

Õhutõrje ja suurtükiväe (merele orienteeritud) laskmisvõimaluste ning mereväe väljaõppe läbiviimiseks võimalike asukohtade selgitamine

Keskkonnamõju strateegiline hindamine

Laskmisest tingitud vibratsiooni mõju

Kadri-Piibe Luik  
Marko Ründva  
Timo Markula  
Tapio Lahti

Kadri-Piibe Luik, Marko Ründva,  
Timo Markula, DI; Tapio Lahti, TkT,

31.3.2009

Õhutõrje ja suurtükiväe (merele orienteeritud) laskmisvõimaluste ning mereväe väljaõppe läbiviimiseks võimalike asukohtade selgitamine

Keskkonnamõju strateegiline hindamine

Laskmisest tingitud vibratsiooni mõju

tellijaja: Kaitseministeerium  
leping: Leping nr 83, 19.2.2009  
kontakt: Nele Loorents

## Kokkuvõte

Kaitseministri poolt on käskkirjaga nr 213, 23.5.2007 algatatud arendusprogramm „Õhutõrje ja suurtükiväe relvade (merele orienteeritud) laskmisvõimaluste ning mereväe väljaõppe läbiviimise võimalike asukohtade väljaselgitamine” (edaspidi ÕSMAAP) [1]. Arendusprogrammi eesmärgiks on analüüsida kaitsejõudude perspektiivsete, merele orienteeritud harjutusalade võimalike asukohti, kasutustingimusi ja sotsiaal-majanduslikku põhjendatust.

KSH tasandil on tegeletud piirkonna (ala) põhimõttelise sobivusega laskepositsiooniks, mitte niivõrd konkreetse punkti/kinnistu sobivusega. KSH-s analüüsitud laskepositsioonide võimalikke asukohti on käsitletud seega kui indikaativseid ehk „täpsustamist vajavaid”. See tähendab, et osa võimalikke alasid (näiteks Rutja rand endise piirivalverajatise juures, kuhu viib ka metsatee) on juba põhimõtteliselt paigas, osade puhul (Nõva Liivanina, Kõpu, Letipea) on edaspidi (koostöös maaomaniku ja vallaga) vajalik asukoha täpsem paikapanek. Kaartidel esitatud laskepositsioone on seega kujutatud tinglikult, alasid võib rannikul nihutada mõlemas suunas kuni 0,5 km.

Käesoleva raporti eesmärgiks on anda ülevaade laskeharjutuste läbiviimisel ja lõhkamiste sooritamisel tekkivast vibratsioonist, selle levikust ning selle põhjustatud võimalikust häiringust. Samuti anda soovitusi, millised akustilised parameetrid peaksid väljaõppel olema täidetud, et vibratsioonihäiringuid oleksid võimalikult minimaalsed.

Heli- ja vibratsioonilainete poolt põhjustatud hoonete ja tarindite vibratsioon ning samuti elanike kuulmis- ja tundmistaju võivad kokku moodustada märkimisväärse keskkonnahäiringu. Elanike kaebused põhinevad peamiselt müra ja vibratsiooni koosmõjul tekkivale häiringule, samuti ehituskahjustustel või kartusele nende tekkimisele.

Planeeritavate harjutusalade väljaõppe iseärasuseks on väljaõppe lühike kestvus (3-5 päeva kaks korda aastas) ning väike laskude arv, mis vähendab väljaõppe poolt tekitatavaid võimalikke mõjusid. Planeeritavate harjutusväljade väljaõppe läbiviimisel kasutusel olevatest relvadest võib vibratsioonihäiringuid tekitada 155 mm välihaubits ja lõhkekehade demineerimine.

Lõhkamis- või plahvatuskohas tekitatud vibratsioon ei levi kaugemal paiknevate hooneteni maapinna kaudu, vaid vibratsiooni põhjustab maapinnale ja hoonetele mõjuv helilaine energia. Põhiline osa hoone vibratsioonist tekibki helilaine survest välispiirdele ja akendele ning see on suurim ehitiste kahjustusriski allikas. Erinevate allikatele toetudes pole raskerelvadest laskmiste puhul maapinna kaudu leviv vibratsioon suurte vahemaade korral eriti märkimisväärseks osutunud.

Käesolevas raportis esitatud, kirjandusel põhinevad kahjustusriskide piirväärtused on vundamendi vibratsioonikiirus  $v_{\text{peak}}$  5 mm/s ja välispiirdele mõjuv helirõhk  $L_{pZE}$  122-127 dB (vastab  $L_{pZ\text{peak}}$  135-140 dB). Tekkida võiva häiringu seisukohalt on kirjanduses olemas väga vähe relvade ja lõhkamiste jaoks sobivaid soovituslikke tasemeid; lähimad vibratsiooni piirväärtused on olemas liiklusest tingitud vibratsioonile.

Võimalike negatiivsete mõjude vältimiseks tuleks tulepositsioonid valida võimalikult kaugel lähimatest hoonetest.

Keskkonahäiringu suuruse täpseks määramiseks tuleks läbi viia reaalse laskmisharjutuste käigus vibratsiooni ja helirõhutasemete mõõtmised ning häirivuse väljaselgitamiseks küsitlused elanikkonna seas.

Käesoleva töö koostamisel tutvuti enamuste planeeritavate laskepositsioonidega.

Arusaadavuse jaoks on käesolevale aruandele lisatud lisa B, kus on esitatud peamiste müra- ja vibratsioonialaste mõistete selgitused.

## Sisukord

1	ÕSMAAP	4
2	Relvad ja lõhkamised	5
3	Õigusaktid ja soovitused	6
3.1	Eesti seadusandlus	6
3.2	Teiste riikide nõuded	7
4	Vibratsiooni teooria	10
4.1	Vibratsiooni iseloomustavad suurused	10
4.2	Vibratsiooni mõõtmine ja hindamine	11
5	Vibratsiooni mõjud ja soovituslikud määrad	14
5.1	Ehitiste kahjustused	14
5.1.1	Maapinnal leviv vibratsioon	14
5.1.2	Õhus leviv vibratsioon	15
5.2	Inimese tundlikkus vibratsioonile	15
6	ÕSMAAP'i harjutusala ülevaade	17
6.1	Nõva ida - Ristinina	17
6.2	Nõva lääś - Liivanina	18
6.3	Juminda	18
6.4	Rutja	19
6.5	Letipea	19
6.6	Sõmeri	19
6.7	Aseri	19
6.8	Kõpu	20
7	Tõrjemeetmed	21
7.1	Vibratsioonivastased ja heliisolatsiooni parandavad võtted	21
7.2	Vibratsioonitõrje	22
7.3	Projekteerimine ja planeerimine	22
8	Järeldused ja kokkuvõte	23
	Lisa A - Allikad	25
	Lisa B Vibratsiooni üldmõisted	

## 1 ÕSMAAP

Käesolev raport on täiendus arendusprogrammi „Õhutõrje ja suurtükiväe relvade (merele orienteeritud) laskmisvõimaluste ning mereväe väljaõppe läbiviimise võimalike asukohtade väljaselgitamine” (edaspidi ÕSMAAP) strateegilise keskkonnamõju hindamisele ja selle mürauringule. Arendusprogramm keskendub merele orienteeritud harjutus- ehk testaladele.

Käesolevas raportis antakse ülevaade peamiselt Suurtükiväegrupi kasutuses olevate relvade (155 mm haubitsad) poolt võimaliku tekitatava vibratsiooni kohta. Samuti antakse soovitusi, millised akustilised parameetrid peaksid väljaõppel olema lähimate müratundlike hoonete juures täidetud, et vibratsioonihäiringuid oleksid võimalikult minimaalsed.

Kaitsejõududel on vajalik läbi viia teatud harjutusi, mille tarvis maismaa harjutusväljakud ei sobi kas ebapiisava nähtavuse, ebapiisava ohuala või väeosa spetsiifika tõttu (Merevägi). ÕSMAAP-iga soovitakse leida lahendusi Suurtükiväegrupi, Õhutõrjedivisjoni ning Mereväe lühiajalise (3-5 päeva kaks korda aastas) kasutamise harjutusaladele.

KSH tasandil on tegeletud piirkonna (ala) põhimõttelise sobivusega laskepositsiooniks, mitte niivõrd konkreetse punkti/kinnistu sobivusega. KSH-s analüüsitud laskepositsioonide võimalikke asukohti on käsitletud seega kui indikatiivseid ehk „täpsustamist vajavaid”. See tähendab, et osa võimalikke alasid (näiteks Rutja rand endise piirivalverajatise juures, kuhu viib ka metsatee) on juba põhimõtteliselt paigas, osade puhul (Nõva Liivanina, Kõpu, Letipea) on edaspidi (koostöös maaomaniku ja vallaga) vajalik asukoha täpsem paikapanek. Kaartidel esitatud laskepositsioone on seega kujutatud tinglikult, alasid võib rannikul nihutada mõlemas suunas kuni 0,5 km.

## 2 Relvad ja lõhkamised

Raskerelvadest laskmine ja sihtmärkide tabamine tekitavad mitmete kilomeetrite taha levivaid helirõhulaineid. Arendusprogrammi eelis on see, et haubitsate sihtmärgid asuvad merel otselaskmise korral 0.8-2 km kaugusel laskepositsioonist ja koordinaatlaskmise korral 3-16 km kaugusel laskepositsioonist ning sihtmärkide tabamise poolt tekitatavad helilained ei mõjuta otseselt maismaad ja seetõttu on peamiseks müraallikaks haubitsa suudme plahvatus.

Vibratsiooni tekkimise seisukohast on oluline jagada kasutatavad relvad ehk vibratsiooniallikad kaheks:

- **155 mm välihaubits FH-70 A1;**
- kõik ülejäänud (automaatrelvad ja kuulipildujad, 23 mm õhutõrjekahurid, 40 mm õhutõrjekahurid, 76 mm õhutõrjekahurid, raketikompleks Mistral).

Laiaulatuslikum vibratsioonihäiring on võimalik tekitada 155 mm välihaubitsatest laskmisharjutuse läbiviimisel Suurtükiväegrupi poolt. Teised relvad võivad põhjustada lokaalseid häiringuid, kuid nende mõju ja ulatust ei saa võrrelda välihaubitsa põhjustatud häiringuga.

Müra ja vibratsiooni leviku ulatus sõltub eelkõige laskemoona kogusest. Suurtükiväegrupi poolt läbiviidavate laskeharjutustel kasutavad suurim laskemoon on järgmine:

- 155 mm välihaubitsad FH-70 A1 – laskemoona kaal 43,6 kg.

Harjutuste läbiviimisel on võimalik, et lask ebaõnnestub ja laskemoon tuleb kahjutuks teha e. demineerida. See toimub maapinnal ja võib sellisena olla oluline häiringu allikas (lõhkamine toimub eluhoonetele oluliselt lähemal kui see plahvataks merel).

Harjutusala kasutamisel Suurtükiväegrupi poolt on tulistavate mürskude koguseks sõltuvalt 40-80 mürsku, testlaskmiste korral kujuneb mürskude arv vastavalt harjutuses osalevate relvade hulgale, kuid ei ületa 120 mürsku.

### 3 Õigusaktid ja soovitused

#### 3.1 Eesti seadusandlus

Eesti puuduvad militaartegevusest põhjustatud vibratsiooni kohta nõuded, kuid teistes valdkondades reguleerivad seda Sotsiaalministri ning Majandus- ja kommunikatsiooniministri määrused:

- Sotsiaalministri 17.5.2002. a määrus nr 78 „Vibratsiooni piirväärtused elamutes ja ühiskasutusega hoonetes ning vibratsiooni mõõtmise meetodid“;
- Majandus- ja kommunikatsiooniministri 21.11.2007 määrus nr 88 „Lõhkematerjali käitlemise kord“.

Sotsiaalministri 17.5.2002. a määrus nr 78 kehtestab üldvibratsiooni piirväärtused. Üldvibratsioon on määruse tähenduses mehhaaniline võnkumine, mis kandub seisvale, istuvale või lamavale inimesele üle toetuspindade kaudu. Vibratsiooni piirväärtused päevasele ja öisele ajavahemikule on toodud tabelis 1.

Nõuded on toodud vibrokiirenduse piirväärtusena  $m/s^2$ . Kuna teiste riikide vastavad nõuded on esitatud millimeetrites (üldiselt kasutatav), siis on ka tabelis 1 toodud piirväärtused esitatud kujul  $mm/s^2$ .

Tabel 1. Vibrokiirenduse piirväärtused ( $mm/s^2$ )

	päeval (7-23)	öösel (23-07)
<b>Olemasolevad</b>		
Elamute, ühiselamute ja hoolekandeesutuste, koolieelsete lasteasutuste elu-, rühma- ja magamistoad	12,6	8,83
Majutusettevõtete majutusruumid	12,6	8,83
Tervishoiuteenuste osutamise ruumid, v a haiglapalatid	12,6	12,6
Haiglapalatid	12,6	12,6
Õppeasutuste õppetöö ruumid	12,6	
Bürood ja haldushooned	25,2	
<b>Projekteeritavad</b>		
Elamute, ühiselamute ja hoolekandeesutuste, koolieelsete lasteasutuste elu-, rühma- ja magamistoad	8,83	6,31
<b>Haiglapalatid</b>	6,31	6,31

Kehtestatud piirväärtuse aluseks on ISO standardis 2631-2:1989 toodud baasköver.

Vibratsiooni hinnatakse ka kiirendusena lävisuuruse suhtes ehk vibrokiirenduse tasemena, mille ühikuks on detsibell (dB). Kuna arendusprogrammi strateegilise keskkonnamõju hindamise juurde kuulub ka mürauuring, siis selguse huvides käsitletakse antud töös vibratsiooni väärtusi  $mm/s^2$  (vibrokiirendus) või  $mm/s$  (vibrokiirus). Neid kahte väärtust ei tohi omavahel segamini ajada. Vibratsiooni mõõtmiste käigus leitakse alati vibrokiirendus; teades vibratsiooni spektrit, ajalist kestust on võimalik arvutada vibrokiirus. Vibrokiirendus on vektoriaalne suurus, mis iseloomustab vibratsiooni kiiruse muutumist ajas, väljendatakse parameetri ruutkeskmise väärtusega,  $m/s^2$ .

Majandus- ja kommunikatsiooniministri 21.11.2007 määruses nr 88 „Lõhkematerjali käitlemise kord“ Lisas 1 on toodud seismiliselt ohutu laengu määramise põhimõte. Lisa 1 tabelis 1 on toodud lõhatava laengu mass, juhul kui kaitstava objekti kaugus on alla 50 meetri. Tabelis toodud kahjustuskoefitsiendi 0,03 (mingeid kahjustusi ei teki) puhul võib 50 m kaugusel kasutada 11 kg momentlaengut.

Kuigi antud määrus ei reguleeri militaarõppuste läbiviimist, saab määruse Lisa 1 toodud ohutu laengu määramise põhimõtet kasutada planeeritavate harjutuste läbiviimisel (demineerimistööd).

### 3.2 Teiste riikide nõuded

Raskerelvade müra võib põhjustada tarindite vibratsiooni ja harvadel juhtudel ka struktuurseid kahjustusi; kahjustused on tavaliselt põhjustatud ühelikiirusel levivate helilainete poolt, mis on põhjustatud raskerelvadest laskmisel tekkivast ülerõhust, pommidest ja lõhkamistest.

Peamiselt on vibratsiooni piirväärtused kehtestatud autoliikluse, raudteeliikluse, ehitustööde ja lõhkamiste kohta; otsesest relvade kasutamisest põhjustatud nõudeid on kehtestatud üksikutes riikides ja reeglina on tegemist juhendmaterjaliga. Erinevate selliste dokumentide loetelu on esitatud lisas A.

Kui vaadata eri riikide normdokumente ja juhendmaterjale, siis peamiselt on määratud võimalike ehituskahjustuste tekkimise piirväärtused; otseselt inimestele mõjuvaid vibratsioonitasemeid on vähem käsitletud. Oma iseloomu tõttu ei saa siiski liikluse poolt põhjustatud vibratsioonitasemeid otseselt võrrelda plahvatuste ja lõhkamiste tekitatud vibratsiooni ja lööklainetega.

Üldjuhul jagatakse hooned ja maapinnad erinevatesse klassidesse, millel on siis erinevad tegurid võimalike kahjustuste hindamisel/ennustamisel; nt. kergkonstruktsioonis puithoone on vibratsiooni poolt rohkem mõjutatud kui betoonkonstruktsioonis hoone.

Kõige ulatuslikum selline dokument on: *North Atlantic Treaty Organization (NATO) (2000). The effects of noise from weapons and sonic booms, and the impact on humans, wildlife, domestic animals and structures. Committee on the challenges of modern society, Report 241, 2000.* Nimetatud dokument koosneb eri riikide igapäevasest praktikast seoses müra ja vibratsiooniga. Ehitiste kahjustuse osas põhineb suure osas Ameerika Ühendriikides teostatud vastavatel uuringutel (sh. *US Bureau of Mines*).

*Siskind D (1989). Laskemoone plahvatuste vibratsiooni ja lööklainete mõjud tarinditele. Proceedings of Internoise 1989. s. 573-476.*

mõju	$v_{peak}$ , mm/s	$L_{pZpeak}$ , dB
elanikud muretsevad värinast ja võimalikest kahjustustest	2,54	120
klaaside ja krohvi praod, <i>worst-case</i>	12,7	134
ehituskahjustused kergkonstruktsioonis hoonetel	> 50,8	175
kahjustused betoonile	> 101,6	185

Oluline on välja tuua, et erinevad piirtasemed on konservatiivsed ja ühekordne piirtaseme ületamine ei põhjusta reeglina ehituskahjustusi.

Joonisel 1 on esitatud ohutud vibratsiooni piirtasemed eluhoonete jaoks, mis on määratud Ameerika Ühendriikides läbiviidud katsete käigus.



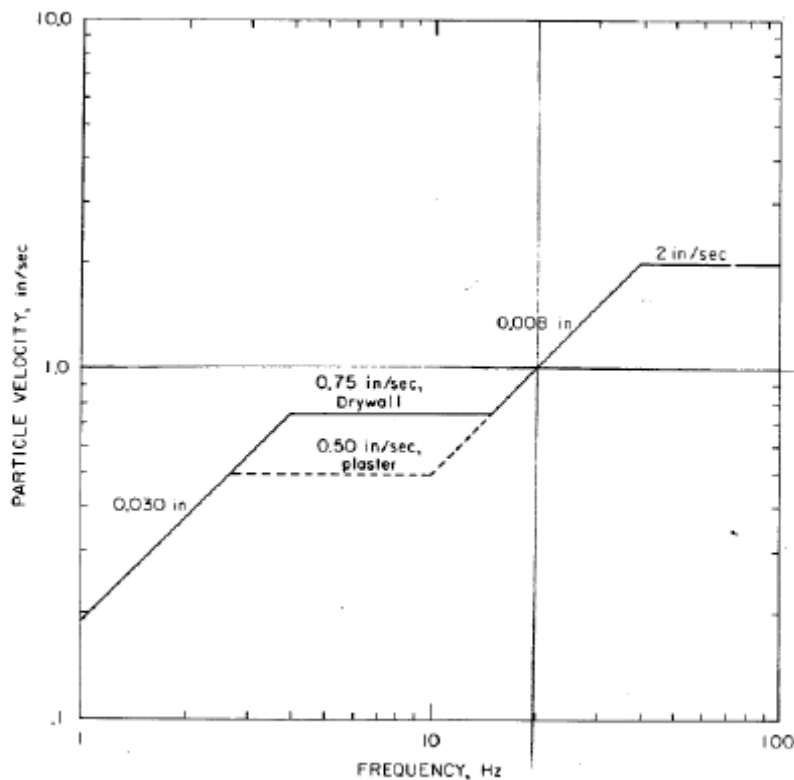


Figure B-1.—Safe levels of blasting vibration for houses using a combination of velocity and displacement.

Joonis 1. USBM RI 8507 (1980) toodud lõhkamiste ohutud piirtasemed vibratsioonikiiruse ja paigutuse kombinatsioonina arvestades sagedusi (ühikuks toll/s)

Kõige rohkem on lõhkamistega ja kaasnevate mõjudega seotud uuringuid teostatud Ameerika Ühendriikides US Bureau of Mines poolt; nendel põhinevad Ameerika Ühendriikide armee soovituslikud piirväärtused, mis omakorda on üle võetud ka NATO vastavatesse juhendmaterjalidesse. Vibratsioonikiirusele lisaks leidub erinevates kirjandusallikates piirväärtusi ka helirõhutasemele (seostatuna vibratsiooniga). Raskerelvade poolt tekitatud vibratsiooni piirväärtuste kohta on andmeid vähem.

Üldiselt on vibratsiooni piirväärtused määratud ehitise vundamendilt mõõdetuna, kuna selliselt on mõõtmisi kõige lihtsam teostada. Esineb ka maapinnale esitatud piirväärtusi. Nagu juba märgitud on enamasti tegemist vibratsiooniväärtustega, mis on seotud lõhkamistega.

Tabelis 2 on toodud erinevates riikides kehtivad või soovituslikud vibratsiooni piirväärtused. Piirarvud muutuvad ehituse tüübi, pinnase tüübi ja vahemaa põhjal – sellisel juhul on piirarvudes arvestatud vibratsioonisagedust.

Tabel 2. Vibrokkiiruse piirväärtused erinevates riikides

Riik	Piirväärtus	Märkused
India	5-15 mm/s	
Norra	8 mm/s	puitkonstruktsiooniga savisele maapinnale ehitatav maja
Rootsi	4-6 mm/s	Rootsi standard SS 460 48 66
Soome	4-6 mm/s	individuaalmajade kahjustuspiir
Šveits	6-15 mm/s	
UK	5 või 10 mm/s	sõltuvalt maapinnast
USA	12,7 mm/s	maapinnal leviv vibratsioon

Lisaks vibratsioonikiirusele on määratud ka soovituslik maksimaalne helirõhutaseme tipp  $L_{pZ_{peak}}$  (dB) müratundlike hoonete läheduses, milleks on:

- Ameerika Ühendriigid 134 dB;
- Rootsi 142 dB;
- Soome 142 dB;
- Suurbritannia 150 dB.

Soomes läbiviidud vibratsioonimõõtmiste tulemusena Soome Kaitseväge väljaõppe ajal saadi soovitusel Kaitseväge poolt tekitatava müra ja vibratsiooni kohta.

- vundamendi vibratsioon  $v_{peak}$  5 mm/s;
- helirõhutaseme  $L_{pZE}$  122-127 dB,  $L_{pZ_{peak}}$  135-140 dB.

## 4 Vibratsiooni teooria

### 4.1 Vibratsiooni iseloomustavad suurused

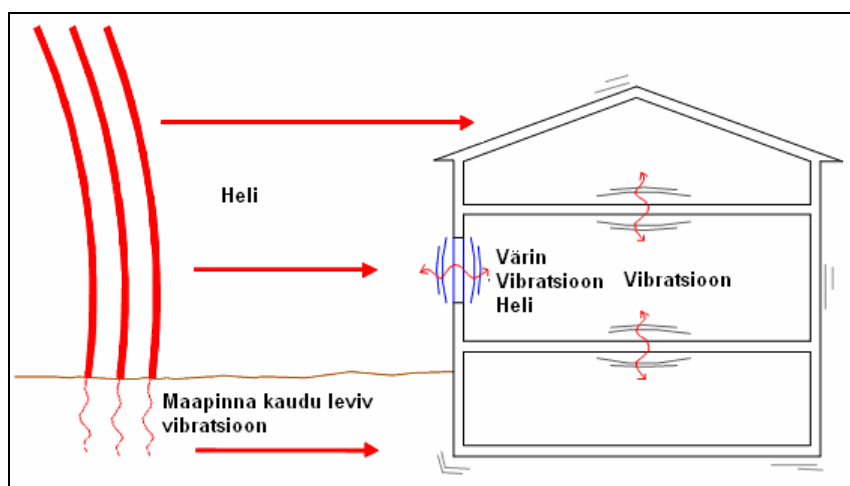
Käesolev raport keskendub vibratsioonile, mille põhjustajaks on militaarrelvade kasutamisest tekkinud madalsageduslik heli. Vibratsioonisündmust, mis tekib raskerelvade kasutamisest, iseloomustab nii maapinna kaudu kui ka õhu kaudu leviv vibratsioon.

Maapinnal toimuv laskmine raskerelvadest tekitab maapinnaga samal tasapinnal ja maapinna läheduses (õhus) mehhaanilise võnkumise. Maapinnal tekkinud vibratsioon levib lühemat vahemaad ehk maapinna kaudu leviva vibratsiooni ulatus on väiksem, kuid selle mõju inimestele ja hoonetele on suurem. Õhu kaudu leviv vibratsioon levib kaugemale ehk õhu kaudu leviva vibratsiooni ulatus on suurem, kuid selle mõju inimestele ja hoonetele on väiksem.

Maapinnas võidakse selgelt täheldada plahvatuse või laskmise põhjustatud vibratsiooni. Samal ajal esineb vibratsioon õhu kaudu saabuva helilainega. Vibratsioon oleks seega näiliselt liikunud õhus valitseval helikiirusel. Selgituseks sellele on, et õhu kaudu liikuv helilaine põhjustab lokaalset vibratsiooni maapinnas. Põhjus või ajend on helilaine poolt maapinnale suunatud helisurve, mis põhjustab vibratsiooni pinnases.

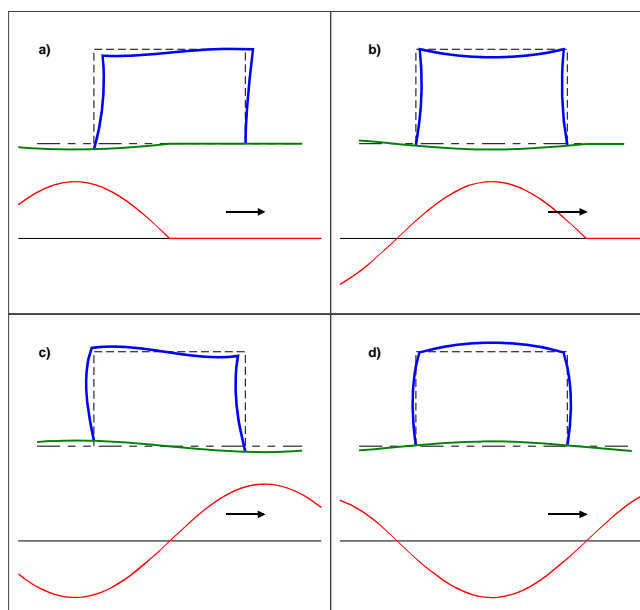
Norras läbiviidud laiaulatuslikes uuringutes aastatel 1994-1996 leiti, et maapinna kaudu leviv vibratsioonilaine ei levi allikast kaugemale, ulatudes hetkeliselt plahvatuse järel 0.2 - 2 km kaugusele. Uuringu tulemused toetasid ka sõjalise organisatsiooni NATO poolt välja töötatud meetodikaid hindamaks vibratsiooni mõju ümbritsevale keskkonnale.

Joonis 1 selgitab vibratsiooni mõju hoonele ja sellest tulenevat häiringut. Õhu kaudu leviv helilaine põhjustab hoone seinte, põrandate ja akende vibratsiooni ja värisemist.



Joonis 2. Vibratsiooni mõju hoonele

Joonisel 2 on näidatud maapinna kaudu leviva vibratsioonilaine faaside mõju hoonele. Maapinna kaudu leviv vibratsioon sõltub ka maapinna geoloogiast.



Joonis 3. Maapinna kaudu leviva vibratsioonilaine faaside mõju hoonele

Lähimad selle uurimusega haakuvad kahjustuste tekkimise piirarvud on pärit avalõhkamistest või maa-alustest lõhkamistest. Kirjanduses esinevad piirnormid vibrokiiruse tippväärtusele on reeglina vundamendilt mõõdetud:

$$v_{\text{peak}} \geq 5 \text{ mm/s}$$

Hoonetele suunatud helilainete uuringuid on läbi viidud just ülehelikiiruse poolt tekitavate paukude valguses, kuid uuritud on ka lõhkamiste mõjusid. Piirväärtused on üldiselt määratud väikese tõenäosusega toimuvale akende purunemisele või plaatkonstruktsioonides seinakonstruktsioonides tekkivatele mikropragudele. Piirväärtused esinevad üsna suures vahemikus; madalamad piirväärtused on järgmised:

$$L_{pZ\text{peak}} \geq 135 - 140 \text{ dB.}$$

Vundamendile mõjuva vibratsioonil rajanev kahjustusriski piir ei ole põhimõtteliselt otseselt kohaldatav uuringu raamidesse, kus uuritakse vibratsiooni levikut õhu kaudu levivate helilainetest tulenevalt. Lõhkamiste tulemusena leviva vibratsiooni kohta ehitistes võib erinevatele allikatele toetudes väita järgmist: vundamendil mõõdetav vibratsioon, mis teadaolevalt levib maapinna kaudu, peab praktiliselt hoone ülemistes osades mõõdetud vibratsioonist mõnevõrra suurem olema. Vibratsiooni suurenemine peaks olema väikestes eluhoonetes 5-20 dB (tegemist on siinkohal vibratsiooni ühikuga). Eeltoodud printsiip vastab reeglina tõe ja seda võiks arvesse võtta ka militaarõppustest põhjustatava vibratsiooni mõjude arvestamisel ja mõõtmistel.

## 4.2 Vibratsiooni mõõtmine ja hindamine

Vibratsiooni hindamine mõõtmiste teel sobib mõju hindamiseks olemasolevates ehitistes ning samuti ka häiringu hindamiseks. Esialgse hinnangu vibratsiooni mõju ja häirivuse kohta saab anda ka helirõhutasete mõõtmiste abil: mõõdetavaks suuruseks peaks olema kas tipphelirõhutase  $L_{pZ\text{peak}}$  või C-heli ekspositsioonitase  $L_{CE}$ .

Vibratsioonitasemete mõõtmiskohad on reeglina järgmised:

1. vundament;

2. kandvad konstruktsioonid – seinte liitumine, sein ja põranda liitumine (jäigad kohad);
3. sein, põranda, akna keskel – kõige suurem liikumine selles punktis;

Esimesed kaks on siis võimalike ehituskahjustuse hindamiseks ja viimane häirivuse hindamiseks.

Fotodel 1-4 on toodud vibratsiooni mõõtmised (akseleromeetrite paigutus) hoones sees ja hoonest väljas.



Fotod 1-4. Vibratsiooni mõõtmised

Põhjalik vibratsiooni mõõtmine toimub vibratsiooni mõõtmise ja helirõhutaseme paralleelmõõtmiste näol. Võimaluse korral tuleks teostada vibratsioonimõõtmisi mitmes hooneosas (vundament, seinad, põrand, kandvad konstruktsioonid) paralleelselt (mitme kanali vahendusel). Vibratsiooni hindamisel kasutatakse vibratsioonispektrit, vibratsioonikiirendustaset, vibratsioonikiirust.

Tabelis 3 on näidatud maksimaalse helirõhutaseme mõju.

Tabel 3. Z-helirõhutaseme taseme  $L_{pZE}$  mõju vibratsioonile

$L_{pZE}$	Mõju
kuni 108 dB	Vibratsiooni tõenäoliselt ei esine
108-135 dB	Tõenäoline vibratsiooni esinemine
135-160 dB	Aknaklaaside pragunemine, mikropraod
üle 160 dB	Hoonete kahjustused

Ameerika Ühendriikide kaevandustes töötavad insenerid hindavad maapinna kaudu leviva vibratsiooni mõju ja domineerimist nn. kaalutud vahemaa näitaja alusel (ingl.k. *scaled distance*). Kaalutud vahemaa näitaja on võrdne plahvatuse toimumiskoha ja müratundliku koha vahelise vahemaaga (jalgades, 1 jalg = 30.48 cm) jagatuna lõhkematerjali massi ruutjuurega (naelades, 1 nael = 454 g). Kui tulemus on alla 50, siis domineerib maapinna kaudu leviv vibratsioon. Kui tulemus on üle 50, siis domineerib õhu kaudu leviv vibratsioon [4].

Kui arvutada selle valemi alusel, siis mastaabi kauguse näitaja alusel lõppeb 155 mm haubitsa 43,5 kg laskemoona plahvatamisel maa kaudu leviva vibratsiooni levik ~150 m kaugusel lõhkamispositsioonist.

Majandus- ja kommunikatsiooniministri 21.11.2007. a määruses nr 88 „Lõhkematerjali käitlemise kord“ Lisas 1 on toodud seismitiliselt ohutu laengu määramise meetodika järgi peaks 155 mm haubitsa 43,5 kg lõhkemoona lõhkamisel olema ohutu vahemaa kaugus ~200 m (kahjustuskoefitsient 0,03).

## 5 Vibratsiooni mõjud ja soovituslikud määrad

### 5.1 Ehitiste kahjustused

Normdokumentides ja muus kirjanduses esinevad ehitiste kahjustusriskide piirmäärad on esitatud enamuses vibrokiiruse tippväärtusena. Vibratsiooni häiring väljendub hoonete konstruktsiooni värisemises, mida põhjustab nii maapinna kaudu leviv kui ka õhu kaudu leviv vibratsioon. Vibratsioonihäiring sõltub suurel määral ka hoone tehnilisest seisukorrast. Kõige tavalisemad vibratsioonist tulenevad häiringud on akende klirisemine ja väikesed praod viimistluses.

Vastavalt kirjanduses avaldatud uurimistööde tulemustele seoses vibratsioonisündmuste toimele ehitistele, võib arvestada reeglina, et igasuguste struktuursete kahjustuste tekkimisele eelneb/kaasneb ehitise aknaklaaside purunemine.

Kõige tundlikumad tavaehitiste kohad ongi aknad, millele järgnevad uksed, seinad ja viimasena põrandad. Kahjustused nagu krohvi pragunemine on väga harv, aga kui see juhtub, siis kaasneb sellega aknaklaaside pragunemine ja see ilmneb samaaegselt.

Puitkonstruktsioonidega hoonete konstruktsioonide ja konstruktsiooniosade kohta on teada järgmised vibratsiooni resonantsageduste suurused:

- kogu ehitus n. 1–10 Hz
- vaheseinad n. 10–20 Hz
- vahelaed n. 10–15 Hz
- aknad n. 20–30 Hz
- vundament (betoonist) n. 5–15 Hz

Puitkonstruktsioonis eluhoonete tarindid on kõige tundlikumad helienergiale vahemikus 1–30 Hz ja elanikud hakkavad tundma vibratsiooni helirõhutasemetel, mis on oluliselt väiksem kui vajalik kahjustuste tekkimiseks. Hoonetele mõjuvad väikesed vibratsioonitasemed võivad põhjustada „hääriva efekti“ nagu nõude klirisemine riulis, pildi liikumise seinal või rippuva lambi kiikumise. Oluline on välja tuua, et erinevate uuringute põhjal hakatakse võimalike ehituskahjude võimalikkuse üle muretsema oluliselt allpool tasemeid, mis tegelikult struktuurseid kahjustusi põhjustavad.

Planeeritavate harjutusalade läheduses paiknevad reeglina puitkonstruktsioonis hooned, mis on tekkivale keskkonnahäiringule kõige vastuvõtlikumad.

Soomes kaitseväe õppuste ajal läbiviidud raskerelvade ja lõhkamiste vibratsioonimõõtmiste käigus selgus, et maapinna kaudu leviv vibratsioon on väheldane ning põhiline vibratsiooni häiring tuleb õhukaudu levivast vibratsioonist, mis mõjutab enim aknaid ja seinu. Mõõtmiste tulemusena selgus, et kaitseväe väljaõppe poolt tekitatud vibratsioon on soovituslikest suurustest (Soomes 4–6 mm/s) tunduvalt väiksem ning seega on kahjustuste tekkimise risk peaaegu olematu.

Üldiselt militaarmüra ei kahjusta looduslikke pinnavorme ja moodustisi.

#### 5.1.1 Maapinnal leviv vibratsioon

Ameerika Ühendriikides läbiviidud uuringutes, mis viidi läbi lahtise karjääri lõhkamistöde ajal, leiti, et maapinnal leviv vibratsioonikiirus 30 mm/s tekitas

puitkonstruktsioonis hoonele 56 000 sündmuse järel esimesi minimaalseid struktuurseid kahjustusi.

Võttes arvesse planeeritavatel harjutusaladel väljaõppeks määratud relvade kasutuskooormusi ja väljaõppe kestvuseid, on maapinnal leviva vibratsiooni tekitatud kahjustused hoonetele piisava vahemaa valimisel esialgse hinnangu kohaselt olematud. Täpsemaid hinnanguid on võimalik anda vaid pärast reaalse vibratsiooni mõõtmiste teostamist.

### 5.1.2 Õhus leviv vibratsioon

Kirjanduses leidub erinevaid suurusi vibratsiooni esinemise läviarvule ehk helirõhutaseme suurusele, millest allpool vibratsioon tõenäoliselt ei esine. Erinevad piirtasemete nõuded on esitatud peatükis 3.1. Ameerika Ühendriikides läbi viidud uuringutes leiti, et

- vibratsioon esines mõningal määral kui helirõhutaseme  $L_{pZ_{peak}}$  oli 108-112 dB;
- vibratsioon esines peaaegu alati, kui helirõhutaseme  $L_{pZ_{peak}}$  oli 113-115 dB;
- kõikidel hoonete osadel (sh. aknad, nõud) esines vibratsioon, kui helirõhutaseme  $L_{pZ_{peak}}$  oli üle 121 dB.

Õhus leviva helilaine tekitatud vibratsiooni mõjutavad järgmised tegurid: maapinna neeldumine, õhus toimuv sumbumine, tuulekiiruse- ja temperatuurigradient.

Kuna raskerelvadest laskmisel ja lõhkamistel on määravaks madalsageduslik heli, siis haljastuse osatähtsust selle sumbumisel võib pidada olematuks; määravaks on vahemaa.

Oluline on välja tuua, et tähelepanuväärseid struktuurseid kahjustusi (sarnaselt õhu kaudu leviva vibratsiooniga) põhjustavad ka järgmised looduslikud jõud või mehhanismid:

- ehitise seinadele mõjuva temperatuuri erinevus ehitise sees ja väljas;
- ehitises sees ja väljas oleva niiskuse erinevus. Temperatuuri ja niiskuse erinevus mõjutavad näiteks ehitise puitkonstruktsioonide kokkutõmbamist, mis on üks põhjus ehitiste seintel olevate pindmiste pragude tekkeks;
- tuule intensiivsus, kestvus ja suund;
- ehitise vundamendi ebaühtlane vajumine;
- ehitise tubade suurus, seinte ja lagede pindala. Mida suurem on pinna suurus, seda suurem on võimalus, et tugitalade kokkutõmbamisel või pikenemisel tekkivad praod (seintele, lagedele);
- orientatsioon ilmakaarte suhtes - osaline seinavaarjusolek päikese käest või ebaühtlane kütmine põhjustab pindade ebaühtlase pikenemise;
- vee lekkimine ehitise tarinditesse kas siis väljastpoolt või torude lekkimisest tingituna.

## 5.2 Inimese tundlikkus vibratsioonile

Inimese tundlikkus vibratsioonile sõltub selle sagedusest. Veel sõltub tundlikkus inimese asendist ehk kas inimene seisab, istub või lamab ja samuti vibratsioonisuunast.



Sellised asjaolud võetakse mõõtmistel arvesse eriliste sageduskorrigeerimiste abil. Rahvusvahelistes kogukeha vibratsiooni käsitlevates üldstandardites ISO 2613-1 ja ISO 2631-2 on esitatud juhised vibratsiooni mõjude hindamiseks; samuti on seal ära toodud minimaalsed tajutavad tasemed. Nimetatud standardites on välja toodud, et inimeste tundlikkus vibratsioonile on erinev; see võib põhjustada erinevaid subjektiivseid hinnanguid vibratsiooni ulatusest ja selle häiringutasemest.

Standardis ISO 2631-1 on toodud inimeste tundlikkuse tase sagedus-korrigeeritud vibrokiirenduse tipptasemele  $a_{Wpeak} \geq 0,015 \text{ m/s}^2$  (tegemist on vertikaalsuunalise vibratsiooniga), mis peaks kehtima 50% inimeste kohta. Inimeste vahelist erinevust kirjeldavad 25% ja 75% fraktilid on vastavalt 0,01 ja 0,02  $\text{m/s}^2$ .

Vastavalt Ameerika Ühendriikide juhendmaterjalile on määratud inimese tundlikkuse tasemed maapinnal leviva vibratsiooni suhtes läbi hoone vibratsiooni. Tabelis 4 on toodud inimese tundlikkuse tasemed vibratsioonile.

*Tabel 4. Inimese tundlikkuse tasemed maapinnal leviva vibratsiooni suhtes*

Tase	Vibratsiooni kiirus	
	toll/s	mm/s
Tajutav	0,08	2
Tuntav	0,2	5
Tähelepanдав	0,38	10
Häiriv	0,8	20
Vastumeelne	1,3	33

## 6 ÕSMAAP'i harjutusala ülevaade

ÕSMAAP'i harjutusalade väljaõppe iseärasused on väljaõppe lühike kestvus ning väike laskude arv, mis muudab ka väljaõppe poolt tekitatud võimalikke mõjusid väiksemaks. Oluline on tuua välja, et planeeritav harjutustegevus toimub aasta 7.-9. ja 48-49. kalendrinädalatel.

Haubitsatest laskeharjutuste läbiviimisel on otsesihhimise korral sihtmärk 800 m – 2 km kaugusel, koordinaatmeetodi korral sihtmärk 3-16 km kaugusel. Seetõttu on määravaks mürasündmuseks haubitsa suudme plahvatus.

Otsene maapinna kaudu leviv vibratsioon Kaitseväe poolt kasutatavatest raskerelvadest on olematu, kuna lähimad eluhooned asuvad laskepositsioonidest reeglina piisaval kaugusel. Probleemiks võivad osutuda üksikud hooned, mis paiknevad laskepositsioonidele väga lähedal (Juminda, Nõva ida). Reeglina on enamus lähimatest eluhoonetest laskepositsioonidest ~1 km kaugusel; samas planeeritavate harjutusalade hulgas sellist ala, kus lähima 3 km raadiuses puuduksid eluhooned, ei ole.

Raskerelvade kasutamisega kaasneb madalsageduslik heli, mis sõltuvalt vibratsioonikiirusest tekitab tõenäolisemalt vibratsiooni akendel, harvem põrandatel.

Vastavalt eelpool toodule ei põhjusta ehitustarinditele kahjustusi üksikud sündmused, vaid (väga) pikaajalised tegevused. Väga tugev üksik mürasündmus võib tekitada aknaklaasidesse praod. Seetõttu ei saa ÕSMAAPi planeeritud tegevust pidada selliseks, mis põhjustaks kahjustusi hoonetele.

### 6.1 Nõva ida - Ristinina



Fotod 1-2. Nõva ida (Ristinina)

Harjutusala asub Ristinina poolsaare tipus, kust lähima hooneni on ~250 m. Tegemist on heas seisukorras puitkonstruktsioonis peahoonega. Tegemist on põhiliselt lageda rannaalaga.

## 6.2 Nõva lääś - Liivanina



Foto 3. Harjutusalani viiv tee (Liivanina)

Harjutusala asub Nõval Liivanina vahetus läheduses (Liivase rand). 600 m raadiuses ei paikne ühtegi hoonet. Tegemist on metsaga kaetud rannaalaga.

## 6.3 Juminda



Fotod 4-6. Juminda rand ja küla

Harjutusala asub Loksa metskonna kinnistul, mis on ümbritsetud Juminda küla hoonetega, millest lähim asub ~140 m kaugusel esialgselt laskepositsioonist. Juminda küla hoonetuse näol on tegemist nii rahuldavas, keskmises kui ka heas seisukorras puitkonstruktsioonis hoonetega.

#### 6.4 Rutja



Fotod 7-8. Rutja rand ja laskepositsioon

Harjutusala asub Kunda metskonna kinnistul. 300-400 m raadiuses ei paikne ühtegi hoonet. Tegemist on metsaga kaetud rannaalaga.

#### 6.5 Letipea



Fotod 9. Letipea rannajoon

Harjutusala laskepositsioon asub kitsal liivaga kaetud rannaribal. Lähimad hooned asuvad ~230-260 m kaugusel. Tegemist on metsaga kaetud rannaalaga.

#### 6.6 Sõmeri

Harjutusala laskepositsioonid asuvad suhteliselt lagedal rannaalal. Mõlemast laskepositsioonist jäävad hooned >400 m kaugusele.

#### 6.7 Aseri



Fotod 10-11. Aseriaru küla

Harjutusala laskepositsioon asub riigi reservmaal piiriettepanekuga AT03022537. Lähimad hooned asuvad ~600 m kaugusel laskepositsioonist. ~1.1 km kaugusel asub Aseriaru küla. Piirkonnas on nii uuemaid puitkonstruktsiooniga hooneid kui ka vanemaid paekivist hooneid ning vanu osaliselt puitkonstruktsiooniga, osaliselt paekivist rehielamuid.

## **6.8 Kõpu**

Harjusala laskepositsioon asub Putkase metskonna maatükil, kus vähemalt 400 m raadiuses ei asu hooneid.

## 7 Tõrjemeetmed

Kõige tõhusam vibratsioonitõrje meede militaarväljaõppuste läbiviimisel on nende viimine müratundlikest hoonetest võimalikult kaugele. Vibratsioonihäiring ja kahjustused sõltuvad olulisel määral ka hoonete tehnilisest seisukorrast ning konstruktsioonide materjalidest.

Raskete relvade puhul on peamine eesmärk vähendada helirõhu põhjustatud hoone vibratsiooni. Olemasolevate hoonete puhul ei ole vibratsioonitõrjeks palju lahendusi: maapinna kaudu leviva vibratsiooni tõrjeks ei saa praktiliselt midagi ette võtta (käesoleval juhul ei ole ka probleemiks), õhu kaudu leviva vibratsiooni puhul saab muuta fassaadi massiivsemaks, jäigastada konstruktsioonide kokkupuude punkte ning vahetada aknad (kui tegemist on vanema generatsiooni akendega, mille klaasid on raamides küllaltki ebakindlalt kinni).

Projekteeritavad hoonete korral on võimalik arvesse võtta palju erinevaid aspekte, mis hooneni leviva vibratsiooni mõjusid vähendavad (nt. vundamendi lahendus, massiivsed konstruktsioonid, jms).

### 7.1 Vibratsioonivastased ja heliisolatsiooni parandavad võtted

Hoonete fassaadide heliisolatsiooni parandamiseks on tavapärased võtted akende vahetamine (uuendamine), seinte ja katuslagedele lisatavad ehitusplaadid ning hoone ventilatsioonisüsteemi varustamine mürasummutitega. Eelnevalt nimetatud toimingud parandavad hoone välispiirde heliisolatsiooni tüüpiliselt sagedusvahemikust 50-100 Hz ülespoole ja sobivad hästi ka liiklus- ja tööstusmüra leevendamisel.

Madalsagedusliku keskkonnamüra leevendamine ei ole eelnevalt nimetatud meetmetel võimalik, sest tavapärased heliisolatsioonitarindid ei toimi madalsagedusliku müra puhul. Seinade ja katuse ehitamisel võib madalsageduslikku müra isoleerida liiva lisamisega jäikuse suurendamiseks. Tavalised heliisolatsiooni parandavad meetmed ei pruugi olla edukad ka subjektiivselt poolest, sest madalsagedusliku heli osakaal hoonesse kanduvast kogumürast võib osutada varasemast suuremaks. [Gjestland 2006]

Müratõrje seisukohast vähendavad maksimaalselt ekspositsioonitasemeid tihedad, rasked ja jäigad tarindid. Madalsageduslikel sagedustel sõltub hoone välisosade heliisolatsioon peamiselt hoone vundamendi kõige alumise vibratsioonisageduse omadustest. Kõige tähtsamad vibratsioonisagedused on tüüpiliselt järgmistel sagedustel:

- kogu hoone 1-10 Hz;
- seinad, katus, põrandad ning aknad 10-30 Hz.

Plahvatuse või suurtükimürsu lõhkamise toimudes kontsentreerub helienergia 40-50 Hz sagedusele.

Madalsageduslikule vibratsioonile ei ole üldtunnustatud ja kasutuselolevaid leevendusmeetmeid. Tüüpiline suletud tarind (puithoone) vähendab helirõhu tipptasemeid >10 dB võrra ja heli ekspositsioonitasemeid >5 dB võrra.

Seinte ja teiste konstruktsioonide vibratsioonisagedused vahelduvad hoonepõhiselt sõltudes konstruktsioonide mõõtmetest ja nende vahelistest ühendustest. Neid vibratsioonisagedusi ja nende sumbumist on mingil määral võimalik parendada.

Vibratsioonitõrje seondub konstruktsioonide mõõtude, geomeetriaga ja liitumisühenduste valimisega, mis enamjaolt ei ole olemasolevates ehitistes rakendatavad.

Üle 100 Hz sagedustel määrab tekkiva vibratsiooni peamiselt üksikute hooneosades esinev vibratsioonisagedus. Sellistel juhtudel kasutatakse vibratsioonitõrjeks hoonetarindite jäigemaks muutmist või hoone massi kasvatamist selliselt, et sagedus nihutatakse sagedusele, millel häiring on väiksem.

Erinevad uuringud on tõestanud, et sama müratase koos kaasneva vibratsiooniga on oluliselt häirivam kui ilma vibratsioonita. Kuna akende vibratsioon on tuntav juba madalate müratasemete ja vibratsiooni korral kui seinte ja põrandate puhul, siis häiringu leevendamiseks on odavaim ja olulisim vähendada akna vibratsiooni ning selleks on aknavahetus.

Välisseinte oluline parandamine on reeglina keeruline ja ebareaalne, sest olulise massi lisamine võib kaasa tuua kandekonstruktsioonide kahjustused. Samas ehitusplaatide lisamine on teostatav.

## 7.2 Vibratsioonitõrje

Vibratsiooni esinemist hoonetes võib püüda vältida järgmiste tegevustega:

- massiivsed hooned ja vundamendid;
- jäigad ja tugevad hooned (lühikesed avad, jäigastavad hooneosad);
- tugevad ühendused ja kinnitusmeetodid.

Olemasolevates kergkonstruktsiooniga või vanades eluhoonetes ja suvilates on eeltoodud soovitude laiaulatuslik rakendamine keeruline ja tihtipeale ka võimatu.

Tihti on puitkonstruktsioonis suurte kandeavade ehitiste vahelaed nii elastsed, et teisel korrusel käimine paneb seinäärsetes kappides nõud "klirisema".

## 7.3 Projekteerimine ja planeerimine

Tõhusaim vahend laskmisharjutustest ja lõhkamistööst põhjustatud müra- ja vibratsiooniprobleemi leevendamisel on projekteerimine ja mõjutatud maa-alade kasutamise planeerimine. Eesmärgiks on tagada, et olemasolevate hoonete kaugus laskepositsioonist ja lõhkamiskohast jääks piisavale kaugusele; samas tuleb vältida olukordi, kus uued hooned ehitatakse liiga lähedale.

Planeerimisel on enim abiks arvutuslik/modelleerimispõhine hindamine, mille kaudu saab hinnata suuri maa-alasid. Kõige parem on kasutada arvutuslikku/modelleerimispõhist meetodit kui maa-alal veel vastavaid toiminguid ei teostata. Hindamist võib teostada ka reaalse mõõtmiste abil. Mõõtmised on tihti kulukad ja keeruline läbi viia, eriti suuremal alal. Mõõtmised on otstarbekamad olemasolevate hoonete olukorra hindamiseks. Arvutuslikus/modelleerimispõhises hindamises peab arvestama arvutusmeetodi määramatustega, seetõttu tuleb see teha piisava varuga.

## 8 Järeldused ja kokkuvõte

Lõhkamistest ja raskerelvadest laskmise tulemusena hoonetes tekkiv vibratsioon on reeglina tingitud õhus levivast helienergiast. Energia muundub hoone vibratsiooniks helilaine rõhust tarinditele tekkivast vibrokiirusest.

Ka hoonete ligidal maapinnas märgatav vibratsioon on õhus leviva helirõhulainest tingitud. Õhust maapinnal levivaks vibratsiooniks siirdunud energia osa ilmneb maa sees Rayleigh' lainena. Maapinnal leviv vibratsioon ei levi seismiliste vibratsioonilainetena lõhkamise ja laskmise asukohtadest kaugele võrreldes näiteks kaljude lõhkamistöodes leviva maapinna vibratsiooni levimiskaugusega. Maapinnast hoonesse siirduv vibratsioonenergia osa ei ole nii märkimisväärne kui otse helilainest vibratsiooniks muunduv energia.

Vastavalt kirjanduses antud erinevatele andmetele, tuleks ehituskahjustuste tekkimisele ohutu vahemaaks pidada ~0.2 km lõhkamis- või plahvatuskohast. Vibratsioonist tekitatud võimalikke häiringuid ja kahjustusi saab vältida valides laskepositsiooni või lõhkamispaiga võimalikult kaugele müratundlikest hoonetest.

Vibratsiooni ulatust, häiringute ja kahjustuste suurust on võimalik hinnata olemasolevatel hoonetel vaid mõõtmiste teel. Aimu vibratsiooni poolt tekitatud häiringutest ja kahjustustest annab ka C- ja Z- helirõhutase mõõtmine või modelleerimine. Teostatavad mõõtmised peaksid olema kaheosalised, kus üheaegselt mõõdetakse fassaadile mõjuvat helirõhutatset ning hoones tekkivat vibratsiooni. Kui kahtlustatakse hoone kahjustusi, siis mõõdetakse vibratsiooni vundamendilt. Kui probleemiks on enamjaolt vibratsioonihäirivus, siis valitakse mõõtepunktid põrandal või seina keskpäigas.

Arvutuslik/modelleerimispõhine hindamine laseb teha esialgseid hinnanguid vibratsioonist tekkivate probleemide ulatusest. Selle peamine eelis on see, et saab suhteliselt lühikese ajaga katta selgesti suuremaid maa-alasid ning eelkõige kasutada saadud informatsiooni maa-alade kasutust planeerides. Arvutuslikes/modelleerimispõhiste tulemuste hindamisel tuleb arvestada, on tulemused näitavad võimalikku tekkivat kõige halvemat olukorda.

Lõplikult valituks osutuvate harjutusalade kasutamisest tekkivat vibratsiooni ja selle mõju on vaja täpsemate järelduste tegemiseks mõõta ja hinnata lähimates eluhoonetes. Esimeses järjekorras teostada tipphelirõhutasete ( $L_{pZpeak}$ ) mõõtmised fassaadi lähedal ja seejärel vibratsiooni mõõtmised (hoone vundament, välissein, põrand, aknad).

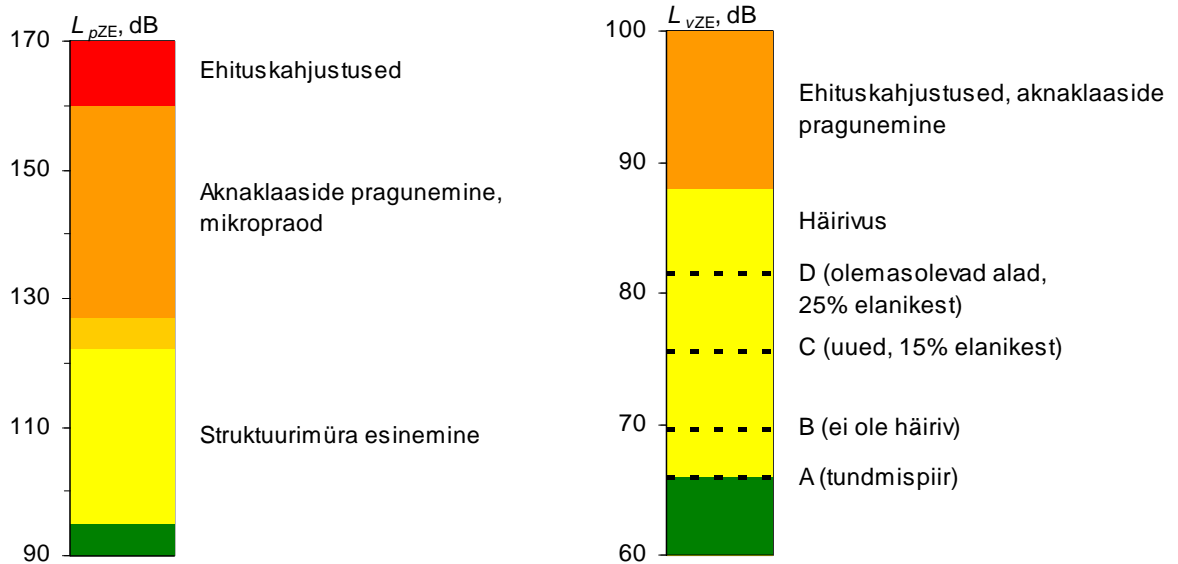
Arvestades planeeritavate harjutuste ajalist kestvust ja laskesagedusi, siis vibratsiooni poolt tekitatud reaalseste kahjustuste esinemine on tõenäoliselt välistatud. Siiski on oluline, et elanikud, kes märkavad hoone tarindites muutusi (nt. pragusid aknaklaasides), sellest esimesel võimalusel Eesti Kaitsevæele teada annavad.

Mõõtmiste tulemusi saab võrrelda kirjanduses leiduvate piirväärtustega nii hoone kahjustusriskide kui ka vibratsiooni ja müra häirivuse osas. Võimalike kahjustuste hindamisel on soovitatav kasutada kahte suurust, millede piirväärtusteks on:

- vundamendi vibratsioonikiirus  $v_{peak}$  5 mm/s;
- mõjuv helirõhutase  $L_{pZE}$  122-127 dB,  $L_{pZpeak}$  135-140 dB.



Häirivuse seisukohalt on soovituslikud väärtused ebaselgemad. Erinevates kirjandusallikates ja teistes riikide kaitsejõudude soovituslikud arväärtused on väga erinevad ning on keskendunud peamiselt kahjustuste tekkimise võimalusele. Vibratsiooni suhtes ei ole militaarmürale piirtasemeid kehtestatud ning soovituslikke väärtusi saab suundaandvalt võrrelda näiteks liiklusest põhjustatud vibratsiooni piirväärtustega.



Joonis 4. Kirjanduses esinevad üldised piirväärtused heliekspositsioonitasemele  $L_{pZE}$  (vasakul) ja kiirusekspositsioonitasemele  $L_{vZE}$  (paremal). Vibratsioonikiiruse väärtused on ehituskahjustuste osas korrigeerimata ja häirivuse osas aegkorrigeeritud [Talja 2004]

**Lisa A - Allikad**

1. Arendusprogramm - Õhutõrje ja suurtükiväe relvade (merele orienteeritud) laskmisvõimaluste ning mereväe väljaõppe läbiviimise võimalike asukohtade väljaselgitamine, Kaitseministri käskkiri nr **213**, 23.05.2007
2. Sotsiaalministri 17.mai 2002. a määrus nr **78** "Vibratsiooni piirväärtused elamutes ja ühiskasutusega hoonetes ning vibratsiooni mõõtmise meetodid".
3. Majandus- ja kommunikatsiooniministri 21.novembri 2007. a määrus nr **88** „ Lõhkematerjali käitlemise kord“
4. Operational Noise Manual. An Orientation For Department of Defense Facilities, November 2005 [HTTP://CHPPM-WWW.APGEA.ARMY.MIL/DEHE/MORENOISE/](http://CHPPM-WWW.APGEA.ARMY.MIL/DEHE/MORENOISE/)
5. **BS 5228-4** (1992). Noise and vibration control on construction and open sites – Code of practice for noise and vibration control applicable to piling operations. *BSI British Standards*, Lontoo 1992.
6. **BS 6472-1** (2008). Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings. Vibration sources other than blasting. *BSI British Standards*, Lontoo 2008.
7. **BS 6472-2** (2008). Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings. Blast-induced vibration. *BSI British Standards*, Lontoo 2008.
8. **BS 7385-2** (1993). Evaluation and measurement for vibration in buildings – Part 2: Guide to damage levels from ground-borne vibration. *BSI British Standards*, Lontoo 1993.
9. GJESTLAND T (2006). Low frequency sound and vibration insulation in buildings. *SINTEF, report A210*, Trondheim 2006. 26 s.
10. **ISO 2631-1** (1997). Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements. *International Organization for Standardization*, Geneve 1997.
11. **ISO 2631-2** (1989). Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz). *International Organization for Standardization*, Geneve 1989.
12. **ISO/FDIS 2631-2** (2002). Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz). *International Organization for Standardization*, Geneve 2002.
13. NATO (2000). The effects of noise from weapons and sonic booms, and the impact on humans, wildlife, domestic animals and structures. Committee on the challenges of modern society. *North Atlantic Treaty Organization (NATO), Report 241*, 2000. 102 s.
14. **NS 8141.E** (2004). Measurement of vibration velocity and calculation of guideline limit values in order to avoid damage on constructions. *Standard Norge*, Lysaker 2004.
15. SISKIND D E, STACHURA V J, STAGG M S & KOPP J W (1980). Structure response and damage produced by airblast from surface mining. *US Bureau of Mines, Report of Investigations 8485*, Pittsburgh 1980. 111 s.
16. SISKIND D E, STAGG M S, KOPP J W & DOWDING C H (1980). Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting. *US Bureau of Mines, Report of Investigations 8507*, Pittsburgh 1980. 74 s.
17. Australia and New Zealand Environmental Council (1990). *Technical basis for guidelines to minimise annoyance due to blasting overpressure and ground vibration*. Dept. Environment and Heritage, ACT, Canberra, Australia 1990. 6 s.
18. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö (1998). Räjätysalan normeja. *Turvallisuusmääräykset 16:0*. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö, Tampere 1998. 50 s.

## Lisa B Mürä ja vibratsiooni põhimõisted

### Helirõhk

Heli lisarõhk gaasis või vedelikus, ühik paskal (Pa).

### Helirõhutase $L_p$

Helirõhutase (müratase) – helirõhu ja kuuldeläve helirõhu suhte kahekümnekordne kümnendlogaritm  $20 \lg(p/p_0)$ , mõõdetakse detsibellides (dB).

### Ekvivalentne helirõhutase $L_{p,eq}$

Mõõdetud helirõhutase etteantud ajavahemikus, kus kasutatakse A- või C-korrektsooni ning mis iseloomustab muutuva tasemega müra. Ekvivalentne müratase on selline püsiva tasemega müra, mis omab sama akustilist energiat kui muutuva tasemega müra kindla mõõtmisaja jooksul.

### Maksimaalne helirõhutase $L_{p,max}$

Etteantud ajavahemikus mõõdetud helirõhutase maksimaalne väärtus, kus kasutatakse A- või C-korrektsooni ja ajakarakteristikut «Fast», kui mõõtmistingimustes ei ole ajakarakteristiku kasutamine sätestatud teisiti.

### Madalsageduslik müra

Müra sagedusvahemikus 10 Hz–200 Hz.

### Heli ekspositsioonitase $L_E$

Üksiku mürasündmuse A- või C-korrigeeritud helirõhutase, mis on mõõdetud etteantud ajavahemikus T ja taandatud ajavahemiku  $T_0=1s$  suhtes.

### Vibratsioon

Vibratsioon on tahketes ainetes ja tarindites esinev võnkumine, mida iseloomustab laineline liikumine. Võnkumine on osakeste ja osade edasi-tagasi liikumine nende tasakaalupunkti ümber. Vibratsioonilained on energia- ja liikumissuuruste muutused, mis transpordivad energiat ühest paigast teise. Lainete arv ühes sekundis nimetatakse sageduseks ja selle ühikuks on herts (Hz) ehk võnget sekundis.

### Struktuurimüra

Maapinnas ja tarindites liikuvat vibratsioonilainet võib nimetada samuti struktuurimüraks (või struktuuriheliks), eriti sellisel juhul kui vibratsioon võib lõpuks muutuda õhumüraks.

### Värin

Sekundaarne heli, mis sünnib kui heli- või vibratsioonilaine kõigepealt tekitab ehitistes, ehitise osades või esemetes vibratsiooni ja kui need seetõttu hakkavad edasi-tagasi liikudes esialgse heli määratud rütmis aluspinna või üksteise vastu lööma (ingl.k. *rattle*). Värisevad osad ehitistes võivad olla näiteks aknad, dekoratiivsed esemed, ukSED ja mööbel.

**Üldvibratsioon e. kogukeha vibratsioon**

Mehaaniline võnkumine, mis kandub üle seisvale, istuvale või lamavale inimesele üle toestuspindade kaudu. Inimene tajub kogukeha vibratsiooni peamiselt sagedusvahemikus 1-80 Hz.

**Kiirus, v**

Osakeste või tarindi punkti kiirus nende edasi-tagasi liikumisel tasakaalupunkti suhtes, ühikuks m/s (tavaliselt mm/s). Vibratsiooniliikumist ja -lainet peamiselt iseloomustav suurus.

**Kiirendus, a**

Osakeste või tarindi punkti kiirendus nende liikumisel tasakaalupunkti suhtes, mille ühikuks on m/s<sup>2</sup> (tavaliselt mm/s<sup>2</sup>). Kiirendust kasutatakse mõnikord kiiruse asemel, eriti kogukeha vibratsiooni mõjude hindamisel.

**Tippsuurus ja tipptase**

Ajas muutuva suuruse hetkeliselt suurim arv, mille tunnus on allindeks "peak". Näiteks kiiruse tipptase  $v_{\text{peak}}$  [m/s]. Tipptase on tippsuuruse kirjeldamine tasemesuurusena ehk detsibellides, näiteks kiiruse tipptase  $L_{v\text{peak}}$  [dB].