

EESTI KESKKONNAKASUTUSE VÄLISMÕJUDE RAHASSE HINDAMISE ANALÜÜS, I ETAPP

LISA 4 Vibratsioon – ülevaade keskkonnakasutuse
keskkonnamõjude kujunemisest ja hindamisest DPSIR-
kontseptsiooni arvestava meetodika abil

Autorid:

Priit Kallaste, Arvi Toomik, Aadu Niidas, Erki Niitlaan
OÜ Inseneribüroo STEIGER

Katrin Pihor, Gerli Paat-Ahi, Kaupo Koppel, Bastiaan Meinders, Silja Kralik
SA Poliitikauuringute Keskus Praxis

Karl Kupits, Artto Pello, Madis Osjamets, Madis Metsur
AS Maves

Aija Kosk
Eesti Maaülikool

Vastutav täitja: Toomas Pallo, Estonian, Latvian & Lithuanian Environment OÜ

1. Eesti keskkonnakasutuse välismõjude rahasse hindamise eest vastutav ametnik:
Keskkonnaministeeriumi keskkonnakorralduse osakonna
nõunik Aire Rihe
(tel 626 2983, e-post: aire.rihe@envir.ee)

2. Projektijuht:
Katrín Väljataga, Estonian, Latvian & Lithuanian Environment OÜ
(tel 611 7692, e-post: katrinv@environment.ee)

3. Eesti keskkonnakasutuse välismõjude rahasse hindamise analüüsi I etapi finantseerimine:



KIK 2015. aasta Keskkonnainvesteeringute Keskuse keskkonnaprogrammi keskkonnakorralduse programmi eelarvest, projekti nimetus „Eesti keskkonnakasutuse välismõjude rahasse hindamise analüüs“.

Koostaja ja toimetaja: Anne Aan, Katrin Väljataga, Estonian, Latvian & Lithuanian Environment OÜ
Korrektuur: OÜ Avatar
Kujundus: Lemmikmeedium OÜ



SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	4
VIBRATSIOON.....	5
1 Keskkonnaseisund ja keskkonnaseisundi muutus (S)	5
2 Keskkonnale avalduv surve ja surve muutus (P)	6
3 Keskkonnakasutusest loodusele avalduva mõju hindamine (I)	8
4 Vibratsioonist tingitud tervisemõjud (I)	9
4.1 Vibratsioonist põhjustatud tervisemõjude kirjeldus	9
4.2 Vibratsiooniga seotud tervisemõjud teaduskirjanduse alusel.....	10
4.3 Vibratsiooni tervisemõjude kvantifitseerimine	10
5 Keskkonnakasutusest inimese heolule avalduva mõju hindamine.....	11
5.1 Keskkonnamõju kirjeldus	11
5.2 Vibratsiooni keskkonnamõju kvantifitseerimise tulemus.....	12
6 Vibratsioon – kokkuvõtte hindamisest	14
Kasutatud taustamaterjalid.....	15

SISSEJUHATUS

Käesolev lisa annab tervikliku ülevaate vibratsiooni analüüsist Eesti keskkonnakasutuse välismõjude rahasse hindamise I etapis. Analüüs teostati DPSIR-kontseptsioonil põhinevat üldist metoodilist lähenemist kasutades.

Lisa on üles ehitatud DPSIR-lähenemisel põhinevalt, mille käigus liigutakse seisundi- ja survenäitajatelt samm-sammult oluliste keskkonnamõjude identifitseerimise ja nende ulatuse hindamise suunas.

Käesolevas analüüsis mõistetakse keskkonnamõjude all mitte muutust keskkonnakvaliteedis, nagu defineeritakse keskkonnamõju hindamise ja keskkonnajuhtimissüsteemi seaduses, vaid samm kõrgemal tasemel – mõju inimese tervisele, heaolule ja loodusele (elurikkusele ja ökosüsteemide seisundile), mille on tinginud keskkonnaseisundi ehk keskkonnakvaliteedi muutus.

Kasutatud metoodikate kirjeldused on esitatud lõpparuande põhiosas. Andmetabelid kasutatud seisundi-, surve- ja mõjunäitajate kirjeldustega ning arvuliste väärtustega on antud aruande lisades 11a ja 12.

VIBRATSIOON

➡ *Hindamistulemuste koondtabel – surve ja seisundi trend, mõjutatud inimeste arv, mõju*

1 Keskkonnaseisund ja keskkonnaseisundi muutus (S)

Käesolevas töös on vibratsiooni kui keskkonnale mõju avaldavat tegurit analüüsitud lühiajaliste võnkumistena tahkes keskkonnas (maapinnakihtides, aluskivimites) ehk maavõngetena (ingl *ground-borne vibration*) ning nende ülekandumist hoonetele ja rajatistele.

Vibratsiooni kui füüsilise nähtuse kirjeldamine sõltub paljudest teguritest, mida saab jagada kolme peamisesse gruppi: a) allikas, mis tekitab algse impulsi, b) keskkond ja selle omadused, milles võnked levivad ning c) vibratsioon vastuvõtjast, mida impulsid mõjutab (vt lähemalt meetodika kirjeldus põhiaruande ptk 4). Sõltuvalt olukorrast võib lisaks meetodikas kirjeldatud tingimustele vajalik olla täiendavate parameetritega arvestamine, et kirjeldada võnkumiste levikut ja avalduvaid mõjusid detailsemalt. Eelnevalt tulenevalt on antud valdkonnas keskkonnaseisundi kirjeldamisel vajalik objektipõhine lähenemine. **Kõrge olulisuse** hinnang on antud **maanteetranspordist** lähtuval vibratsioonile, tulenevalt selle potentsiaalsest suuremast pidevalt avalduvast mõjust inimeste heaolule. **Keskmise olulisuse** hinnang on antud **kaevandamisest** lähtuval vibratsioonile, sest kaasneva mõju kestus ei ole pidev ning mõjutatud inimeste arv on väike. Allpool põhjendatakse, miks käesolevas analüüsis on **tööstusest** pärinevat vibratsiooni hinnatud **madala olulisusega** ning miks seda ei ole kaasatud edasisse analüüsi.

Vibratsiooniga ei kaasne keskkonnas püsivat saastumist, erinevalt näiteks saasteainete heitmisel vette või välisõhku. Vibratsiooni tekkimine ja selle levimise kestus keskkonnas on lühiajaline ning raskesti jälgitav. Seetõttu on ka keskkonnaseisundi ja selle muutuse kirjeldamine keeruline ning usaldusväärsete tulemuste saamine eeldab objektipõhist lähenemist. Objektivse mõjuhinnangu saamiseks tuleb läbi viia mõõtmised ning analüüsida olukorda arvestades kohapealseid tingimusi.

Vibratsiooni kui keskkonnaseisundi näitaja kirjeldamisel käesoleva töö raames on toetunud olemasolevatele ja registreeritud seismiliste sündmuste andmetele, mis pärinevad riikliku keskkonnaseire seismilise seire aruandlusest¹. Samuti on kasutatud inimeste kaebuste statistikat Terviseametist ja üldist vibratsiooni teooriat. Seisundinäitajaks on valitud vibratsiooni võimalikku mõjualasse jäävate elanike arv erinevate vibratsiooniallikate lõikes, sest muul moel ei ole riigi tasemel võimalik olukorra hinnangut anda.

Tööstuses tekitavad vibratsiooni suuremõduliste seadmete töötamine, tehaste käitamine, põllumajandusmasinate jm rasketehnika kasutamine. Vibratsiooniallikateks võivad olla ka masinate üksikud tööorganid, masinasüsteemid jne. Kõige rohkem on sellisest vibratsioonist mõjutatud masinate ja seadmete tööruumis tegutsevad töötajad. Töötamise alas ehk tööruumis on Vabariigi Valitsuse määrusega kehtestatud inimese tervise kaitseks siseriiklikud vibratsiooni piirnormid ja kokkupuuteajad (VV 2007). Seetõttu ei saa tööstuses tekkiv vibratsioon olla suurem inimesele kehtestatud piirnormidest, sest see läheks vastuollu kehtiva seadusega. See tähendab ühtlasi ka seda, et tööruumist väljapoole leviv vibratsioon ei saa olla sellise tugevusega, millel oleks negatiivne välismõju ümbritsevale keskkonnale. Seetõttu ei ole käesoleva analüüsi sisust lähtuvalt tegemist olulise keskkonnamõjuga ning tööstusest pärinev vibratsioon on edasisest analüüsist kõrvale jäetud.

Üheks potentsiaalseks vibratsiooniallikaks energeetikavaldkonnas on peetud **elektrituuliku**id, mis on taastuenergia üldises laialdasemas kasutuselevõtus leidnud laiemat kõlapinda.

¹ http://seire.keskkonnainfo.ee/index.php?option=com_content&view=article&id=2104&Itemid=417

Elektrituulikud ja tuulepargid rajatakse sobivate tuuletingimustega aladele ning tihtipeale paiknevad need inimasustuse vahetus läheduses. Vaatamata üldsuse suurele poolehoiule elektrituulikute rajamise suhtes, leidub vastuseisu tuuleparkide ümbruses elavate kohalike inimeste seas. Tuulikute töötamisega kaasnevaid häiringuid ümbruskonna inimestele ja loodusele on palju uuritud. **Ameerika ja Kanada tuuleenergia assotsiatsioonide** koostatud ühisraportisse (*AWEA/CanWEA 2009*) on koondatud tuulikutest pärineva vibratsiooni varasemate uuringute ja eksperdi hinnangute tulemused. Raporti on koostanud oma ala eksperdid. Tulemuste kohaselt ei erine tuuleturbiinide tekitatud vibratsiooni tüüp ja iseloom teiste vibratsiooniallikate põhjustatud tavapärasest vibratsioonist. Aruande tulemuste kohaselt **ei ole teaduslikku tõestust sellele, et tänapäevaste elektrituulikute turbiinidest pärinev vibratsioon ületaks inimeste poolt tajutavat vibratsioonitundlikkuse läve**. Samuti ei esine koondatud uuringute põhjal põhjuslikke seoseid tuulikute töötamise ja inimese tervisemõjude vahel. Seetõttu ei ole käesolevas töös elektrituulikute põhjustatud vibratsiooni eraldi käsitletud.

Transpordi valdkonnas on maavõngete allikateks rööbas- ja maanteetransport. Transpordist keskkonda levivate maavõngete ja sealt hoonetele/ehitistele üle kanduva vibratsiooni väärtused on minimaalsed võrreldes lõhketöödega tekitatavate impulssidega. Standardselt ehitatud transporditrassidelt pärinev liiklusest tingitud vibratsioon ei tekita otseseid kahjustusi hoonetel või ehitistel. Seevastu on häiringute esinemine tõenäolisem, mis võib kujuneda probleemiks ka olukorras, kus tajutava vibratsiooni väärtusi ületatakse väga väikesel määral. Hoone sees võimendub väliskeskkonnast mõjuv vibratsioon hoone vibreerimistundlikemate detailide, nagu akende ja uste kaudu, avaldades kokkuvõttes suuremat mõju kui esialgsed vibratsiooniimpulsid eraldi. Seetõttu on transpordist tulenev vibratsioon probleemiks hoones viibivate inimeste jaoks ning mitte väliskeskkonnas. Väliskeskkonnas võib transpordist pärinev vibratsioon olla tajutav, kuid selle avaldumisega ei kaasne kirjeldatud võimendavaid efekte, mis hoonetes (FTA 2006).

Teeliiklusest tingitud vibratsioon on peamiselt põhjustatud raskemate sõiduvahendite, nagu veoautode ja busside sõitmisel üle tee ebatasasuste. Sõiduautode ja kergemate sõiduvahendite liikumisel ei teki märkimisväärset vibratsiooni. Analoogselt maanteetranspordiga sõltub raudteetranspordist tingitud vibratsioon raudtee kvaliteedist ja rongide tehnilistest omadustest. **Parim viis vibratsiooni leviku piiramiseks on transporditrasside korrashoid ja liikumiskiiruse piiramine.** Nõuetele vastavate materjalide kasutamine teetrasside rajamisel ning teehoolduse kvaliteedi tagamine ning parendamine aitavad vähendada vibratsiooni tekkimist (NZ Transport Agency 2012; Hunaidi 2000).

Transpordist tingitud vibratsioon ja selle mõjude avaldumine sõltub paljudest teguritest, mistõttu ei ole võimalik antud probleemi kirjeldada ühtsetel alustel. Ainuüksi maapinna geoloogiast ja objekti ehituslikest eripäradest tulenevalt tuleb **transpordi vibratsiooni kirjeldamiseks lähtuda konkreetse olukorra tingimustest**. Seetõttu on tegemist objektipõhise valdkonnaga, kus probleemseid piirkondi tuleb analüüsida kohapealseid tingimusi arvestades. Keskkonnaseisundi hindamisel saab toetuda inimeste kaebuste statistikale ning praktilistele mõõtmistele. Kaebuste geograafiline paiknemine aitaks kindlaks määrata transporditrasside probleemsemad asukohad. Käesoleval ajal ei ole transpordist tingitud vibratsiooni kaebuste statistika piisav adekvaatse analüüsi teostamiseks. Viimase 10 aasta jooksul on Terviseamet registreerinud vaid üksikuid kaebusi liiklusest põhjustatud vibratsiooni kohta. Tegelikult ei ole teada, kas liiklusest tulenev vibratsioon on suuremaks probleemiks või mitte, kuid ametlikult registreeritud kaebuste põhjal seda väita ei saa.

2 Keskkonnale avalduv surve ja surve muutus (P)

Lähtuvalt eeltoodust on vibratsiooni kui survet ja selle muutust analüüsitud kaevandamistegevuse ja transpordi valdkonnas.

Erialakirjanduse põhjal on maavõngete kui surve kirjeldamiseks kõige sobivam parameeter maapinna osakeste võnkumise kiirus ehk summaarne **võnkekiirus** (ingl *peak particle velocity*), mille ühikuks SI-süsteemis on mm/s. See on peamine iseloomustav väärtus maavõngete leviku kirjeldamiseks nii väliskeskkonnas kui ka hoonetele ja rajatistele avalduva kahjuliku mõju iseloomustamiseks ja kvantifitseerimiseks. Eesti õigusaktides ning rahvusvahelistes ja teiste riikide standardites on kehtestatud lubatud võnkekiiruse väärtused sõltuvalt kaugusest, võnkesagedusest, objektist või ehitise tüübist ja maapinna omadustest. Maavõngetega hoonetele ja inimestele ülekanduvat vibratsiooni ning selle mõju kirjeldatakse **vibrokiirenduse** kaudu, mille ühikuks SI-süsteemis on mm/s².

Vibratsioon ja sellest tulenevad häiringud hoonetes jagunevad tüübi järgi pidevaks, impulsiivseks ja vahelduva tugevusega vibratsiooniks. Pideva vibratsiooni allikateks on statsionaarsete masinate töötamisest, suuremate teede pidevast liiklusest ning sõltuvalt olukorrast ka ehitustegevusest pärinev vibratsioon. Impulsiivset vibratsiooni iseloomustab jõuliste võnkelainete tekkimine, mis tavaliselt ei kesta kauem kui paar sekundit. Selline vibratsioon tekib tavaliselt ühekordsest sündmusest, nagu lõhketööd või suuremõõtmeliste detailide laadimine/kukkumine ehitustegevuses. Vahelduv vibratsioon tekib ja hääbub vaadeldava ajaperioodi jooksul erineva sageduse ja tugevusega, sõltudes kaugusest. Vahelduva vibratsiooni allikateks võib lugeda rongi- või raskeveokite liiklusest ning ehitustegevuse erinevatest perioodilistest tööprotsessidest (vaiade rammimine, pinnase tihendamine) tulenevat vibratsiooni (Environmental Management 2006).

Raudteetranspordist tingitud vibratsioon avaldub mehaanilise jõuna rööbastele. Liikuva rongi massist tingitud vibratsioon kandub rataste kaudu rööbastele ja liipritele. Raudteealune täitematerjal ehk ballast summutab vibratsioonilainetega edasikanduvat energiat, kuid teatud osa kandub edasi ümbritsevasse keskkonda. Vibratsiooni ülekandumine sõltub rongi tehnilistest parameetritest, raudteeliiprite tüübist, ümbritsevast pinnasest, aga ka rongi liikumise kiirusest. Kiiruse kasvades suurenevad ka kaasnevad mehaanilised võnkumised. Samas on vibratsiooni puhul oluline ka sagedus: aeglaselt liikuv, pikk ja raske kaubarong võib tekitada suuremat vibratsiooniprobleemi kui lühike ja kiiresti liikuv kerge reisirong (Kivikangur 2014).

Kaubarongide möödumisest tekitatud maavõngete väärtused on suhteliselt väikesed. Erinevates riikides on mõõdetud tüüpiliste mööduvate kaubarongide (ajalise kestusega 90 s) vibratsiooni eri kaugustel. Tulemuste kohaselt on raudteerööbastest umbes 15 m kaugusel vibratsiooni väärtused 0,25 mm/s ning umbes 45 m kaugusel 0,10 mm/s (Wilson 2010). Kauba- ja reisirongide vibratsiooni on mõõdetud ka Eestis. Mõõtetulemuste kohaselt ei esine suuri erinevusi vibratsiooni väärtustes, kui samal kaugusel möödub kiirusega 40 km/h kauba- või reisirong. Mõõdetuna 7 m meetri kaugusel rööbastest on väärtused 2,3–5,2 mm/s ning 20–30 meetri kaugusel vähenevad väärtused kuni 0,8 mm/s. Eeltoodu kohaselt on sellest vibratsiooniallikast pärineva surve levikut võimalik määratleda kuni paarikümne meetri ulatuses allikast.

Transpordist pärinev vibratsioon põhjustab eelkõige häiringuid. Selliseid vibratsiooni väärtusi, mis mõjuksid kahjustavalt hoonetele või ehitistele, saab esineda vaid väga äärmuslikes tingimustes. Lisaks on raudteetranspordist pärinev häiriv vibratsioon sagedasem kui maanteetranspordi vibratsioon. Maanteetranspordi vibratsioon võib kujuneda probleemiks raskeveokite liikumisel ebatasasel teepinnal, näiteks väiksematel kõrvalteedel. Suuremate maanteede vahetus läheduses asuvates hoonetes avaldub vibratsioon lisaks maavõngetele ka teiste mõjude tagajärjel. Näiteks liiklusest pärinev madalsageduslik müra tekitab vibratsiooni hoonete akendes ja teistes vibratsioonitundlikemates konstruktsioonelementides, mida tihtipeale seostatakse ekslikult maapinna vibreerimisega. Efektiivseim meetod teetranspordi vibratsiooni vähendamiseks on kvaliteetsete teede rajamine ja pärastine teekatte korrashoid

(Hajek *et al.* 2006). Transpordist tuleneva vibratsiooni leviku ja mõjude täpsemaks hindamiseks on vaja täiendavaid uuringuid.

3 Keskkonnakasutusest loodusele avalduva mõju hindamine (I)

Käesoleva töö raames vibratsiooni mõju loodusele, sh elurikkusele, ei käsitleta. Keskkonnaseisundit ja -survet iseloomustava tegurina on vibratsiooni koondhinnang madala olulisusega. Olulisuse hindamise komponent „Mõju loodusele“ sai madala olulisuse hinnangu, tulenevalt vibratsiooni väikesest leviku ulatusest. Vibratsiooni mõju hindamiseks loodusele puuduvad ka andmed, mis võimaldaksid seostada erinevatest vibratsiooniallikatest lähtuvat survet ja seisundit looduses ilmnevate mõjudega. **Madal olulisuse hinnang ei tähenda samas mõju puudumist, vaid viitab vajadusele läbi viia valdkonna- ja liigispetsiifilisi uuringuid ning seiret,** mis võimaldaksid täpsemalt hinnata ja kirjeldada erinevate müra ja vibratsiooni tekitavate inimtegevuste mõju loodusele.

Teaduskirjandusest ja teistes riikides teostatud uuringutest on teada, et vibratsioon mõjub erinevatele liikidele erisuguselt (Jochimsen *et al.* 2004). Enam on maismaal tekkivast, maavõngetena levivast vibratsioonist mõjutatud tõenäoliselt mullaelustik. Vibratsiooni ja vibratsiooni põhjustava müra mõju mullaelustikule on vähe uuritud, kuna enamus akustiliste, sh vibratsiooni häiringutega seotud uuringutest on pühendatud imetajatele ja lindudele. Olemasolevad uuringud viitavad, et **mullas elavatele loomadele avaldab inimtegevusest tekkiv vibratsioon segavat mõju,** kuna häirib nende omavahelist vibratsiooni tekitamisel ja tajumisel põhinevat kommunikatsiooni ja orienteerumist keskkonnas, mis võib mõjutada nende paljunemisedukust ja arvukust (Gordon and Uetz 2012).

Veekeskkonnas leviv vibratsioon ja selle mõju on tihedalt seotud veealuse müra ja selle allikatega. Näiteks on Läänemeres ja Taani väinades seoses tuuleparkide mõjuga loodusele läbi viidud uuringute kokkuvõttes (Bergström *et al.* 2014) välja toodud **akustiliste häiringute juures müra ja vibratsiooni ulatuse ja intensiivsuse hinnangud mereimetajatele, kaladele ja põhjaelustikule.** On leitud, et häiringute levik ja avalduvad mõjud sõltuvad nii tegevuse etapist (tuulepargi rajamine, tuulepargi tööperiood), keskkonnast (vesi, põhjasetted) kui ka vaadeldavast liigirühmast. Mõju sõltub olulisel määral ka tuulegeneraatorite konstruktsioonist ja pargi rajamiseks kasutatavast tehnoloogiast, seejuures võivad mõjud olla nii positiivsed kui ka negatiivsed. Järeldustena on välja toodud, et tuulegeneraatorite töötamisel setetes leviv vibratsioon on väikese leviku ulatusega ning ei ole olulise mõjuga. Lisaks tuleks vältida tuuleparkide rajamist piirkondadesse, kus looduskaitsest aspektist lähtuvalt asuvad olulised mereimetajate ja kalade toitumis- ja paljunemisalad. Ehitustöödega kaasnev müra ja vibratsioon häirib nii mereimetajaid kui ka kalu suuremal määral ja toob kaasa nende ümberpaiknemise. **Siiski nimetatakse mereimetajaid ja kalu mõjutavate olulisemate inimtegevustena veekeskkonna saastamist ja ülepüüki.**

4 Vibratsioonist tingitud tervisemõjud (I)

4.1 Vibratsioonist põhjustatud tervisemõjude kirjeldus

Vibratsiooniga seotud tervisekaebused on enamasti seotud üldvibratsiooni ja kohtvibratsiooniga, mis on seotud enamasti lokaalse ja ei ole seotud keskkonnas leviva vibratsiooniga. Vibratsioonitõbi on haigus, mida põhjustab mitmesuguste seadmete või töövahendite poolt tekitatava vibratsiooni mõju inimorganismile. Olulised on seejuures vibratsiooni parameetrid (võnkesagedus, -ulatus, -kiirus) ja vibratsiooni kestus tööpäeva jooksul. Arvestada tuleb asjaoluga, milline on kontakt vibratsiooniallikaga – üldine või kohalik.

Üldvibratsioon tekib näiteks seadmete aluste või platvormide (näiteks ehitusdetailide, valuvormide valmistamisel jne) võnkumisel. Samuti kandub üldvibratsioon masinate (traktor, kombain, buldooser, ekskavaator, vanemad veoautod jne) töötamisel kabiini põrandale, istmele ning avaldab kahjulikku toimet tervele organismile. **Kohtvibratsioon** kandub töövahendi (näiteks puur, mootorsaag, trellpuur jne) kaudu kätele, põhjustades peamiselt väikeste veresoonte ja närvide kahjustusi. Traktori ja operaatorile mõjuv vibratsioon võib olla erisuunaline. Kohtvibratsioon põhjustab nõ suremistunnet kätes, eriti öösel, valusid ülajäsemetes, käed kardavad külma, sõrmeotsad lähevad külmas valgeks, labakäed on niisked, jahedad. Esinevad veresoonte toonuse ja läbilaskvuse häired. Vibratsioonitõbi tuleb ilmsiks juba 5-aastase töötamise järel üldvibratsiooni tingimustes. Üldvibratsiooni puhul kaasnevad kesknärvisüsteemi talitluse häired (kiire väsimine, peavalu jm), kahjustub kuulmisnärv. Vibratsiooni juhib luukude. Seetõttu kandub vibratsioon edasi nendesse organismi piirkondadesse, mis ei ole otse tööriistaga seotud, nagu siseelundid, lülisammas.

Üld- ja kohtvibratsioon ei põhjusta välismõju kolmandatele isikutele, mistõttu neid käesolevas uuringus ei käsitleta.

Teaduskirjandusele tuginedes on leitud seoseid vibratsiooni ja ebameeldivustunde (ingl *annoyance*) vahel. Kui avalduv vibratsioon on 0,1 mm/s, siis tekitab see ebameeldivust inimeste seas kuni viis korda enam võrreldes vibratsiooni puudumisega. Kui vibratsioon tõuseb 0,5 mm/s, kasvab sellest häiritud inimeste arv 80 korda (Ndrepepa *et al.* 2011).

Vibratsioonist tingitud haigused võivad mõjutegurite lõikes olla erinevad, kuid levinumad on südame-veresoonkonna haigused (sh insult, südame isheemiatõbi).

Tabelis 1 on toodud kirjanduse põhjal koostatud ülevaade keskkonnas leviva vibratsiooni mõjust terviseriskidele.

Tabel 1. Vibratsiooniga seotud terviseriskid

Element	Kontsentratsioon	Tervisetulem	RR	Suremuse/haigestumuse riski suurendamine	Allikas
Vibratsioon	125 Hz 3 bpm rongi kohta	Unehäired Südamehaigused	$F(3,7) = 6,1$ $F(22,1) = 7,6$; ($p = 0,033$)	3,7 korda 7,6 korda	Smith <i>et al.</i> 2013

4.2 Vibratsiooniga seotud tervisemõjud teaduskirjanduse alusel

Teaduskirjanduses on leitud seoseid vibratsiooni ja ebameeldivustunde (*annoyance*) vahel. Kui vibratsioon on 0,1 mms/s, siis tekitab see ebameeldivust inimeste seas 5 korda enam. Kui vibratsioon tõuseb 0,5 mm/s, siis on 80 korda enam inimestest sellest häiritud (Ndrepepa and Twardella 2011).

Laborikatsetes, kus inimesed pannakse mürakeskkonda, on leitud, et võrreldes madalama müratasemega on kõrgema müratasemega seotud kiirenenud südamerütm ja sagenenud öine ärkamine. Pikema aja jooksul sellises keskkonnas elamine võib mõjutada südame-veresoonkonna normaalset toimimist (Croy, Smith, and Waye 2013).

4.3 Vibratsiooni tervisemõjude kvantifitseerimine

Vibratsioonist tingitud haigused võivad olla mõjutegurite lõikes erinevad, kuid levinumad on südame-veresoonkonna haigused (sh insult, südame isheemiatõbi), hingamisteede haigused (kopsuvähk, KOK – krooniline obstruktiivne kopsuhaigus), muud vähkkasvajad. Järgmises tabelis on toodud kirjanduse põhjal koostatud ülevaade, kus on hinnatud suremuse ja haigestumuse riske lähtuvalt õhusaaste elemendi kontsentratsiooni tõusu suuruselt (Tabel 2).

Tabel 2. Tervisemõju kvantifitseerimisel kasutatavad riskihinnangud

Element	Kontsentratsioon	Tervisetulem	RR	Suremuse/haigestumuse suurenemine	riski	Allikas
Vibratsioon	125 Hz	Unehäired	F(3,7) = 6,1	3,7 korda		(Smith <i>et al.</i> 2013)
	3 bpm rongi kohta	Südamehaigused	F(22,1) = 7,6; (p=0,033)	7,6 korda		(Croy, Smith, and Waye 2013)

5 Keskkonnakasutusest inimese heaolule avalduva mõju hindamine

5.1 Keskkonnamõju kirjeldus

Võrreldes selliste keskkonnakasutuse vormidega, nagu saasteainete heide välisõhku, ebameeldiv lõhn ning müra, kirjeldab üksikindikaator vibratsiooni mõju avaldumist inimese heaolule paremini. Silmas tuleb pidada, et vibratsiooni tajumine on individuaalne, nagu seda on ka müra tajumine. Maapinna vibratsiooni korral on tundlikumatel inimestel tajutavaks tasemeks 0,15–0,2 mm/s. Inimesed puutuvad kokku pidevalt üle 12,5 mm/s (piirväärtus) vibratsiooniga, nt transport. Tabelid 3 ja 4 kirjeldavad liiklusest pärineva lühi- ja pikaajalise vibratsiooni üldistatud tajumist inimeste poolt.

Tabel 3. Liiklusest pärineva pideva vibratsiooni mõju tajumine (allikas: Jones and Stokes 2004)

PPV (in/sec) ²	mm/s	Mõju
0,4–0,6	10,16–15,24	Ebameeldiv
0,2	5,08	Häiriv
0,1	2,54	Hakkab häirima
0,08	2,03	Selgelt tajutav
0,006–0,019	0,15–0,48	Tajumise lävi

Tabel 4. Lühiajalise vibratsiooni mõju tajumine

PPV (in/sec)	mm/s	Mõju
2,0	50,80	Tõsine
0,9	22,86	Tugevalt tajutav
0,24	6,1	Selgelt tajutav
0,035	0,89	Vaevu tajutav

Briti ja USA transpordiametite uurimustöodes ja raportites (TRRL, US DOT) on esitatud piirväärtused ja esinemise sagedused liikluse vibratsiooni tajumise ja häirituse kohta. Kokkuvõttev ülevaade on esitatud tabelis 5.

² PPV *peak particle velocity* – osakese suurim hetkkiirus valitud ajavahemikus

Tabel 5. Liiklusest tingitud vibratsiooni häiringute tasemed

Võnkekiirus, mm/s	Mõju inimesele	Mõju hoonetele
0–0,15	Tajumatu	Kahju välistatud
0,15–0,3	Madalaim tajutav vibratsioon	Kahju välistatud
2,0	Vibratsioon tajutav enamiku inimeste poolt	Varinguohtrlike ajaloo- ja arhitektuurimälestiste piirväärtus
2,5	Pidev vibratsioon muutub häirivaks	Kahju välistatud enamikule hoonetest
5,0	Häiriv vibratsioonitase	Võimalik väiksemate pragude esinemine
10,0–15,0	Pidev vibratsioon, ebameeldiv ja talumatu	Nõrgematel hoonetel kahjulik mõju konstruktsioonile
Piirkond	Pidevad vibratsiooni sündmused (> 70 päevas)	Üksikud vibratsiooni sündmused
Võnkekiirus, mm/s		
Elamualad	0,15	0,35
Avalikud, ühiskondlikud hooned	0,20	0,50

5.2 Vibratsiooni keskkonnamõju kvantifitseerimise tulemus

Võimalike vibratsiooni mõju iseloomustavate indikaatoritena on kasutatud järgmisi indikaatoreid (vt ka DPSIR tabel lisas 11a):

- mõjutatud või kahjustatud elamuhoonete ja kultuuriobjektide arv (tk);
- muutused kinnisvarahinnas (%/km) (Bateman *et al.* 2001).

Ekspertsoovitus vibratsiooni mõjude rahaliseks kvantifitseerimiseks on **ennetuskulu meetod**, lisaks kinnisvarahinnale ning väärtuse ülekandele on teiste seas võimalikud ka valikkatse ja tingliku hindamise meetodid (vt ka põhjaruandes ptk 10.11, tabel 17, rahalise hindamise meetodikate sobivus keskkonnakasutuse vormi hindamiseks).

Indikaatorite usaldusväarsus, kirjeldamaks võimalikku heaolu muutust, on kõrge: kultuuriobjektide ja eluhoonete kaitseks on rahvusvaheliselt kehtestatud vibratsiooni piirväärtused ning need on kohaldatavad ka inimestele. **Määramatus** on pigem **kõrge**, tulenevalt kättesaadavate andmete kõrgeastalt agregeerituse tasemest. Hinnangute kvaliteedi paranemise tagaks objektispetsiifiliste uuringute läbiviimine ning objektipõhiste andmete süstemaatiline kogumine.

Väliskirjanduses on vibratsiooni ning heaolu seostatud üksikutes uuringutes läbi **kinnisvarahindade muutumise** (Bateman *et al.* 2001); samuti on uuritud seoseid vibratsiooni, bioloogilise mitmekesisuse ning inimese heaoluga (Notice Nature 2010; Sandifera *et al.* 2015). Käesolevas uuringus andmete puudumise tõttu (vajalik oleks vibratsiooni leviku andmed ning

piirkonna objektide ostu-müügi tehingute andmed) vibratsiooni mõju kinnisvarahindadele empiiriliselt üleriigiliselt ei hinnatud.

Soovituslikud indikaatorid mõju hindamiseks heaolule on näiteks:

- kahjustatud elamuhoonete, avalike hoonete ning kultuuriobjektide arv vibratsiooni levimise võimalikus piirkonnas (töö raames teostatud hindamise põhjal on potentsiaalselt kaevandamisega kaasnevast vibratsioonist mõjutatud kuni 41 000 inimest ja 19 000 elamuhoonet; transpordist tekitatud vibratsioonist mõjutatud elanike ja hoonete arvu pole võimalik käesolevas uuringus välja tuua);
- võimalik kinnisvarahinna langus (%/m);
- ehitiste kahjustuste kompensatsioonid;
- elurikkusega seotult – eluga rahulolu.

Tõendusliku ning põhjusliku seose leidmine vibratsiooni ulatuse ning heaolu vahel on võimalik vaid objektipõhiselt, lähtudes reaalselt mõõdetud vibratsiooni tugevusest ning konkreetsetest kahjustustest, mida saab väljendada rahaliste kuludena.

Tulemuste üldistamine sellise meetodi kasutamisel ei ole soovitatav, tulenevalt juba seisundi- ja survenäitajate juures ning metoodika all põhjaruandes kirjeldatud vibratsiooni leviku eripäradest ja sõltuvusest kohalikest tingimustest. Lisaks on sarnaselt müraga ka vibratsiooni tajumine subjektiivne. Mõningate uuringute kohaselt väheneb näiteks inimese tundlikkus vibratsiooni tajumisele sõltuvalt sellest, mida pikem on vibratsiooni kestus või mida pikaajalisem on inimese kokkupuude häiringuga (Rourkela 2013).

6 Vibratsioon – kokkuvõtte hindamisest

Tabel 6 Vibratsioon – seisundi-, surve- ja mõjunäitajad

Surve (keskkonnakasutus)	Seisund (keskkonnakvaliteet)	Potentsiaalselt mõjutatud inimeste arv (ligikaudne hinnang)	Mõju (IT - inimese tervis, IH – inimese heaolu; L – loodus)
Rööbas- ja maanteetranspordi maavõnked (iseloomustab võnkekiirus mm/s)	Objektipõhine mõju 30–50 m ulatuses allikast	Ei ole võimalik üheselt määratleda	IT: mõõdetavalt puudub, kiirenenud südamerütm ja sagedasem öine ärkamine. Pikema aja jooksul võib mõjutada SVK haigustesse suremuse kasvu L: mõju mõõdetavalt puudub

Vibratsiooni keskkonnamõju avaldub ümbritsevale keskkonnale väga keeruliste ja komplekssete parameetrite ja mõjutegurite omavaheliste seoste kaudu. Vibratsiooni teket, levikut ja avaldumist looduskeskkonnale ja inimesele tuleb vaadelda **objektipõhiselt**, arvestades ümbritsevaid tingimusi.

Oluline maavõngete ja vibratsiooni põhjustaja on kaevandamisega seotud lõhketööd, mille mõju ulatub töötsoonist väljapoole ja võib negatiivselt mõjutada ümbritsevat elukeskkonda. Lõhketööde negatiivne mõju avaldub mõjualasse jäävate hoonete võimalikes kahjustustes ja inimeste häiringutes. Eesti mäetööstuses kasutatakse lõhketöid karbonaatsete kivimite, nagu lubja- ja dolokivi, ning põlevkivi raiumisel. Geoloogilise aluspõhja iseärasuste tõttu **paiknevad lõhketöödega seotud karjäärid ja kaevandused Põhja- ja Ida-Eestis**, mistõttu esineb nendes Eesti piirkondades maavõngetest põhjustatud vibratsiooni keskkonnamõjusid. Kaevandamisega seotud vibratsiooni käsitleb lähemalt põhjaruande lisa 8.

Transpordivaldkonna vibratsioon (võrreldes lõhketöödega) on pigem **teisejärguline probleem**, sest väliskeskkonda levivad maavõngete väärtused on tunduvalt väiksemad. Raudteeliiklusest pärinev vibratsioon levib peamiselt rööbastehaiguste vahetus läheduses, sumbudes ümbritsevas keskkonnas allapoole tajutavaid väärtuspiire juba paarikümne meetri kaugusel. Maanteetranspordi vibratsioon on veelgi väiksemate väärtuse ja levikuga, sest kõvakattega tee tasapind ei põhjusta arvestatavat vibratsiooni. Liikluse vibratsiooni kahjulik mõju võib esineda ainult üksikutes olukordades, mistõttu tuleks probleemseid olukordi käsitleda eraldiseisvalt. Vibratsiooni ja sellest tulenevate mõjude sisutihedamaks hindamiseks on vajalikud vibratsiooni põhjustavate allikate seire ning mõõtmiste olukorratingimuste fikseerimine.

Maavõngete ja vibratsiooni surve-seisundi-mõju täpsemaks iseloomustamiseks on vaja **täiendavaid seireandmeid ning andmete süstemaatilist kogumist**. Maapinna omadustest tingituna varieerub surve ja ülekanduv mõju suuresti, mistõttu tuleks teostada kompleksset ja järjepidevat seire erinevates geoloogilistes tingimustes. Seega eeldab ka mõju hindamine elustikule ning põhjuslike seoste väljaselgitamine vibratsiooni ning liikide ja kohalike populatsioonide arvukuse ja paiknemise muutuste vahel **olukorrapõhiste, liigirühmade eripärasid arvestavate uuringute läbiviimist**.

Kasutatud taustamaterjalid

1. Bateman, I., Day, I., & Lovett, A. (2001). *The Effects of Road Traffic on Residential Property Values: A literature Review and Hedonic Pricing Study*. University of East Anglia, Economic & Social Research Council, and University College London
2. Bergström, L. et al., (2014). *Effects of offshore wind farms on marine wildlife – a generalized impact assessment*. *Environ. Res. Lett.* 9 034012
3. *Blast Vibration Monitoring in Opencast Mines*. Department of Mining Engineering National Institute of Technology Rourkela, 2013
4. Croy, I., Smith, M.G., and Persson Waye K. (2013). *Effects of Train Noise and Vibration on Human Heart Rate during Sleep: An Experimental Study*. *BMJ Open* 3 (5). doi:10.1136/bmjopen-2013-002655
5. *Environmental Management, 2006. Assessing Vibration – a Technical Guideline*. Department of Environment and Conservation, Sydney
6. *Ground vibration from road construction*, New Zealand Transport Agency research report 485, 2012
7. Gordon, Shira D., Uetz, George W. (2012). *Environmental interference: impact of acoustic noise on seismic communication and mating success*. *Behav Ecol*, 23 (4): 707–714
8. Hajek, J., Blaney, C., Hein, D., *Mitigation of Highway Traffic-Induced Vibration*, Annual Conference of the Transportation Association of Canada, 2006
9. Hunaidi, O., *Traffic Vibrations in Buildings*, Construction Technology Update No. 39, 2000
10. Jochimsen Denim M., Peterson, Charles R., Andrews, Kimberly M. Gibbons, Whitfield J., *A Literature Review of the Effects of Roads on Amphibians and Reptiles and the Measures Used to Minimize Those Effects*. Idaho Fish and Game Department USDA Forest Service, 2004
11. *Notice Nature*. (2010). *Wildlife, Habitats & the Extractive Industry*
12. Ndrepepa, A., Twardella, D. (2011). *Relationship between Noise Annoyance from Road Traffic Noise and Cardiovascular Diseases: A Meta-Analysis*. *Noise & Health* 13 (52): 251–259. doi:10.4103/1463-1741.80163
13. *Rail Baltic läbi müra ja vibratsiooni vaatevinkli*, Tallinna Tehnikakõrgkool, R. Kivikangur, 2014
14. Sandifera, P. A., Sutton-Grierb, A. E., Wardc, B. P. (2015). *Exploring connections among nature, biodiversity, ecosystem services, and human health and well-being: Opportunities to enhance health and biodiversity conservation*. *Ecosystem Services Vol 12*, 1–15
15. Smith, M. G., Croy, I., Ögren, M., Persson, Waye, K, (2013). *On the Influence of Freight Trains on Humans: A Laboratory Investigation of the Impact of Nocturnal Low Frequency Vibration and Noise on Sleep and Heart Rate*. *PLoS ONE* 8 (2). doi:10.1371/journal.pone.0055829
16. *Traffic Induced Vibrations in Buildings*, research Report 246, Transport and Road Research Laboratory (TRRL), Department of Transport, UK, 1990
17. *Transit noise and vibration impact assessment*, US Department of Transportation, Federal Transit Administration (FTA) 2006
18. *Transit Noise and Vibration Impact Assessment*, Report DOT-T-95-16, Federal Transit Administration, US Department of Transportation, 1995
19. *Vabariigi Valitsuse (VV) 12.04.2007 määrus nr 109 „Töötervishoiu ja tööohutuse nõuded vibratsioonist mõjutatud töökeskkonnale, töökeskkonna vibratsiooni piirnormid ja vibratsiooni mõõtmise kord“*, RT I 2007, 34, 215
20. *Wilson, G., Rasp Mine Environmental Assessment Report – Vol 1*, Broken Hill Operations Pty Ltd, 2010
21. *Wind Turbine Sound and Health Effects, An Expert Panel Review*, American and Canadian Wind Energy Association (AWEA/CanWEA), 2009