide vedrustuse jäikuse vähendamine	5-10 dBV	Vähendab vibratsiooni kogu trassi ulatuses	Kuluefektiivsem kui täiendavate tehnoloogiliste meetmete rakendamine raudtee infrastruktuuris.

KSH tüüp-meetme kood	Meetme kirjeldus	Tõhusus (6 dBV - vibratsiooni vähenemine 2 korda)	Rakendatavus	Märkus
				<p>Tõenäoliselt on raudtee valmimise ajaks (varasemalt 2024-2025) suur osa vanemast veeremist juba kasutusest väljas, seega meede rakendub osaliselt igal juhul.</p> <p>Ühese nõudena koheselt kehtestada ei ole aga tõenäoliselt võimalik, kuna võib esialgu piirata kaubavedude atraktiivsust.</p>
2.3.12	Kiiruspiirang (eelkõige öisel ajal ja kaubarongidele)	6 dBV kiiruse vähendamisel 2 korda	Võib kaaluda suurematel tiheasustusaladel	<p>Täiendavad kiiruspiirangud ei ole üldjuhul soovitatavad, kuna võib tekkida konflikt liiklusgraafikute ning kaubavedude tasuvusega.</p> <p>Suuremate tiheasustusalade piirkondades ilmselt üks alternatiivne meede.</p>
2.3.13	Sõidugraafikute reguleerimine – öisel ajal kaubarongide liiklemise piiramine	Vibratsiooni esinemise sageduse vähendamine	Vähendab häiringuid kogu trassi ulatuses	<p>Rakendatavus võib olla piiratud, kuna võib tekkida konflikt liiklusgraafiku ning kaubavedude tasuvusega.</p> <p>Kuluefektiivsust tuleb hinnata koos kaubavedude mahtude ning tasuvusega.</p>
2.3.14	Raudteega piisava vahemaa tagamine	Sõltub lokaalsetest oludest	Vähendab vibratsiooni häiringut kogu trassi ulatuses	<p>Meetmena käsitletakse projekteeritava raudteega piisava vahemaa säilitamist, raudtee põhiprojekti koostamisel on soovitatav raudteed tundlikule alale lähemale mitte nihutada.</p> <p>Olenevalt lokaalsetest oludest on vajaliku puhverala suurus 30-70 m.</p>
2.3.15	Uusi tundlikke hooned ja alasid mitte rajada	Võimaldab vältida uute konfliktalade teket	Vähendab vibratsiooni häiringut kogu trassi ulatuses	<p>Vibratsiooni vähendavaid meetmeid rakendamata ei ole soovitatav uusi tundlike hooned rajada lähima 30-70 m tsooni raudteest (olevalt lokaalsetest oludest ja raudteelõigu tehnilisest lahendusest). Võimalusel soovitusliku puhverala laiusena uute tundlike hoonete rajamisel rakendada pisut laiemat ala ehk 100 m tsooni raudteest.</p>