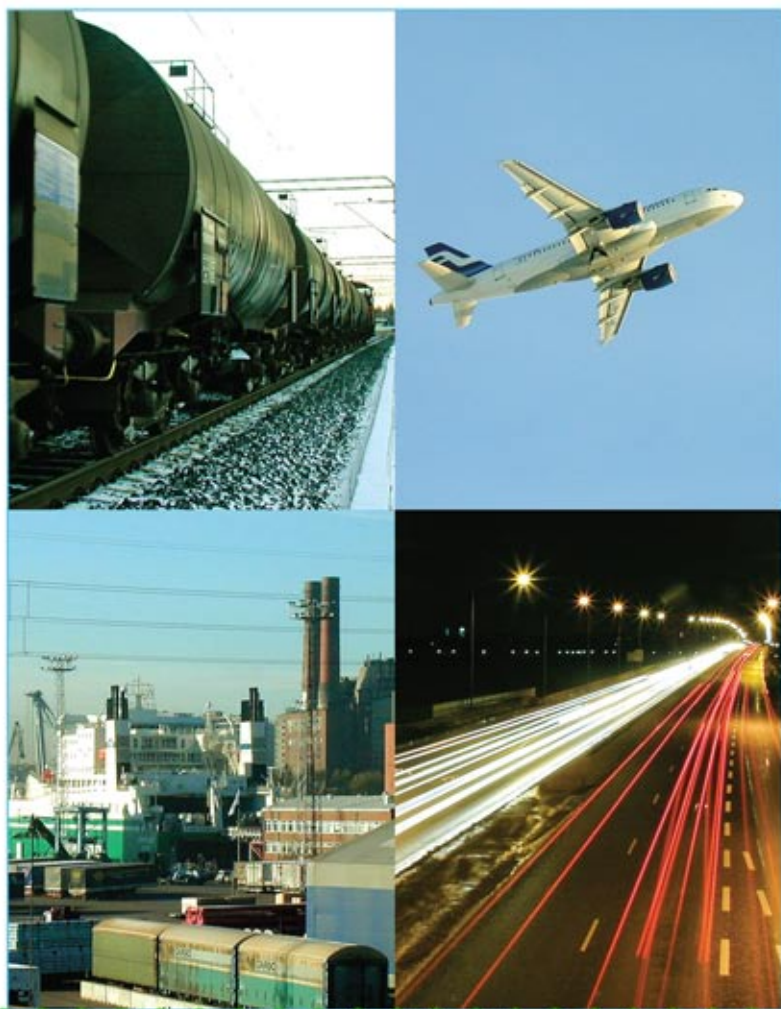




YMPÄRISTON-
SUOJELU

Tapio Lahti

Keskkonnamüra hindamine ja müra leviku tõkestamine





YMPÄRISTON- SUOJELU

Keskkonnamüra hindamine ja müra leviku tõkestamine

Käesolev keskkonna-alase käsiraamatu eestikeelne väljaanne on valminud Soome ja Eesti Keskkonnaministeeriumi, Insinööritoimisto Akukon Oy ning MTÜ Ökokratt koostöösena. Käsiraamat on Soome keskkonnamüra eksperdi Tapio Lahti originaaltrükise eestikeelne väljaanne, mis valmis esialgse versioonina keskkonnamüra konverentsi „Kas me oleme müraks valmis?“ (2008) tarbeks, et tõsta Eesti spetsialistide ja elanike teadlikkust müra hindamisel ja tõkestamisel.

Käesoleva käsiraamatu on üle vaadatud Eesti keskkonnamüra asjatundjad, käsiraamat on kohandatud Eesti oludele ning keeleliselt toimetatud.

Keskkonnamüra käsiraamat on mõeldud spetsialistidele, kes puutuvad igapäevaselt kokku keskkonnamüraga. Samuti sobib väljaanne õpilastele ja üliõpilastele, kellele on see esimene eestikeelne keskkonnamüra teabeallikas üldse.

Raamat on avaldatud ka veebis www.okokratt.ee.

Tasuta levitamiseks.

Raamatu väljaandmist toetasid ja abistasid:



KESKKONNAINVESTEERINGUTE
KESKUS

ROADSERVICE

RAMBOLL

AKUKON



Hendrikson & Ko



KESKKONNAMINISTEERIUM



Estonian, Latvian & Lithuanian Environment



VALGUSTA
END!

Ökokratt
www.okokratt.ee

Keskkonna-alane käsiraamat

Tapio Lahti

Keskkonnamüra hindamine ja müra leviku tõkestamine

TALLINN 2010

.....
ÖKOKRATT

Väljaandja: MTÜ Ökokratt, Saluvälja 3, Kuusalu küla, Harjumaa 74609
www.okokratt.ee

Tõlge: Triangular OÜ

Toimetanud: Linda Madalik ja Marko Ründva

Konsultandid: Tapio Lahti ja Marko Ründva

Keeletoimetaja: Ene Vadi

Küljendus: Kersti Jõesalu

Täname: Insinööritoimisto Akukon Oy ja Akukon Oy Eesti filiaali ja nende töötajaid.

Originaali tiitel:

Ympäristöopas 101

Tapio Lahti

Ympäristömelun arviointi ja torjunta

Helsinki 2003

Ympäristöministeriö

Väljaandja: Soome Keskkonnaministeerium

Keskkonnakaitse osakond

Küljendus: Ainoliisa Miettinen

Kaanepilt: Tapio Lahti

Teised pildid: Akukon

ISBN 952-11-1353-7

ISSN 1238-8602

Edita Prima Oy

Eessõna

Müra hindamise ja leviku tõkestamise käsiraamat vaatleb praktiliselt kõiki keskkonnamüra liike, sealhulgas pidevate müraallikate, st liikluse ja tööstuse ning selliste ajutiste sündmuste nagu ehitustööde ja vabaaja-ürituste müra. Tee- ja raudteeliikluse müra mõõtmis-, analüüsimis- ja tõkestamismeetodid on enamjaolt sarnased ning nii mõnedki neist sobivad kasutamiseks ka muu maapinnal tekkiva müra puhul. Lennuliiklus on võrreldes maismaaliiklusega erandlikum müraallikas. Mürast mõjutatud inimeste hulga tõttu pööratakse kõige suuremat tähelepanu tee- ja lennuliiklusele, sest auto on kõige levinum müraallikas ja samas lennuk kõige mürarikkam.

Tekstis rõhutatakse kohaliku omavalitsuse tasemel langetatud otsuste tähtsust ja pööratakse erilist tähelepanu nende kasutuses olevatele vahenditele. Näiteks ei ole kohalikul tasandil võimalik lahendada autode ja lennukite tehnilisi probleeme, küll aga on võimalik valida teekatet või anda soovitusi planeeringulahendustele.

Käsiraamatu eesmärgiks on pöörata tähelepanu mürahinnangute taustale, näiteks müra arvsuurustele ja arvutusmeetoditele. Mürahinnangu ülesanne on näidata, kui palju ja mis ulatuses on vaja müra tõkestamist rakendada ning müra tõkestamise teostamisel lasubki käesoleva käsiraamatu teine rõhuasetus: siin antakse ülevaade kohalikul tasandil kasutatavatest tehnilistest ja muudest vahenditest mürahäiringu vähendami-

seks, kirjeldatakse kasutusel olevaid vahendeid ja hinnatakse nende sobivust erinevates situatsioonides.

Väljaandes käsitletakse esmalt akustika aluseid: müra mõõtmist, allikaid ja levimist, seejärel müra hindamist, arvutust ja analüüsi ning kõige lõpuks müra leviku tõkestamist. Müra tõkestamine hõlmab omakorda müraemissiooni vähendamist, leviku tõkestamist ja objektide kaitsmist.

Käsiraamatu tekst põhineb osaliselt Euroopa Komisjoni 5. töörühmale „Noise Abatement” kasutamiseks koostatud käsiraamatul „*Inventory of noise mitigation methods*”.

Väljaande koostamisega seotud järelevalvet teostas keskkonnanõunik Sirkka-Liisa Paikkala keskkonnaministeeriumist ja juhtivasse tugirühma kuulus veel keskkonnakaitseinspektor Erkki Pärjälä Kuopiost.

Keskkonnaministeerium tänab kõiki, kes olid kaasatud väljaande koostamisse.

Helsingis, veebruar 2003. a
Soome Keskkonnaministeerium

Sisukord

	Eessõna	3
I	Müraprobleem	7
2	Heli ja müra	9
	2.1 Akustika	9
	Mis on müra?	10
	Tugevus, kõrgus ja muutused	10
	Tase ja detsibell	11
	Heli omadused	13
	Kuulmine	16
	A-sageduskorrektsioon	17
	2.2 Helitasemed	18
	Helitase ja müratase	18
	Ajakorrektsioonid	19
	Keskmine helitase	20
	Heli maksimaalne tase ja stabiilne tase	21
	Helitaseme mõõtmine	22
	Spekter	23
	2.3 Mürareostus	25
	2.4 Müra mõju	26
	Kuulmiskahjustus	26
	Unehäired	27
	Häiring	27
	Kõne kaod	27
	Arvamusuuringud	28
3	Müra allikad ja müra levik	29
	3.1 Allika müraemissioon	29
	Emissioon ja objekt	29
	Helivõimsustase	31
	Müraemissiooni mõõtmine	32
	3.2 Müra tekkimine ja kiirgamine	35
	Tekkepõhimõtted	35
	Autod	35
	Rongid	38
	Lennukid	39
	Tööstus	40

3.3 Mürav levimine	43
Müraallikate põhitüübid	43
Helilaine levimine	45
Refraktsioon ja difraktsioon	46
Atmosfäär ja ilm	47
3.4 Levikut mõjutavad pinnad	50
Peegeldus ja absorbeerumine	50
Pehme maapind	51
Tõkked	51
4 Mürav analüüsimine	53
4.1 Mürav hindamine	53
Mürav omadused ja häirivus	53
Impulssheli	55
Tonaalne heli	56
Madalsageduslik müra	56
Hindamismeetod	57
Normtasemed	58
EL ja Lden	58
Müraliikide eristamine ja ühendamine	59
4.2 Mürav arvutamine	61
Arvutusmodelid	61
Üldised omadused ja piirangud	61
Arvutusmodelite kasutamine mürasündmuste analüüsimiseks	63
4.3 Mürav uuringud	66
Müravolukorra uuring	66
Mürav leevendavate meetmete analüüs	67
5 Mürav tõkestamine	69
5.1 Emissioonide vähendamine	70
Teeliikluse emissioonid	70
Väheste müravaga teekatted	72
Teeliiklus, liiklusolud	73
Kiiruse piiramine	76
Tee projekteerimine	79
Raudteeliiklus, allikavälised tegurid	81
Lennuliiklus	82
Liikluse reguleerimine	86
Tööstuslike müraallikate toime vähendamine	87
5.2 Tegevuse piiramine	89
Lubade süsteem	89
Tegevusaja ja -mahu piirangud	90

5.3 Mära leviku mõjutamine	91
Planeering ja maakasutus	91
Müratõkked	95
Süvend	100
Katus ja tunnel	101
Taimestik	102
Hooned kui tõkked	103
5.4 Ehitusobjektide kaitse müra eest	104
Hoonete kuju ja suund	105
Ruumide paigutus	108
Heliisolatsioon	108
Heliisolatsiooni nõuded planeeringu koostamisel	112
5.5 Õiguslikud ja majanduslikud vahendid	114
Mära vähendamise õiguslikud alused	115
Majandusliku regulatsiooni meetmed ja põhimõtted	116
Muud meetmed	118
Kirjandus	121
Allikad	121
Mõisted ja standardid	122
Arvutusmodelid	122

Müraprobleem



Müra on üheaegselt nii kohalik ja muutuv kui ka kogu maailma pidevalt puudutatav probleem.

Müra levib oma allikast vaid sadade meetrite või kõige rohkem mõne kilomeetri kaugusele ega tekita jääkaineid erinevalt paljudest teistest keskkonnasaastajatest. Müra kaob pärast tekkimist koheselt, kuid sellest hoolimata on müra muutunud üleüldiseks probleemiks, mis esineb pidevalt ja levib koos inimese liikumise ja tegevusega kõikjale.

Mürasse suhtumine on eri maailmapaigus väga erinev, kuid probleem on sõltumata mürahäiringu reguleerimiseks ja selle leviku tõkestamiseks antud panusest pea kõikjal sarnane.

Euroopa Nõukogu Komisjon on 1996. aastal hinnanud, et ligi 170 miljonit eurooplast elab piirkondades, kus müra võib olla häiriv. Soomes on vastav näitaja umbes üks miljon elanikku. Müra toimest põhjustatud kulude kohta on EL koostanud kalkultatsiooni, mille järgi läheb see

ühiskonnale maksma umbes 0,2–2% sisemajanduse koguproduktist.

Müra tekitajatest on kindlal esikohal auto. Mürapiirkondade elanike arvu järgi põhjustab teeliiklus ligi 90% kogu mürast. Teisel kohal on lennuk; lennuliiklus põhjustab 5% mürast. Järgnevad rongid mõne protsendiga (toim. märkus: Eestis on rongiliiklusest põhjustatud müra-reostus tõenäoliselt suurem kui Soomes). Rongi järel on suur hulk muid allikaid, mis moodustavad väiksema osa: tööstus, ehitustööd, lasketiirud, motosport jne.

Autode müra on proovitud tõkestada ligi poolsada aastat alates nende kasutusele võtmisest ja ühtlasi kogu keskkonnamüraprobleemi teadvustamisega kaasnevalt. Tänu visale tööle on saavutatud väikseid edusamme, teisalt aga tallatakse saavutatu jalge alla, kuna liiklusvahendeid tuleb pidevalt juurde ja samas tekivad ka täiesti uued müraallikad.

Liiklusmüra allikate summutamisel on tehtud suuri pingutusi. Praegu on autod ja lennukid oluliselt vaiksemad kui kas või paarkümmend aastat tagasi, kuid liiklustihedus on nii palju suurenenud, et summutusmeetmete mõju on kadunud ja liiklusmüraga kaasnev kahju suurenenud.

Müra levimine nii ajas kui ruumis jätkub pidevalt ning kõik vahendid ja võimalused müra leviku tõkestamiseks on hädavajalikud. Mürahäiringu vähendamise peamised ülesanded on:

- ennetamine — müraga arvestamine maakasutuse, liikluse ja ettevõtete planeerimisel ning saastelubade ja ehituslubade menetluste puhul;
- olemasolevate mürahäiringute tunnistamine, vähendamine või likvideerimine.

Nende ülesannete sooritamiseks võivad müra tõkestamise töös osalevad inimesed

- mõõta või arvutada müratasemeid ja allikate müraemissiooni;

- koostada mürakaarte;
- hinnata mürahäiringu vähendamise vajadust, võrreldes olemasolevat olukorda normidega;
- valida väiksema müraga allikaid ja lahendusi ning hinnata sooritavaid mürahäiringu vähendamise meetmeid.

Ülesanded on nõudlikud ja tulemuste tõlgendamiseks on vaja tunda akustika aluseid. Müraprobleemi ulatuslikkuse tõttu on müraga seotud tegurite ja asjaolude mõistmine tähtis lisaks selle eriala spetsialistidele ka otsuste langetajatele ja tavakodanikele. Käesoleva väljaande üks eesmärk on soov jagada selleks vajalikku teavet.

Kui mürahäiringu vähendamise vajadus on kindlaks tehtud, saab alustada analüüside põhjal müra tõkestamise meetmete rakendamisega.

Mürahäiringu vähendamise meetmete eesmärgid on järgnevad:

- vähendada müraallikate müraemissiooni;
- mõjutada müra levimise ulatust;
- kaitsta müratundlikku objekti müra eest.

Ühine seisukoht on see, et müra vähendamine selle tekkimisel on esmatähtis ja soovitatav, sest nii järgitakse põhjus-tagajärje põhimõtet kõige ehedamalt. Kuid enamasti on vaja ka muid vahendeid — neid, millega proovitakse müra levikut piirata või pöörata tähelepanu maakasutusele müratekitavate allikate lähedal. Ehitiste heliisolatsiooni on võimalik parandada ja viimase abinõuna võib lisaks tehnilistele ja õiguslikele vahenditele kasutada ka majanduslikke meetmeid.



Müra tekkib hoolimata pingutustest pidevalt juurde. Uusim — ja mõttetum — müraallikas on sügisene mahalangenud lehtede puhumine.



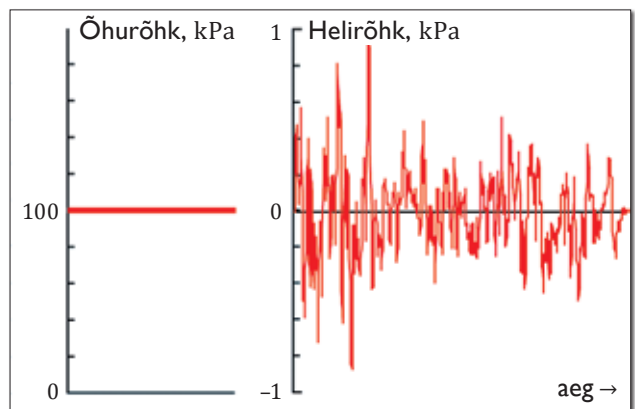
2.1 Akustika

Heli on õhus või muus keskkonnas esinev rõhu muutumine, mis kulgeb lainelise liikumisena ja mida inimesel on võimalik kuulda. Rõhu muutumise kõrval esineb õhus ja helilaines alati samaaegselt ka õhu tihenemisi ja hõrenemisi ning õhuosakeste (suure molekulide hulga keskmist) võnkumist ehk edasi-tagasi liikumist. Inimese jaoks on rõhk siiski olulisim ja piisav heli kirjeldav suurus, kuna kõrv reageerib just rõhule. Müra leviku tõkestamise puhul võib osutuda vajalikuks käsitleda ka teisi heli iseloomustavaid suursi.

Helirõhk on samasugune füüsikaline suurus nagu ilma iseloomustav õhurõhk. Heli on see osa kogurõhust, mis atmosfääri rõhu suhtes võngetena vaheldub, olles viimase keskväärtusest kord suurem, kord väiksem. Rõhu erinevust atmosfääri rõhust nimetatakse **helirõhuks**.

Tavaliste kuuldavate helide rõhu kõikumise ulatus on võrreldes atmosfääri rõhuga väga väike.

Atmosfääri rõhk on 100 kPa. Inimese kuulmislävi ehk nõrgim kuuldav heli on 20 μPa ja ka mürarikas tänavaliiklus (umbes 100 mPa) on vaid üks miljondik õhurõhust.



Heli on rõhu kõikumine õhurõhu ümber. Helirõhk on väike mürdosa atmosfääri rõhust — kõuekömin.



Mis on müra?

Müra on lühidalt öeldes soovimatu heli. Täpsemalt määratledes on müra ebameeldiv, häiriv või muul viisil inimese tervist ja heaolu kahjustav heli. Müra on võimalik määratleda nii indiviidi kui keskkonna seisukohalt ebameeldivaks ja häirivaks heliks, mis koormab või kahjustab organismi kas füüsiliselt või psüühiliselt.

Heli on samasugune füüsikaline nähtus nagu valgus ja soojus. Termin **müra** hõlmab endas ka sellist iseloomustust, mis on sageli individuaalne.



Tugevus, kõrgus ja muutused

Inimene iseloomustab heli ja müra sageli mitmete näitajate abil. Müra tähtsaim omadus on selle tugevus. Järgnevad

- heli kõrgus ja selle jagunemine, st heli tämber või toon;
- helitugevuse muutumine ajas.

Loetletud subjektiivsetele põhiomadustele on olemas objektiivsed füüsikalised vasted, mida on võimalik mõõta ja täpselt väljendada. Heli füüsikaliseks kirjeldamiseks on vaja samuti kolme näitajat:

- tugevus ehk tase;
- sagedus;
- aeg.

Tugevuse määrab kindlaks helirõhu **muutumise ulatus** ehk **amplituud**. Sagedus on füüsikaline vaste heli kõrguse tajumisele, väikese sagedusega heli tajutakse madalana ja suure sagedusega heli kõrgena. Kombineeritud helide tooni või tämbri tajumise vasteks on **sagedusjaotus**



Pilt ei edasta heli. Kõigis kolmes kohas on peateel esinev liikluse müra valdav nähtus.

ehk **spekter**. Kui müra ei ole ajalisel ühtlane, kontrollitakse näiteks selle kestvust, muutumisvahemikku või võnkumise amplituudi.

Tase ja detsibell

Praktikas kirjeldatakse müra tugevust mõistega **tase**, mille all akustikas mõeldakse enamasti logaritmilist suurust. Logaritme kasutatakse kahel põhjusel: inimese kõrv ja kuulmismeel töötavad logaritmiselt ja praktikas esinevat helitugevuste suurt vahemikku (umbes 1 : 100 000 000) on selle arvulise näitajana lihtsam käsitleda (0 dB... 160 dB).

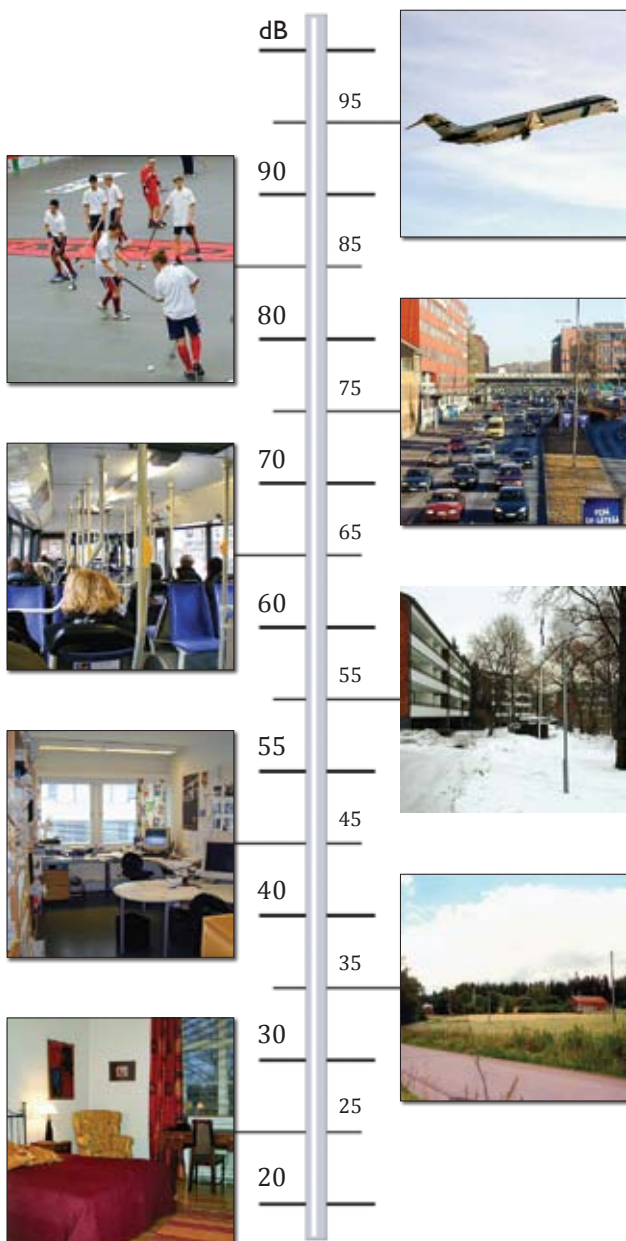
Helirõhu asemel kasutatakse mõistet **helirõhutase**, mille põhimääratlus on

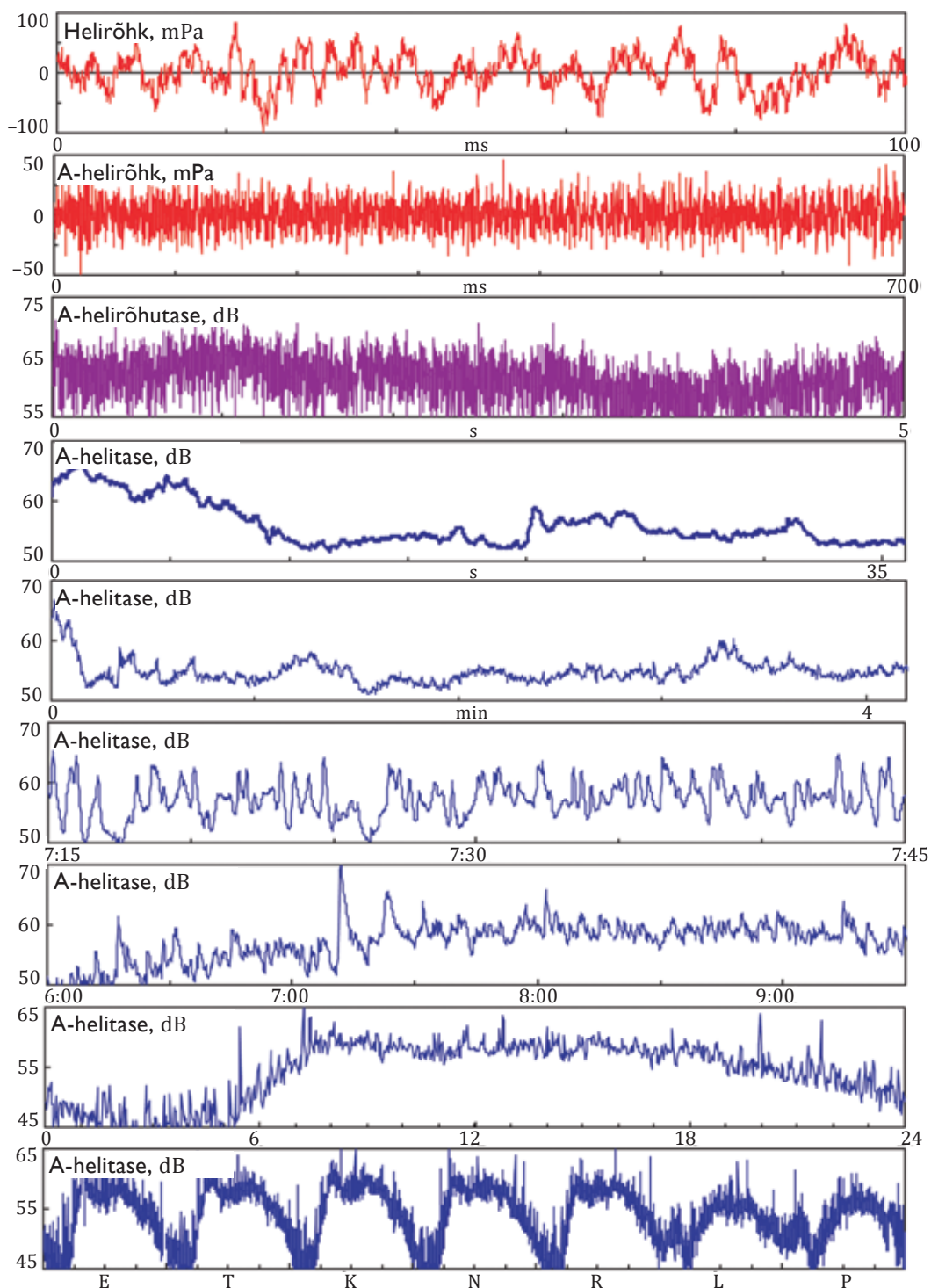
$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad [\text{dB}]$$

mille puhul p on helirõhk ja kuulde-
läve helirõhk $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$. Helirõhu-
taseme ühikuks on **detsibell**.

Sellisenä sobib helirõhutase määratlus kasutamiseks vaid ühtlase, stabiilsena püsiva müra puhul. Edaspidi tuleme määratluse juurde täpsemalt tagasi veel kahel korral.

Nõrgemini kuuldava heli tase on umbes 0 dB; selle rõhk on $20 \mu\text{Pa}$ ja kuulmekäigu suurusele pindalale suunatud helivõimsus on umbes $4 \cdot 10^{-17} \text{ W}$. Sellest tugevama, veel ilma valuta kuuldava heli tase on ligikaudu 120 dB, rõhk 20 Pa ja kõrva piirkonda suunatud võimsus on $0,4 \mu\text{W}$.





Erinevad vaatenurgad müra suhtes. Nädalapikkune linnakeskkonna müra mõõtmine, tänavaliiklus, rongid ja lennumüra.

Heli omadused

Heli ajamõõdud

Ajaliselt suudab kõrv tajuda sellist edasi-tagasi rõhu vaheldumist, mille kestvus on kõige vähem 50 μ s. Nii lühikesi rõhu vaheldumisi mahub ühte sekundisse 20 000. Heli ja kuuldesündmuste suhet ajaga on võimalik kontrollida väga laias ulatuses. Juuresoleva pildiseeria eesmärk on näitlikustada, kuidas näeb heli välja erineva pikkusega „ajaakendest” vaadatuna.

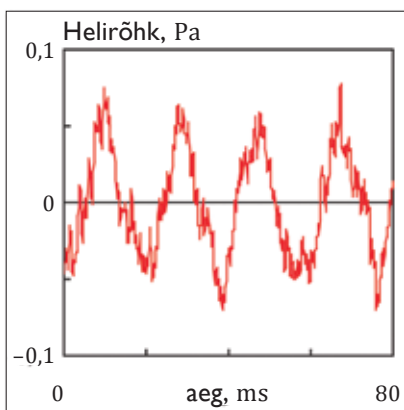
Helide jaotus

Helid jagatakse kahte rühma vastavalt sellele, kas heli on perioodiline või mitte. **Perioodiline heli** kordub kindlate ajavahemike tagant ühtmoodi. Kordumine puudutab nii helilainet kui ka helisignaali.

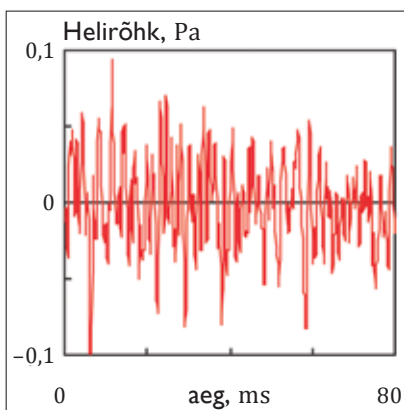
Mitteperioodiliste helide tähtsaimaks alatüübiks on juhuslikult muutuv heli. Teine mitteperioodiliste helide oluline alatüüp on **lühiajalised** ehk **impulsiivsed** helid. Heaks näiteks on kõne häälikud:

- vokaalid: perioodilised;
- *f, h, s*: mitteperioodilised, juhuslikud;
- *k, p, t*: mitteperioodilised, lühiajalised.

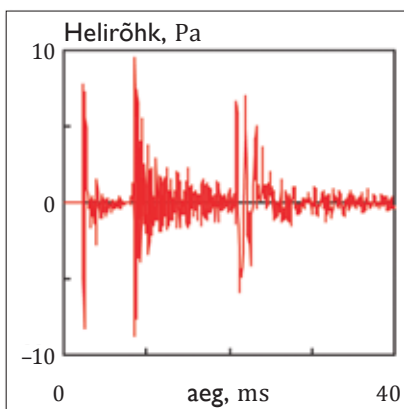
Töötavate seadmete, näiteks auto mootori müra on perioodiline. Ringleva, mähiseva õhuvoolu, näiteks reaktiivmootori heitgaaside voolu müra on juhuslik. Löögid ja kolkstatused ning laskude või kivi lõhkumise helid on lühiajaline impulsiivne müra.



Automootori müra on perioodiline.



Reaktiivmootori müra on juhuslik.



Lask on lühiajaline heli.

Sagedus, lainepikkus ja spekter

Perioodilisel helil on olemas põhisagedus ja inimene tunneb seda teatud **kõrgusena**. Kui heli aja-perioodis T ühtmoodi kordub, siis on heli sagedus

$$f = 1/T$$

Sagedus on heli võnkeamplituudide hulk sekundis ja selle ühikuks on herts (Hz).

Helilaine liigub helikiirusel, toatemperatuuril on helikiirus $c = 345 \text{ m/s}$. Ühe perioodi T jooksul liigub laine täpselt ühe perioodi pikkuse teekonna λ , mida nimetatakse **lainepikkuseks**. Sageduse ja lainepikkuse omavahelist seost kirjeldab valem

$$\lambda = c/f$$

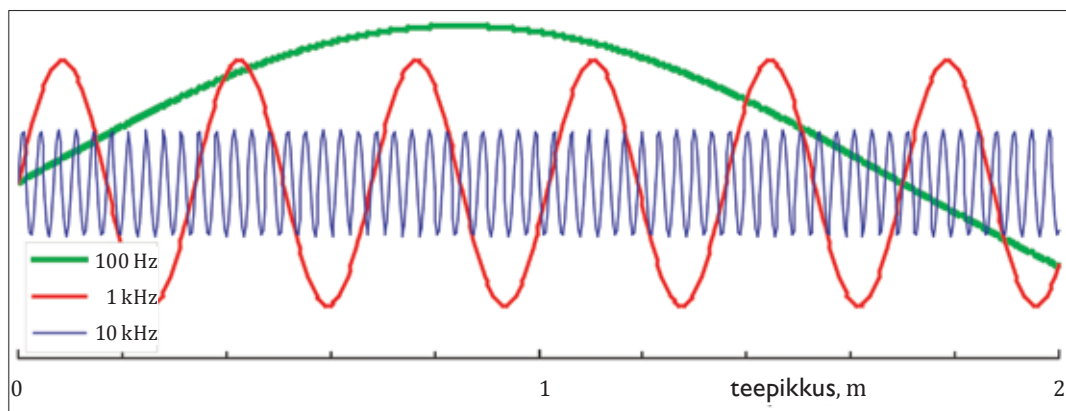
Lainepikkus on müra leviku tõkestamise puhul oluline suurus. Heli käitumist on võimalik mõjutada konstruktsioonidega, mille mõõtmel on **vähemalt** lainepikkuse suurusklassis.

Mõned näited sagedustele vastavate lainepikkuste kohta

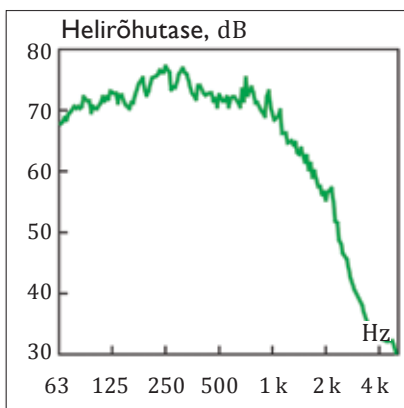
helikõrgus	sagedus	lainepikkus
madal	100 Hz	3,4 m
keskmiselt	1 kHz	340 mm
kõrge	10 kHz	34 mm

Kui helilaine ja signaal on siinus-kõvera kujulised, siis on helil olemas vaid üks sagedus. Tegemist on nn **puhastooniga** (vilistamine on peaaegu puhas toon). Kui korduva perioodi kuju ei ole sinusoidne, siis sisaldab heli mitmeid sagedusi, mis on põhisageduse kordsed: $1 \cdot f, 2 \cdot f, 3 \cdot f, 4 \cdot f, 5 \cdot f$ jne.

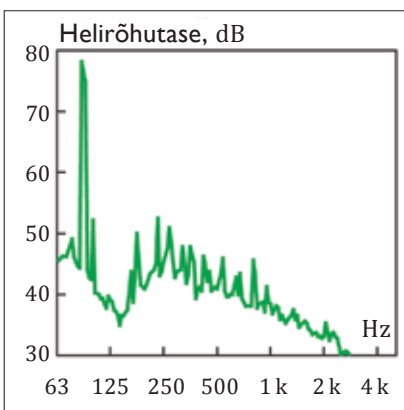
Sageduste jaotust nimetatakse **spektri**ks. Perioodilise heli spektril on väärtusi vaid oma kordsete sageduste näol. Juhusliku heli või lühiajalise heli spekter on seevastu pidev ja see sisaldab kõiki sagedusi. Perioodilise heli spektris on kordsetel sagedustel tugevad haripunktid.



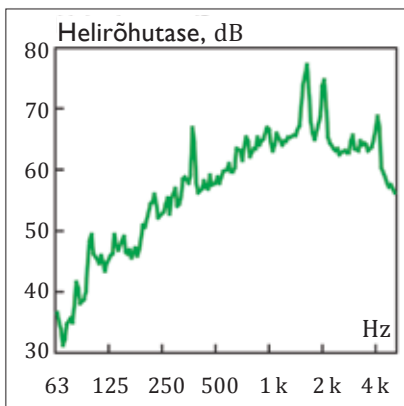
Kolm erineva sagedusega helilainet samas mõõtkavas.



Reaktiivlennuki spekter on laiaribaline.



Kompressori spekter on kitsaribaline.



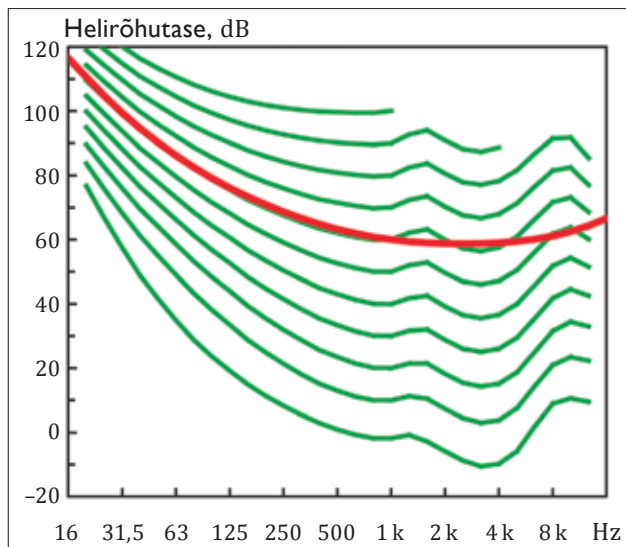
Pukk-kraana spekter on laiaribaline, kuid see võib sisaldada ka spektri haripunkte.

Kuulmine

Kõrva kuuldepiirkond

Inimese kuulmismeel on mitmel moel **logaritmiline**. Lisaks sellele, et kuulmise tundlikkuse piirkond on väga laiaulatuslik, tajub see ka samade suurustena nii heli tugevuse kui ka heli kõrguse sama suuri **suhtelisi** muutusi. Seetõttu ongi müra graafilisel joonisel nii tugevuse kui ka sageduse teljed logaritmilised.

Normaalse kuulmisega noore täiskasvanud inimese kuuldepiirkond katab sagedusi, mis jäävad vahemikku 20 Hz–20 kHz. Kuulmine on kõige tundlikum piirkonnas 2–5 kHz. Näiteks 100 Hz sagedusega on kuulmise tundlikkus umbes 20 dB väiksem. Keskkonnamüra tähtsaim piirkond jääb umbes 100–1000 Hz vahele. Enamasti asub selles piirkonnas spektri maksimumpunkt. Keskkonnamüra puhul esineb harva sagedusi üle 5 kHz ja pea üldse mitte sagedusi üle 10 kHz.



Mõningad sagedusala nimetused

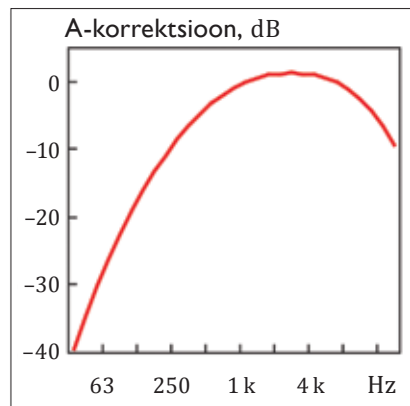
sagedus, Hz

< 20	infraheli
20–20000	kuuldepiirkond
>20000	ultraheli
20–100	madalsagedusega heli
100–5000	keskmise sagedusega ala
300–3000	kõneala (telefon)
5000–20000	kõrge sagedusega heli

Erineva kõrgusega helide kuulmise tundlikkust väljendatakse valjuhäälsuse samatasemekõveratega. Kõvera kuju sõltub heli tugevusest. Selliseid sõltuvusi kujutatakse nn standardsete helikõveratega (**isofoonidega**).

Kuulmismeele tööpõhimõte

Kõrva võib kokkuvõtvalt iseloomustada kui **sagedus-** ehk **spektraal-** **analüsaatorit**. Kuulmismeele eesmärgiks on jälgida ja tõlgendada heli spektrit ehk erineva kõrgusega



Standardsed valjuhäälsuskõverad näitavad, kui tugevad peavad erineva sagedusega helid olema, et valjuhäälsus püsiks erinevatel sagedustel samane. A-korrektsoon (punane) lähtub nendest kõveratest.

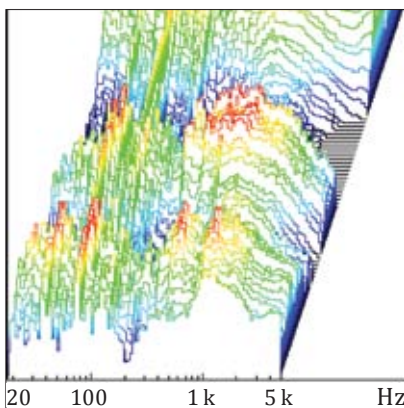
osahelide omavaheliste tugevuste vaheldumist. See on peamine põhjus, miks müra ei saa kontrollida ainult ajalise nähtusena. Teisalt on see üks taustategureid, mis seletab, miks müra mõõtmine ja hindamine ei ole alati üheselt seletatav ja lihtne tegevus.

A-sageduskorrektsioon

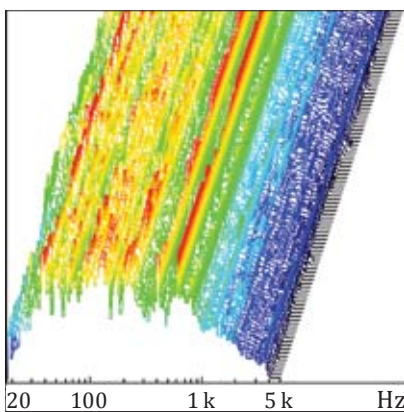
Inimese kõrv ja kuulmismeel on heli tugevusest ja sagedusest väga keerukalt sõltuv süsteem, mille puhul valjuhäälsuse samatasemekõverad osutavad vaid ühele vaatenurgale. Kuulmismeele tundlikkus sõltub sageduse kõrval ka suurest hulgast heli teistest eripärastest omadustest.

Müra iseloomu hindamine eeldab tingimata kompromisse. Nendest tähtsaim on sageduskorrektsioon, mille eesmärk on imiteerida kuulmise tundlikkust erineva kõrgusega helide puhul. Samatasemekõvera sõltuvus heli tugevusest on jäetud tänapäeval kõrvale, kuigi müramõõturi traditsiooniliste sageduskorrektsioonide filtrid A, B ja C just sellest nähtusest alguse saidki.

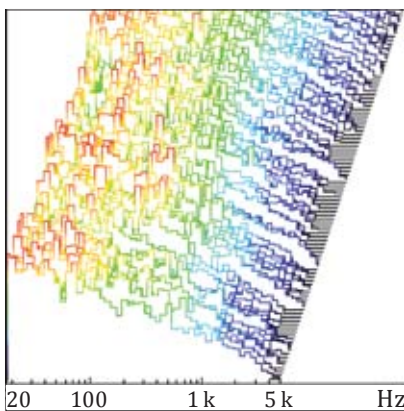
Tänapäeval kasutatakse põhiliselt ainult A-korrektsiooni, mis on „sobilik kompromiss”, tehniline reduktsioon kõrva kuulmistundlikkusele erinevatel sagedustel suhteliselt vaiksete, umbes 35–45 dB helide puhul. See tugevusala sobib eriti hästi just keskkonnamüra jaoks, kui asume öise välismüra ja sisemüra häirivuse piiri lähedal.



Teeliiklusmüra: kahe auto möödasoit, näha on mootorite pöörete arvud ja naelkummide osakaal.

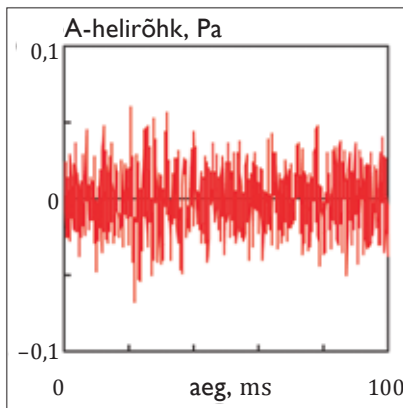
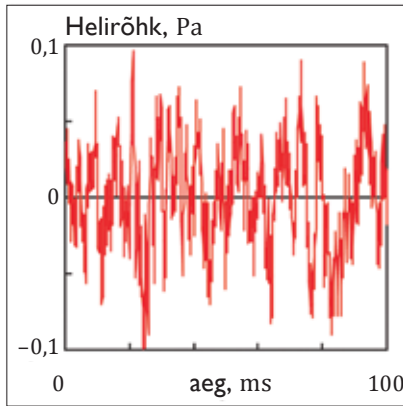


Kitsarealine müra: tselluloositehase säilitusnõu puhuri „ulgumine”.

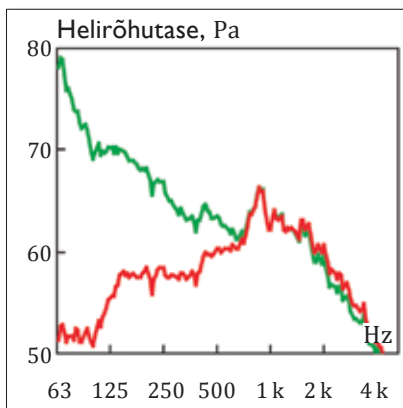


Impulsiivne müra: kivirahnude pragunemishelid kivimurdmise käigus.

Kolmemõõtmeline „spektermaastik” ehk spektri vaheldumine ajas: horisontaalteljel sagedus, aeg liigub ülevalt alla. Kuulmismeel ja aju töötlevad kõigepealt sisekõrva saabuvat heli sellisel kujul.



Teeliikluse müra ilma korrektsioonita ja A-korrigeerituna. A-korrektsioon vähendab madalate sageduste ehk aeglase amplituudide osakaalu, järele jäävad keskmised ja suured amplituudid ehk tihedad amplituudid.



Elmiste piltide müra spekter ilma korrektsioonita ja A-korrigeerituna.

2.2 Helitasemed

Helitase ja müratase

Müra tähtsaim omadus on selle **tugevus**. Kui müra on ühtlane ja pidev, on tugevuse mõõtmine väga lihtne.

Keskkonnamüra käsitletakse ja hinnatakse praktikas pea alati A-sageduskorrektsiooni kaudu. Kui helirõhku korrigeeritakse müramõõturis A-korrektsiooni filtriga, saadakse A-korrigeeritud helirõhutase, lühidalt **helitase**

$$L_{pA} = 20 \lg \frac{p_A}{p_0} \quad [\text{dB}]$$

Ka see määratlus kehtib vaid ühtlase müra puhul. Järgnevas punktis täiendatakse määratlust nii, et see sobiks kasutamiseks ka vahelduva müra puhul.

Helitase on täpne termin. See sisaldab endas infot, et helirõhutase on korrigeeritud ja et korrektsiooniks on A-korrektsioon. Selle levinum rahvakeelne nimetus on **müratase**. Kui A-korrektsiooni rõhutada, võib kasutada terminit **A-helitase** (toim. märkus: võib kasutada ka terminit **A-kaalutud helitase**). Helitase tähisest L_{pA} võib jätta välja rõhu tähise p , kui puudub segijamise oht (nt helivõimsusega).

A-helitaseme ühikuks on **detsi-bell** (dB). Sageli kasutatakse ka ühikuid dB(A) või dBA, mida ei tohiks siiski teha. Mõõtühikute SI-süsteem keelab ühikule lisatähiste lisamise. Vajadusel lisatakse lisatähised põhitähisele. Sobi-likeks esitusviisideks on näiteks

- müratase on 55 dB;
- müra helitase on 55 dB;
- müra A-helitase on 55 dB;
- müra A-helitase L_A on 55 dB.

Helirõhu efektiivväärtus

Kui reaalse kolmemõõtmelise helivälja rõhku kontrollitakse vaid ühes punktis ja ainult ajakarakteristikuna, on tegemist **signaaliga**. See on mõõtemikrofoni toodetud, ainult ajakarakteristikuna vahelduv elektriline nähtus, mis esindab algset akustilist suurst.

Tavaliselt mõõdetakse muutuvat signaali erinevate keskmiste näitajate põhjal. Helirõhu tavaline keskmine näitaja ei paku huvi, kuna see on null. Tähtsaim helirõhku ühe arvuna kirjeldav näitaja on efektiivväärtus. Selle määratlus on

$$p = \sqrt{\frac{1}{T} \int_T p^2(t) dt} \quad [\text{Pa}]$$

kus $p(t)$ on rõhusignaal, t on aeg ja T kontrollaaeg. Efektiivväärtus arvutatakse välja ruutjuurena keskmisest näitajast: esmalt võetakse rõhusignaal ruutu (teise astmesse), seejärel arvutatakse rõhu ruudust tavaline keskmine näitaja ja lõpuks võetakse sellest ruutjuur. Kui ajakarakteristikuna vahelduva müra tugevust kirjeldatakse ühe arvuna, mõeldakse selle all alati helirõhu efektiivväärtust, va juhul kui eraldi ei mainita, et tegemist on mõne muu suurusega.

Ajakorrektsoonid

Sujuvalt muutuv helitase

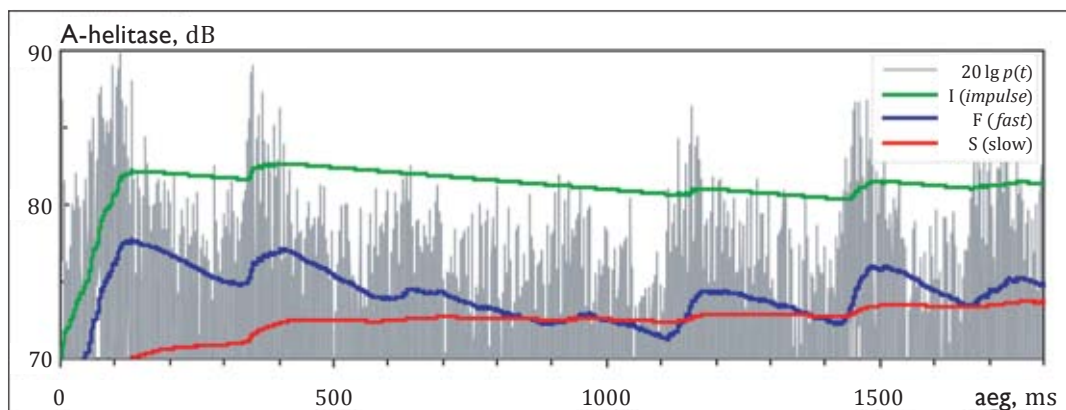
Kui efektiivväärtuse integreerimine toimub lühikese aja vältel jooksvalt, on tegemist tavalise helitaseme mõõturi ehk „vanaaegse“, enamasti osutinäiduga müramõõturiga. Kui müra on ühtlane ja pidev, siis osuti ei liigu ja mõõtur näitab kohe müra helitaset. Kui müratase kõigub, siis kõigub sujuvalt ka mõõturi näidatav helitase.

Kõikumise kiirus ja ulatus sõltuvad sellest, mis on keskmise näitaja arvutamise aja T pikkus. Akustikas kasutatakse kahte standardiseeritud aega:

- S (*slow*) $T = 2 \text{ s}$;
- F (*fast*) $T = 250 \text{ ms}$;

mida nimetatakse **ajakorrektsoonideks**. Neist F-korrektsoon vastab (juhuslikult) väga hästi inimese kuulmismeeles toimuvale lühiajaliste helide valjuhäälsuse hindamisele. Kolmas ajakorrektsooni nime all toimuv arvutusviis I (*impulse*) ei ole iseenesest päris efektiivväärtuse arvutusmeetod, sest see ei vasta kuulmismeele toimimisele ja seepärast on selle kasutamine vähenemas.

Kivipurustustsehhi müra F-, S- ja I-korregeerituna.



Keskmine helitase

Kuid mis on muutuva suurusega müra helitase väljendatuna ühe arvuna? Sujuvalt muutuva helitaseme kohta enam uuesti keskmist näitajat ei arvutata, vaid integreeritakse otse kogu mõõteaja kohta efektiivväärtus. Nii saadakse keskmine helitase.

Keskmine helitase (inglise keeles *average level*, saksa keeles *Mit-*



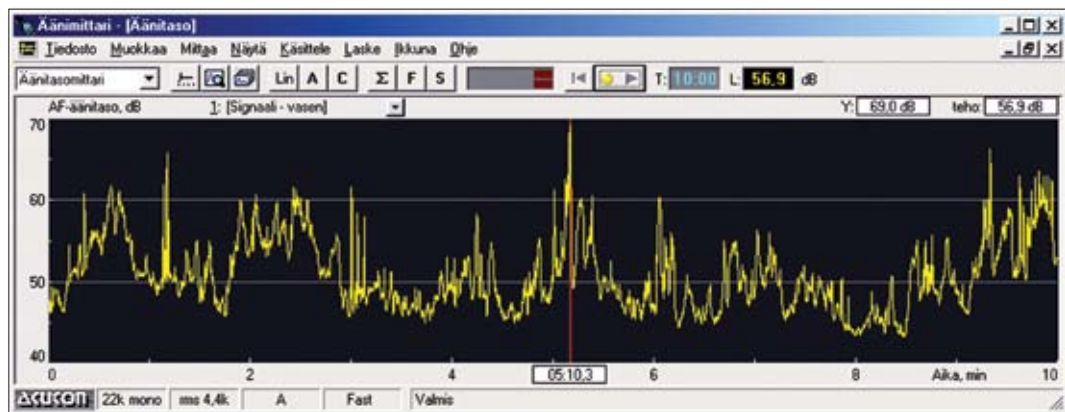
Integreeruv
helitase memõõtur.

teluspeegel) on kogu maailmas enim kasutatav muutuva suurusega müra tugevuse indikaator. Keskmine helitase on A-korrigeeritud helirõhu pikaajalise efektiivväärtuse tase ja seda tuntakse ka nime all ekvivalentne A-helitase ehk **ekvivalentne helirõhutase**. Keskmine helitase on määratletud müra käsitlevates akustika standarditest tähtsaimas, ISO 1996-s järgmiselt:

$$L_{Aeq} = 20 \lg \sqrt{\frac{1}{T} \int_T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt} \quad [\text{dB}]$$

Mõõtmiseks vajalik seade on **integreeriv** helitasememõõtur.

Termin **keskmine helitase** sisaldab infot, et helirõhk on A-korrigeeritud (A-korrektsooni ei ole vaja eraldi mainida) ja et see moodustatakse helirõhu keskmise näitaja ruutjuurest. Keskmine helitase ei ole seega ainult helitaseme tavaline keskmine näitaja, isegi kui sageli just nii ekslikult arvatakse. Määratluses sisalduv ruutu võtmine tähendab seda, et lõpptulemuse arvestamisel korrigeeritakse suurimaid hetkelisi helirõhkusid kõige rohkem.



*Helitase*memõõtur arvutiprogrammina: 10minutiline kaubasadama periood, sujuvalt muutuva F-aegkorrigeeritud A-helitase kõver; keskmine helitase 57 dB, maksimaalne helitase 69 dB.

Heli maksimaalne tase ja stabiilne tase

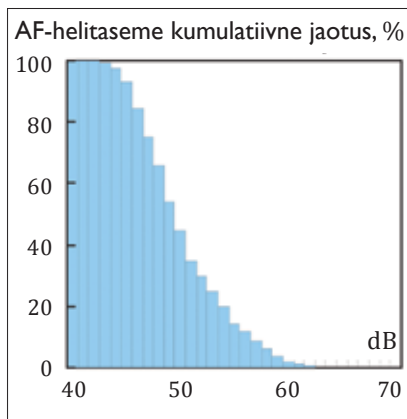
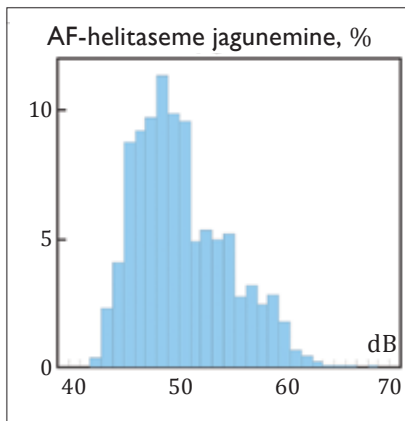
Sujuvalt muutuva helitaseme kõveral on keskmise helitaseme kõrval näiteks väiksem ja suurim väärtus, amplituud, jagunemine ja hajumine. Sageli on huvipakkuvam neist suurim väärtus ehk **maksimaalne helitase**. Selle väärtus, nagu ka kõikide teiste parameetrite väärtused, sõltub aja-korreksioonist. Lühikese haripunkti kohal jõuab F-korrigeeritud helitase tõusta suuremaks kui S-korrigeeritud helitase. Seetõttu peab alati paika: $L_{AFmax} \geq L_{ASmax}$. Sel põhjusel tuleb maksimaalset taset teatades mainida ära ka ajakorrektsioon.

Maksimaalse taseme mõõtmine ja sellest teavitamine on problemaatiline. Maksimaalne tase on mõõtetehniliselt väga nõrk mõõtarv, kuna see ei sisalda ühtegi keskmist näitajat, jagunemist vms loomulikku statistilist töötlust. Selle põhjustajaks on ainult juhuslik sündmus.

Maksimaalset taset ei saa üldistada teiste ajahetkedega ega muude tingimustega. Maksimaalse taseme mõõtmistulemus esindab alati ainult teda ennast ehk mõõtmisajahetke. Samal põhjusel on problemaatiline ka maksimaalse taseme arvutusskeem.

Maksimaalse taseme mõõtetehnilise probleemi lahendamine seisneb **taseme stabiilsuse hindamises**. See annab teada, kui suure osa kogujast on sujuvalt muutuv helitase ületanud erinevat helitaset.

Näiteks 50% F-stabiilne tase L_{AF50} näitab ära, ülalpool millist helitaset on F-korrigeeritud helitase 50% ajast olnud. Maksimaalsest tasemest usaldusväärsema ja esindavama pildi müra tipp-punktide tasemete kohta annab näiteks 5% F-stabiilne tase L_{AF5} .



Elmise pildi sadama müra helitaseme jagunemine ja stabiilsed tasemed.

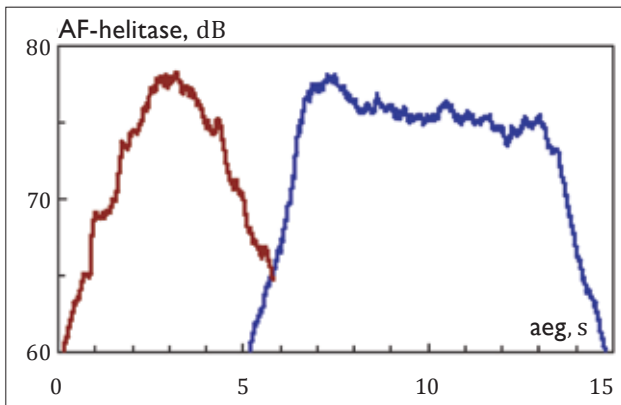
Heli ekspositsioonitase

Maksimaalset taset pakutakse aeg-ajalt välja keskmise helitaseme täiendamiseks häirivuse hindamisel. Arvatakse, et mõnda üksikut mürasündmust on vajalik kirjeldada mõõtarvu abil (eriti öösel).

Maksimaalne tase on käesolevas kontekstis müra hindamisel siiski mitterahuldav. On selge, et kaks üksikut mürasündmust, millel on sama maksimaalne tase, kuid erinev kestvus, ei saa häirida ühtmoodi.

Sellist laadi häirivuse hindamise probleemi lahendus võib peituda **heli ekspositsioonitasemes**. See ühendab omavahel müra tipp-punkti maksimaalse taseme ja müra kestvuse näitajad. Mürale vastuvõtlikkuse tase on käesolevas tähenduses määratletud ka keskkonnamüra põhi-standardis ISO 1996:

$$L_{AE} = 20 \lg \sqrt{\int_T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt} \quad [\text{dB}]$$



Kahe rongi möödasõit, millel on samasugune maksimaalne tase, kuid erinev kestvus. Viimane häirib rohkem ja heli ekspositsioonitase L_{AE} kirjeldab häirimist paremini kui maksimaalne tase L_{Amax} .

Helitaseme mõõtmine

Müra mõõtmine

Helitaseme mõõtmine on tehniliselt lihtne. Võimalikud esilekerkivad probleemid on seotud enamasti tulemuste usaldusväärsusega ja isegi juhul mitte mõõtmistehniliste valikutega. Mõõtmisjuhusid kesken-duvad kõlblike mõõtepunktide ja -aegade valikule. Sobivad tingimused on näiteks

- eemal heli peegeldavatest ehitistest või teistest takistustest või siis kindlaks määratud kaugusel maja välispiirdest;
- kui tuule kiirus on mõõdukas või nõrk ja ilm on kuiv;
- kui müra liigub edasi pärituules või öösel rahuliku pilvitu ilmaga;
- mikrofoni on 1,2–1,5 m kõrgusel maapinnast.

Kui mõõtmine on sooritatud maja välispiirde ees, siis lahutatakse tulemusest helipeegelduse osa, mis on 3 dB.

Taustmüra

Üks spetsiaalne müraliik on **taustmüra**, „muu müra”, millest ei olda huvitatud. See võib häirida näiteks ühe teatud müraliigi mõõtmisi. Kui eesmärk on näiteks tee- ja raudteemüra mõõtmine, siis klassifitseeritakse üle lendava lennuki müra mõõtmise seisukohalt taustmürana, mis ei tohiks tulemust mõjutada.

Teine taustmüra liik on loodus-helid, mida ei klassifitseerita üldse mürana: puulehtede sahin, lindude vidistamine või kraaksumine, rohutirtsude siristamine, roostiku sahin, lainete loksumine, tuule sosin, vihma-pladin... Tegemist ei ole müraga ja

seetõttu ei tohiks nende tegurite heli mõõtmistulemustes esineda.

Taustmüra või muud helid tuleb ühel või teisel moel mõõtmistulemustest kõrvaldada. Kui see ei ole võimalik, siis ei ole mõõtmine usaldusväärne.

Mõõtmiste täpsus

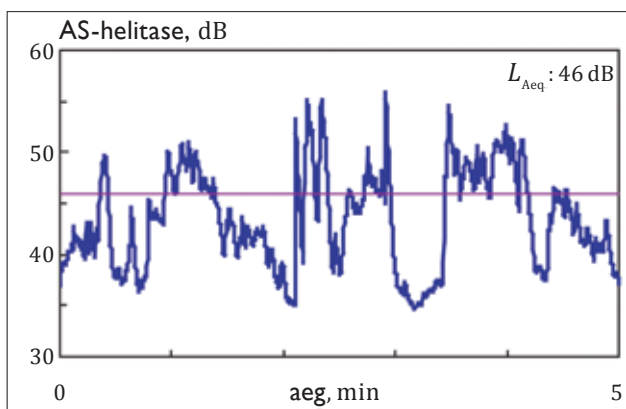
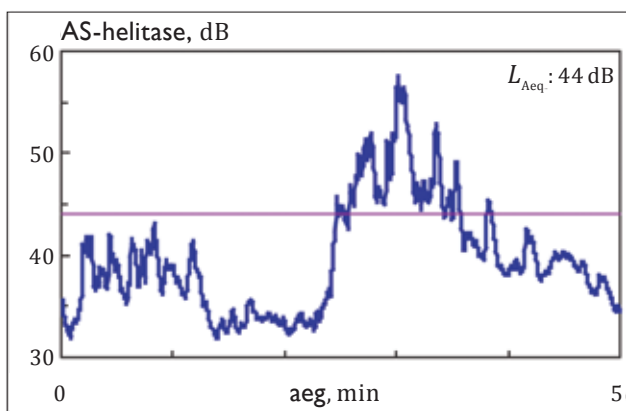
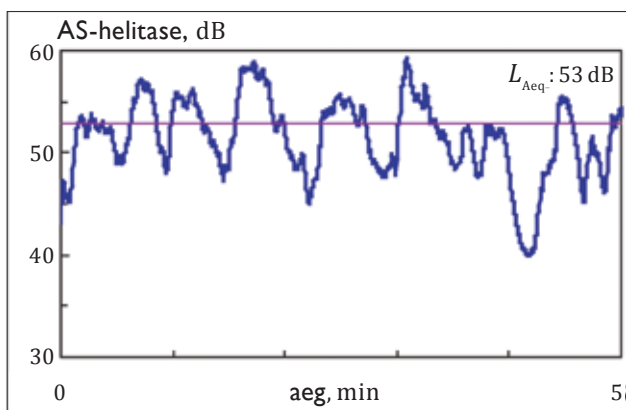
Tavapäraste helitasememõõtmiste sooritamise täpsus on ka parimal juhul $\pm 1... \pm 2$ dB. Mõõtmistulemused tuleb ümardada täisdeksibellideks, esimene kümnendkoht ei ole oluline.

Spekter

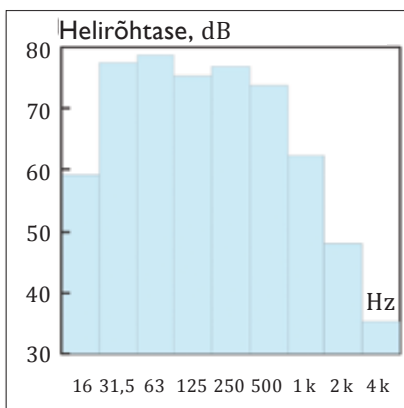
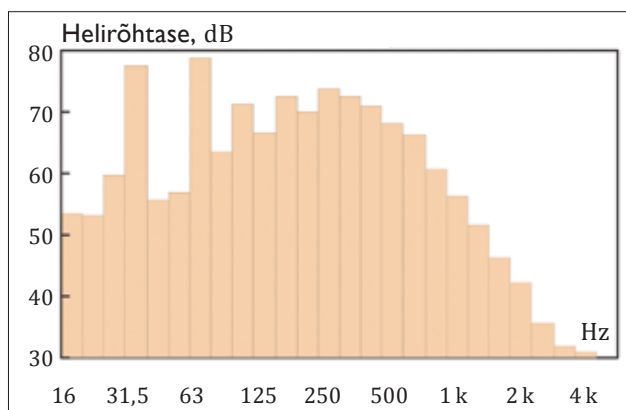
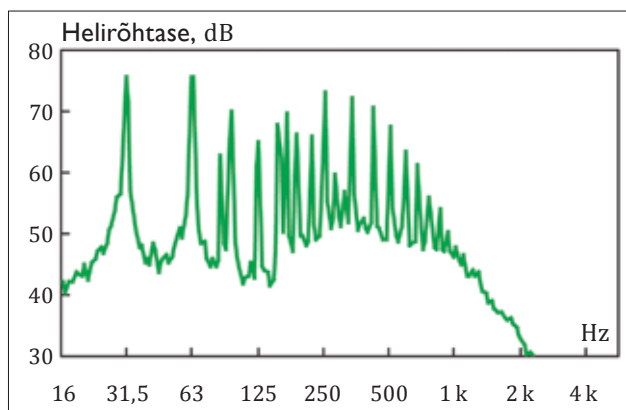
Eelnevalt käsitleti müra mõõtmist vaid nn terviktasemena, mis katab kogu sagedusala, kusjuures erineva kõrgusega helisid on korrigeeritud A-korreksiooni filtriga. Kui soovitakse kontrollida müra erinevatel sagedustel, tuleb sooritada **sagedus-** ehk **spektraalanalüüs**.

Sagedusanalüüsi võib sooritada kahel meetodil:

- helirõhu signaal jagatakse kõrvuti reas olevatele, erineva sagedusribade suhtes häälestatud ribaläbilaskefiltrite vahel ja iga filtri algsignaali efektiivväärtuse tase määratakse eraldi;
- helirõhu kohta antakse Fourier-teisenduse abil (FFT-analüsaator) nn kitsarealine spekter.



Näited muutuva suurusega müra kohta: teeliiklus, kaks reaktiivlennukit ning prügil (kus on veoauto ja buldooser). Graafikutele on märgitud keskmine helitase L_{Aeq} .



Helikopteri müra spekter analüüsitud kitsaribalise spektraalanalüsaatoriga 1/3-oktaavribades ja oktaavribades.

Oktaav- ja 1/3-oktaavribad

Akustikas on läbi aegade kasutatud spektraalanalüüsiks omi, standardiseeritud filtritüüpe, mis põhinevad kõrva omadustel. Akustika standardfiltrite tähtsaim omadus on see, et nende realius on **suhteliselt** standardne ehk alati ühtlane protsendiväärtus nominaalsest keskmisest sagedusest. Suhtelise rea kasutamise põhjus on seotud inimese kuulmismeelega, mis on ka sagedustele suhtes logaritmiline, st tõlgendab sagedusega sama suured **suhtelised** muutused ühesuurusteks (vrdl muusika).

Akustika tähtsaimad filtrid on **oktaav- ja 1/3-oktaavfiltrid (tertsfiltrid)**. Oktaavriba on vastavalt oma nimele oktaavi laiune: ülempiirisagedus f_2 on $2 \times$ suurem alampiiirisagedusest f_1 , tänu millele realius on 71% nominaal- ehk keskmisest sagedusest f_0 .

1/3-oktaavribasid kasutatakse tänapäeval oktaavribadest rohkem. 1/3-oktaavriba määratakse kindlaks nii, et oktaav jagatakse kolmeks **geomeetriliselt** sama suureks osaks ja nii saadakse 1/3-oktaavriba laiuseks 23% keskmisest sagedusest.

Spektraalanalüsaator arvutab iga sagedusriba kohta välja eraldi korrigeerimata ekvivalentsed tasemed ja kuvab need spektri ekraanile.

2.3 Mürareostus

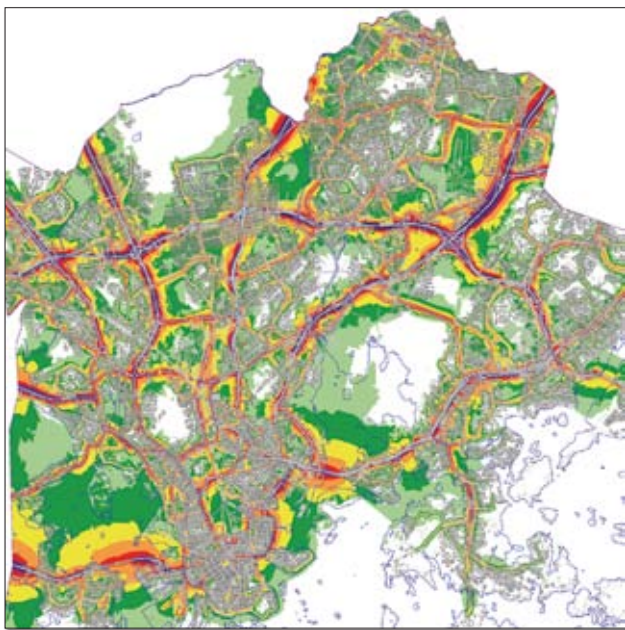
Müra on üks levinuim ja tähtsaim elukeskkonna kvaliteeti vähendav tegur. Mürakahjude suurenemine ühiskonnas on tingitud rahvastiku kasvust, linnastumisest, industrialiseerimisest, tehnilisest arengust ning eriti just pidevalt suurenevast liiklusest. Müra võib võrrelda teeliikluse teise peamise häiringuga — õhusaastatusega. Õhusaastatus on viimastel aastatel vähenenud, kuid müra mitte. OECD ongi 1995. aastal nimetanud müra kõige tähtsamaks teeliikluse põhjustatud keskkonnohuks.

Paljudes riikides on tehtud müra-reostuse kohta statistilisi analüüse. Neis korduvad regulaarselt alljärgnevad üldpilt ja suurusklassid.

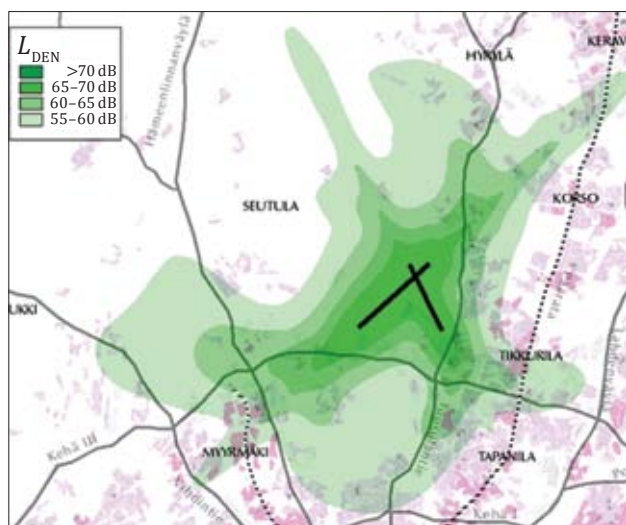
Kogu EL piirkonnas on tugeva keskkonnamüraga mõjutatud umbes 20% rahvastikust ja üle soovitava piiri tõusnud müraga kokku 60%. Hõredalt asustatud Põhjamaades on olukord parem, ligikaudu 20% rahvastikust elab piirkondades, kus välismüra ületab lubatud piiri. Soomes elab müra mõjualas umbes miljon inimest, Rootsis 1,6 ja Norras 1,1 miljonit.

Teeliikluse müra mõjutatud elanike arv on võrreldes teistest müraliikidest mõjutatud inimeste arvuga kokku ligi kümme korda suurem. Lennumüra on levikult kindlalt teine müraliik. Sellest mõjutatud elanike arv on paljudes tihedalt asustatud riikides võrreldes järgmise liigi, rongimüraga endiselt mitmekordne.

Soomes ei tundu müraleviku pilt olevat alati samasugune. Teemüra on tähtsaim ja sama valdav kui mujalgi. Kuid lennumüra osakaal on hinnangute alusel viimastel aastatel oluliselt vähenenud ja läheneb rongimüra mõjutatud elanike arvule. Lennumüra mürapiirkonnas elavate inimeste arvu hinnatakse mitmekümnele tuhandele ja rongimüra puhul mõnekümnele tuhandele. Teiste müraliikide osas on andmed ebaühtlasemad ja ebatäpsemad, kuid müra mõjutatud elanike arv tundub olevat oluliselt väiksem.



Helsingi linna strateegiline liiklusrakaart aastal 2007.



*Helsingi-Vantaa lennujaama
mürapiirkonnad 1990. aastal (pilt
Ilmailulaitos).*

2.4 Müras mõju

Müras mõjub inimese tervisele ja heaolule mitmel moel halvasti. Müras võib häirida või raskendada töötamist, puhkamist, magamist, infovahetust ja õppimist. Müras võib kahjustada püsivalt kõrva ja põhjustada kuulmisvõime eristamelist nõrgenemist. Lisaks sellele võib müraga kaasneda ka muid füüsilisi ja psühholoogilisi mõjusid. Müras võib põhjustada stressi või erinevaid funktsionaalseid häireid. Müras reageerimine sõltub lisaks müras füüsilistele omadustele muuhulgas ka sellest, millisena inimene müras tajub.

Kuulmiskahjustus

Kuulmiskahjustuse risk on müras kahjustustest kõige tõsisem. See oht kaasneb siis, kui viibida kaitsmata kõrvadega üle 80–85 dB suuruses müras kogu päeva jooksul mitu aastat järjest. Kuulmiskahjustus on pöördumatu; selle vastu ei ole ravimit ega ravi.

Lisaks mürarikastele töökohtadele kaasneb enamasti kuulmiskahjustuse oht ka laskmisega või elektrooniliselt võimendatud muusika kuulamisega. Kui need vabaaja harrastused välja arvata, siis ei ole keskkonnamüras helitase kuulmisele kahjulik mujal kui lennukite või suurte töötavate seadmete lähedal, st kohtades, kus kõrvaline kuulja tavaliselt ei viibi ja töötajal on olemas vajalikud kaitsevahendid.

Unehäired

Keskkonnamüra tervistohustavatest mõjudest tähtsaim on une häiritus. Uni on inimese tervise üks põhivajadusi. Müra võib lühendada und, raskendades magamajäämist või põhjustades une katkemise enne õiget aega. Müra võib segada und ka ilma täielikku ärkamist põhjustamata. Une kvaliteedi vähenemine või unest ärkamine toimub kergemini hommikupoole, mil uni ei ole enam nii sügav. Mõlemal juhul on tehtud tähelepanekuid otseste füsioloogiliste mõjude kohta, mis võivad eelneka pikaajalistele tervisekahjustustele.

On kindlaks tehtud, et müra mõjutab magava inimese ajutegevust, südame löögisagedust ja hingamist. Esimesed mõjud ilmnevad siis, kui müras esineb lühiajalisi haripunkte, mille hetkeline A-helitas ületab 40 dB. Unehäirimise risk suureneb mürasündmuste hulga kasvuga. Ärkamise lävi on hinnanguliselt umbes 45 dB maksimaalse helitaseme ringis ja kui sündmusi on ligikaudu viis või rohkem.

Häiring

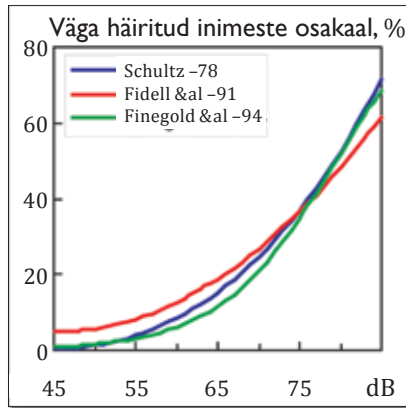
Müraga kaasnev häiring on üks levinuim keskkonnamüra põhjustatud probleeme. Häiring ilmneb muuhulgas

- igapäevases käitumises, TV ja raadio jälgimises;
- keskendumist nõudvate ülesannete lahendamisel;
- sotsiaalses käitumises;
- ettepanekutes ja kaebustes ametivõimudele;
- kolimissoovis ning tervishoiuteenuste ja ravimite kasutamises.

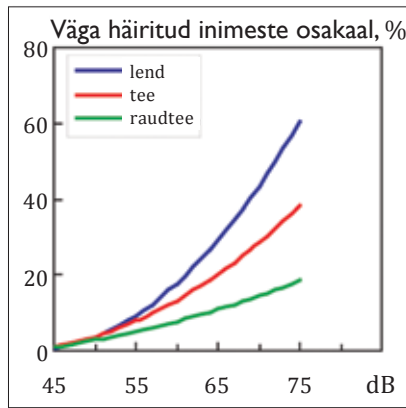
Müraga kaasnevat häiringut mõjutavad lisaks selle akustilistele, mõõdetavatele omadustele ka mittefüüsilised omadused ning paljud mürast sõltumatud sotsiaalsed, psühholoogilised ja majanduslikud asjaolud. Erinevad inimesed reageerivad samasugusele mürale erinevalt.

Kõne kaod

Müra mõjutab nii kõne tekitamist kui ka selle kuulamist umbes 50–55 dB suurusest helitasemest alates. Kõne kadude all mõeldakse seda, et kõne ja müra taseme erinevus muutub nii väikseks, et kõnest arusaamine väheneb. Kõneleja peab oma häält tõstma ja kuulaja ei saa sellest hoolimata kõigest aru. Kui müra helitas on umbes 60 dB, siis sel juhul tuleb häält lähestikuse vestluse puhul tõsta.



Mõju-uuringute peamine tulemus: liikluse müraga kaasnev häirimine erinevate keskmiste helitasemete puhul. Mitmekümnete arvamusuuringute kokkuvõtted. Kõveratel on näha vaid need, kes pidasid müra „väga häirivaks”. Kui kaasata ka inimesed, kes pidasid müra „häirivaks”, tõuseb häiritud inimeste arv umbes 60–65 dB suurusel helitasemest alates järsult.



Tee-, raudtee- ja lennuliikluse müra häirimise võrdlus ühe uurimuse alusel [Miedema & Vos, 1998].

Arvamusuuringud

Keskkonnamüraga kaasnevat rahvastiku häiringut uuritakse eelkõige laiaulatuslike arvamusuuringutega, mida on tehtud kogu maailmas kolme-neljakümne aasta jooksul kümneid kordi. Tulemused on väga ebaühtlased, kuid keskmisi järeldusi on nende alusel võimalik siiski teha.

Juuresoleva joonise abil esitleme tuntumate kokkuvõtlike uurimuste tulemusi. Ühed uurijad on pidanud oluliseks erinevusi erinevate liiklusmüraliikide (tee, raudtee, lennuk) vahel. Teised on hinnanud erinevusi ebaolulisteks, eriti sellises tugevuspiirkonnas, kus hakkab ilmnema häirimine ja vaja on rakendada norm-väärtusi.

On leitud, et näiteks raudtee-liikluse müraga kaasnev võimalik väikseim häiring tuleneb ilmselt sellest, et müra on mõõdetud väljaspool välisseina, kuid häiring on seotud siseruumidega. Raudteeliikluse müra spekter on kõrgema sagedusega kui tee- või lennuliikluse müra spekter ning tänu välisseintele on see paremini isoleeritud.



3.1 Allika müraemissioon

Emissioon ja objekt

Keskkonnamüra kirjeldavatest mõistetest on tähtsaimad

- müraallika või kogu allikakogumi **müraemissioon**;
- müra objektiks oleva koha **müratase**.

Müraemissioon on rahvakeelne sünonüüm täpsele mõistele **heli võimsustase** L_w . Heli võimsus näitab, kui suurt akustilist võimsust heliallikas kiirgab. Müraemissiooni võib põhimõtteliselt hinnata vattides. Tavapärase hindamisviisi on aga detsibellide ja tasemesuuruse puhul heli võimsustaseme kasutamine.

Müratase (emissioon) on täpselt objektile või kuuldepiirkonnas esineva müra **heli tase**.

Termin **müraemissioon** on analoogne nagu teistegi keskkonnakahjude emissioonid — kuid ainult teatud piirini. Analoogia ei tohiks ulatuda liiga kaugele. Tavaliste füüsikaliste suuruste (heli, valgus ja soojuskiirgus) emissioonid erinevad keemiliste keskkonnakahjude emissioonidest sellepolest, et nende põhjustatud tagajärjed ei kiirga ega tekita jäätmeid. Heli erineb kiirgusest selles osas, et ta ei põhjusta hiljem avalduvaid järelmõjusid.

Heli sumbumine

Müraemissiooni ja mürataset ühendab müra leviku liikumistee. Müraallikas kiirgab müraemissiooni, kiiratud võimsus levib allikast eemale müra mõju piirkonnas olevale objektile, tekitades mürataset.

Müra levimine
allikatest
sihtpunkti;
müraemissioon ja
müratase.



Liikumistee reaktsioon ehk heli sumbuvus näitab, kuidas moodustub müraemissioonist müratase. Kui teel esineb peegeldumisi, on liikumisteed mitu ja kogu liikumistee koosneb nende koosmõjust.

Heli sumbuvus D määratakse valemiga

$$L_p = L_W - D$$

Mürataseme määravad seega kindlaks allika müraemissioon ja levikutee omadused. Heli sumbuvus kasutatakse kõikide müra levimisega seotud arvutusmodelite puhul. Parimate mudelite puhul on heli sumbuvus sageduse funktsioon, kõige lihtsamate mudelite korral aga kõigest A-helivõimsustaseme ja objekti A-helitaseme vahe.

Kaks võrdlust

Müraemissiooni ja mürataseme suhet võib seletada ka teisiti, näiteks kahe tuttava olukorra võrdlemise abil: sauna temperatuur ja laua valgustus.

Soojusvõrdluse puhul vastab

- müraemissioonile kerise soojusvõimsus;
- müratasemele sauna temperatuur.



Temperatuuri määravad kindlaks keriselt kiiratud võimsus ja sauna sellised omadused nagu selle suurus ja soojusisolatsioon. Väikeses ja kitsas saunas on kuumem kui suures ja avaras, isegi kui keris on sama.

Valgustusvõrdluse puhul vastab

- müraemissioonile valgusti valgusvõimsus;
- müratasemele laua valgustus.

Valgustuse määravad kindlaks valgusti kiiratud valgusvõimsus ja toa sellised omadused nagu lambi kaugus lauast ja toa seinte värv. Tumedas toas on laua valgustus, mis on lambist kaugel, nõrgem kui heledas toas ja lambi lähedal, isegi kui lambi võimsus on sama.

Emissiooni normimine

Müraemissioon on oluline ja otstarbekas mõiste vaid juhul, kui see saavutab oma mõjueesmärgi ja sellel on olemas kuulaja. Pärast seda on emissioon tähtsusetu, kuna helienergia kaob, muutudes mõne sekundi möödudes soojuseks.

Müraemissioon, mis põrkab kokku näiteks helineelava mürataktusega või suundub taevasse või

asustamata piirkonda, on ohutu. Müraremissiooni, mida keegi ei kuule või mida põhimõtteliselt ei ole võimalik kuulda, iseenesest müraks ei klassifitseeritagi.

Sel põhjusel ei sobigi kõikides olukordades loatingimuste kehtestamisel müratingimuste määramine ainult müraremissioonile, vaid otstarbekam on mürataseme reguleerimine järgnevalt:

- emissiooni piiramine on otstarbekas üksikute allikate, näiteks transpordivahendite puhul;
- piirangud laiemas perspektiivis, näiteks infrastruktuuri osas, on mõttekam seada objekti müratasemele.

Müraremissiooninormid on sätestatud mootorsõidukitele, lennukitele, mootorsaanidele ja pärmootoriga paatidele ning teatud välistingimustes kasutatavatele seadmetele.

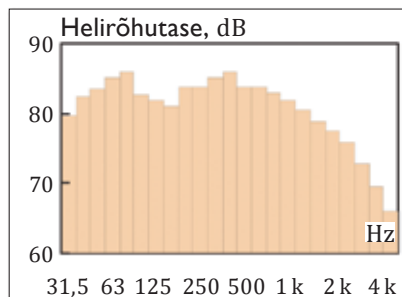
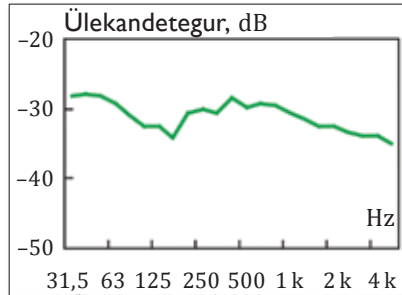
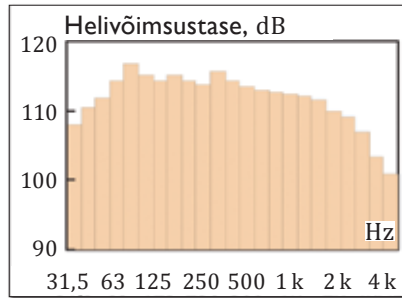
Helivõimsustase

Kiiratud helivõimsus on heliallikate põhiomadus, mis ei sõltu allikate asukohast ega keskkonnast. Helivõimsustaset määratletakse

$$L_W = 10 \lg \frac{P}{P_0} \quad [\text{dB}]$$

kus P on helivõimsus. Kuuldelävi on $P_0 = 1 \text{ pW}$. (Helivõimsustaseme tähise puhul kasutatakse tavaliselt P asemel W -d ühiku vatt järgi. Selle eesmärgiks on vältida rõhu väikese p ja võimsuse suure P omavahelist segiajamist.)

Helivõimsustaset väljendatakse enamasti spektrina, st sageduse funktsioonina. Kui seda soovitakse väljendada ühe arvuna, kasutatakse A-helivõimsustaset L_{WA} .



Kui allika müraremissioonist L_W (kõige ülemine) lahutada heli sumbuvus D , saadakse objekti müratase L_p (kõige alumine).

Nii helitaseme kui ka helivõimsustaseme puhul kasutatakse üht ja sama ühikut, detsibelli (dB). Segadus võib tekkida ikkagi, isegi kui numbrid üksteisest erinevad. Helivõimsustaseme väärtus on tavaliselt palju suurem kui helitaseme oma. Segaduse vältimiseks tuleks müraremissioonitaseme suurus, helivõimsustaset ja selle tunnus, L_W või L_{WA} , mainida alati eraldi.

Näited heliallikate A-helivõimsuste ja -võimsus- tasemete kohta

müraallikas helivõimsus, W L_{WA} , dB

reaktiivhävitava	30 000	165
reaktiivreisilennuk	3 000	155
rock-kontsert staadionil	1 000	150
suur jõujaama ventilaator	30	135
kiirrong, 120 km/h	4	126
naftatöötlemistehas	3	125
kivipurustustsehh	1	120
kaubalaev	0,3	115
veoauto, 100 km/h	0,2	113
saag	0,2	113
jõujaama diiselmootor	0,2	113
asfalditehas	0,2	113
jõujaam	0,15	112
reisilaev	0,1	110
suur kompressor	0,1	110
ekskavaator, laadur	0,08	109
veoauto, 50 km/h	0,07	108
sõiduauto, 100 km/h	0,05	107
suur pump	0,04	106
suur trafo	0,02	103
karjumine	0,001	90
kõne	0,000 01	70

Müraemissiooni mõõtmine

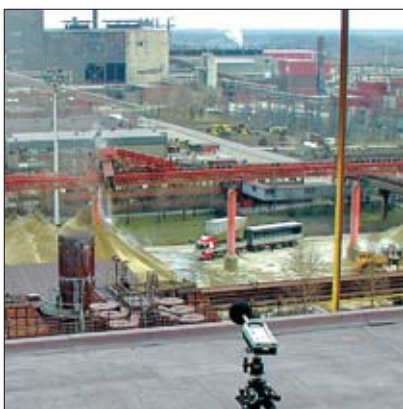
Mõõtmisvajadus ja tingimused

Keskkonnamüra allikate emissiooni andmed on väga erinevad. Autode müraemissioon on hästi teada. Ka Soomes lendavate lennukite ja seal sõitvate rongide emissiooni-andmed on teada ja nendega seotud emissiooni ei ole vaja enamasti mõõta, kuna müra analüüsimisel ja tõkestamisel võib kasutada eelnevalt teadaolevaid andmeid.

Teiste müraallikatüüpide emissiooniandmed on märgatavalt ebatäpsemad. Näiteks on tööstu-ses asuvad müraallikad suures osas individuaalsed ja nendega kaasnev emissioon tuleb enamasti määratleda eraldi. Juuresolevas tabelis on nime-tatud mõningate suurte ja tavaliste keskkonnamüra allikate mõõdetud müraemissioonid.

Tavalise mürataseme mõõtmine on üldjuhul suhteliselt lihtne ülesanne. Isegi inimene, kes müratemaatikaga kursis ei ole, võib saavutada juhenda-mise abil täiesti kasutuskõlbulikke tulemusi. Müraallikate müraemissiooni ehk helivõimsustaseme mõõtmine on see-eest nõudlik ja erialaseid teadmisi eeldav tegevus.

Helivõimsuse mõõtmiseks tuleb mõõta helirõhku mitmes eri kohas etteantud mõõtmispiirkonnas. Teada tuleb helivälja kuju või teha selle kohta piisavalt täpseid oletusi. Põhimõtteliselt on vaja arusaadavat ja lihtsat helivälja kuju; enamasti on selle korraldamiseks vaja spetsiaalset laborit.



Müraallikate emissiooni välimõõtmised.

Keskkonnamüra puhul tuleb müraemissiooni mõõta ka välistingimustes, kus helivälja kuju, peegelduste ja taustmüra vältimise ning mõõtmispunktide kohtade standardite nõudeid ei ole enamasti võimalik täpselt järgida. See muudab emissiooni välimõõtmised laborimõõtmistest veel raskemaks.

Mõõdetav allikas võib paikneda tehase seinal, katusel või õuel kitsas õõnsuses. Mõõtmispind võib olla korrapäratu. Mõnelt küljelt ohustab kontrollimatu peegeldus või kajav väli. Häirivad ka teised müraallikad. Halvimal juhul levib müra keskkonda kõrge suitsukorstna otsast.

Mõõtmismeetodid

Müraemissiooni mõõtmise põhi-võrrand on

$$L_W = L_p + 10 \lg S$$

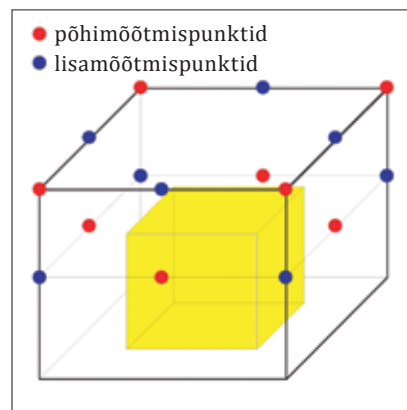
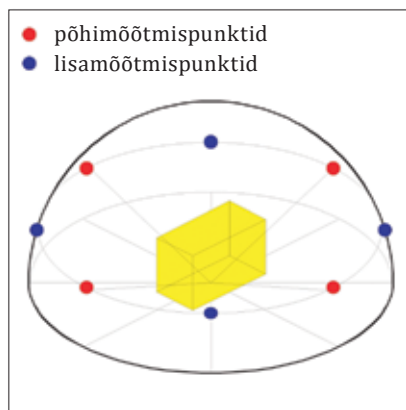
mille puhul S on mõõtmispinna pindala ja ülakriips tähendab mõõtmispinnal esineva keskmise helirõhu ruutkeskmist arvsuurust.

Keskkonnamüra allikate heli-võimsustaseme mõõtmismeetodid põhinevad rahvusvahelistel üldstandarditel ISO 3744 ja ISO 3746. Sellisena ei sobi need aga keskkonnamüraallikate emissiooni mõõtmiseks, vaid neid on vaja täiendada rakendamisjuhistega, mille on koostanud

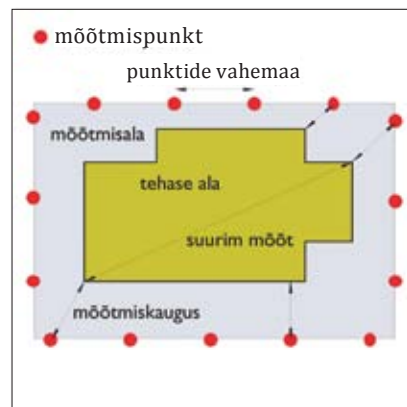
kumerpinda ei leita, siis teine soovitatav mõõtmispinna kuju on täisnurkne prisma ehk nn kast.

Helivõimsusmõõtmiste puhul piiratakse müraallikas (või lähestikku asuvate müraallikate rühm) esmalt kujuteldava võrdluspinnaga, kuhu allikas (või allikad) täpselt mahub. Pärast seda valitakse mõõtmispinnaks uus suurem pind. Soovitatavaks mõõtmispinnaks on poolkera. Kui sobivat

Helirõhutaset mõõdetakse mitmest valitud pinnal paiknevast mõõtmispunktist. Väikeste allikate puhul kasutatakse umbes 4–8 mõõtmispunkti, kuid suure allika puhul võib mõõtmispunkte olla kuni mitukümmend.



Keskkonnamüra allikate helivõimsustaseme mõõtmiste põhimeetodite „poolkera” ja „kast” mõõtmispinnad.



Suurte tööstusmürgallikate nn Stüber-meetod ISO 8297.

3.2 Mära tekkimine ja kiirgamine

Tekkepõhimõtted

Heli tekib olukorras, kus õhuosakesed hakkavad mingil põhjusel edasi-tagasi liikuma või kui õhus tekivad rõhuerinevused. Liikumise kiirus ja rõhk on omavahel alati seotud — kui esineb üks, siis esineb ka teine.

Kõige levinum heli tekitab mehhanism on piiritletud pind, mis lükkab õhku enda ees ja tõmbab seda siis korra enda järel või pidevalt edasi tagasi (kõlar, paljud pillid, mootori kolb, ventilaatori laba).

Tähtsuset teine on seade või sündmus, mis katkestab stabiilse õhuvoolu või häirib seda muul moel (häälepaelad, puhkpillid, pööriseline vool, reaktiivmootor).

Autod

Mootorsõidukite müra põhjustajaid on kaks:

- mootor (kaasa arvatud jõuülekanne);
- rehvi ja teepinna kokkupuude (veeremismüra).

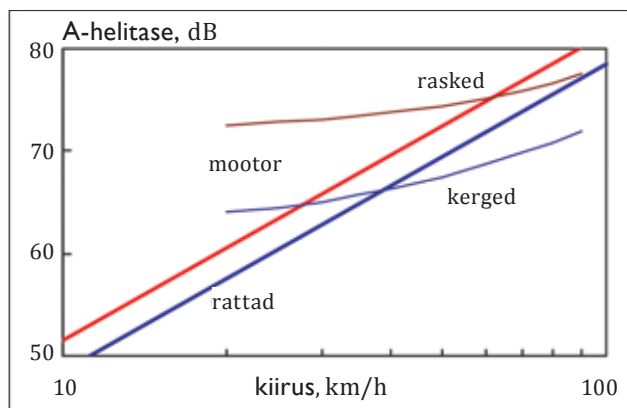
Sõiduki tüübist ja sõidutingimustest sõltub, kumb teguritest on tugevam. Mootori müra sõltub kiirusest vähe, kuid rehvimüra suureneb kiiruse kasvamisega palju rohkem. Teatud kiirusest suurema kiiruse korral on rehvid valdavaks müraallikaks. Aeg-ajalt võib kohata kirjutisi ka aerodünaamilise, nn kiirusemüra kui kolmanda müra tekkemehhanismi kohta, kuid realselt on selle tähtsus teiste transpordivahendite, va kiirrongid, puhul vähene.

Rehvide veeremise müra osakaal on raskete sõidukite ja väikeste kiiruste puhul vähene. Rehvimüra oluline suurenemine sõiduauto puhul on kiirusest alates umbes 30 km/h ja veoautode puhul alates kiirusest umbes 40 km/h. Rehvimüra on kõige olulisem müra tekitaja alates kiirusest 50 km/h sõiduautode ja 70 km/h raskete autode puhul.

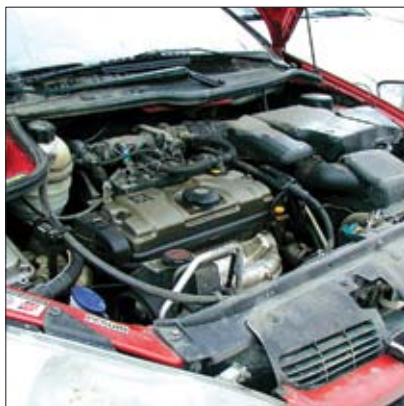
Auto mootorimüra algseks põhjuseks on kütuse põlemisplahvatus. Kui väljalaskeklapp avaneb, hakkab ülerõhu impulss liikuma väljalasketorusse. Kvaliteetses helisummutis sumbub see oluliselt, kuid



Heli tekkimisviisid: võnkuv piiritletud pind ja pööriseline õhuvool.



Mootorsõidukite müraallikate omavaheline tähtsus erinevate kiiruste puhul.



sellest hoolimata on väljalaskeheli auto mootorimüra üheks olulisemaks komponendiks. Teine müraallikas on mootori ning kere ja mehhanismide raamistiku võnkuvate pindade kiirgus.

Kui tavaline keskmise suurusega sõiduauto liigub ühtlase 80 km/h kiirusega ja 5. käiguga, siis töötab auto 4-silindriline bensiinimootor pöörte kiirusega umbes 2400 min⁻¹. Pöörlemissagedus on 40 Hz.

Mõlemas silindris toimub põlemine iga teise pöörde ajal ja kokku toimub neid iga pöörde ajal kaks. Mootori põlemissagedus on seega 80 Hz.

Veoauto 6-silindriline diiselmootor pöörleb tavaliselt samasuguse sõidukiiruse puhul umbes 1600 pöörte minutis. Ka sel juhul on põlemissagedus ligikaudu 80 Hz.

Kui sõiduauto tõstab kiirust kuni 100 km/h, tõuseb ka mootori müra põhisagedus väärtuseni 100 Hz. Sellesse piirkonda (60–100 Hz) jäävad sagedused on teeliikluse müra spektris valdavateks komponentideks.

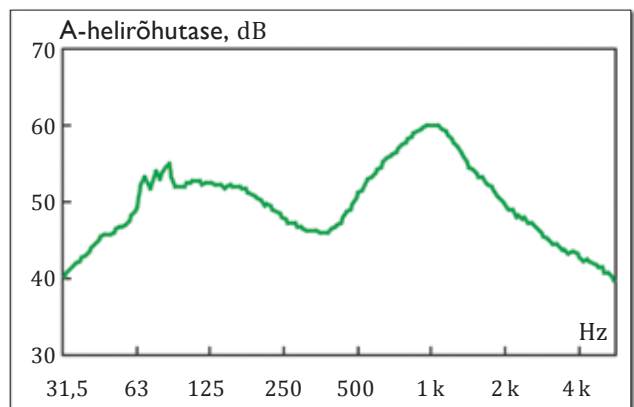
Auto rehvi veeremine tee pinnal on keskkonnamüra peaaegu et kõige olulisem liik. Rehvimüra tekkemehhanism on keeruline. Tänapäeval tunatakse põhilisi rehvimüra tekketegureid hästi, kuid detailne teave on siiski veel puudulik. Tähtsaimateks teguriteks on rehvi pöörlemiskiirus, materjal ja pinna muster ning teekatete pinnastruktuur.

Rehvi pinna üks pööre tekitab põhimõtteliselt perioodilise heli ühe perioodi. Rehvid on siiski nii ühtlased ja tasakaalustatud, et see nähtus on vähetähtis. Märkimisväärne on aga rehvi muster, selle kordumine ja jaotus, samuti tee asfalt- (või betoon-) katte juhusliku lokaalse muutumise keskmine suurus.

Sõiduauto rehvi tavaline läbimõõt on umbes 50–60 cm, telgede vahe on ligikaudu 1,6–1,9 m. Kui auto liigub kiirusel 100 km/h (28 m/s), teeb rehvi ühes sekundis 15–17 pööret. Pöörlemissagedus on seega 15–17 Hz.

Rehvi pinnal on näiliselt juhuslik, kuid korduv muster sel põhimõttel, et rehvi kogu ringil kordub üksik põhimuster 40–80 korda. See arv korrutatuna pöörlemissagedusega näitab, kui mitu mustriööki ühe sekundi jooksul teepinda puudutab.

Selline arvutus näitab, miks on spektris rehvimüra (antud kiiruse puhul) lauge maksimum enamasti umbes 1 kHz sagedusega. Teepinna juhuslikkus ja erinevate rehvide hulk tasandab ja laiendab spektri maksimumpunkti. Naastrehvil esineb naelu põhimustrist mõnel määral tihemini, seega põhjustavad naastud spektri maksimumi 2–3 kHz sageduspiirkonnas.



Teeliikluse müra, kui kiirusepiirang on 100 km/h. Maksimum 80 Hz juures pärineb mootoritest ja 1 kHz juures rehvidest.



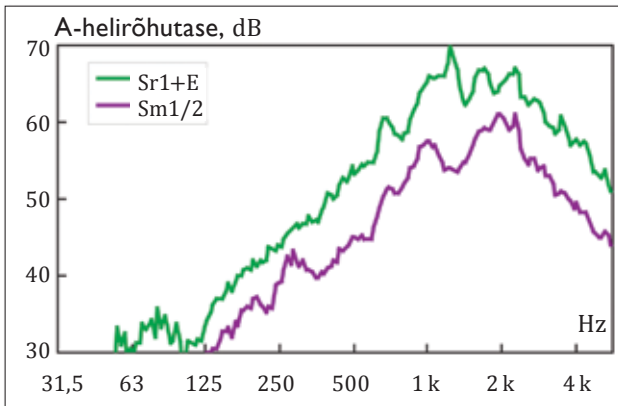
Rongid

Rongide müra tekkimise puhul kehtib samasugune kahe teguri kombinatsioon nagu autodegi puhul. Väikestel kiirustel on oluliseks müra-tekitaajaks jõuallikas, kuid suurte kiiruste puhul tõuseb valdavaks müra-tekitaajaks ratta ja rööpa koosmõju.

Suurim osa rongi mürast tekib rataste ja rööbaste kokkupuutel, mis tekitab heli rataste, rööbaste ja vaguni konstruktsiooni ning teealuse ja maapinna võnkumise tulemusel. Ratta ja rööpa kokkupuute tulemusel võivad tekkida muuhulgas alljärgnevad võnkumise tekkeviisid:

- ühtlasest pöörlemisest erinev pöörlemine, põhjustajaks väikesed karedused rööbastel ja rattal ning (vähem) rööpa ja ratta suured ebakorrapärasused: lainetused rööbastes ja ratta kulumine;
- rööbaste liitekohad; olukord, mida keevitatud rööpa puhul ei esine;
- ratta ääriku libisemine rööpa vastu eelkõige kurvides, mis põhjustab krigisemist;
- tugikonstruktsiooni vibratsioon.

Muud märkimist väärivad müra-tekke mehhanismid on ratta kulumine, mis tekib pidurdamise käigus lukustunud ratta libisemise ajal, ning rattakeha muud kahjustused, mis tekitavad soojus- või mehhaanilise väsimuse tulemusel.



Kiirrongi ja kohaliku rongi tüüpilised spektrid.

Lennukid

Lennuki müra tekitavad mootorid. Põhiline osa mürast tekib kolbmootoris ja turbopropellerimootoris ning reaktiivmootoris eneses. Kolbmootori puhul on müra tekkeviis sama nagu auto mootori puhul; turbomootorites tekib müra küttegaasi väljudes.

Teise osa mürast tekitab propeller; ka reaktiivmootorite puhul võib möödavoolu ventilaatorit ja kompressorit pidada vähemalt müra seisukohalt samasugusteks seadmeteks ja heliallikeks nagu propellerit.

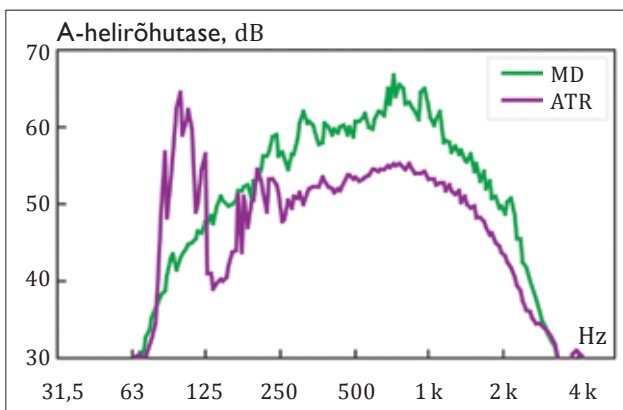
Heitgaaside väljumise ja propelleri heli kiirgub põhimõtteliselt igasse suunda, kuid reaktiivmootori möödavoolu ventilaatori ja eriti just kompressori müra suundub eelkõige ettepoole. Tänu lennuki asendile on seda maapinnal kuulda rohkem maandumise kui õhkutõusu ajal, kuid teisalt on mootori võimsus ehk tugeva õhuvoolu müra siis ka oluliselt väiksem.



Reaktiivmootori müra peamiseks tekitajaks on küttegaasi pööriseline vool. Osa mürast kiirgub ettepoole imiaugust: selle põhjustajateks on möödavoolu ventilaator ja kompressor.



Osa turbopropellerimootori mürast tekib samal moel nagu reaktiivmootoriski. Osa mürast põhjustab propeller.



Reisilennukite MD 80 ja ATR72 põhispektrid lähenemisetapi horisontaallennu puhul.

Tööstus

Tööstus on suur ja mitmekülgne müra põhjustaja. Tööstusmüra põhjustajateks on suur hulk erinevate omadustega allikaid. Seetõttu iseloomustatakse seda müraliiki ja edaspidi ka selle tõkestamise viise käesolevas ülevaates ainult väga üldisel tasemel.

Ilmselt on kõige tüüpilisem tööstusmüra allikate rühm pöörlevad seadmed: ventilaatorid, pumbad, kompressorid, samuti mitmekäigulised diisel- ja elektrimootorid ning gaasiturbiinid.

Teise, üldise allikatüübi moodustavad voolav gaas ja vedelik või liukuvad osad: magistraalides, torudes, transpordiliinides, ventiilides ja välisõhku viivates avades.

Kolmas rühm on materjalide transportimiseks, kaevamiseks, muutmiseks või muuks tööks mõeldud masinad, mis tekitavad enamasti löögimüra ehk impulsiomadustega müra.

Spetsiaalsed rasketööstuse müraallikad on kivilõhkamised ja kivi-purustustehhkid ning asfalditehased. Kivide purustamine on arusaadavalt mürarikas tegevus. Keskkonna seiskohalt muudab müra veel häirivamaks



Üksikud masinad, väikesed kompleksid.

müra impulsiivsus. Asfalditehase müra tekib segistites, põletites ja trummelkuivatis, suurem osa mürast on kohinalaadne laiaribaline müra.

Elektrijõujaamad on suured ja olulised müraallikad. Laiaulatuslikud paiksed välismüra allikad võivad olla näiteks naftakeemia tehased ja puidutöötlemisettevõtted. Sadam on transpordikoht, kuid suur osa selle mürast meenutab oma iseloomult üldist tööstusmüra.

Tavaline „tehas“ võib kiirata müra väljas oma territooriumilt või katusel paiknevatest seadmetest, seinte või seintes olevate avade kaudu. Liikuvad töömasinad, laadurid, kraanad,

buldooserid võivad liikuda õuel või mujal välipiirkonnas jne.

Keskkonna seisukohalt võib olla muidu vaikse kaubajaama tähtsaim keskkonnamüraallikas diisellaadur või mõni muu analoogne kauba või materjali tõstmiseks ja transportimiseks kasutatav diiselmasin, buldooser või traktor.

Laadurid ja mullatöömasinad kuuluvad müraallikatena suurel määral samasse klassi nagu suured veoautod või diiselveodurid, kuna müraallikas, diiselmootor, on neil ühine. Üks mürarikas laaduritüüp on sadamas konteinerite transportimiseks kasutatav suur pukk-kraana.

Suured tehased.





Tahked ained, vedelikud ja gaasid; toorained ja kaubad.

3.3 Müra levimine

Müraallikate põhitüübid

Heliallikas kiirgab endast eemale liikuvat helilainet, milles helivõimsus levib kauguse suurenemisel laiemale pinnale. Helirõhk väheneb analoogselt. See kaugusest põhjustatud nn **helineeldumine** esineb alati, sõltumata maastikust ja muudest teguritest.

Helivõimsuse ja -rõhu vähenemine sõltub heliallika suurusest ja kujust:

- Kontrollkaugusega võrreldes on väike müraallikas **punktallikas**. Selle müra levib **keralainena**.
- Pikk ja kitsas allikas on **joonallikas**. Selle müra levib **silinderlainena**.

Akustika õpikutes esineb ka kolmas heliallikate põhitüüp:

- Suur tasapinnaline pinnaallikas tekitab **tasalaine**. Tasalaine ei levi üldse.

Selline allikas on keskkonnamüra puhul väga harvaesinev.

Liikluse müra tekkeks piisab punkt- ja joonallikatest:

- Auto ja lennuk on punktallikad, mille hetkeline müra levib keralainena.
- Ühtlane autode voog ja väga pikk rong on joonallikad, mis tekitavad silinderlaine.

Kindla pikkusega rong on lõpliku pikkusega joonallikas; see meenutab joonallikat ja laine silinderlainet. Mida kaugemal rong on, seda rohkem meenutab see punktallikat ja laine keralainet.



Punktallikas.



Joonallikad.

Suur tööstusettevõte on enamasti mitme punktallika kogum. Suure tehasehoone või elektrijaama sein on suur ühtlane allikakompleks, millest kiiratav müra meenutab kõige rohkem mõnekümne meetri kaugusel levivat tasalainet.

Tööstuse tekitatud keskkonnamüra puhul võib puutuda kokku veel ühe allikatüübiga: **suur piirkonnaallikas**. See koosneb mitmest väikesest allikast, mis moodustavad suure müraallikate rühma.

Väljast suhteliselt lähedalt kontrollituna võib neid käsitleda üheskoos. Näideteks on lahtise konstruktsiooniga kaubajaamad,

sealhulgas mõned naftakeemia- ja puidutööstused.

Äärmisel juhul võib kogu jaama kaugelt kontrollides asendada selle ühe ekvivalentse punktallikaga, kuid siis peab olema sellest kaugusel, mis on suurem kui suure jaama koguläbimõõt. Sellisel juhul peab olema vaatepunkt mitme jaama läbimõõdu kaugusel.

Kõik liikuvad allikad on **keskmise helitaseme seisukohalt** joonallikad.

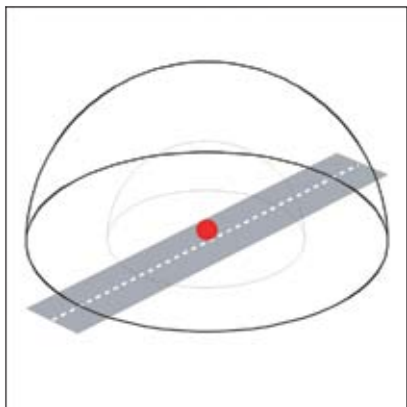
Ka üksiku liikuva auto, rongi või lennuki müra tundub olevat joonallikas sel juhul, kui müra mõõdetakse kogunevat doosi hinnates, st keskmist helitaset integreerides.



Helilaine levimine

Kui helilaine liigub allikast eemale, lähtub levik alljärgnevatest põhireeglitest:

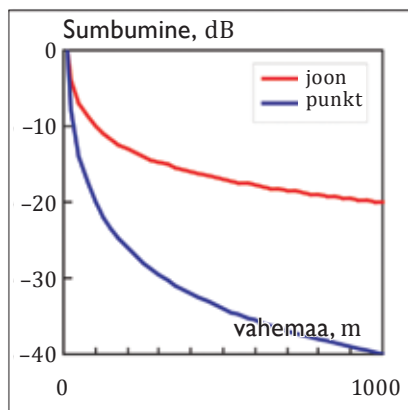
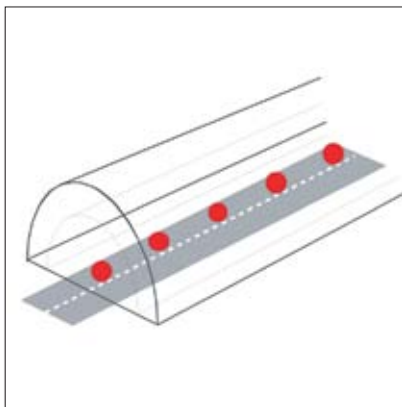
- helivõimsus on pöördvõrdeline pindalaga;
- helirõhk on võrdeline helitaseme ruutjuurega.



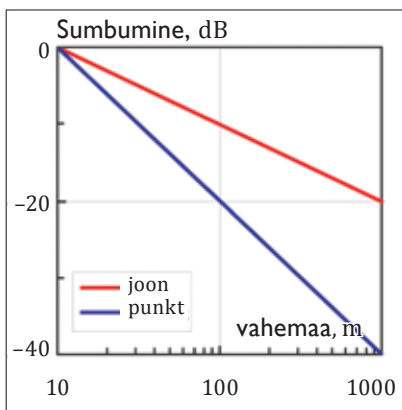
Keralaine

Keralaine helivõimsus väheneb pöördvõrdeliselt pindala suurenemisega ehk kauguse ruuduga. Helirõhk väheneb võrdeliselt kaugusega:

- kui kaugus kahekordistub, väheneb helirõhk poole võrra (helitase langeb 6 dB);
- kui kaugus kümnekordistub, väheneb rõhk kümnendikuni (helitase langeb 20 dB).



Väikese allika heli levib keralainena. Selle rõhk väheneb pöördvõrdeliselt kaugusega.



Pika ja kitsa allika heli levib silinderlainena. Selle rõhk väheneb pöördvõrdeliselt kauguse ruutjuurega.

Silinderlaine

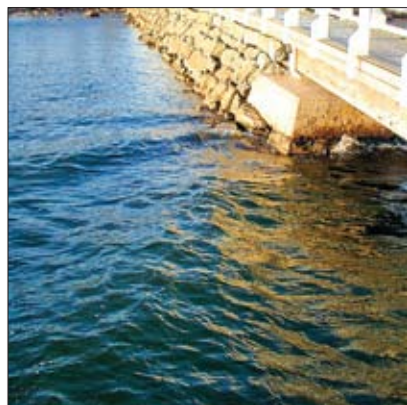
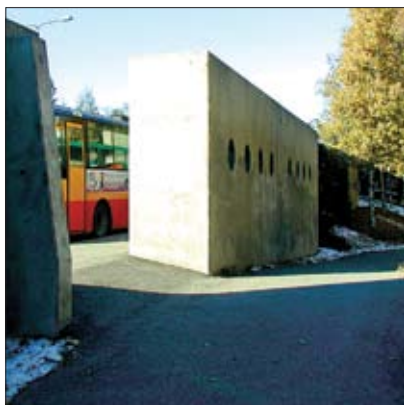
Kui kaugus kasvab, siis silinderlaine sumbub aeglasemalt kui keralaine. Helivõimsus väheneb pöördvõrdeliselt kaugusega ja helirõhk vaid pöördvõrdeliselt kauguse ruuduga:

- kui kaugus kahekordistub, väheneb rõhk 0,7-kordseks (helitase langeb 3 dB);
- kui kaugus kümnekordistub, väheneb rõhk kolmandikuni (helitase langeb 10 dB).

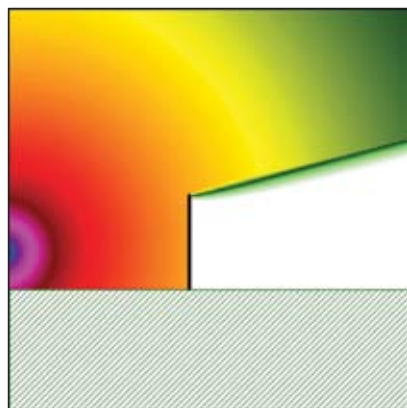
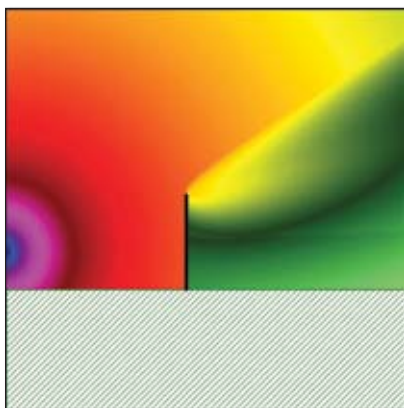
Refraktsioon ja difraktsioon

Helilaine liigub peamiselt otsejoones, peaaegu samuti nagu valgus, näiteks päikesekiired. Keskkonnamüra puhul on vaja kontrollida kahte nähtust, mis põhjustavad selle põhireegli suhtes mõned kõrvalekalded.

Tõkete helivari ei ole nii terav nagu valguse vari. Väike osa helist kandub ümber tõkke ääre varju piirkonda.



Valgusega on tõkke vari terav, kuid osa helist kandub ümber tõkke ääre varju piirkonda.



Tõkke harja difraktsioon madala ja kõrge sageduse puhul.

Seda nähtust nimetatakse **difraktsiooniks** ja see on seda selgem, mida madalam on heli, st mida väiksem on heli sagedus.

Kui helikiirus ei ole igal pool ühtlane, siis ei liigu heli mitte otse, vaid veidi kaarega. Heli eesmärgiks on keerata end selles suunas, kus helikiirus on väiksem.

Selle nähtuse nimi on **refraktsioon**. Nähtus on enamasti väga nõrk, kuid just keskkonnamüra seisukohast on sel mõnel juhul oluline tähendus.

Atmosfäär ja ilm

Õhu helineeldumine

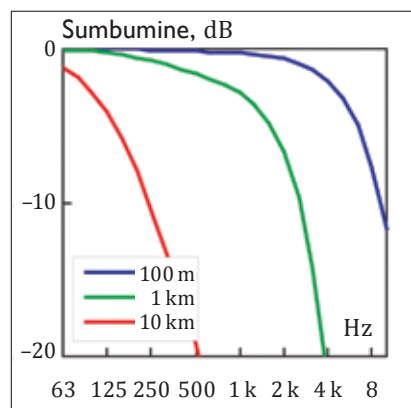
Heli liikumisel õhus osa sellest neeldub. Suured sagedused ehk kõrged helid filtreeruvad tänu õhu-molekulide vahelisele hõõrdumisele müra-st välja. Atmosfääri tekitatud müra neeldumist tuntakse nii hästi, et selle kohta on koostatud rahvusvaheline standard (ISO 9613-1). Heli neeldumist mõjutavad **temperatuur** ja **suhteline niiskus**.

Suurte sageduste ülempiiri kohta (mille neeldumine on -3 dB) eri kauguste puhul sobib rusikareeglik alljärgnev tabel, millele vastavad täpsed neeldumised on toodud järgneval joonisel.

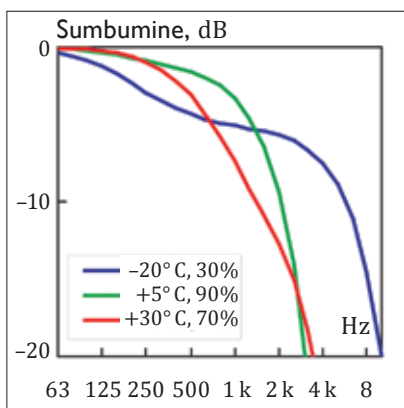
Kaugus	Ülempiiri sagedus
100 m	5 kHz
1 km	1 kHz
10 km	100 Hz



Täielikult reisikõrguselt kostub vaid vähene müra.



Õhu helineeldumine 10°C temperatuuril ja 70% niiskuse puhul.



Õhu helineeldumine heli 1 km läbimisel erinevatel aastaegadel.

Tuul ja temperatuur

Keskkonnamüra levimise seiskohast on ainsad olulised ilmastikunähtused

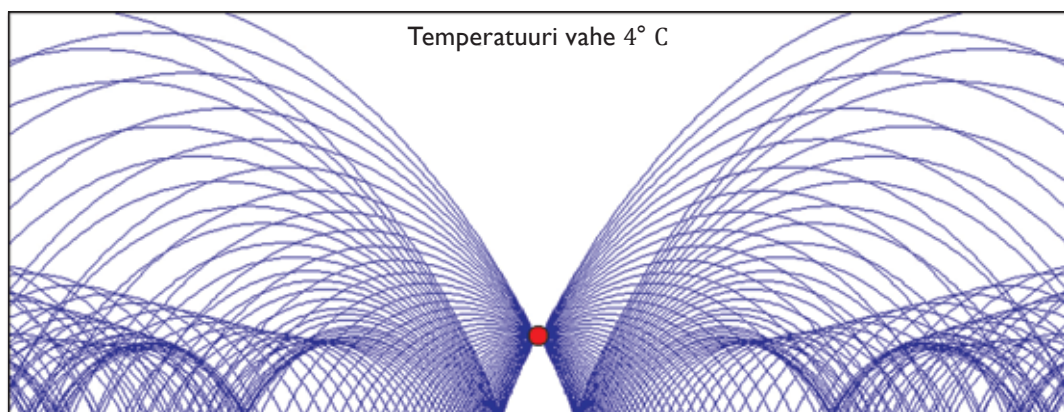
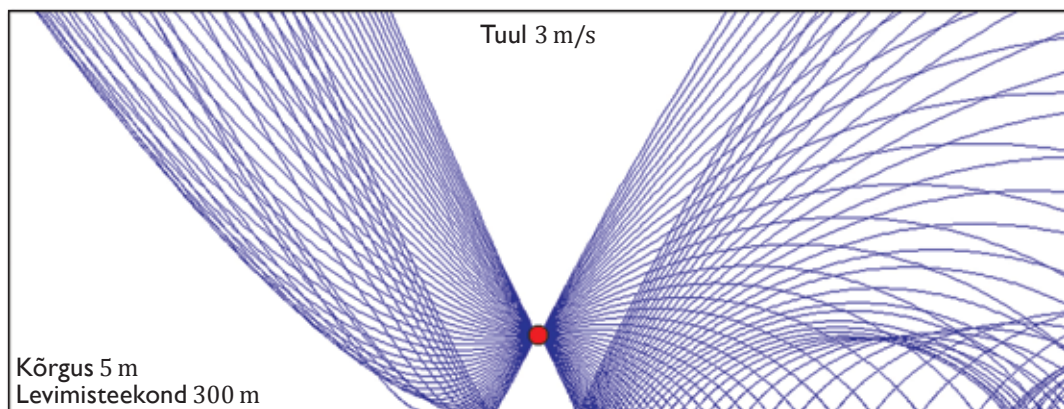
- tuule kiiruse sõltumine kõrgusest;
- temperatuuri sõltumine kõrgusest;

mida nimetatakse **tuulekiiruse-** ja **temperatuurigradientideks**. Teistest ilmastikuoludest õhurõhk ei mõjuta levikut ning niiskus ei mõjuta muul moel kui õhu helineeldumise kaudu.

Tuule- ja temperatuurigradiendid tekitavad akustilise „miraaži”. Mõra illusioon toimub siiski vastupidi kui tuntud valguse illusioon, st heli kaardub allapoole. Laugjalt ülespoole kaldu liikunud heli ületab tõkkes ja kaardub tagasi maapinna suunas. Kuuldaolev helipilt tõuseb veidi ülespoole horisonti.

Akustiline miraaž esineb kahel juhul:

- heli liigub pärituules;
- õhu temperatuur tõuseb maapinnalt ülespoole liikudes.



Tuule ja temperatuuri kõrguse vaheldumise tõttu levib müra mööda kaarjaid teid.
NB! Vertikaal- ja horisontaalskaalad on erineva suurusega.

Viimast situatsiooni nimetatakse meteoroloogias **inversiooniks**.

Difraktsioon teise suunda ehk ülespoole toimub sellistel juhtudel:

- heli liigub vastutuules;
- õhu temperatuur langeb liikudes maapinnalt ülespoole.

Nii võib ka otsese silmside korral esineda helivari. Vari ei ole täielik, vaid osa helist pääseb difraktsioonist tingituna varju piirkonda.

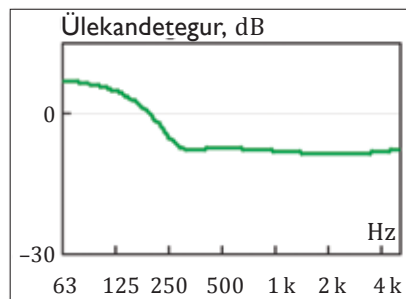
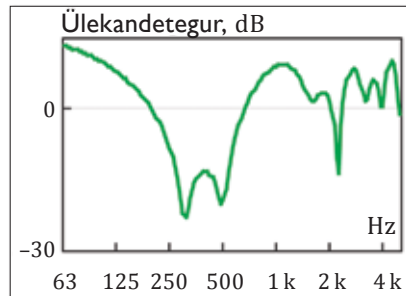
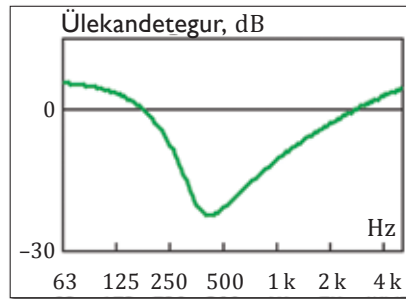
Helikiirus sõltub temperatuurist; täpsemalt on helikiirus võrdeline (absoluutse) temperatuuri ruutjuurega. Nii tekitab temperatuuri muutus kõrguse suhtes ka helikiiruse muutuse, millele reageerib leviv helilaine.

Tuule suund ja kiirus mõjutavad levimist alljärgnevalt. Tuulekiirus võib langeda otseses seoses vaikselt õhus valitseva helikiirusega. Tuulekiirus kasvab alati maapinnalt ülespoole. Nii on tuulekiirusel ja ka helikiirusel gradient, pärituule helikiirus kasvab ülespoole ja vastutuult see väheneb.

Tuule suunda ja ka kiirust on lihtne määrata, kuid lihtsalt ja ilma mõõturiteta saab arvutada ka temperatuurigradiendi.

Päikesepaistelisel õhtupoolikul on maapind tänu päikesekiirgusele muutnud õhu soojemaks ja see soojendab maapinna lähedal paiknevaid õhukihte ka edasi. Pilvitul õl kiirgab maapind soojust üles kosmosesse ja jahutab õhku. Selle tulemusel jahtuvad ka pinna lähedal olevad õhukihid.

Pilvise ilma, saju ja udu korral ilmneb temperatuurigradient, st et atmosfäär on müra levimise seisukohalt neutraalne ja heli liigub otsejoones.



Kaarjate liikumisteede tulemusel võib hetkeline müratase suurte kauguste puhul olla väga erinev pika aja keskmisest helitasemest. Üleval: neutraalne ilm, keskel: pärituul või inversioon, all: vastutuul.

Mõlema gradiendi tõttu **sõltub helikiirus kõrgusest**. Selle suhte puhul on need täiesti võrdväärsed. Kui need mõlemad muuta helikiiruse kõrgusgradiendiks, võib nad ühendada ja nende mõjusid kontrollida ühe nähtusena.

Akustiliselt on neil kolm müra levikut mõjutavat tagajärge:

- heli liikumistee üle tõkete muutub;
- kohtumisnurk maapinna peegelduse puhul muutub;
- müra intensiivsus kuulmispunktis muutub.

Keskkonnamüra häirivuse seisukohalt on tähtsad kaks esimest nähtust. Intensiivsuse muutus on ilmselgelt häiriv ja kuuldav teatud ilmastikutingimuste korral, kuid selle mõju müra häirivuse seisukohalt on vähene.

3.4 Levikut mõjutavad pinnad

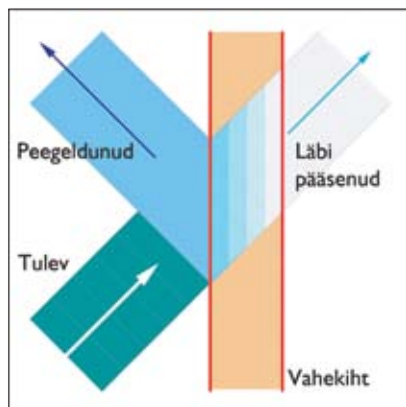
Peegeldus ja absorbeerumine

Heli liikumisteele olevad pinnad võivad põhjustada heli peegeldumist, neeldumist ja refraktsiooni.

Kui helilaine põrkab vastu pinda, siis osa helist peegeldub tagasi ja osa neeldub selles. Kui pinnaks on ruumiliselt piiratud kiht, siis võib osa helist liikuda sellest läbi. Kui pind on heli lainepikkuse suhtes suur, siis toimub peegeldumine otsejoones, samuti nagu valguse peegeldumine peeglist. Peegeldumine väikeselt pinnalt on mittetäielik ja osa helist murdub pinna äärte taha.

Keskkonnamüra puhul on peegeldumine kui nähtus väga oluline. Peegeldumisi on mitmesuguseid:

- Pääaegu täielik peegeldumine toimub (akustiliselt) kõvalt pinnalt.
- Kui pind on kõva ja sile, siis toimub peegeldumine nagu peeglist.



Helilaine kohtub vahekihiga: enamik peegeldub tagasi, osa neeldub, väike osa pääseb läbi.



Väike pind või pinnaosa helilaine levikut ei tõkesta.

- Ebaühtlaselt kõvalt pinnalt peegeldub heli nagu valgus valgelt mattpinnalt—täielikult, kuid hajudes juhuslikesse suundadesse.
- Kui pind on akustiliselt pehme, on peegeldumine osaline.

Heli seisukohalt on kõvadeks ja siledateks pindadeks tasane veepind ning asfalt, betoon ja enamasti ka majade seinad. Kõvad, kuid mitte-siledad pinnad on lainetus ja paljas kalju. Talvel on kõvadeks pindadeks paljas jää ja kõva lumehang. Tavalised pehmed maapinnad, nagu muru, niit, põld ja mets, on pehmed ka akustiliselt.

Kui pind on akustiliselt väga pehme, siis võib hääl imenduda ehk neelduda pinda peaaegu täielikult ja peegeldumist eriti ei toimu. Selline pehme pind on keskkonnas pea ainult pehme lumi. See on heli seisukohalt täielik vastand kõvale lumehangele.

Pehme maapind

Otsene imendumine toimub siis, kui heli kohtub pehme pinnaga suure nurga all, st rohkem või vähem risti.

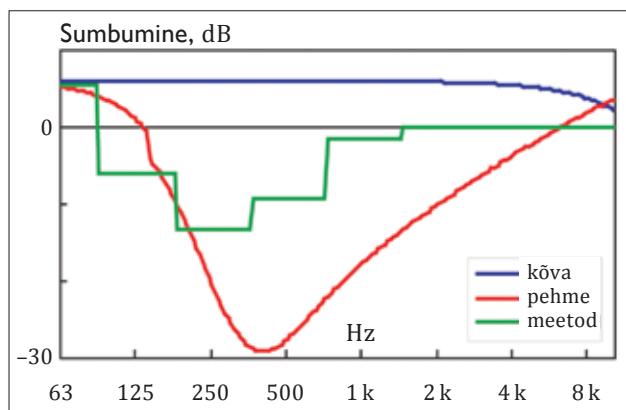


Osaliselt maapinnaline peegeldus kõvalt killustuvalt pinnalt.

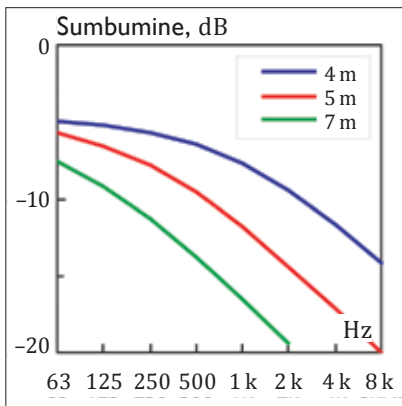
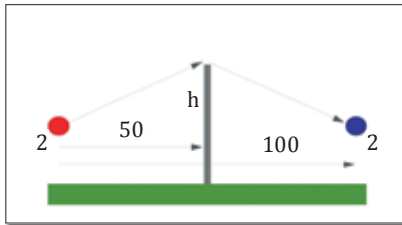
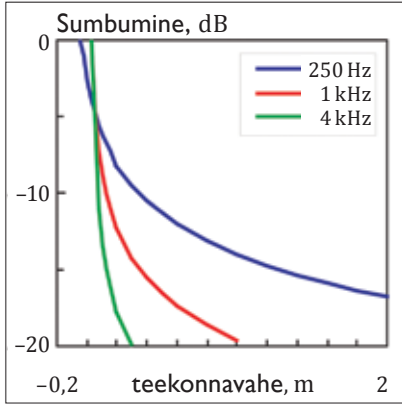
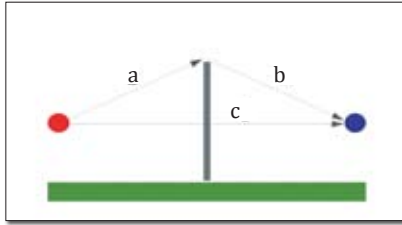
Kui heli levib selle asemel piki pinna suunda (kui maapind on ühtlane ning heliallikas ja kuulja on mõlemad madalal), siis imendumist ei toimu.

Pinnale suunatud heli peegeldub pehmusest hoolimata peaaegu täielikult, kuid helilaine „pöördu ümber“, st vahetab oma märki: positiivne ülerõhk muutub negatiivseks alarõhuks ja vastupidi. Otse levinud heli ja peegeldunud heli on (praktiliselt) vastandmärkidega ja peaaegu tühistavad üksteise. See on pehme maa poolt tekitatava neeldumise põhiseletus.

Kui heli levib pika tee peaaegu pehme maapinna suunas, siis heli sumbub märgatavalt. See on ka põhjus, miks üle järve kõlab heli eriti hästi—teistes situatsioonides esinev neeldumine puudub. Neeldumine on kõige suurem siis, kui kaugus on suur, umbes 100 m või rohkem, ja kui allika ja kuulmispunkti kõrgused on väga madalad.



Neeldumine ühtlasel maastikul 500m kauguse puhul: täpne (teoreetiline) ja ligikaudne (arvutusmudel).



Tõkkesummutus kahel moel kirjeldatuna:

üleväl: liikumisteede liikumisvahe funktsioonina, parameetrina lainepikkus (ja sagedus);

all: sageduse funktsioonina, parameetrina tõkke kõrgus.

Tõkked

Heli liikumisteel olevate tõkete (nt mägi, hoone või päris müratõke) neeldumise määravad kindlaks kaks tegurit:

- tõkke mõõtmed;
- heli sagedus.

Rusikareegliks on, et tõkkesummutuse tekkeks peab tõke katkestama silmsideme heliallikaga. Täpsemalt, summutus sõltub esmajärjekorras sellest nurgast, kus tõkke harja ümber painduva helilaine liikumistee teel objektini murdub (difraktsioon). Mida teravam on murdumisnurk, seda suurem on tõkkesummutus.

Teisalt, see nurk on seda teravam, mida suurem on otse läbi tõkke mineva mõttelise joone ja heli reaalse liikumistee liikumisvahe (juuresoleval mudelil on liikumisvahe $a + b - c$).

Liikumisvahe on kõige suurem siis, kui tõke on täielikult kas allika või kuuljapunkti lähedal. Liikumisvahe on kõige väiksem ja tõke kõige kasutum allika ja kuulmispunkti keskel.

Lisaks liikumisvahele sõltub tõkkesummutus heli sagedusest. Kõrged helid sumbuvad rohkem kui madalad, sest madalad helid murduvad kergemini tõkke teisele poole.

Kui tõkke kõrgust suurendatakse, siis tõkkesummutus ei kasva praktikas enam pärast seda, kui kindlaksmääratud maksimumsummutus on saavutatud. Näiteks liiklusrüa summutab tõkke taga varju piirkonnas maksimaalselt umbes 15–20 dB.

Müra analüüsimine



4.1 Müra hindamine

Müra omadused ja häirivus

Mõõtarvu valimine

Keskkonnamüra häirivus sõltub nii müra akustilistest omadustest kui ka muudest mittefüüsikalistest teguritest. Müra häirivuse hindamine põhineb peamiselt kahel osal:

- mõõtarv, mida müra mõõtmiseks kasutatakse;
- juhised, mille abil võrreldakse mõõtmistulemust normtasemetega.

Akustilistest, mõõdetavatest omadustest mõjutavad häirivust lisaks tugevusele ka müra muud omadused. Neist tähtsaimad on müra muutumine ajas ja spektri muutused.

Efektiivne häirivuse mõõtarv näitab müra ühe arvu abil. Tasase ja laiaribalise müra puhul mõõtarvu valimise vajadus puudub, selle väljenduseks on tavaline A-helitase. Eri aegadel on

hindamisel raskusi tekitanud põhiliselt ajaliselt muutuvad müratüübid ja nende omavaheline võrdlemine ning võrdlemine ühtlase müraga.

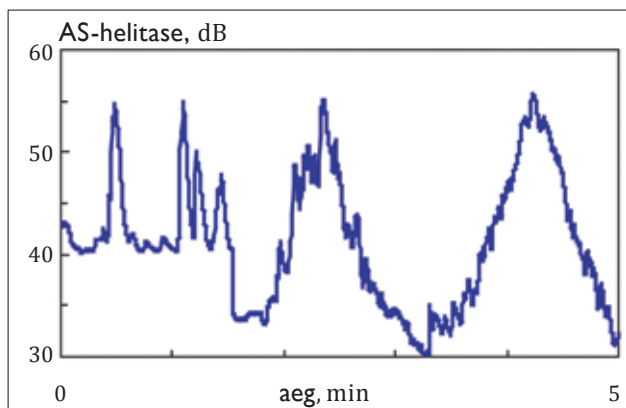
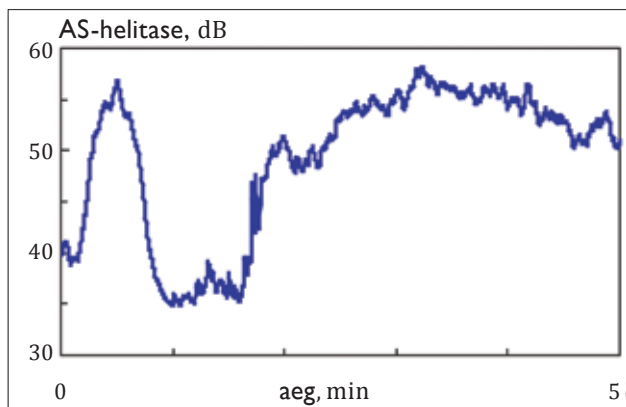
Mõju-uuringute põhjal mõjutavad **ajaliselt** muutuva keskkonnamüra häirivust kõige rohkem müra-rikaste sündmuste või perioodide

- tugevus;
- kestvus;
- hulk;
- kellaaeg.

Probleemi on tekitanud see, kuidas ühendada need tegurid üheks mõõtmeks. Ühisele arusaamale erineval viisil muutuvate mürade ja eri müraliikide häirivuse hindamise suhtes jõuti 1970. aastatel. Kasutati kümneid konkureerivaid müra-indekseid ehk mõõtarve. Paljust neist üritati moodustada muutuva või korduva müra maksimaaltaseme, kestvuse ja hulga kohta kombinatsioone. Kogu sellest hulgast

sõeluti välja parim kasutatav mõõtarv — keskmine helitase.

Keskmise helitaseme tähtsaim eelis on see, et selle soovitud kombinatsioon tekib integraalis automaatselt. Samal ajal toimub see ka optimaalselt, st et kokkupuude energia universaalse käsitlesega, mille baasil töötab ka kuulmismeel, säilib. Järele jääb mõõtmiste erinev kellaeg, millega tegeldakse eraldi normtasemetel.



Liiklismüra tipud, mille tugevus, kestvus või hulk muutuvad. Parempoolsed tulemused häirivad rohkem ja ka nende keskmised helitasemed on suuremad.

Müra täpsemaks kirjeldamiseks võib sellega ühendada lisaandmeid, sh heli ekspositsioonitaseme, püsiva ja maksimaalse taseme kohta. Neist kaks esimest sisaldavad informatsiooni müratippude tugevuste, nende muutumiste ning kestvuste ja arvu kohta. Viimane näitab vaid kõige tugevama tipu ulatust.

Hälbed

Keskmisses helitasemes sisalduv integraal (vt punkt 2.2) on seotud müra ajaliste muutumistega, kuid keskmine helitase ei võta arvesse spektri muutumisi — selle eest hoolitseb sageduskorrektsioon (praktiliselt kasutatakse terminit **A-korrektsioon**).

Keskmine helitase töötab müra ajaliste muutumiste suhtes hästi juhul, kui muutumiste kestus on vähemalt sekundeid. Sellest lühemat katkendlikku müra nimetatakse **impulssheliks** ehk **löögipõhiseks** heliks. On teada, et keskmise helitaseme järgi hinnatuna on see häirivam kui aeglasemalt muutuv müra.

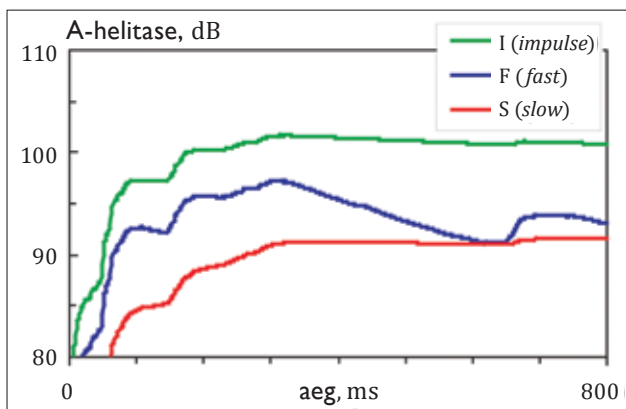
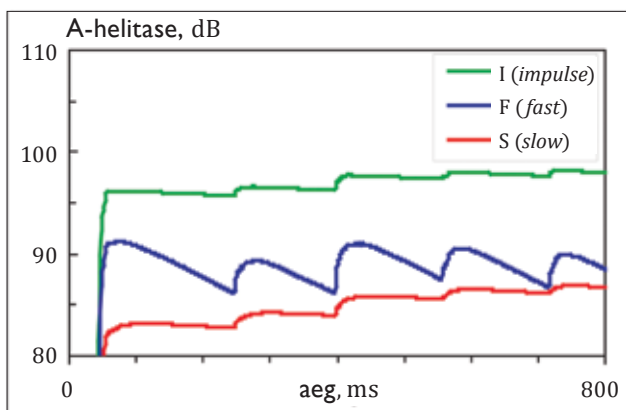
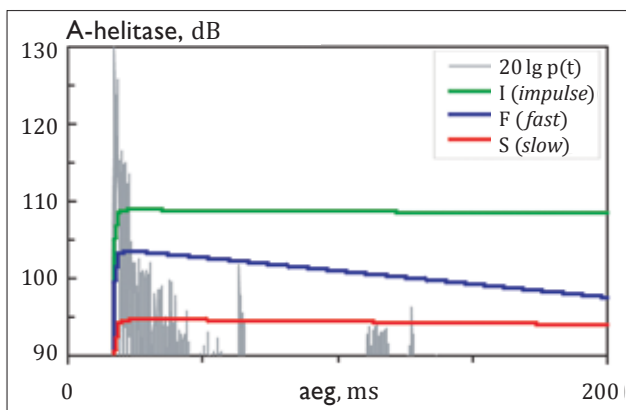
Sageduskorrektsioonid töötavad spektri muutumise suhtes hästi juhul, kui spektris ei esine ilmselt eristatavaid **tonaalseid** või **toonipõhiseid** müraallikaid (millel on selgesti eristatav helikõrgus). On teada, et need on ükskõik millise sageduskorrektsiooni järgi hinnatuna häirivamad kui muutuv spekter, mis ei sisalda tonaalset heli. Suurepärane näide tonaalse heli kohta on sääse pirin.

Impulssheli

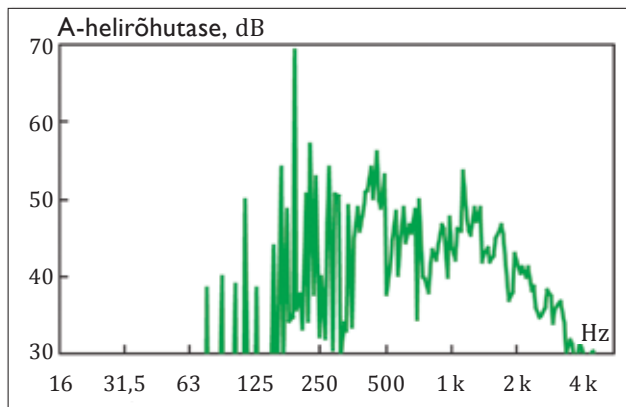
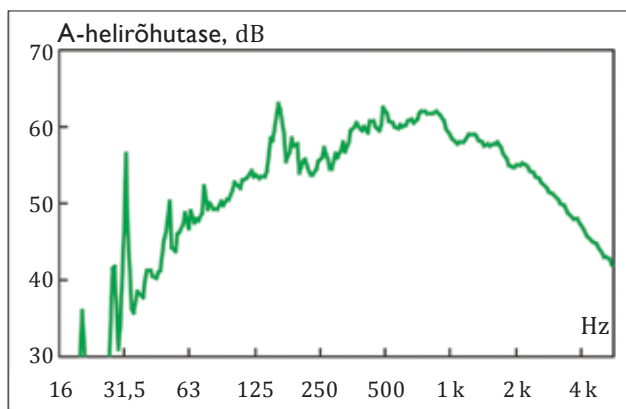
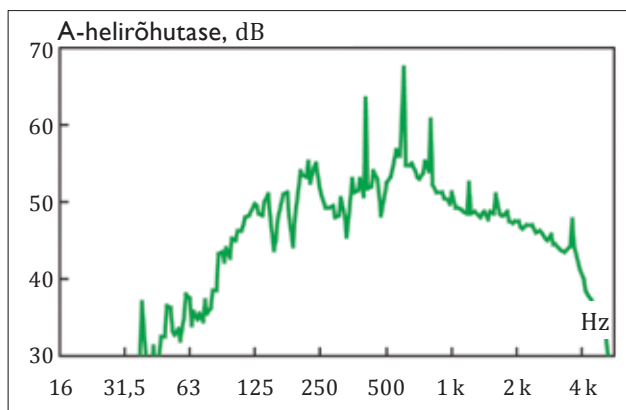
Tähtsamate keskkonnamüra liikide puhul on tüüpiline, et ajaliste muutumiste mõõtkava põhineb alati vähemalt sekunditel, tavaliselt kümnetel sekunditel. Ootamatud sündmused või kiiremad muutused esinevad üksikute keskkonnamüra liikide puhul, mis tekivad näiteks lasketiirudes, löhkamis- ja ehitustööde käigus või kivipurustustsehhides.

Ootamatult muutuva katkendliku müra spetsiaalse häirivuse hindamiseks kasutatakse **impulssheli korrigeerimist**. See on löögipõhise müra nn trahv, mis lisatakse keskmisele helitasemele enne normtasemega võrdlemist. Soomes on impulssheli korrigeerimine olnud traditsiooniliselt +5 dB, kuid vastavalt sotsiaal- ja tervishoiuministeeriumi tervislikku elukeskkonda reguleerivale juhisele suurendatakse korrigeerimist niipalju, et näiteks lasketiirudes võib see olla +10 dB.

Et müra oleks impulssheli, peab ajakarakteristiku mõõt jääma maksimaalselt ühe sekundi piiridesse. Kiiremate impulsshelide puhul võib esineda ühes sekundis rohkem lööke. Müra impulssheli identifitseerimiseks võib kasutada muuhulgas I- (*impulse*) ja S- (*slow*) aegkorrigeeritud maksimaalsete helitasemete vahet. Rusikareegel on, et vahe peab olema vähemalt 5 dB.



Impulssmüra: püssilask, kivimurdmine ja kivipurustus.



Tonaalne müra: tselluloositehase säilitusnõu ventilaator, kaubalaev ja tagavara jõumasin.

Tonaalne heli

Tonaalse müra spetsiaalse häirivuse hindamiseks kasutatakse **tonaalse heli korrektsiooni**. Kui müras esineb ootamatuid spektrivaheldumisi ehk ülejäänud spektrist erinevaid tippe, lisatakse keskmisele helitasemele enne normtasemega võrdlemist tonaalse müra nn trahv. Soomes on tonaalse heli korrektsiooni väärtus +5 dB.

Tonaalse heli määramiseks on vaja spektraalanalüüsi vähemalt 1/3-oktaavribade alusel. Kui ühe 1/3-oktaavriba tase on vähemalt 5 dB suurem kui kõrvalolevate ribade tase, sisaldab see enamasti tonaalse heli komponenti. Igal pool see reegel aga ei kehti: kui kõrvuti asuvatele ribadele suundub mitu komponenti, siis 1/3-oktaavriba spekter tonaalset heli ei kajasta, sel juhul on vaja täpsemat spektraalanalüüsi.

Madalsageduslik müra

Sageli arvatakse, et nn infraheli ehk praktikas enamasti madalsageduslik müra on häirivam kui tavaline müra. Probleem peitub siiski vaid erinevate tugevuste puhul sobiva sageduskorrektsiooni valikus (ilma korrektsioonideta hinnates on madalsageduslik müra märkimisväärselt vähem häirivam kui keskmise sageduspiirkonna müra).

Tugeva madalsagedusliku müra puhul A-korrektsioonist eriti abi ei ole. Madala, alla 50 dB müra puhul on see aga kõikidest korrektsioonidest sobivaim. Mõningates riikides hinnatakse raskerelvade lasketiirude ja plahvatusete müra C-korrigeerituna, mis osutub sageli aga liigseks.

Inimese tegevusest põhjustatud ja häirivaks peetav madalsageduslik müra on praktiliselt alati suure ja pöörleva masina, näiteks suure diiselmootori kasutamise kaasnähtus. Selline müra on enamasti ka tonaalne. Laaribalise madala sagedusega heli või infraheli kohta on heaks näiteks tuule tekitatav hää (toim. märkus: Eestis on sageli probleeme küttesüsteemide madalsagedusliku müraga).

Hindamismeetod

Standardmeetodiga keskkonnamüra kahjulikkuse ja häirivuse hindamise võib võtta kokku alljärgnevalt:

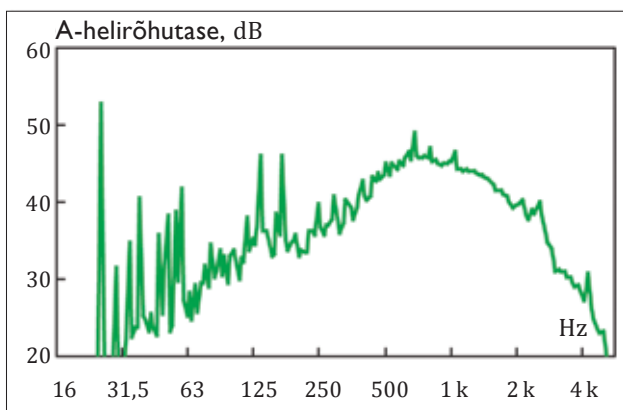
- Mõõdetakse või arvutatakse keskmine helirõhutase.
- Kontrollitakse, kas müra lühiajaline tugevuse muutumine või spekter (ehk müra koosseis) on hääbelised. Kui on, siis lisatakse keskmisele helitasemele neile vastavad korrigeeringud.
- Tulemust võrreldakse normitasemega.

Müra hinnatud tase

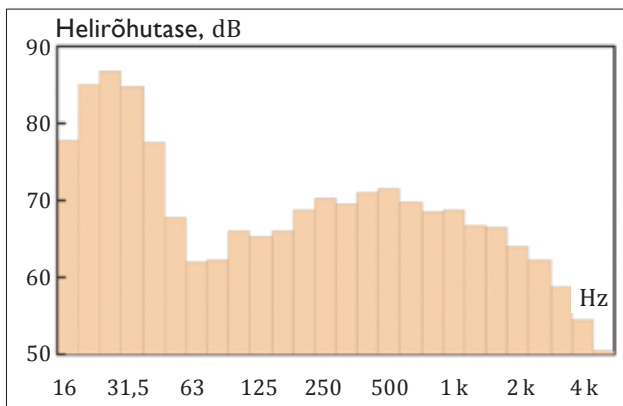
Keskkonnamüra põhistandardis ISO 1996 määratletakse eraldi mõõtari, mis saadakse, kui keskmisele helitasemele lisatakse impulssheli ja tonaalse heli parandused. Seda nimetatakse müra hinnatud tasemeks (*rating level*) ja selle valem on:

$$L_{Ar} = L_{Aeq} + K_1 + K_2$$

kus K_1 on tonaalse heli korrigeering ja K_2 impulssheli korrigeering. Kui neist ühe paranduse korrigeerimise vajadus esineb vaid osal kontrollajast, siis võib võtta seda korrigeerimisel arvesse.



Jõujaama diisli spekter. Tonaalne madalsageduslik müra häirib ja selle hindamiseks kasutatakse tonaalse heli korrigeeringu.



Vabaõhukontserdi spekter. Kergemuusika elektroonilise helivõimenduse puhul on trendikas rõhutada madalat bassiheli. Ka selle madala sagedusega „müra” häirivust ei tohiks (sellest hoolimata) hinnata „lineaarsena” ehk ilma ühtegi sageduskorrigeeringu kasutamata.

Normtasemed

Keskkonna üldised normtasemed on sätestatud Valitsuse määrusega (993/1992) (toim. märkus: kõik siinkohal ja allpool nimetatud on Soome õigusaktid). Lasketiirudele on Valitsuse määrusega (53/1997) sätestatud eraldi normtasemed. Sotsiaal- ja tervishoiuministeerium on väljastanud ka tervislikku elukesk-

konda reguleeriva ettekirjutuse, milles käsitletakse müra peamiselt eluruumides ja avalikel üritustel.

Keskkonnamüra normtasemed on sätestatud päevase (kell 07–22) ja öise (kell 22–07) aja ning väljas ja siseruumides esineva müra kohta. Kui hinnatav müra on impulssheli või tonaalne heli, lisatakse mõõtmis- või arvutustulemustele enne selle normtasemega võrdlemist +5 dB.

Üldised normtasemed, müra keskmine helitase L_{Aeq} (dB) (Soome)		
väljas		
piirkond	päev	öö
elamupiirkonnad, puhkeala asulas, ravi- ja õppeasutused**	55	50*
puhkekohad, laagrialad, puhkepiirkonnad väljaspool asulat, looduskaitsealad	45	40
sees		
tuba või ruum	päev	öö
eluruum, palat, majutusasutus	35	30
õppe- ja kogunemisruumid	35	–
äri- ja kontoriruumid	45	–
*uues piirkonnas 45 dB, **õppeasutuste puhul ainult päeval		
Lasketiirumüra normtasemed, l-aegkorrigeeritud maksimaalne helitase L_{A1max} (dB) (Soome)		
elamupiirkonnad ja õppeasutused	65	
puhkeala asulas, raviasutused, puhkekohad, looduskaitsealad	60	

EL ja L_{den}

Euroopa Komisjoni keskkonnamüra hindamise ja kontrollimise direktiiv (2002/49/EÜ) muudab oluliselt müra hindamise aluseid. Võrreldes varasemaga muutub komisjonile esitatavate suurlinnade, tiheda liiklusega magistraalide ja lennujaamade mürakaartides müra kirjeldamiseks kasutatud mõõtarv. Direktiiviga

määratakse kindlaks kaks helitaseme mõõtarvu:

- päeva-õhtu-öö müratase („day-evening-night level“) L_{den} ;
- öine müratase L_{night} .

„Ööpäevane müratase“ L_{den} arvutatakse päeva, õhtu ja öö pikaajalise keskmise helitaseme alusel, mille aluseks on terve aasta andmed, ja ilmastikutingimuste seisukohalt keskmise aasta alusel:

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} (12 \cdot 10^{L_{Aeq,d}/10} + 4 \cdot 10^{(L_{Aeq,e}+5)/10} + 8 \cdot 10^{(L_{Aeq,n}+10)/10})$$

kus päevane aeg on kell 7–19, õhtune 19–23 ja öine 23–7. Õhtusele keskmisele helitasemele lisatakse parandus ehk „trahv“ 5 dB ja öisele keskmisele helitasemele 10 dB. Pärast

seda arvutatakse tasemed kokku rõhu ruutkeskmisena, korrigeerides summat päevase, õhtuse ja öise aja kestvusega. Direktiiv ei sätesta normtasemeid.

Müraliikide eristamine ja ühendamine

Erinevate müraliikide **arvutus-tulemusi** esitatakse müraliikide kaupa, st eraldi tee-, raudtee- või lennumüra mürakaartide alusel. Kuid kui objektis esineb samaaegselt mitu müraliiki, kaasneb sellega mitmeid küsimusi: milline on üldmüra ja kas see on kahjude hindamise seisukohalt tähtis? Kuidas toimub müra võrdlemine normtasemetega?

Mõõtmised

Kui müra **mõõdetakse** tavalise kontrollmõõtmisena, on tulemuseks vältimatult üldmüra. Mõõtmise puhul ei seisne probleem mitte müraliikide osamürade ühendamises, vaid vastava soovi korral nende eristamises üldmürast. Müraliikide eristamine mõõtmiste käigus on väga spetsiifiline erialane tegevus. See eeldab lisateadmisi ning spetsiaalseid ettevalmistusi, mõõtmiseadmeid ja analüüsimetodeid või mõõtmise toena arvutusmodelite kasutamist.

Erinevate müraliikide arvustus-tulemuste ühendamiseks on üks lineaarne võimalus: arvustus-tulemuste võrdlemine tavaliste kontrollmõõtmiste tulemustega.

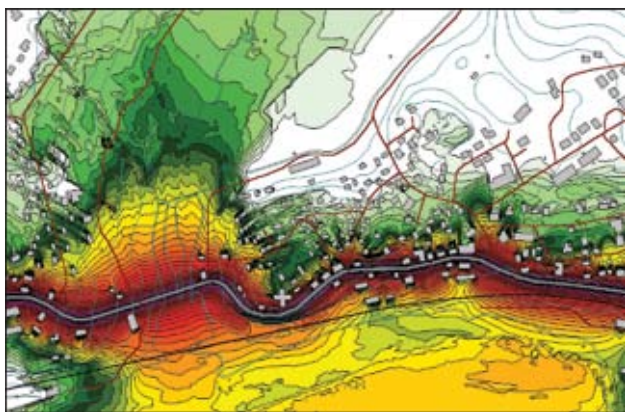
Ühendamine on põhimõtteliselt võimalik **ainult** sel juhul, kui kõik osamürad on esitatud (mõõdetud või arvutatud) ühe ja sama mõõtarvuna. Kui mürasid iseloomustavad ühe ja sama ajavahemiku keskmised helitasemed, on ühendamine tehniliselt lihtne: need võib lihtsalt liita (rõhu ruutkeskmisena nagu müramõõtu puhul). Näiteks kui L_{Aeq1} on müra 1

keskmine helitase ja L_{Aeq2} müra 2 helitase, on nende summa

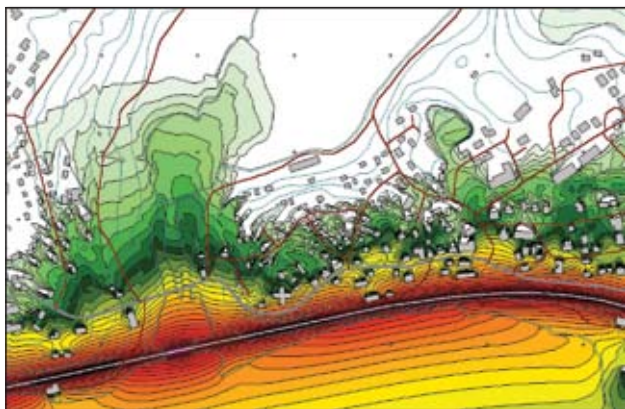
$$L_{Aeq} = 10 \lg (10^{L_{Aeq1}/10} + 10^{L_{Aeq2}/10})$$

Kahjude hindamine

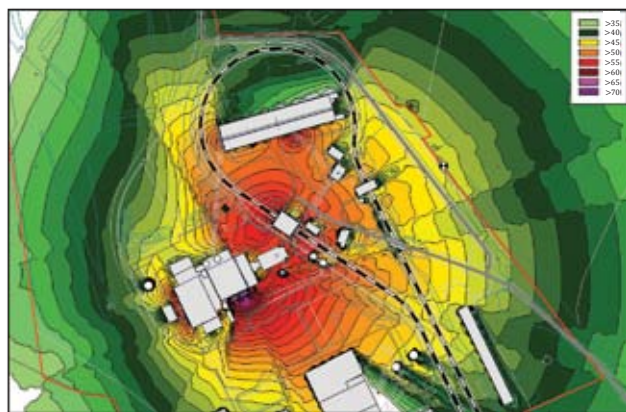
Kui eesmärgiks ei ole arvustus-tulemuste võrdlemine mõõtmistega, vaid müra kahjulikkuse hindamine, on põhjust suhtuda liitmisesse ettevaatlikult. See põhineb uurimisandmetel, mille järgi erinevad müraliigid ei pruugi olla akustiliste omaduste poolest omavahel võrreldes sama häirivad.



Teeliikluse müra.



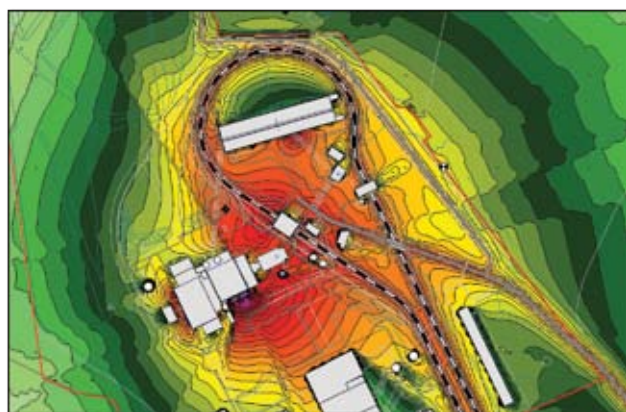
Raudteeliikluse müra.



Paiksete tööstusmüraallikate müra.



Veoautode ja rongide (manööverdusrööbastiku) müra.



Eelnevate mürade summa. See on müra, mida näitab müramõõtur.

Liitmisprobleem keskendub küsimusele, kas erinevad müraliigid on **füüsikaliselt** iseloomustatuna sama häirivad. Kui on, siis ei ole liitmiseks takistusi, kui aga mitte, siis on vaja kas igäihe kohta eraldi normtasel või liigipõhist korrektsiooni, mis oleks üheks „trahviks” või „preemiaks” samuti nagu impulssheli ja tonaalse heli korrektsioonid. Pärast korrektsiooni võib teha liitmise samuti nagu päevase, öhtuse ja öise keskmiste helitasete ühendamise L_{den} tasemeteks.

Mõningate riikide tingimustel võib teha liitmise otsesel teel, teistes riikides on võetud vastu otsused, et ühed müraliigid on häirivamad kui teised. Erinevate müraliikide arvutustulemustele liidetakse või neist lahutatakse liigist sõltuv korrektsioon, pärast seda liidetakse mürad nagu eespool kirjeldatud ja võrreldakse üldise, ühise normtasemega.

Praktikas on liitmist vaja näiteks tööstus- või terminalitüüpi piirkonnallika puhul. Piirkonnas võib lisaks paiksetele müraallikatele esineda ka veoautosid, ronge, tööstusmasinaid jne, mis ei käitu nii nagu tavalise liikluse puhul, vaid nende tegevus meenutab pigem piirkonna teisi müraallikaid. Kogumüra arvutamine on lihtne.

4.2 Mõra arvutamine

Arvutusmodelid

Arvutusmodelid on mõra tõkestamise olulisimad abivahendid. Arvutiprogrammi abil automatiseerituna võib arvutusmodelitega arvutada välja müratsoone ja hinnata esinevaid häiringuid. Modelite esmane kasutusviis on siiski mõra tõkestamine. Näiteks tee ja majade omavahelist paigutust või nende vaheliste müratõkete mõju on võimalik hinnata modelite abil juba enne ehitamist.

Põhjamaade ühistööna koostati 1980. aastatel mitmeid keskkonnamõra arvutusmodelid, millest olulisemad on:

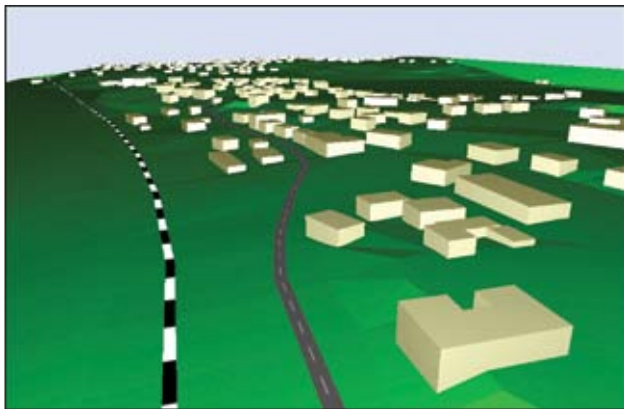
- teeliikluse müramudel;
- raudteeliikluse müramudel;
- tööstusmõra- ehk üldine arvutusmodel.

Lennumõra erineb teistest müraliikidest ning selle arvutusmodelid on koostatud õhuliikluse omas valdkonnas, sh rahvusvaheliste õhuliikluse ühingu algaugusel.

Üldised omadused ja piirangud

Teeliikluse müramudel on mudelitest vanim ja kasutatum. Arvutamine toimub otse A-helitasemetena. Ilmastiku mõju ei arvestata. Modeli liikluse osa põhineb uurimustel, mis sooritati neutraalsetes ilmastikutingimustes suhteliselt väikestel kaugustel.

Tööstusmüramudel ehk üldine põhjamaaine keskkonnamõra arvutusmodel on arvutusmodelitest märkimisväärsim, katvaim ja täpsem. Selle koostamisel võeti arvesse ka ilmastiku



Arvutusprogrammi kolmemõõtmeline maastikumudel.

mõju. Algselt oli see ainus sagedusribade alusel töötav model. Väljavarvatud teeliikluse müramudel, on kõik modelid arendatud välja üldisest keskkonnamüramudelist, neid lihtsustades ja liikudes tagasi A-helitaseme arvutuse poole.

Arvutusmodelite olulisim piirang on see, et mõra leviku puhul ei arvestata ilmastikuolude vaheldumise mõju. See ei ole iseenesest vaid negatiivne omadus. Üldine tööstusmüramudel ja selle alusel arendatud ülejäänud modelid on reguleeritud nii, et need arvutaksid otse välja pikaajase keskmise helitaseme, mis saavutatakse ka pikaajaliste mõõtmiste kaudu paljude erinevate ilmastikutingimuste puhul. Ilmastiku mõju puudumine on põhjuseks, miks mõõtes võib saada teise tulemuse kui arvutades.

Mudelite puuduseks on see, et nad ei suuda teha kiiresti vahelduvas keskkonnas maastikule vastavaid arvutusi. Sellisel puhul on üldine model parim.

Põhjamaades on viimastel aastatel koostatud uus arvutusmodeli kavand „Nord 2000“, mis on mõeldud tee- ja

raudteeliikluse- ning tööstusmüramu-
delite väljavahetamiseks. Mudel on
tunduvalt detailsem kui varasemad,
näiteks toimub arvutamine 1/3-ok-
taavribade alusel ja algandmetena
saab kasutada erinevaid ilmastikutin-
gimusi. Mudeli ettepanekut on kri-
tiseeritud, kuna ülitäpsus ei ole alati
positiivne. Probleeme võib muuhul-
gas tekitada see, milliste ilmastikusea-
detega arvutatakse siis, kui tulemusi
on vaja võrrelda normtasemetega.

Tee- ja raudteeliikluse müramudelid

Teeliikluse müramudel on kõige
sagedamini kasutatav mudel. Mudeli
müraemissiooni lähteandmeteks
piisab liiklusandmetest, kuna autode
müraemissiooni teatakse piisavalt
täpselt. Soomes on selle mudeli alu-
sel arvutatud aastakümneid vähemalt
mitmesaja objekti iseloomustused.
Mudel on rutiinse projekteerimistöö
puhul kindel ja usaldusväärne. Mude-
li täpsus on mõõdukas, alla 100 m
kauguste puhul hea.

Raudteeliikluse müramudelit
uendati 1996. aastal. Uus versioon

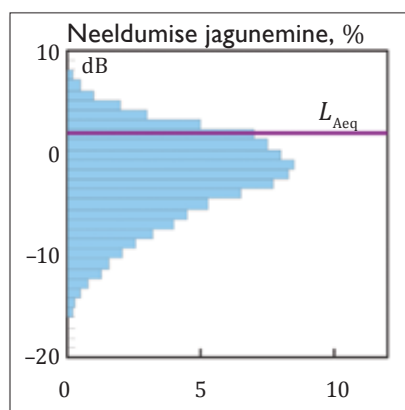
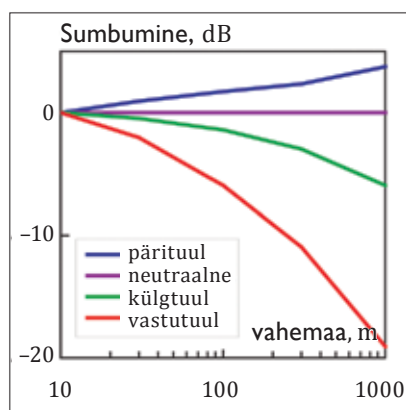
põhineb endisest rohkem üldisel
mudelil ja ka selle puhul toimub arvu-
tus sagedusribade alusel. Mudel vajab
lisaks liiklusandmetele algandmeteks
veel arvutatavate rongitüüpide müra-
emissioone. Need on enne mudeli
kasutuselevõttu eraldi välja arvutatud.

(Toim. märkus: kõikide raudtee-
liikluse müramudelite kasutamist
Eestis takistab kohalike vedurite ja
rongitüüpide usaldusväärsete müra-
emissiooni andmete puudumine.)

Üldine arvutusmudel

Põhjamaade üldine ehk tööstus-
müramudel on ka kogu maailmas
teadaolevalt parim kasutusel olev
mudel keskkonnamüra tsoonide
arvutamiseks. Mudel koostati arvutus-
tulemuse saavutamiseks, mis vastaks
keskkonnamüra mõõtmisjuhiste.
Mudel peab paika heli liikumist kergelt
soosivate ilmastikutingimuste, näiteks
pärituule ja mõõduka temperatuuri-
inversiooni puhul.

Keskmise helitaseme puhul on
suuremate helirõhkude osakaal suurem
kui väikeste oma. Pikaajalne keskmine
helitase ei esinda mitte neutraalse



*Ilm põhjustab müratasemes suurte kauguste puhul laiaulatuslikke vaheldumisi.
Pikaajaline keskmine helitase on palju suurem kui neutraalse ilma müratase.*

ilma, vaid heli liikumist soosiva ilma puhul esinevat helitaset. Selle tulemuks on, et üldise mudeli arvutustulemus vastab mõõtmistulemusele, mis saadakse **väga pika mõõtmisperioodi ajal mitmetes erinevates ilmastikingimustes**. Nii on arvutustulemus normväärtustega otseselt võrdluskõlblik.

Põhjamaades kasutatakse üldist mudelit suurte tööstustüüpi müraallikate projekteerimisel ja mõjude hindamisel. Soomes on selle mudeli abil tehtud mitmekümneid laiaulatuslikke müraanalüüse. Arvutustulemuste võrdlemisest mõõtmistulemustega on kogunenud aastate pikku andmeid, mis näitavad, et mudel on väga usaldusväärne. Hälbed on maksimaalselt 3 dB, kuid üldjuhul sellest oluliselt väiksemad.

Tööstusmüramudel on teise nimega üldine mudel selles mõttes, et seda võib kasutada igat tüüpi müraallika puhul eeldusel, et müraemissioonide mõõtmine toimub õigesti. Mõningad valdkonnad, kus seda meetodit rakendatakse, on laevad ja mootorpaadisport, ehitamine, liikuvad tööstusmasinad ning vabaõhukontserdid.

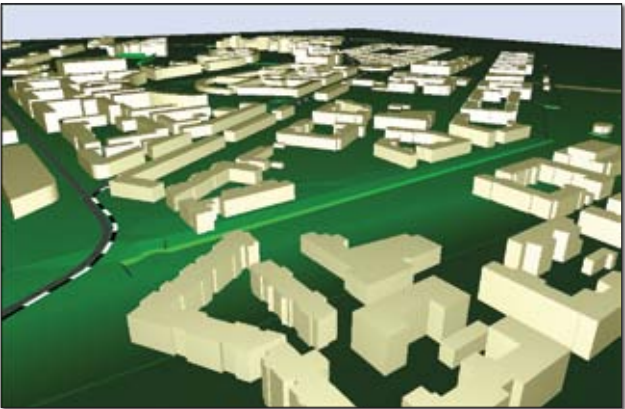
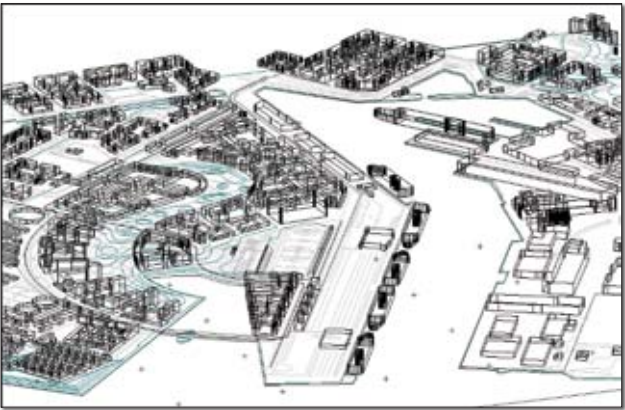
Arvutusmodelite kasutamine mürasündmuste analüüsimiseks

Arvutusmodelite kasutamise põhimeetod on alljärgnev:

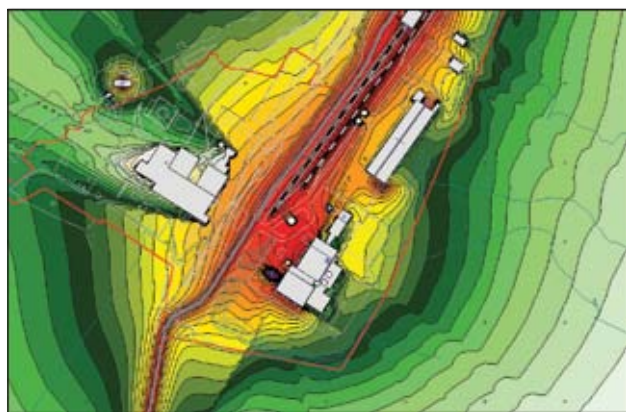
- müraallikate müraemissioonid L_w mõõdetakse või nende emissiooniandmed saadakse muul moel; emissiooni või emissioone esindavad muud andmed (nt liiklussagedused) sisestatakse mudeli algandmetena;

Close	Sync. Graphic	Copy...	Print...		Font...		Help					
Name	ID	Result	PML	Lw / Li	Operating Time		Direct.	Coordinates				
		Day	Night	Type	Value	Day	Night		X	Y	Z	
		(dB)	(dB)			(min)	(min)		(m)	(m)	(m)	
Prim.ärapuhaltin	GP1	96.0	96.0	Lw	L09	900.00	540.00	Paneel	478.48	393.57	90.00	
Sek.ärapuhaltin	GP2	96.0	96.0	Lw	L10	900.00	540.00	Paneel	501.77	377.39	94.50	
Savukaasupuhaltin	GP3	81.3	81.3	Lw	L07	900.00	540.00	(none)	523.71	432.71	54.00	
Pöppu	GP4	94.4	94.4	Lw	L08	900.00	540.00	Chimney	505.46	442.74	121.00	
Muutajast	GP5	90.9	90.9	Lw	L11	900.00	540.00	(none)	431.94	359.97	46.00	
Turvevarasto S	GP6	80.1	80.1	Lw	L15	900.00	540.00	(none)	570.86	474.12	45.00	
Tyhjennysasema N	GP8	87.1	87.1	Lw	L12	600.00	0.00	(none)	618.36	691.50	48.00	
Vesipumppausasema	GP10	76.7	76.7	Lw	L16	900.00	540.00	(none)	245.81	599.66	41.00	
Turbini S	QV1	80.8	80.8	Lw	L01	900.00	540.00	(none)	0.00	0.00	0.00	
Turbini W	QV2	78.8	78.8	Lw	L02	900.00	540.00	(none)	0.00	0.00	0.00	
Kattila N	QV3	81.2	81.2	Lw	L03	900.00	540.00	(none)	0.00	0.00	0.00	
Kattila E	QV4	86.2	86.2	Lw	L04	900.00	540.00	(none)	0.00	0.00	0.00	
Kattila S	QV5	86.2	86.2	Lw	L05	900.00	540.00	(none)	0.00	0.00	0.00	
Kattila W	QV6	84.2	84.2	Lw	L06	900.00	540.00	(none)	0.00	0.00	0.00	
Seula	QV7	63.9	63.9	Lw	L13	600.00	0.00	(none)	0.00	0.00	0.00	
Turvevaraston ilma	QL1	80.1	80.1	Lw	L14	900.00	540.00	(none)	0.00	0.00	0.00	

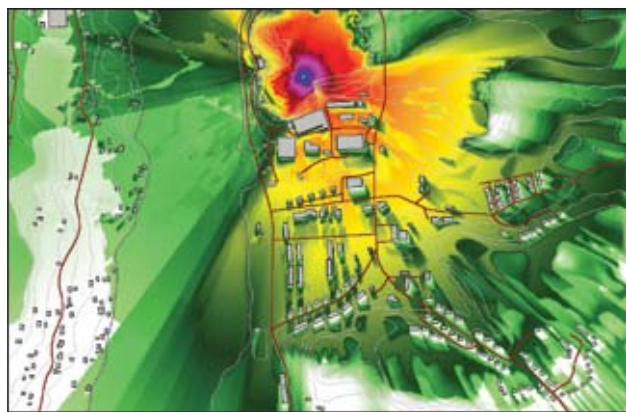
Arvutusmodelid vajavad algandmeteks müraallikate emissiooniandmeid.



Mudeliarvutuse alguses koostatakse 3-mõõtmeline maastikumudel.



Tööstusmüra arvutus.



Ühel punktil põhineva heliallika arvutus.

- liikumisteede reaktsioonid D igast allikast igasse kontrollpunkti moodustatakse arvutusmudeli alusel;
- kontrollpunkti üldmüra arvutatakse välja erinevate allikate osamürade summana. Mudelites, kus arvutamine toimub sagedusribade alusel (üldine müra ja raudteemüra), moodustatakse lõpuks punkti A-helitase L_{Aeq} .

Kõikide mudelite puhul on ühine 3-mõõtmelise digitaalse maastikumudeli koostamine arvutamise alguses. Maastikumudeli aluseks on kaardid ja teised lokaalsed ja kõrgusandmed.

Tavaliselt peab maastikumudel müraallika lähedal olema suhteliselt täpne, kõige parem detsimeeter- ja piisavalt hea meeterklassis. Kaartidena võib kasutada regiooni planeeringukaarte, tehaseala kaarti või CAD-andmebaasi, tee või raudtee plaane jne. Kõrgusjooni on hea teada 1 m vahedega; tee, raudtee, õuede ning tõkete ja majade katuseharja kõrgusi 0,1 m täpsusega. Kaugemal piisab ka väiksemast täpsusest, näiteks põhiplaani puhul 2,5 m või 5 m vahedega kõrgusjoontest.

Mõõtmine või arvutamine?

Mürataseme hindamiseks võib kasutada nii müra mõõtmist kui ka arvutamist. Mõõtmistulemus näitab mõõtmispunktis mõõtmisajal asetleidvat mürasündmust. Kuna tulemus sõltub näiteks kohast ja ilmastikutingimustest, siis võib mõõtmisseeria tulemusi käsitleda kui üldistavaid usaldusväärseid andmeid vaid suuremat piirkonda või pikemat ajaperioodi esindavate mõõtmiste korral.

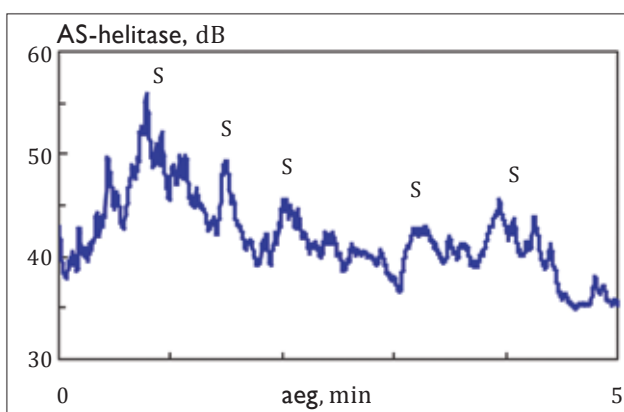
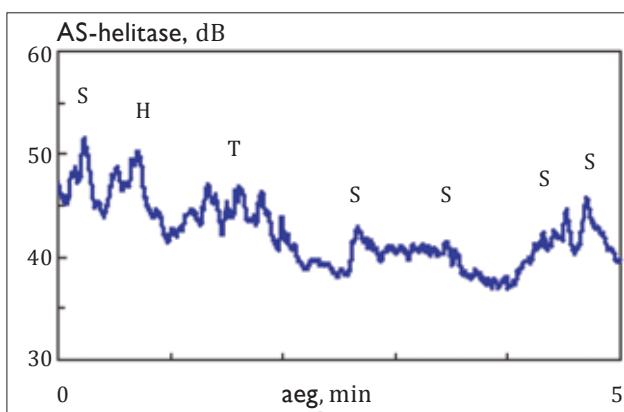
Arvutusmodelite ja arvutiprogrammide pideva arenemise tulemusel kasutatakse müraallika analüüsimisel aina sagedamini arvutamist. Arvutusmodelite olulisim eelis mõõtmiste ees on see, et müraleevendavaid meetmeid on võimalik planeerida ja katsetada juba enne ehitamist. Teine eelis on võimalus katta sama töömahuga palju suurem piirkond tihedama punktijaotusega. Arvutust kasutatakse, kui

- mürasündmust on vaja analüüsida suurel alal;
- üldmüra soovitakse jagada osadeks, näiteks müraliikide või -allikate alusel;
- müraallikat ei ole veel ehitatud või soovitakse hinnata eesootavat mürasündmust;
- soovitakse mõjutada mürataset mõjutavate tegurite, näiteks müraleevendavate meetmete erinevaid variante enne nende kohaldamist;
- mõõtmine on ilmastikutingimuste või -nähtusega mitteseotud taustmüra tõttu raske.

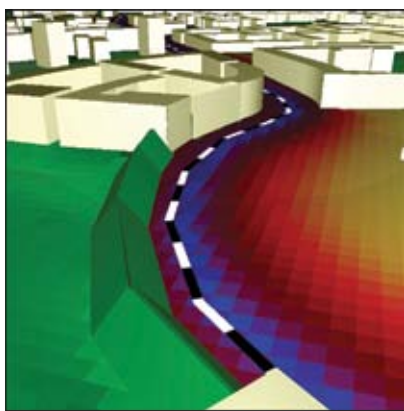
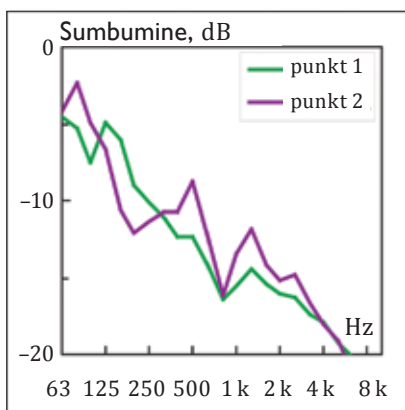
Alati ainult arvutusest ei piisa.

Vahel on vaja selle kõrvale ka mõõtmisi. Mõõtmised on soovitatavad, kui

- on vaja saada tulemus vaid mõne punkti kohta või piiratud objektile;
- arvutatud prognoosi soovitakse kontrollida;
- müraallika omadusi ei teata või kahtlustatakse, et need erinevad tavalistest, kuid müraemissiooni mõõtmine ei ole võimalik;
- arvutus on näiteks erandlike maastikutingimuste tõttu eba-kindel.



Üldise asulamüra mõõtmisanalüüside põhjal võib müra koosneda mitmest erinevast müraliigist. Valdavaks on näiteks lennumüra: S reaktiivlennuk, H helikopter, T propellerlennuk.



Müraatõkke mõju, mõõtmis- ja arvutusanalüüsid.

4.3 Mürauringud

Müraolukorra uuring

Arvutuslik uuring

Esimene ja soovitatav viis müra-uringu tegemiseks on kasutada arvutusmudeleid. Lihtsamal juhul soovitakse **uurida müra olukorda**. Uuringu eesmärgiks on koguda andmeid selle kohta, kas müra tõkestamiseks on vajadust. Ülesanne on enamasti laiaulatuslik, kuid üldiselt mitte nii nõudlik kui edaspidi kirjeldatav müra leevendavate meetmete analüüs.

Müraallikate keskkonnas soovitakse teada, milliseid helitasemeid esineb näiteks teatud ala piiril või lähedastes elumupiirkondades. Müra-tasemeid võrreldakse normtasemega, selleks et analüüsida, kus ja kui suur on müra vähendamise vajadus.

Objekti- ja piirkonnauuring mõõtmise alusel

Kui müraobjekte on ainult üks või mõni, on mõõtmistepõhine uuring tihti sobiv. Tähtsaimad arvestatavad tegurid on ajaline ja lokaalne esindatavus.

Ajaline arvestamine tähendab mõõtmisi erinevatel kella- või aasta-aegadel, erinevates ilmastikutingimustes ning eriti kõiki müraallikate erinevaid mõjusündmusi esindavatel ajaperioodidel. Alternatiivselt võib ajalise esindatavuse korraldada nii, et mõõtmisi üldistatakse pikema perioodi kohta, kasutades muud usaldusväärset meetodit. Lokaalne esindatavus tähendab mõõtmispunktide hoolikat valimist müra objektidel ning

nende punktide keskmiste väärtuste arvestamist.

Kogu piirkonna uuring mõõtmise põhjal tuleb praktikas kõne alla väga harva, kuna piirkonna ja mõõtmispunktide hulga kasvuga suureneb märgatavalt ka vajalik töömaht. Ainus mõistlik laiaulatusliku mõõtmisuuringu tüüp on selline, mille käigus proovitakse analüüsida teatud piirkonna üldist taustamüra.

Sel juhul on müraliike enamasti palju ja müraallikaid veelgi rohkem, neist osa ka tundmatud. Sellisel juhul arvestatakse ajalise ja lokaalse esindatavusega, kuid müraallikate mõju ei ole vaja kontrollida.

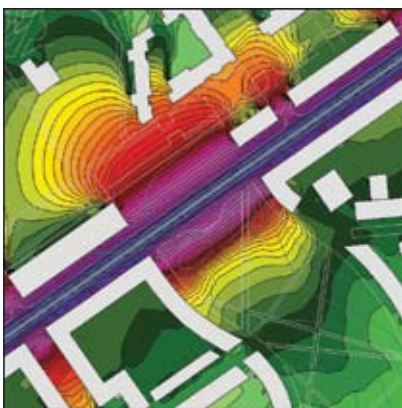
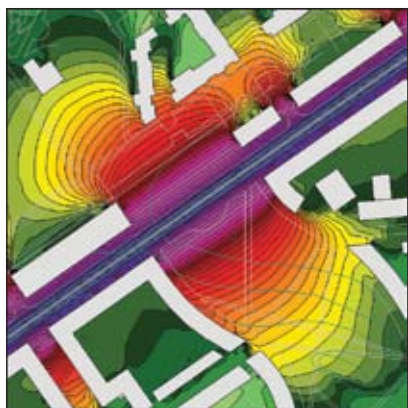
Müra leevendavate meetmete analüüs

Kui müraprobleem on avastatud või analüüsi põhjal kinnitatud, tuleb hakata müra leevendama. Tavaline müraolukorra ja müratasemete uuring ei vasta siiski iseenesest küsimusele, kuidas tuleks müra kõige paremini ja efektiivsemalt leevendada.

Mudelarvutuse kordamine

Kui müraolukorra analüüs on tehtud arvutusmodeli põhjal, on selle koostamise ajal enamasti kogunenud piisavalt materjali, et jätkata analüüsi müra leevendavate meetmete planeerimiseks. Mudelarvutust korratakse, kui mudelisse lisatakse võimalikud müraleevendavad meetmed. Näiteks:

- tee või raudtee kõrvale või asustuse lähedale ehitatakse müratõkked;
- liiklust vähendatakse seda ümber suunates;
- rakendatakse kiirusepiirangut;
- mudelisse paigutatakse planeeritavad uued ehitised;
- müraallikatele modelleeritakse kujuteldavaid tõrjemeetmeid, näiteks varustatakse need helisummutiga või ümbrisega;
- oletatakse, et müraallikad asendatakse uute, mitte nii müra-tekkitavate allikatega.



Müratõkke mõõtmine peamagistraali ääres.

Spetsiaalne müra tõkestamise uuring

Kui uuring on tehtud vaid müra mõõtmise teel näiteks mürarikka tehase ümber müratundlikel objektidel, siis ei ole sel viisil saadud piisavalt andmeid. Sel juhul tuleb teha lisaks spetsiaalne müra tõkestamise uuring arvutusmodelite põhjal.

Uue tehase müra leevendavate meetmete projekteerimine

Tööstusest tingitud keskkonnamüra uuring on keeruline ülesanne ka siis, kui tehas on olemas ja selle emissiooni on võimalik mõõta. Kui tehas veel ehitatud ei ole, on ülesanne veelgi problemaatilisem. Sel juhul puuduvad müraallikate emissiooniandmed ja nende saamine ei ole alati võimalik.

Mõningad allikad on tavaliselt eelnevalt teada ja samalaadseid allikaid kasutatakse ja mõõdetakse mujalgi. Teistele allikatele annab nende valmistaja müragarantii ja arvutust võib alustada garantiiväärtuse alusel. Mõningate allikate kohta on teada, et need on igal juhul väga mürarikkad ja nende jaoks tuleb projekteerimise ajal kavandada müraallikapõhised kaitsemeetmed.

Projekteerimisel arvestatakse ühelt poolt kasutusel olevaid emissiooniandmeid ja teisalt kavandatud eesmäärke.

Nõudlikumal juhul soovitakse projekteerida müratõrjet tervele, kas juba olemasolevale või alles planeeritavale piirkonnale, kogu müraallika kogumile koos seda ümbritsevaga. Müra tõkestamise projekteerimise osaülesanded on

- müraallikate identifitseerimine ja nende tähtsuse järjestamine;
- allikapõhiste tõkestamise eesmärkide seadmine;
- müra tõkestamise lahenduste valimine;
- müra tõkestamise meetmete täpsustamine.

Üldeesmärgiks on täita eelmises punktis teada saadud müra vähendamise vajadus. Lihtsa või muidu arusaadava akustilise sündmuse puhul tähendab identifitseerimine müraallika müraemissiooni kindlaks määramist (mõõtes või muul viisil) ning kogu müraolukorra arvutamist ja arvutustulemuste võrdlemist mürataseme mõõtmiste või mürataseme taotluslike eesmärkidega kriitilistes punktides.



Keskkonnamüra vähendamise kõige mõjusam lahendus on selle tõkestamine müraallikate juures. Suuremahuline ja esmane meede on tõkestamise planeerimine. Järgnevate meetmete, näiteks müratõkete ehitamise või heliisolatsiooni korrigeerimise vajadus sõltub sellest, kui hästi on allikate müraemissioon kontrollitav ja kuidas mürarikkad allikad paiknevad.

Olulised on tõkestamisega kaasnevad kulutused. Kui müra tõkestamine toimub õigeaegselt, on see rahaliselt soodsam. Hilisemas etapis võivad müra tõkestamise meetmed osutuda väga kalliks ja enamasti peab need kulutused maksma kinni riik või müra tekitaja.

Müra tõkestamiseks on mitmeid võimalusi. Peamine neist on müraallikate — mürarikaste sõidukite või masinate — müra vähendamine tehniliste täiendustega. Tähelepanu tuleb suunata ka müraallikate kasutusviisile

ja -ajale, töökeskkonnale, hulgale, esinemisele, objektidele jne. Tee-pinna projekteerimisega on võimalik mõjutada näiteks müraemissiooni, müratõrje parandamiseks võib seda laiendada sõltuvalt allikate kasutusest, autode liikumisest, lennukite operatsioonidest või tehase tööajast.

Müra tõkestamise meetmed jagunevad kolmeks:

- müraallika emissioonide vähendamine;
- müra leviku tõkestamine;
- müratundlike objektide kaitsmine.

Müraallika emissioonide vähendamist peetakse kõige otstarbekamaks, kuna selle meetodi eduka rakendamise korral paraneb helikeskkond ka mujal kui ainult probleemsetel objektidel. Nagu mootorsõidukite puhul näha, nõuab üldlevinud tehnika abil emissioonide vähendamine suurt tööd ja palju aega.



Kõige kasulikum oleks müraga arvestada juba planeerimisetapis.



Tagantjärele teostatav tõrje võib osutuda keeruliseks.

Äärmuslik vaiksema tehnika kasutuselevõtt võib parimal juhul tuua kaasa märgatava olukorra paranemise. Lihtsustatud näide on haamri ja naela asendamine akutrelli ja kruviga.

Teine meetod on mürakahjude ennetamine ja kontrollimine planeerimise abil. Enamiku elamupiirkondade planeerimisel peetakse silmas, et müratundlike ehitiste hulk ei suureneks. Uusehituse käigus arvestatakse müra tõkestamisega endisest rohkem.

Müra leviku tõkestamine on müra tõkestamise standardmeetodiks. Liiklusemüra tõkestatakse müratõkete, masinate müra helisummutite või kaitsetega.

Sageli on vajalik objekti kaitsmine müra eest. Planeerija määrab kindlaks tee või tööstusala ja elamupiirkonna vahelise piisava kaitsekauguse või ehitise välispiirde tavalisest tõhusama heliisolatsioonini.

5.1 Emissioonide vähendamine

Teeliikluse emissioonid

Emissiooni osategurid

Mootorimüra vähendamine on enamasti rahvusvaheline tegevus. Rehvimüra piiratakse Euroopa Liidu tasemel, kuid seda on võimalik teha ka lokaalsete meetmetega, näiteks kiiruspiirangute ja keelumärkidega ning teekatte tüübi valikuga.

EL emissiooninormid seavad sõidukite mürale piirid, millega autovalmistajad peavad arvestama. Autode müra standardtest rõhutab mootorimüra osakaalu ja just see on juhtinud autotööstuse müra vähendamise katseid mainitud suunas. Tänapäeval peetakse testi liialt mootorimüra rõhutavaks ja tavalist linnasõitu halvasti iseloomustavaks.

Asulates vahelduvad kiirused piirkonnas, kus nii mootor kui ka rehvid on olulised müraallikad. Parema linnakeskkonna saavutamiseks on vaja vähendada nii mootor- kui ka rehvimüra. Kui rehvimüra vähendamine ei õnnestu, ei vähene peateedel ka müra.

Mootorimüra vähendamiseks arvatakse olevat häid võimalusi. Rehvimüra osakaal ongi tõusmas võtmepositsioonile. Lähitulevikus on rehvimüra aina olulisem ka asulaliikluses. Autode müra standardtestis on muutumas otsustavaks teguriks rehvimüra osakaal.

Varem oli üldlevinud arvamus, et rehvi ehitusel ja pinna mustril on mürale väiksem mõju kui teekatete materjalil ja pinnaehitusel. Tänapäeval on see arvamus siiski muutunud ja teatakse, et rehvimüra tõrjeks on ühtviisi head võimalused nii teepinna kui ka rehvide parandamise kaudu.

Üks suuremaid takistusi vähese müraga rehvide väljatöötamisel on see, et tänapäeval optimeeritakse enamiku autode rehvid väga suurte kiiruste jaoks (kuni 190–300 km/h). Selle tulemusena ei ole rehvid parimad tavatingimustes kasutatavate kiiruste korral. Tavaliikluse jaoks vaiksemate rehvide väljatöötamine eeldab ilmselt üldise ja rahvusvahelise piirikiiruse kehtestamist.



Müra emissiooninormid

Täna sed sõidukite müra emissiooninormid on tüüp-testidel seotud standardtingimustega, mis iseloomustavad mootori tekitatavat müra olukorras, kus auto suurendab pidevalt oma sõidukiirust. Normid on osutunud tüüpiliste sõidutingimuste puhul üldise müra vähendamise seisukohalt üsna vähetõhusateks.

Näiteks ei pea kohalikud omavalitsused ja teised olulised mootorsõidukite kasutajad endale uut varustust soetades üldiste piirnormidega üldse arvestama. Müratõrje-programmi rakendamise üheks meetmeks võiksid olla rangemad „kasutajapõhised“ busside, trammi-de, prügiautode ning puhastus- ja teiste tööstusmasinate hanketingimused.



Vähe-se müraga teekatted

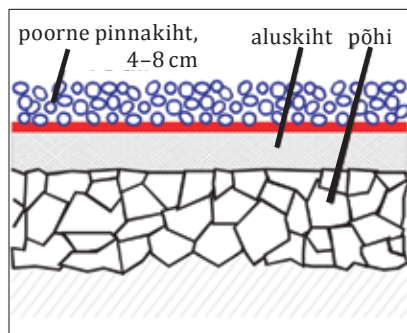
Viimastel aastatel on levinud nn vähe-se müraga teekatted. Enamik neist on lahtise pinnakonstruktsioo-niga ehk poorsed ja nende eeliseks on märja ilma korral hea pidavus ja võime heli neelata. Lisaks ohutuse suurendamisele summutavad pin-nad ka müra — nii rehvimüra kui ka mõningal määral mootorimüra.

Vähe-se müraga kate vähen-dab sõidukite müra tavaliselt umbes 2–4 dB, juhul kui pind on uus. Suurte kiiruste puhul võib neeldumine olla 5 dB.

Väljatöötamisel olevate uuemate teekatte tüüpide kohta arvatakse, et nende neeldumine võib olla kuni 6–7 dB. See tulemus saavutatakse ilmselt erinevate kiiruspiirangutega teepiirkonnas ja mitte ainult suurte kiiruste puhul. Mõningates riikides,

Euroopa emissiooninormide areng, L_{AFmax} (dB).

aastast	1972	-82	-88–90	-95–96
sõiduauto	82	80	77	74
buss	89	82	80	78
veoauto	91	88	84	80



Tüüpiline näide vähe-se müraga teekatte struktuuri kohta.

sh Hollandis ja Prantsusmaal, kasutatakse enamikul peateedest peamiselt väheste müraga teekatteid.

Kasutusel olnud esimesed väheste müraga katted kuluvad kiiresti, ja seetõttu ongi katete vastupidavus pälvinud katsetus- ja kasutuselevõtuetaapis kriitikat. Tiheda liiklusega katete jaoks on määravad just talvised tingimused. Vee jäätumine poorides võib struktuuri rikkuda ja naastrehvid kulutavad pinnakihti rohkem kui tavalise asfaldi puhul.

Soojades ja naastrehvide kasutamise kohustusest vabades riikides on väheste müraga teekatete vastupidavusprobleemid lahenemas, kuid Põhjamaades on olukord veel keeruline. Teekatte vastupidavuse parandamist uuritakse paljudes riikides endiselt põhjalikult.

Teeliiklus, liiklusolud

Liiklusvoolu müra tähtsateks iseloomustavateks tegureiks on kiirus, liiklustihedus ja raskeveokite suhteline osakaal. Mõnikord mainitakse nende tegurite kõrval ära ka liiklusvoolu sujuvust, mis on kas sujuv või siis ristmike ja valgusfooridega katkestatud, kuid selle tähendus on müra seisukohalt ebaoluline.

Liikluse müra sõltub:

- otseselt liiklustihedusest;
- kiirusest ligikaudu kolmandas astmes;
- oluliselt ka raskeveokite osakaalust.

Sõltuvuste järgi on näha, milline on põhimõtteline mõju, kui müra-tõrjemeetmed suunatakse mainitud teguritele.



Hämeenlinna magistraali väheste müraga teekatte katsetamine käivitus 2000. aastal; katet paigutati 2002. aastal.

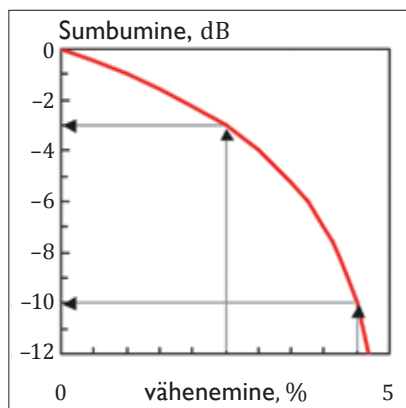


Tavaline kate.

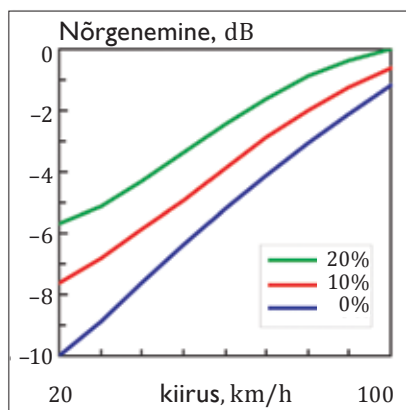


Väheste müraga kate.

Olulisteks liikluse sagedust mõjutavateks müratõrjemeetmeteks on liikluse ümbersuunamine ning liiklusvoolu piiramine kas sõiduki-tüüpide või kellaaja alusel. Hea näide piirangute kohta on veoautode liikluspiirangud või soovitatavad veoautode ümbersõidud ning öise aja liikluspiirangud.



Liikluse vähendamise mõju mürale. Liiklussageduse vähendamine poole võrra toob kaasa mürataseme vähendamise 3 dB võrra, mis on ka märgatav. Et tunnetada subjektiivselt müra vähendamist poole võrra ehk 10 dB, on vaja liikluse vähendamist 90% võrra.



Kiiruse vähendamise mõju mürale, parameetriteks raskeveokite osakaal.

Kohalike ametivõimude esmas- teks müra tõkestamise meetmeteks on liiklussageduse ja raskeveokite osa- kaalu reguleerimine. Kiirust ja sujuvust mõjutavad meetodid on teisejärguli- sed ja neid võib kasutada ülejäänud liikluse puhul.

Liikluse reguleerimine ja jaotus

Teedevõrgu jaotusega on võimalik suunata pikka teed sõitvate sõidukite liiklus peamagistraalidele, kontrollida elumupiirkondadest mitte- vajalikku läbisõitmist ja vähendada liiklust müratundlikes piirkondades. Enamlevinud liiklusvoolu mõjutamise viisid on

- kogujateed ja umbteed;
- ümbersõiduteed;
- ühissõidukite teed.

Kõige efektiivsem viis vähendada müratundlikel teesadel liiklust on suunata see ümber. Kui asulaliiklus suunatakse peateedele ja koguja- teedele ning ümbersõiduteedele, siis on see sageli paljudele elanikele märkimisväärselt kergenduseks.

Kogujateede ja ümbersõidutee- dega võib kaasna elumupiirkon- dade tänavate ja teede jaoks oluline müra vähendamine. Liikluse kaotamine ühe tee pealt suurendab aga müra teistel teedel. Müratase sõltub aga liiklussagedusest logaritmiliselt ja sellest on liikluse ümbersuunamise puhul siiski kasu.

Liiklussageduse vähendamine vä- hese liiklusega elumupiirkonna tänaval vähendab müra mitmete detsibellide võrra. Liikluse suunamine peateele, mille liiklussagedus on niigi suur, suu- rendab selle müra palju vähem.

Liiklussageduse vähendamise mõju ei sõltu ainult vähenenud liikluse osakaalust, vaid ka teistest teguritest. Kui liiklus väheneb poole võrra, väheneb müra 3 dB, kui ei toimu muid muudatusi. Kuid liiklussagedus ja -kiirus on enamasti korrelatsioonis ja liikluse vähenemine võib olla omakorda kiiruse kasvu põhjuseks. Seega ei pruugi liikluse vähenemine olla täielik lahendus.

Piirkondlikud ja ajalised piirangud (raskeliikluse liikluspiirangud)

Märkimisväärseks müra tõkestamise meetmeks on piirata raskeveokite liikumist müratundlikel teedel või piirkondades. Eriti juhul kui kiirused on väikesed, muutub raskeveokite müra valdavaks teguriks.

Raskeveokite sõidukeeld teatud piirkonnas võib olla kas teatud ettenähtud kaalust suuremate sõidukite täielik või osaline ajaline piirang. Paljudes Euroopa riikides kasutatakse näiteks öist ja nädalavahetuse sõitu keelavaid piiranguid.

Helsingi kesklinnas on raskeveokitele kehtestatud ulatuslik tsoon, kuhu sisenemine on lubatud vaid eriloal. Teine selle põhimõtte rakendus on näiteks Saksamaal paljude linnade kesklinnades kasutatav nn vaikne tsoon, kus tohivad liikuda ainult väga vähese müraga sõidukid.



Ühistranspordi eelised

Üks liikluse juhtimisviise on otseteede ja teiste analoogsete teede kasutamise lubamine ainult ühistranspordile (ja kergsõidukitele). Samas, kui raskeliiklusel ega ülejäänud liiklusel ei lubata müratundlikel aladel müra tekitada, kuid piirang ei kehti ühistranspordile (praktikas enamasti kohalikele bussidele), siis võib olla piirangu mõju müra vähendamise seisukohalt ebapiisav.



Kiiruse piiramine

Liikluskiiruse vähenemine vähendab enamasti ka müra. Kiiruse piiramine on oluline müra vähendamise lahendus. Meetmeid kiiruse vähendamiseks tuleks valida nii, et see ei tingiks väiksemate abimeetmete kasutuselevõtu vajadust. Meetodid peaksid olema suutelised kontrollima liikluse sujuvust, st eesmärgiks oleks rahulik sõiduviis.

Kiiruspiirangud

Kiiruspiirangud on kõige levinumad liikluse reguleerimismeetmed. Enamasti on nende peamiseks põhjuseks ohutus. Kui vähendatud kiirusest peetakse kinni, siis väheneb ka müra.

Piirkondlikud kiiruspiirangud on müra seisukohast efektiivsed vaid juhul, kui nende rakendamine on võimalik meetmetega, mis ei põhjusta kiirendamist. Kiiruspiirangute ületamine järelevalve puududes on teine probleem ja see mõjutab ka müra. Kiiruspiirangul võib olla taltsutav mõju suurte kiiruste ohjeldamisel.

Kiiruse vähendamine on liiklusmüra tõrjumiseks suhteliselt tõhus meede. Kiiruse vähenemine poole võrra alates kiirusest 100 km/h vähendab müra 5–6 dB, ning vähenemine poole võrra alates kiirusest 60 km/h vähendab müra 3–4 dB võrra. Nii suured kiiruspiirangute muudatused ainult müra vähendamise eesmärgil ei ole reaalsed, kuid ka kõige väiksema piiranguga kaasnevatest muudatustest on ilmselgelt abi.

Kiiruse järelevalve

Automaatne kiiruse järelevalve võib olla meetmeks, millega paraneb kiiruspiirangute järgimine. Enamasti ei põhjusta kiiruse piiramine müratõrje ja ohutuse suurendamise vahel ka vastuolu. Müra tähtsus suureneb, kui kiirust ületatakse õhtuse ja öise vaikse liikumise ajal, kuna siis suureneb mürakahjude võimalus, mis seisneb ärkamises ja unekvaliteedi vähenemises.

Liikluse sujuvus ja rahustamine

Sõiduki müra sõltub lisaks kiirusele ka sõidumaneerist—käikude kasutamise harjumusest ja võimalikust kiiruse muutusest, kiirendamisest või aeglustamisest. Kui juhid proovivad muuta oma sõitu ülejäänud liikluse või teeloludega vastavaks, võivad need tegurid vahelduda. Üksikute sõidukite puhul võib müra vahelduda palju, kuid kogu liiklusvoolu puhul on nii, et müratasemete vahed sageli pigem ühtlustuvad.

Enamasti aitab vähese müraga sõidustiil säästa ka kütust, vähendada heitgaase ja parandada liiklusohutust. Kütust säästvast sõidustiilist teavitamine aitab kaasa ka müra vähendamisele. Müra vähendamisele aitavad kaudsest kaasa ka näiteks kütuse tarbimist näitav mõõdik, püsikiiruse hoidja või kiirusepiiraja.

Mõningate rahuliku sõidustiili uurimuste käigus on leitud, et rahulik sõidustiil mõjutab müra vähenemist alljärgnevalt:

- sõiduautode puhul 5 dB;
- mootorrataste puhul 7 dB;
- ühissõidukite puhul 5 dB.

Ulatuslikumate liiklusvoolu uurimuste alusel

- jääb liikluse sujuvuse mõju mürale vahemikku 0–4 dB.



Kui silmaga nähtav olukord tänaval on piirangutega vastuolus, järgitakse piiranguid ilma järelevalveta halvasti.





Liiklustõkked ja visuaalse mulje kasutamine

Kiirust on võimalik piirata ka kiiruspiirangutest vahel isegi tõhusamate füüsiliste piirangutega. Kiirust mõjutavateks meetmeteks on näiteks

- tõkised,
- tee kitsendused, saarekese ja kõrvalteede lisamine.

Osa müra seisukohalt positiivsest mõjust on seotud sellega, et tee visuaalne mulje annab ülevaate teest, millel liikumiseks sobib madal kiirus. Müra seisukohalt on potentsiaalne oht see, et füüsiline tõke, eriti tõkis, tehakse liiga suur. Sellest võib tuleneda järsk pidurdus ja pärast tõkist uus kiirendamine.



Tee kitsendamine võib toimuda näiteks kõnnitee laiendamise või spetsiaalse jalgrattatee kasutuselevõtu kaudu. Sama mõju on sõidusuunaga põiki või kaldu paiknevatel parkimiskohtadel või siis kõrvalteedel, mille kasutamine muutub sõltuvalt parkimiskohtadest.



Teisteks tõketeks võivad olla „lamavad politseinikud”, saarekesed, bussi- või trammipeatuse taskud. Sellised tõkked vähendavad kiirust ja rahustavad liiklusvoolu, vähenevad näiteks kiirendamised. On märgatud, et tänu nendele meetmetele väheneb müratase enamasti 2–3 dB.

Tee projekteerimine

Ristmikud

Ristmikel on liikluse müra suurem kui sirgel teeosal. Autode müra suureneb kiirendamise ajal oluliselt, eriti juhul kui algkiirus on väike. Ristmike ja valgusfooride planeerimisega on võimalik mõjutada mõningal määral kiirendusi ja seeläbi ka müra.

Samuti avaldavad tee või ristmiku mürale mõju „roheline laine” ja sõidukitele reageerivad valgusfoorid. See mõju on enamasti aga vähene:

- „roheline laine” vähendab müra tavaliselt alla 2 dB,
- „punane laine” võib selle asemel aga tänu korduvatele kiirendustele suurendada müra palju rohkem.

Ringristmikel on enamasti vähem müra kui valgusfooridega varustatud ristmikel. Võrreldes otseteega mõjuvad sellised ristmikud alljärgnevalt:

- ringristmik suurendab müra umbes 1–2 dB,
- tavaline ristmik suurendab müra umbes 2–4 dB.

Valgusfooride kustutamine öiseks vaikse liikumise ajaks muudab liikluse sujuvamaks. Mürale see erilist mõju ei avalda, isegi kui kiirendused vähenevadki. Tavaliselt sõiduki kiirus sellises olukorras suureneb ja sellega kaasnev müra suurenemine nullib saavutatud kasu.





Tee geomeetria

Teeliiklusega kaasnevat müra mõjutavad nii tee kõrgus kui ka selle pikikalle. Vastumäge liiklus suurendab müra, isegi kui vastassuunalise liikluse müra väheneb.

Ümbritsevale maastikule on tähtis tee kõrgus. Tee laskumine süvendisse aitab müra tõkestada. Kõrgel vallil või sillal kulgev tee on vastukaaluks väga mürarikas. Soome suhteliselt tasasel maastikul on kõrgel kulgevad teed seotud enamasti veekogude ületamise või mitmetasandiliste ristmikudega.



Raudteeliiklus, allikavälised tegurid

Rongi endaga seotud müra tõkestamise meetmed on lisaks selle jõuallikale suunatavatele meetmetele ka rongide ratta- ja rööpamüra mõjutavad lahendused. Rattamüra vähendamisele lähenetakse enamasti kahest suunast: proovitakse vähendada ratta ja rööpa ebatasasusi ning kontrollida rööpa lainetust ja rataste kulumist.

Neist olulisim müra mõjutav tegur on rööbaste ebatasasus. Rööbaste regulaarne lihvimine vähendab lainetust märkimisväärselt. Vastavalt Soomes tehtud analüüsidele väheneb rööbaste lihvimisega müraemissioon umbes 3 dB.

Teisteks rongimüra välisteks vähendamise meetmeteks on müra kiirgust takistavate katete kasutamine vagunitel, rööpa kõrval asuvad mürabarjäärid ja rööbaste isoleerimis-meetodid. Viimased neist on rööbaste elastsed kinnitused, mis suurendavad rööbaste vibratsiooni neeldumist ja parandavad vibratsiooni isoleerimist tugikonstruktsioonist.

Sildade puhul on silla konstruktsiooni vibreerimise vähendamiseks





võimalik kasutada massiivset isoleermiskihti. Rööbaste vahel ja nende kõrval võib tõhustada maapinna võimet neelata õhuheli. Terrassild oma traditsioonilise kujuga on väga müratekitav sillatüüp. Betoonsild on praktiliselt samaväärne võrreldes otse maapinnale ehitatud raudteelõiguga.

Uute maa-aluste raudteelõikude, näiteks Helsingi metroo või Vuosaare sadamametroo planeerimisel tuleb arvestada eeldatava struktuurimüra levikuga maapinnas.

Raudtee uusimad seadmed, Pendolino, Intercity2 vagunid ning uued Sr2 vedurid ja Sm4 lähirongid, on oluliselt vaiksemad kui vanemad.

Lennuliiklus

Lennumüra on arusaadavalt äratanud kõige suuremat huvi. Selle vähendamisel on saavutatud märkimisväärset edu. Taas jagunevad meetodid kaheks:

- vaiksimate mootorite väljatöötamine;
- lennukite lennuoperatsioonide reguleerimine lennuvälja lähedal.

Lisaks üksikute lennukite müraemissioonile mõjutab lennumüra üldist taset ka lennusuundmuste hulk. Viimase 30 aasta jooksul on lennukite müraemissioon vähenenud keskmiselt üle 15 dB, mis on märkimisväärne saavutus. Kuid liiklustiheduse kasv on selle korrektsiooni suures osas nullinud ja müra tase on tervikuna vähenenud palju vähem.

Reaktiivreisilennukite müra-emissiooni kohta on aastate jooksul tehtud aina kitsendavaid norme. Emissiooni reguleeritakse rahvusvahelise tsiviillennunduse organisatsiooni ICAO määrustega. Pärast 2002. aasta aprilli ei tohi Euroopas lennata vanemate, 2. müraklassi lennukitega. Vaiksema, 3. müraklassi eesmärki-de seadmisest on möödunud juba paarkümmend aastat. Ka selle klassi nõuded on uusimale tehnikale ilmselgelt alla jäänud. Käimas on järgmise, rangema 4. müraklassi määratlemine; selle eesmärgiks on vähendada müra-taset 10 dB.

Mootorimüra

Reaktiivlennukite müra vähendamist uuritakse ja välja töötatakse praegustest vaiksemate mootoritega lennukeid. Näiteks 2001. aastal osales Euroopa Komisjoni algatatud SILENCE-uurimisprogrammis 51 organisatsiooni, kelle eesmärgiks sätestati müra vähendamine 6 dB võrra 2008. aastaks.

Paljud uued müra vähendamise meetodid on suunatud maandumismürale, mille vähendamine on osutunud raskemaks kui õhkutõusmise müra vähendamine. Helineeldumismaterjale või -konstruktsioone töötatakse välja just mootori imiava poolt kiiratava müra summutamiseks. Traditsioonilise tehnika kõrval on väljatöötamisel ka kaasaegne aktiivne müra vähendamise meetmete rakendamine (heli summutamine vastuheliga).

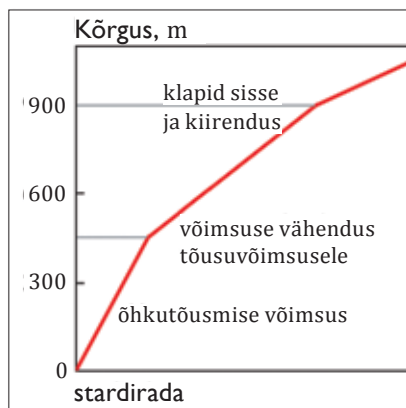


Lennuoperatsioonid

Lennuki müra sõltub otseselt lennutehnikatest. Müra võib sõltuvalt kasutatavatest õhkutõusmis- või maandumisprotseduuridest oluliselt erineda. Lisaks sellele võivad lennuväljal tekkivat müra mõjutada maapealsed operatsioonid.

Õhkutõusmis- ja maandumisprotseduurid

Nii õhkutõusmist kui ka maandumist puudutavate piirangute ja ettekirjutustega on võimalik vähendada lennuvälja müratsooni ulatust.



Suurimat mootorivõimsust kasutatakse ainult lendu tõusmise algetapis. Kui ohutu kõrgus on saavutatud, vähendatakse võimsust müra vähendamise eesmärgil.



Paljude lennuväljade juhiste koostamisel on arvestatud ka müraga.

Lennuk on kõige mürarikkam siis, kui see tõuseb täiel võimsusel õhku. Kui lennuvälja lähedal paikneb elamupiirkondi või muid müratundlike piirkondi ja lennuk ei liigu neist üle piisavalt kõrgelt, on müra vähendamiseks vaja kohaldada müra vähendamise meetmeid. Näiteks mootori võimsuse vähendamine tavaliselt kohe, kui ohutu kõrgus on saavutatud ja tõusmist jätkatakse laugemalt.

Lennuväljale lähenemise ajal võib olla müra sama suur nagu õhkutõusmise ajal, isegi kui mootori võimsus on palju väiksem. Lennuk lendab madalamal, kuna maandumine tuleb lennuohutuse seisukohalt sooritada laugjalt. Tüüpiline maandumisenurk on alates kõrgusest 600 m algava lõpuosa jooksul 3°. Instrumentaallennu puhul paikneb lennuk maandumisraja suunal tavaliselt juba umbes 20 km kaugusel lennuväljast.

Tavaline viis reaktiivlennuki pidurdamiseks maandumisrajal on pöörata mootorite reaktiiv vastupidi-sesse suunda ehk ettepoole (nn *reverse thrust*). See tekitab hetkelise tugeva müra. Paljude lennuväljade müra vähendamise juhised reguleerivad ka mootorite reaktiivi pööramist, samas kui mõningad lennuväljad ei poolda seda just müra tekkimise tõttu.

Lennukoridorid

Müratundlikest piirkondadest üle lendamise reguleerimiseks kasutatakse enamasti meetodit, mille puhul on lennumarsruudid täpselt piiritletud. Lennumarsruut on lennuki lennutee projektsioon maapinnal. Müra vähen-

damiseks optimeeritud lennumarsruute kasutatakse nii õhukütõusmistel kui ka maandumistel.

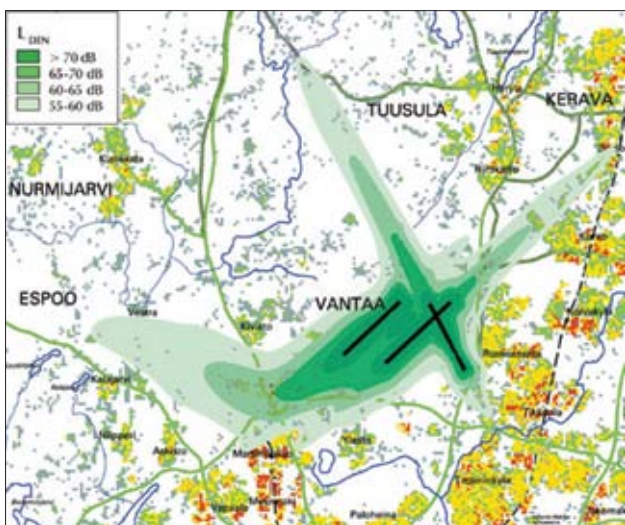
Näiteks Helsingi-Vantaa lennuväljal, mida ümbritsevad paljudest suundadest elumupiirkonnad, püütakse stardi- ja maandumiskoridore valida just lähtuvalt elumupiirkondade ohutusest. Pärast õhukütõusmist paljud lennukoridorid ühendatakse, tänu millele piiratakse müra levikut kitsa, harvalt asustatud piirkonnaga ja ka kaitstakse ulatuslikumaid tihedalt asustatud piirkondi.

Õhukütõusmise ajal kasutavad lennukid kõige rohkem lõunasuunalist stardirada. Kaks kolmandikku lendudest on võimalik sooritada müra seisukohalt kõige soodsamal viisil. Lennuohutus on olulisim põhjus, miks müra seisukohalt parimat stardi- ja maandumisteed ei ole võimalik alati valida. Uus, kolmas stardi- ja maandumisirada parandab müra vähendamise võimalusi oluliselt.

(Toim. märkus: Tallinna lennuvälja müra leviku iseärasus on ebasoodsa tuule suuna korral õhukütõusud otse üle linna ja maandumine üle tihedalt asustatud linnaalade. Reostuse ulatuse määravad eelkõige üksikud lennukid, st normid on ületatud maksimumtaseme osas.)

Mürakontroll

Paljudel suurtel lennuväljadel kontrollitakse õhukütõusmise ajal tekkivat müra tõusukoridori all paiknevate kontrollseadmete abil, mis näitavad, kas mootorite võimsusseadeid ja ettenähtud õhukütõusu profiili järgitakse. Soomes kasutatakse kontrollseadet Helsingi-Vantaa lennuväljal



Helsingi-Vantaa lennujaama müra-tsoonid vähenevad tänu uue, kolmanda stardi- ja maandumisiraja kasutuselevõtule märkimisväärselt (pilt: Ilmailulaitos).



Lennuameti kontrollmast (pilt: Ilmailulaitos).

(toim. märkus: sarnane süsteem on kasutusel ka Tallinna lennujaamas.)



Liikluse reguleerimine

Kellaajalised piirangud

See reguleerimisviis puudutab enamasti aega, millal teatud tüüpi lennukitel lubatakse lennata. Paljudel suurtel lennuväljadel kasutatakse öiseid piiranguid. Näiteks on reaktiivlennukitele keelatud mõni piirkond, stardi- ja maandumisrada või lennukoridor või on öisel ajal piiratud teatud reaktiivlennukite operatsioonide hulka või lendude aega. Äärmuslikuks näiteks on Šveits, kus öisel ajal on keelatud igasugune lennuliiklus.

Muud meetmed liikluse reguleerimiseks

Liikluse kontrollimisega seotud müratõrjemeetmed on operatsioonidele suunatud meetmete kõrval üldistunud. Üks halduslik, osaliselt ka müraga seotud meede on liikluse üldmahu piiramine, kasutades selleks näiteks lennukite ja operatsioonide jaoks broneeritud kindlaid ajavahe- mikke (*slot*).

Teine müratõrje meede on mü-
rast sõltuv astmeline maandumismaks
ehk müramaks.

Tugevat müra põhjustavate
lennukite kasutajad maksavad suure-
mat liiklusmaksu ja vaiksemate lennu-
kite kasutajad väiksemat maksu.

Tööstuslik müraallikate toime vähendamine

Tehniline tõkestamine

Erinevates tööstusvaldkondades esineb mitmeid, igale valdkonnale omaseid ja tüüpilisi müraallikaid. Kui eesmärgiks on vähendada tööstusest ümbruskonda levivat müra, siis ei ole paljud sisemüra vähendamiseks kasutatud meetodid efektiivsed või sobivad. Müraallikatest mainimisväärsamad on seadmed, mis paiknevad väljas või on välisruumiga seotud. Tähtsaimad tõrjemeetmed on helisummutid, kaitsed ja müratõkked.

Üldine tavaliste tööstuse müraallikate tehniliste müra vähendamise meetmete loetelu võiks olla alljärgnev:

- pöörlevate masinate helisummuti, ühendatud kas otse masinatega või siis nendeni viivate torude või kanalitega;
- müratõke, boksid, kaitsed või kiirgust vähendav vooderdus, või isegi spetsiaalne müra jaoks konstrueeritud kabiin või hoone;
- tugevdatud heliisolatsioon hoone välisvooderduses, akendes, ustes, ventilatsiooniseadmetes või teistes väljaviivates avades;
- viimane, kuid mitte vähemtähtis, on algset müra tekitavat tegevust asendav vähese müraga lahendus, seade või tootmisviis.

Diiselmootoriga masinate müra vähendamisele ei ole pööratud nii palju tähelepanu kui raskeveokite mürale, kuna nõuete tase ei paikne samas klassis. Vajadusel võib ka tööstusmasinate müra vähendada nii, et kasutatakse näiteks veoautode puhul juba äraproovitud meetodeid.



Kiirgust vähendav vooderdus.



Väljuva toru või kanali jaoks on vaja enamasti helisummutit.



Vähesse müraga lahendused

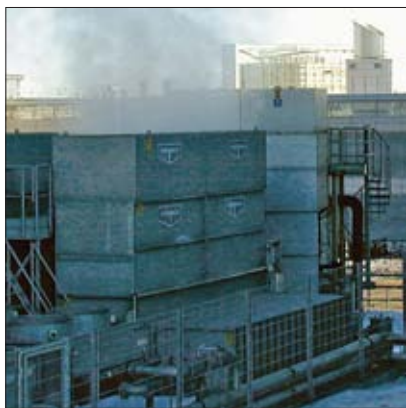
Vähesse müraga lahendused on näiteks üldine kiiruse vähendamine või löömise asemel keeramise või lõikamise kasutamine jms. Üldise müra vähendamise puhul kehtivad alljärgnevad põhimõtted:

- kiiruse vähendamine;
- sageduse muutmine;
- kiirgavate pindade vähendamine;
- kiirgust vähendav vooderdus.



Kiiruse vähendamine on hea meede nii vaheaine, õhu, gaaside kui ka vedelike voolamisel, samuti pöörlevate masinate puhul. Kiiruse vähendamine toimib ka löökide ja kokkupõrgetega kaasneva müra puhul.

Heli sageduse muutmine on seotud eelnevaga: pöörlevate masinate suur võimsus ja väike kiirus tagavad väiksema sageduse. Nii on tulemuseks madalama sagedusspektriga müra, millel on kuulmismeele eripärast ja A-korrektsoonist lähtuvalt madalam tase (vt A-korrektsoon, punkt 2.2).



Kiirgavate pindade vähendamine vähendab ka müraemissiooni. Suured ühtsed pinnad kiirgavad heli väga tugevalt. Korrigeerimismeetmeteks on näiteks pindade jagamine osadeks, üksteisest eraldamine või perforatsioon.

Näiteid vaiksema tehnika kohta:

- konveier või kraana on vaiksem kui laadur;
- elektrimootor on vaiksem kui diiselmootor;
- sein, vahesein või töö muudab müra suunda, helineelav sein imeb selle endasse;
- ventilaatorite juures tuleb kasutada helisummutit;
- kompressorid vajavad nii helisummutit kui ka kaitset.

5.2 Tegevuse piiramine

Lubade süsteem

Ametkonnad võivad sätestada müra häiringu vähendamiseks teatud tingimusi. Lubade süsteemi rakendamine on enamasti seotud müra helirõhutasemega kindlas kohas, näiteks lähimate elumajade juures või kõige tundlikumatel objektidel, kus vajadusel lubades sätestatud tingimuste täitmist ka kontrollitakse. Sellise lubade süsteemi rakendamise taustaks peab olema loomulikult piisavalt põhjalik ja usaldusväärne analüüs, mis käsitleb konkreetse tegevusega keskkonnale põhjustatavat müra. Harvemini seatakse tingimusi müraemissiooni kohta.

Lisaks helirõhutaseme tingimusele võib seada tingimuseks ka näiteks mürarikka tegevuse ajalise piirangu, mis puudutab kellaaega, nädalapäevi või aastaaega. Kui mürarikas tegevus on tuttav, reeglina pidevalt toimuv (korduv vms) ja normtasemeid ei ületata, siis ei ole vaja müra helitase-me tingimust eraldi mainida. Ajalise või mahupiirangu võib seada ainult konkreetsetele või spetsiaalsetele müraallikatele.



Tegevusaja ja -mahu piirangud

Tavapärasem müra vähendamise meede on müraallika tegevusaja piiramine, sest nii lüheneb ka müra toimeaeg. Teine piiratud asjaolu võib olla maht, näiteks tootmiskaht või müra põhjustavate sündmuste või tekitatavate üksuste hulk. Tavaliselt kasutatakse neid viise ühe osana tööstuse, purustuse ja lõhkemise ning vabaaja müra vähendamisel.

Kasutusaja piirangute seadmine toimub kahel moel. Võib viidata otse normtasemete päevase ja öise aja piirangutele või sätestada, et müra tohib põhjustada ainult väljaspool kindlaksmääratud aega. Lubade väljastamisel vaadeldakse aega alati iga juhtumi puhul eraldi. Lubade väljastamise tingimustes tuleb selgitada, kuidas võrreldakse müraallika tegevusaja helitaset normtasemega. Lisaks sellele tuleb esitada vajalikud määratlused ka rakendusmeetodi, näiteks mõõtmise kohta.

On tähelepanuväärne, et keskmise helitaseme **määratlemisele** järgneb alati taseme langemine kogu ettenähtud aja jooksul. Teisiti öeldes, kui müraallika reaalne tegevusaeg jääb veel lühemaks kui normtaseme või loa väljastamise tingimusega sätestatud aeg, võib allika põhjustatav helirõhutase olla reaalsel tegevusajal mõnevõrra suurem kui normtaseme või lubade väljastamisega seotud tingimuste tase, kuid hoolimata sellest püsitakse nõuete piires.

Näide: keskmise helitaseme tingimus on $L_{Aeq} \leq 55$ dB, ajavahemikus kell 08–16. Kui allikas töötab päeval ajal ainult 4 tundi, siis selle tekitatud tase võib maksimaalselt olla 58 dB; kui see töötab ainult 1 tunni, võib tase olla 64 dB.

Üheks võimalikuks täienduseks—eriti just öisel ajal—võib olla, et lühema aja (nt mürarikama tunni) keskmise helitaseme kohta määratakse lisatingimus.



5.3 Mära leviku mõjutamine

Mära vähendamist selle allika juures peetakse põhjendatult otstarbekaks meetodiks. Laiemas ulatuses ennetatakse uute müraprobleemide teket eelneva planeeringuga. Sellega mõjutatakse müraallikate paigutust, müra liikumisteid, müraallikate ja -objektide vahelisi kaugusi ning objektide paigutust üksteise suhtes.

Üleüldiseks müra levikuga seotud meetmeks on broneerida liiklusmagistraalide ja nende lähipiirkondade planeeringutega seotud lahenduste abil müra levikule „oma ruum“. Samamoodi võib lennumära korral lennuoperatsioonide ja -koridoride abil suunata lennumära eraldi piirkonda, mis vähendab lennumära mujal ja seeläbi mõjub positiivselt elanikele.

Juba olemasoleva müra vähendamiseks on sageli vaja viise, millega müra levikut piirata. Paljudele müraallikatele sobivad müraallika paigutusega seotud meetmed ja müratõkked.

Planeering ja maakasutus

Kiirtee või raudtee on keskkonnas valitsevad müraallikad. Kui uut

liiklusmagistraali planeeritakse läbi olemasoleva asulapiirkonna, tuleb seda teha vastavalt väljaehitatud keskkonna tingimustele. Magistraali planeerimine, eriti selle paigutus, on keskkonda leviva müra seisukohalt otsustava tähtsusega. Kui magistraal kulgeb läbi tulevikus planeeritava või arendatava piirkonna, on võimalik mõjutada mürasündmust palju efektiivsemalt maakasutuse kaudu.

Maakasutusel põhineva müra vähendamise õnnestumine sõltub planeeritava piirkonna suurusest, maastiku vormidest ja planeeringu lahendustest. Peamisteks võimalusteks on:

- müraallika ja müratundliku objekti vahele varutakse võimalikult suur kaugus;
- müraallika ja müratundliku objekti vahele paigutatakse müra taluvaid lahendusi, näiteks parkimisala, kaubandus- või tööstustegevus või vaba ruum;
- üksikute objektide asemele proovitakse planeerida elamu-piirkonnad, millest tulenevalt võib hooned ja muud müra mõjutavad tegurid paigutada ka müra toime suhtes soodsamini.





Kauplused peamagistraali ääres.



Endisele tühjale alale, mürarikkale ristmikule, rajatakse uus kontorihoone; koht ei sobi näiteks väljas viibimiseks.



Parkimisplats või spordiväljak sobib peamagistraali müratõkke äärde (Kehä 1).

Mürapiirkonnad ja asutuste paigutus

Eduka müra vähendamise eelduseks on, et maakasutus ja liikluse planeerimine toimuksid tihedas omavahelises koostöös, nii on võimalik paigutada müratundlikud ja müra taluvad ehitised eraldi. Üldjoontes, laiema terviku planeerimisel tutvustatakse peamagistraalide ja ehitiste paigutust, teedevõrgu jaotust ning ühis- ja kergliikluse põhimõttelisi lahendusi.

Elanike müratundlikkusega proovitakse arvestada vastavalt võimalustele. Eluhoonete paigutamisel võetakse arvesse nii hoonete kaugust teedest kui ka müratundlike ehitiste kaitsmise võimalusi.

Elumajad paigutatakse peamagistraalidest kaugele või vähemalt neist eemale. Kergliikluse marsruudid paigutatakse kvartalite keskele. Tundlikumad ehitised nagu koolid ja raviasutused paigutatakse kaitstuma-tesse kohtadesse.

Töökohad, tootmine ja teenused võivad paikneda ka mürarikkamas keskkonnas. Reaalsed müratekitavad





Avatud ruumi kasutamine.

ehitised, näiteks tööstushooned, võib paigutada mürarikastesse piirkondadesse, liiklusmagistraalide äärde. Müra taluvad ehitised võivad olla müra põhjustavate ja müratundlike piirkondade vahelisteks puhvriteks.

Näiteks kaitseb kergetööstuse paigutamine magistraali äärde tee lähedal olevaid elumaju. Kaugemal olevatel elumajadel analoogne kaitse puudub, kuid nende kaugus on suurem ja helikeskkond on piirkonnas juba vastuvõetav. Tee ääres oleva avatud ruumiga võib kaitsta elumaju tänu tee piisavale kaugusele. Sama kaitset pakub mürataluvate, kuid meelelahutust suurendavate tegevuste (sh liikumine ja väljasviibimine) tsooni kasutamine.

Müraallikate paigutus

Tee- ja raudteeliiklus

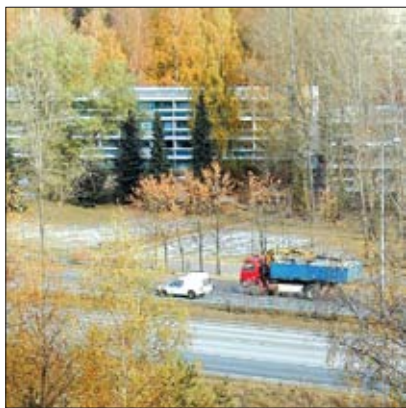
Müra vähendamise põhimee-
todite hulka kuulub piisava kauguse
tagamine müraallika ja objekti vahel.
Üldlevinud rusikareegli alusel saadakse
kaugust kahekordistades tulemus,
mil liiklusega tekitatud müratase vähe-
neb maastiku omadustest ja kujust
sõltuvalt 3–5 dB. Elamupiirkondade



Alguses oli maja ja selle juurde tekkis peamagistraal.



Alguses oli peamagistraal ja elamupiirkond ehitati selle äärde.



Kaugus on avatud maastikul ainus, kuid sageli ka kasutu abivahend.

müra eest kaitsmine on seega võimalik liiklusmagistraalide paigutamisega neist võimalikult kaugele.

See meede on suhteliselt ebaefektiivne, eriti eraldi kasutatuna. Mõnikord võib see olla ainus kasutusel olev võimalus. Kui elumaja on kõrge, ei ole paljude teiste meetmete kasutamine võimalik. Kõrgeid elumaju ei peaks peamagistraali lähedale üldse paigutama.

Lennuliiklus

Lennuväli eeldab head maakasutuse planeerimist. Lennukoridoride ja müratundlike piirkondade vahele on vaja jätta piisav kaugus. Uue lennuvälja puhul on piisavalt suure ala leidmine raske igal pool, va juhul, kui lennuvälja ei ehitata linnast kaugemale. Üks viimase aja äärmuslikest näidetest on Montreal, mille uus lennuväli asub kesklinnast lausa 85 km kaugusel. Seda luues oli võimalik muuta kogu 300 km² suurune müra-
piirkond lennuvälja piirkonnaks.

Kui olemasolev lennuväli põhjustab probleeme ning kasutatavat ruumi on vähe, tuleb rakendada muid meetmeid:

- mürapiiirkondadel põhinev planeerimine, millega suunatakse elumajade, vabaajakeskuste ning tööstuse ja töökohtade paiknemist;
- maa vabatahtlik muretsimine või sundvõõrandamine, mille abil antakse mürapiiirkonnad müra taluvate ehitiste kasutusse;
- rahalised hüvitised, millega toetatakse näiteks heliisolatsiooni korregerimist.

Müratõkked

Põhilahendused

Tee või raudtee äärde püstitatud müratõke on lihtne viis müra vähendamiseks. Saavutatava parenemise osas on see ka oma kulutustelt suhteliselt soodne. Tõkete põhilahendused on alljärgnevad:

- mürakaitseekraan;
- müravall;
- mürabarjäär.

Mürakaitseekraani jaoks on vaja vähem ruumi kui valli jaoks, kuid selle ehitamine on kallim. Valli ehitamine eeldab ruumi, kuid seda kasutatakse enamasti ainult uue tee või piirkonna ehitamisel. Parimal juhul tekib vall väheste vaevaga pinnasemassidest, mis on tee-ehituse käigus ülejäänud.

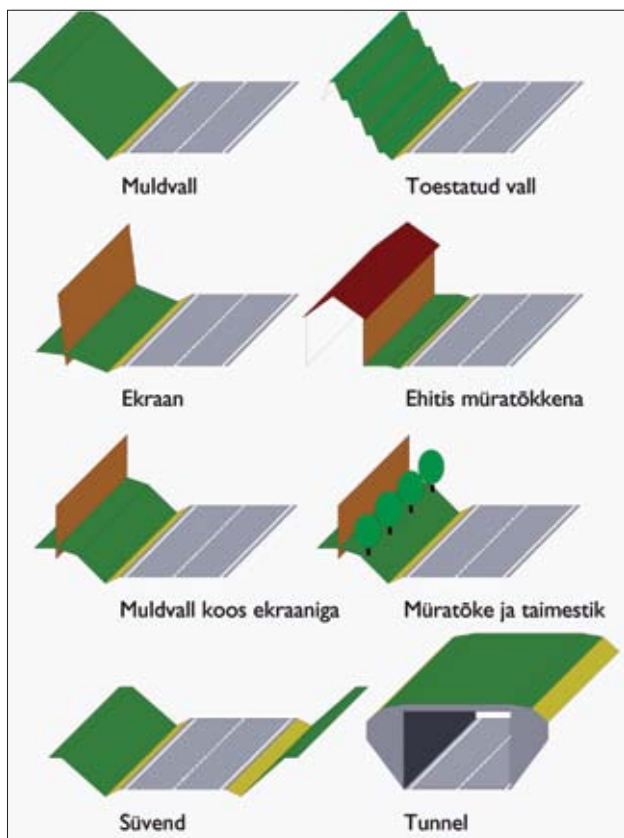
Kitsas kohas, eriti valli või silla peal, võib rahulduda vaid madala mürabarjääriga. Ka selle mõju on märkimisväärne, kui just kaitstavad objektid ei paikne teest palju kõrgemal.

Tõkete puhul on kasutatud mitmeid erinevaid materjale. Näited neist on pildidel. Kõrgeimad tõkked on üle 8 m kõrgused. Mõningateks uuemateks tõkketüüpideks on pealisehitisega varustatud tõkked, kallutatud tõkked ja taimeistikust tõkked.

Rakenduspõhimõtted

Tõkke kasulikkus sõltub esmajärjekorras selle kõrgusest. Lisaks sellele peab tõke olema pikk ja tihe ning piisavalt heliisoleeriv ja enamikul juhtudel ka helineelav.

Kõrge ja pikk tähendab seda, et tõke peab katkestama otsese silmkontakti müra tekkekohtadega kogu ettenähtud teekonna ulatuses.



Müratõkete põhitüübid.

Põhimõtteliselt ei tohiks teel sõitvate autode rattad olla elamu akendest näha (loomulikult ei kehti see läbi-paistvate tõkete puhul).

Tiheda all mõistetakse seda, et näiteks tõkke sammaste või vuukide kohal ei tohi olla pragusid. Kui vundament on kõva, siis ei tohi olla pragusid ka maa piiril ega tõkke allääres. Viimast ettekirjutust on vaja kohaldada näiteks teeäärsete vallide või sillal paiknevate tõkete puhul. Piisav heliisolatsioon saavutatakse juba teatud massi puhul (umbes 10 kg/m^2), st isegi punnlaudis või tollipaksune plankaed on piisavalt massiivne.



Praktikas esinevad müratõkke rakendamise probleemid enamasti mujal kui akustilistes omadustes. Vundament peab olema tugev. Arvestada tuleb ka lume aurustumise ja vandaalitseamise võimalusega. Hea müratõke on ka ilus oma kujult, materjali ja värvide ning paigutuskoha sobivuse poolest.

Tegevus ja tõhustamine

Liitsa, õhukesest ja sirgest seinast tehtud mürakaitseekraani tööpõhimõte ja tõhusus on tänu erinevatele mõõtmistele hästi teada. Hea müratõke summutab müra umbes 15 dB ja äärmisel juhul võib mürataseme vähenemine olla lausa 20 dB.

Kui kaitstavad hooned asuvad elava liiklusega tee lähedal, jääb keskmine saavutatav mürataseme vähenemine vahemikku 5–10 dB. Suuremate kauguste puhul võib tõkke kasu olla oluliselt väiksem.



Halvimal juhul võib tõke isegi müra levikut suurendada. Nii võib juhtuda, kui müraallikas asub ühtlase maapinna suhtes liiga madalal ja tõke paikneb samuti suhteliselt madalal. Sel juhul võib tõke nullida muidu eksisteeriva maapinna neeldumise.

Tõkke efektiivsust on võimalik korrigeerida ilma selle kõrgust suurendamata. Hästi teadaolevad ja laiaulatuslikult järeleproovitud korrigeerimismeetmed on

- helineelav tõke;
- valli ja tõkke kombinatsioon;
- taimestikust tõke;
- kallutatud tõke.



Tõkete põhiprobleem seisneb selles, et neist on kasu vaid alumiste korruste puhul.

Veidi vähem uuritud meetmeteks on näiteks

- hajutav või profileeritud tõke;
- vooderdatud tõke;
- topelttõke.

Lühemate katsetuste objektideks olnud või vaid soovitatud põhimeetmeteks on näiteks erinevate helilainete interferentsi ehk helilainete sumbumist soodustavate sõrestikuga, resonaatoriga või mõne muu spetsiaalkonstruktsiooniga varustatud tõkettüübid.

Helineelav tõke

Tõkke pind muudetakse helineelavaks, et müra ei peegelduks pinnalt tagasi ega suurendaks müra tee vastaspoolel. Hästi töötava helineelava tõkke neeldumisomadused peavad vastama väga rangetele nõuetele. Tõke peab olema helineelav väga laial sagedusalal, näiteks vahemikus 300 Hz–5 kHz.

Selle teostamine on võimalik, kuid mitte lihtne. Kui tee mõlemal poolel on hästi helineelavad tõkked, siis võib lisaneeldumine võrreldes kõvade tõketega esineda hoopis tõkke lähedal harjaga külgnevas nägemispiirkonnas. Paranemine võib olla +3 dB.

Ühel pool liiklusmagistraali asuva helineelava tõkke mõju sõltub sellest, kas tegemist on tee või raudteega. Ei ole päris kindel, et ühepoolse tõkke helineelavatest omadustest oleks teeliikluse mürale olulist abi. Siiski on tõkke lähedal liikuva rongi müra neeldumine märkimisväärne, kasu on umbes 3–4 dB. Selle seletuseks on rongi küljepind: kui neeldumist ei toimu, siis liigub rongi ja tõkke vahel edasi-tagasi peegelduv heli lõpuks üle tõkke.



Helineelavad tõkked.



Kombineeritud tõkked

Vall, mille harjal on tavaline õhuke tõke, on osutunud tõhusamaks kui ainult üks kõrge õhuke tõke või ainult üks kõrge vall.

Taimestikust tõke

Kesk-Euroopas on läinud moodi tavapärasest taimestikutsoonist erinev taimestikust tõke. Tõke moodustub tihedast taimestikust, mille juured on „pakitud” valli. Pakendi sidumine ühe koha peale on võimalik näiteks pajuokstest punutud võrgu abil. Tõkke akustilise mõju kohta ei ole veel piisavalt infot.



Kallutatud tõke

Kallutatud tõke kaldub kas teelt vaadatuna tahapoole, mille eesmärgiks on suunata teelt peegelduv müra ülespoole, või tee poole, mil eesmärgiks on suunata tõkke hari teele lähemale. Helineelava tõkke ehituskulud võivad olla suured. Paljudel juhtudel võib saavutada samasuguse tulemuse ka vormitud tõkke abil. Tõkked, mis on vormitud heli hajutavaks või seda ülespoole suunavaks, võivad osutada soodsamaks ja sama tõhusateks nagu helineelavad tõkked.



Hajutav tõke

Hajutava tõkke pind lainetab. Selle eesmärgiks on hajutada sealt peegelduv heli mitmesse juhuslikku suunda. Hajutamise mõju on enamasti suhteliselt vähene, seda just liikluse ehk liikuvate heliallikate puhul, kuid lokaalsete allikate hajutamine võib olla tõhusam.

Pikisuunas profileeritud ehk „võrestikraamharjaga” tõkke harja kõrgus vaheldub regulaarsete perioodide tagant. Selle eesmärgiks on luua tõkke taha liikuv interferentslainetus. Profileerimist on uuritud enamasti vaid arvuti- ja miniatuursete testidega, mis on andnud vastakaid tulemusi.

Kaetud tõkked

Vormitud tõkkest parema rühma tunduvad moodustavat kaetud tõkked. Nende all mõeldakse tõkke harjal paiknevaid pealisehitisega varustatud tõkkeid. Kõige rohkem on katsetatud ristlõikelt T-tähe või kreeka Ψ kujulisi tõkkeid.

Pealisehitis võib koosneda ka ainult tõkkega samasuunalistest lisäärikutest või -tiibadest. Kui pealisehitis on pealt helineelav või tiibade sisepinnad on helineelduvad, siis kasvab tõkke helisummutus oluliselt, võrreldes sama kõrge põhitõkkega. Paranemine võib olla 2–3 dB.

Topelttõke

Korrigeerimislahendustest tõhusaim tundub olevat kahest järjestikusest, lihtsast ja samasuunalisest tõkkest moodustuv süsteem. Nende kõrguste määramisel lähtutakse sellest, et heli murdub üle mõlema tõkke harja. Topelttõkke eelduseks on laiem maa-ala kui tavatõkke puhul, kuid vahepeal võib paikneda istikuid, kergeliikluse magistraal vms. Tõke ise võib olla oluliselt madalam kui sama tõhus tavatõke.



Erinevad materjalid ja teostused — ka konteinerite virn on hea tõke.



Süvend

Tee kõrgus on müra seisukohalt ümbritseva maastiku jaoks olulise tähtsusega. Piisava kauguse või tavaliste müratõkete alternatiivina võib paigutada tee tavapärasest madalamale või päris süvendisse.

Müra seisukohalt on alati soodsam ehitada tee maastiku suhtes madalale. Isegi kui tee ei asukski süvendis, suurendab väike kõrgusevahe akustiliselt pehmete looduslike maapindade põhjustatud neeldumist.



Madala tee korral suureneb pehme maapinna neeldumine. Süvendi puhul töötavad selle ääred müratõkkena. Kui soovitakse väga suurt müra vähendamist, siis võib mõelda isegi süvendi katmise või tunneli ehitamise peale.

Süvendi seinad varjestavad süvendis asuva tee müra enamasti väga hästi. Kui seinad on algselt kõva pinnaga, võib vastaspoolelt tulev peegeldus tõkke mõju vähendada. Sel juhul tuleks suurendada seinte helineeldumist.



Kui tee jaoks varutud kogulaius ei ole väga kitsas, võivad vallid olla kasulikud, sest nii ei kaasne nendega peegeldusi horisontaalasendis külgedele. Selle meetme negatiivseks pooleks on süvendi mürasumbuvuse vähenemine, kuna tõkke kasulik hari paikneb külje peal.

Süvendi sügavus seega eriti müra ei mõjuta, kuna oluline on vastasasuvast pinnast tulenev peegeldus. Teisiti öeldes ei kaasne süvendi lisasüvendamisega väga suurt lisatulu. Kui peegeldav pind tehakse helineelavaks või kallutatakse, siis muutub ka olukord ja paraneb mürasummutus.

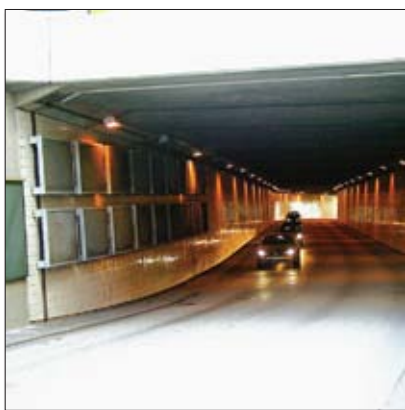
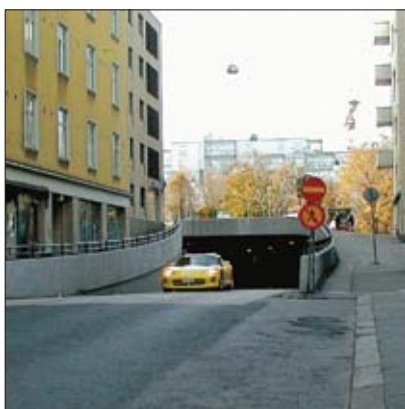
Katus ja tunnel

Kallis, kuid tõhus lahendus on tee osaline katmine võrestikulaadse konstruktsiooniga. Äärmisel juhul võib katta tunneliga kogu tee. Näiteks Kesk-Euroopa ja Jaapani tihedates elamu- ja liikluspõrkkondades peetakse kriitilistes kohtades või terve tee ulatuses aina sagedamini vajalikuks kaitsta teed võrestikkatustega.

Katus võib olla mitut tüüpi, see võib paikneda näiteks sõrestikuna või palgireana, mis on asetatud pikali süvendi peale ja kaetud alati kuni tunnelini välja. Sõrestike või palkide helineelduvusest näib olevat palju kasu. Helineelav palgirida sarnaneb oma neeldumisomadustelt terve katusega, kuid see laseb läbi valgust ja heitgaase.

Kõige tõhusam, kuid ka väga kallis müratõke on tunnel. Tunnel ehitatakse harva ainult müratõrje eesmärgil, kuid tunneli ehitamisega on mõju mürale ilmselgelt tuntav. Tunnelleid rajatakse asulate keskustesse, kus maa on kallis, eriti siis kui nende peale on võimalik ka ehitada.

Tunneli suudmeavad tuleb vooderdada helineelavate pindadega, sest nii ei pääse tunneli seintest peegelduv müra vabalt liikuma. Helineelav vooderdus võib parimal juhul vähendada suudmeava müraemissiooni kuni 10 dB. Isegi kui vooderdust on vaja vaid piiratud teelõigule ava suudmest sissepoole, võib helineelava pinna kasutamine kogu pikkuses olla odavam kui näiteks tunneli seinte plaatimine.





Taimestik

Sageli soovitatakse, et keskkonnamüra levikut vähendataks taimestikutsoonide abil. Akustika poolelt seda soovitud ei soosita. Puude, põõsashakkide või metsatsoonide neeldumisvõimet hinnatakse sageli üle, sest taimed ei suuda tegelikult liikuva helilaine energiat olulisel määral summutada.

Vähene, mõne detsibelli suurune neeldumine kaasneb alles siis, kui tsoon on väga tihe ja mitmekümnete meetrite paksune. Lisaks puudele peab olema tihe ka alustaimestik.

Üheks täiendavaks selgituseks taimedega seotud helineeldumise oletuste kohta tundub olevat see, et taimed tõepoolest summutavad müraspektri kõrgsagedusega osa ja muudavad müra seeläbi oma helilt meeldivamaks, isegi kui selle tugevus ei vähene. Teine seletus põhineb pehme maapinna neeldumisomadusel. Subjektiivse helineeldumise tunne põhinebki tegelikult maapeegeldusel, mitte taimestikul.

Üldkäsitluse kohaselt põhinevat arusaam taimestiku neeldumisvõimest eelkõige psühholoogilisel mõjul. Inimestele tundub, et kui nad näevad vähem, siis nad ka kuulevad vähem. Teisiti öeldes tekitab silmside katkemine müra tekitajaga iseenesest positiivse mulje.

Seda põhjust ei tuleks alahinnata ega taimestiku kasutamisest müra-tõrjena loobuda, isegi kui füüsiliselt kohaldatav helineeldumine puudubki. Lisaks sellele on taimedel liiklusele ka muid positiivseid mõjusid.



Silmside müratekitajatega puudub — kuusik varjab autotee.

Hooned kui tõkked

Müratõkkega sarnast mõju võib saavutada ka hoonete kasutamisega. Pikk ja üheosaline hoone või majade rida peatee või raudtee suunas kaitseb hästi tagapool asuvaid maju või piirkonda. Mida kõrgem esimene majade rida on, seda parem helivarjestus saavutatakse.

Juba üheosalisest autogaraažist või varjualusest piisab õue ja alumise korruse müra vähendamiseks. Kahekorruseline maja on iseenesest juba tõhus müratõke, sest selle müra-summutus võib õues olla 10–15 dB. Järgnevatest majade ridadest esimese rea taga ei ole enam nii palju kasu kui esimestest, mille taga paikneb avatud maastik. Ülejäänud majade read suurendavad müra-summutust ainult mõne detsibelli võrra.



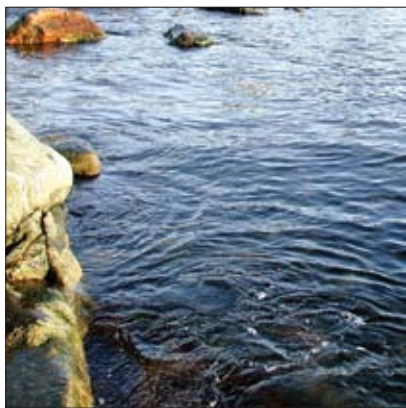
Kontorihoonete rida kaitseb...



...elamupiirkonda selle taga.

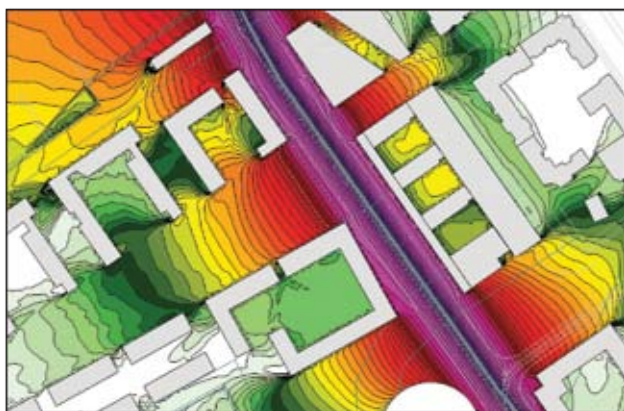


Madal hoone kaitseb madalamaid kihte.



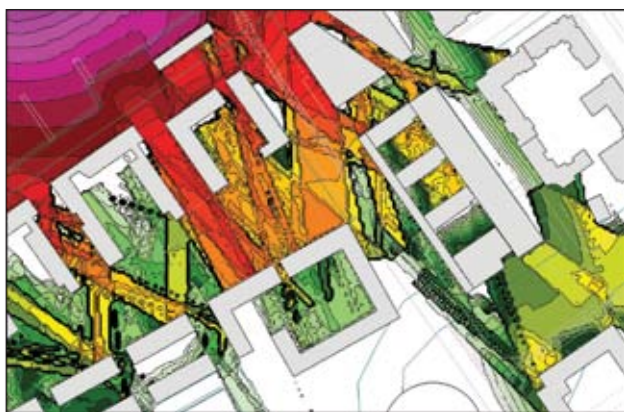
5.4 Ehitusobjektide kaitse müra eest

Paljudel juhtudel ei ole müraallika summutamine ja selle leviku tõkestamine piisavad. Järele on jäänud kolmas meede, mis sobib kõikidele liiklusevormidele ja ka teistele keskkonnamüra liikidele — müra eest kaitstavaks objektiks olevate hoonete planeerimise või remontimisega vähendatakse müra mõju sees või väljas.



Lisameetmeid vajab eriti just lennuliiklus, isegi kui lennutegevusega seotud müra vähendamise meetmetega kaasnebki oluline müra vähenemine. Maakasutuse meetmete kõrval on teisteks lennumüra vähendamise meetmeteks hoonete heliisolatsiooni parandamine ja sellega seotud majanduslik toetus.

Uue hoone projekteerimisetapis on võimalik mõjutada nii hoone kuju ja suunda kui ka selle siseruumide paigutust. Olemasolevates hoonetes on võimalik muuta ruumide kasutust, kuid enamasti on probleemsetes olukordades vaja siiski heliisolatsiooni parandada.



Ehitatud keskkonnas võivad müra liikumissuunad olla keerulised. Liikluse ja punktallika müra.

Kui müra vähendamise meetmeks on hoone välispiirde heliisolatsiooni parandamine, on oluline, et arvestataks kõikide võimalike müra levikuteedega. Tee- ja raudteeliikluse seisukohalt on kõige tähtsamad välisseinad, aknad ja värskõhuklapid. Lennumüra seisukohalt on olulised ka katus ja selle ühendus seintega ning katusel olevad ventilatsiooni sissepuhke- ja väljatõmbeavad.

Hoonete kuju ja suund

Põhimõtted

Majade teistest eraldi paigutamine on müra seisukohalt halb lahendus—nii ei teki üldse müravarjestusi. Müra liigub sumbumatult majade vahelt läbi, kuna kõrvalolevate majade seinte kõvad pinnad peegeldavad heli ka sinna, kus üksik maja varju jääks.

Kasutu on ka majade paigutamine tee suhtes põiki, st otsaga tee poole. Iga pikk külg saab endale poole otse liikuva heliallika mürast, kuid kui kõrval on teine maja, siis suunab selle põhjustatud peegeldus välisseinale ka teise poole mürast. Müra on peaaegu sama palju nagu pikuti paigutatud maja tänavapoolsel seinal.

Üksikute majade tavaline lisasummutusvõime on umbes 5 dB 100 meetri kohta. Üksikud majad tuleks paigutada alati teega paralleelselt, st sellega samas suunas. Nii ollakse vähemalt maja vaikse poole keskpaias helivarju piirkonnas.

Mürarikkas keskkonnas võib mõnikord vajaliku hea heliisolatsiooni asendada või seda täiendada ka hoonete kuju ja paigutustega. Elumajades tuleks seada eesmärgiks võimalikult ulatuslikud vaikselt poolel olevad seinaosad ning piirata müra levikut õuepoolsetele aladele.

Hoonete omavahelise paigutamise juures on eesmärgiks peegelduste vähendamine või nõrgendamine ning ühtsete ja kaitsvate ehitusmassiivide teke. Kaks lähedistiku paigutatud hoonet võib omavahel ühendada nii, et nendevaheline ava sulgetakse kerge



konstruktsiooniga müraseinaga. Nii muutub õue vaid osaliselt kaitsev hoonete ala ühtsemaks.

Elava liiklusega peatänavalt eralduvad põiktänavad võib kaitsta ühtse ehitusmassiiviga, sulgedes kõrvaltänavatele viivad lahknemised ja jättes tänavatele vaid väravaaluse käigu moodi tunnelid. Mõju on suurem, kui tunneliavad varustatakse heli neelavate pindadega.



Ajalooline ülevaade

Suur osa elamuehitusest on pärit varasematest aastakümnetest. Erinevatel ajaperioodidel valitsenud suunad on olnud müra seisukohalt väga erinevad. Kui uusi elamupiirkondi planeeritakse, on võimalik arvestada ka nähtavate müra mõjudega. Juuresolevad pildid tutvustavad mõningaid elamupiirkondade arhitektuuri tüüpilisemaid müra levikut mõjutavaid tunnusoone.



1920ndate lõpus ehitati linna keskused kinnisteks kvartaliteks. Tänapäeva tänavamüra seisukohalt on need suurepärased, siseõued on rahulikud ja vaiksed, väravaalused käigud on enamasti pikad ja kitsad ning müra pääseb siseõue väga vähe. Müratase-mete vahe tänavapoolse ja siseõue ala vahel võib olla 20 dB, parimal juhul isegi 30 dB.



Modernses 1930ndate linnaarhitektuuris rõhutati „valgust ja õhku“. Majad eraldati üksteisest ja paigutati hõredamalt. Mitmeks aastakümneks kinnistunud suund on tänapäeval müra seisukohalt halb variant, sest heli pääseb vabalt levima ja seega ka majade vahel hästi peegelduma. Kuid sel ajal ei olnud liiklusrumal veel olulist tähtsust.

1950ndate linnaümbrus oli maastikku järgiv ja kokkusurutud. Autosid oli vähe ja liiklusrumal ei tekitanud probleeme. Tänavad tehti kitsad ja parkimiskohti ei olnud eriti vaja. Selle tulemusena on tänapäeval need piirkonnad kitsad, tänavaääred on autosid täis ning kiirused on väikesed, mis on piirkonna müra seisukohalt positiivne.

1960ndatel suurenenud autos-
tumisse suhtuti positiivselt. Kõrged
korterelamud paigutati väga hõre-
dalt ja nende vahele varuti rohkelt
parkimiskohti. Tänavad olid laiad ja
sirged. Autode müraga ei osatud siiski
veel arvestada. Tänapäeval on selle
aja lähiümbrused majade paigutuse
seisukohalt keerulised. Peamagistraa-
lide müra pääseb sageli kaugemalegi
ja võtab suuna välisseintele. Vastukaa-
luks proovitud lahendus, mis seisneb
liiklusmagistraalide ja elumupiirkon-
dade tänavate rühmitamises, on
paljudes piirkondades õnnestunud ja
müra on tuntuvalt vähenenud.

Liiklus kasvas tugevalt 1970nda-
tel, mil ehitati ja laiendati peamagist-
raale. Müra kuulutati oluliseks asulas
esinevaks keskkonnakahjustuseks.
Lähiümbrused hakkasid muutuma
taas tihedamaks ja ruumi jäeti kait-
setsoonidele.

Ka 1980ndatel jätkus ehitatavate
hoonete paigutamine tihedalt, lisaks
sellele hakkas vähenema majade suu-
rus. Kõrgeid maju ehitati harvem, mis
tähendas ka selliste ülemiste korruste
vähenemist, kus oli kaugel asuvate
peamagistraalidega silmside ja hea
kuuldavus.

Viimasel aastakümnel vabanes
paljude linnade keskustes või nende
lähiümbruses ruumi uute elamu-
kvartalite või lausa -piirkondade jaoks.
1990ndate uued kinnised kvartalid
on ehk küll tekkinud vanade keskus-
te traditsioone järgides, kuid müra
vähendamise seisukohalt on need taas
suurepärased.





Sama maja eest ja tagant.



Ruumide paigutus

Uusi elumaju planeerides on võimalik ruumide paigutusel arvestada müraga. Korterite müratundlikumad toad, magamis- ja elutoad, paigutatakse võimaluse korral hoone vaiklele küljele. Mürarikka liiklusmagistraali poolele sobivad trepikojad, panipaigad, köögid, pesuruumid ja saunad ning majapidamisruumid. Kui elava liiklusega magistraalide äärde ehitatakse uusi elumaju, siis peaks korter olema nn läbi maja ulatuv korter.

Mürarikka tänava ääres on tänavapoolsete madalamate korruste planeerimine muuks otstarbeks kui eluruumiks väga hea lahendus. Kaitstud ja maja ümbritsev avarõdu moodustab keerulises kohas tõhusa heli isoleeriva puhvertsooni.

Heliisolatsioon

Heliisolatsiooni parandamine on abiks vaid siseruumides ja sealgi ainult juhul, kui aknad on kinni. Rõdul, õues ja teistes välisruumides ei ole sellest kasu. Seetõttu on hoone heliisolatsiooni parandamine tähtsuselt viimasel kohal.

Kui välismüra helitase jääb alla normtaseme või ulatub neist vaid veidi kõrgemale, saavutatakse Soome tingimustes tavapärase ehitusviisiga piisav heliisolatsioon. Soojusisolatsioonina töötavad aknad isoleerivad heli vähemalt 25 dB. Uute akende puhul on liikluse müra isolatsioon ilma erilahendusteta 30–35 dB.

Eranditeks on näiteks majad, mille välisseinal müratase ületab tugevalt normtasemeid, või piirkonnad, kus toimub häirivaid lühiajalisi mürasündmusi. Näiteks esmalt mainitu kohta

võib tuua uue elumaja, mis on paigutatud peamagistraali lähedale. Teiseks näiteks võib olla lennumüra piirkonnas või raudtee lähedal paiknev hoone.

Selliste välispiirete heliisolatsiooni seatakse tavaliselt tavapärasest rangemad nõuded — üldine kitsendus on 35 dB-ne eritingimus välispiire heli vähendamise kohta, harvemini võib elumaja ühe seina kohta seada lausa 40 dB-se eritingimuse heli vähendamiseks. Nendele nõuetele vastavad akna- ja värskõhurestide tüübid on üldiselt hästi kättesaadavad. 40 dB-ne tingimus eeldab nõudlikumaid ja kallimaid erilahendusi. Kui isolatsioonivajadus ühe seina puhul on veel suurem, võib pidada seda kohta elumaja jaoks üldiselt ebasobivaks.

Uue hoone heliisolatsiooni ning hoone ja tubade paigutusega arvestatakse enamasti juba selle projekteerimisetapis. Heliisolatsiooni parandamist vajavad enamasti vanad majad, kus elu- ja magamistoa paiknemist mürarikkal poolel ei ole võimalik muuta.

Välisseinte ja akende isolatsioon

Kui välisseinad on massiivsed ja tihedad (nt betoonist või tellisest), siis määravad välis- ja sisemüra helitasemete vahe kindlaks ülejäänud hooneosad: aknad, rõduksed, ventilatsiooniavad, õhugaugud ja värskõhurestid.

Tavalise seinakonstruktsiooni isolatsioon on umbes 50–60 dB. See tähendab, et sellega ei ole vaja isolatsiooni määramisel teiste eelpool nimetatud hoone osade kõrval arvestada. Kui seinakonstruktsioon on väga kerge, võib olukord olla teine.



Uus maja mürarikkas kohas, eest ja tagant.





Akende avamise ja praakil hoidmise võimalus soojal ajal on enamasti vajalik. Praakil akna isolatsioon on umbes 10 dB, maksimaalselt 15 dB, st et praktikas peaks see jääma tunduvalt allapoole öist normtasest.

Mürarikkas olukorras ei ole võimalik, et toa tuulutamine võiks põhineda ainult akende avamisel, enamasti vajatakse ka mehhaanilist ventilatsiooni või vähemalt helisummutiga varustatud sissepuhkeplafooni. Mürarikkas keskkonnas tuleks korraldada õhu sissevool maja katuselt või vaikselt küljelt.



Elumaja välisseina heliisolatsiooni on võimalik parandada ka kinniste, klaasist rõdudega. Vanade elumajade puhul on tavaline, et rõdu asub tee poolel, kuid see on võimalik ka uutes majades olukorras, kui majad paigutatakse müra seisukohalt ebasoodsalt ja seda näiteks ilmakaarte tõttu.



Klaaside ettepanek parandab rõduseina isolatsiooni siseruumide suhtes umbes 6–12 dB, sõltuvalt klaasimise tihedusest. Rõdul olev helineelav pind mõjutab isolatsiooni oluliselt. Tänu sellele on võimalik suurendada heli sumbuvalt isegi siis, kui aknad on praakil.

Raudteeliikluse vibratsioon ja struktuurimüra

Rongide tekitatav helisageduslik vibratsioon maapinnases ehk struktuurimüra võib levida elumajadesse umbes 30–50 m kaugusele, teatud tingimustel ka kuni 100 m kaugusele. Struktuuriheli muutub kuuldavaks õhuheliks ehk müraks, kui seda kiirgavad toa seina-, põranda- ja katusepinnad. Ujuvad põrandad,

mida kasutatakse elumajade sisemise heliisolatsiooni parandamiseks, võivad vibratsiooniga kaasnevat probleemi veelgi rõhutada. (Toim. märkus: siiski on ujuvate põrandate kasutamine üks põhilisi võimalusi majja sissetungivat vibratsiooni vähendada).

Enne vibratsiooni tunnetamist või selle tekitatud heli kuulmist võib lähenev rong tekitada korteris sekundaarse heli, nn plärina. Kerged värisemise konstruktsiooniosad ja esemed, näiteks aknad, valgustid ja dekoratsioonid, võivad puudutada värisemise taktis alust või muud pinda, millel nad paiknevad, ja tekitada omakorda uue heli.

Esmaseks struktuurimüra tõrjemeetmeks on raudtee—või maja või mõlemate—varustamine vibroisolatoritega või isoleeriva eralduskihiga. Uue raudtee puhul on võimalik arvestada sellega juba projekteerimisetapis, kuid olemasoleva raudtee puhul on sellise müra vähendamise meede arusaadavalt väga kallis.

Isoleerimine lennumüra vastu

Lennumüra isoleerimismeetmed on põhimõtteliselt samad nagu maismaaliikluse puhul. Lennumüra levib siseruumidesse enamasti akendest või ventilatsioonivadest. Just eramajades tuleks lisaks välisseintele arvestada ka katuse ja pööningu vahelae isolatsiooniga.

Katus võib olla ilmselgelt kergema struktuuriga kui seinad, seega võib olla väiksem ka selle heliisolatsioon. Katusel asuvad ventilatsioonivad ja ventiilid ning korstnad on lennumüra levikule vastuvõtlikumad kui maismaaliikluse müra levikule.



Planeeringu heliisolatsiooni käsitlevad eeskirjad

Üldplaneeringuga võib sätestada hoonete välispiiretele ettenähtud heliisolatsiooni ning konstruktsioonide ja hoone osade paigutust.

Välispiirde isolatsiooni kontrollimisel võib puutuda kokku kolme erineva probleemiga:

- üldplaneeringuga sätestatud välisseina heliisolatsioon;
- heliisolatsiooni mõõtmistulemus;
- mis juhtub, kui heli liigub läbi seina.

Välispiirde läbimine ja heliisolatsiooni mõõtmine

Kui keskkonnamüra kandev helilaine kohtub hoonega, tähendab see seda, et välispiirdele suunatakse **heli-võimsustase**, mis pärineb müraallika emissioonist. Kui osa võimsusest liigub läbi välispiirde, tekib objektiks olevas ruumis **heli**tase.



Tegemist on analoogselt olukorraga nagu tavaliselt emissiooni liikumisel objektini (punkt 3.1). Tulemuse määrab kindlaks liikumistee reaktsioon, milleks on võimsustaseme ja rõhutaseme vahe. Konkreetset selle sündmuse korral on reaktsiooniks läbi välispiirde suunduva helilaine võimsustaseme muutumine ruumi rõhutasemeks.

Konstruktsiooni või hoone osa heliisolatsioonimõõtmise tulemust näitab selle heliisolatsioon, mida väljendab sissetuleva ja konstruktsiooni läbiva heli **võimsustasemete** vahe. See on oluline, kuna heliisolatsiooni määramise eesmärgiks on näidata vaid konstruktsiooni enda omadusi, sõltumata sellest, kuhu see paigaldatakse.

Heliisolatsioon tähendab heli võimsustasemete vahet sageduse funktsioonina. Kui isoleerimisvõimet iseloomustada ühe suurusega, siis moodustatakse heliisolatsiooni kõverast R teatud arvutusmeetodite põhjal ühe arvuna esitatav õuheli **isolatsiooniindeks** R_w .

Kui tegemist on välispiirde konstruktsiooni või hoone osaga, lisatakse heliisolatsiooni näidule liikluse müra iseloomustav spektrilähendaja C_{tr} . Välisseina või selle osa isolatsiooni ühe arvuna iseloomustab nende summa $R_w + C_{tr}$, mida võib nimetada **liikluse müra jaoks kohaldatud õuheli isolatsiooniindeksiks**.

Heliisolatsiooni nõuded planeeringu koostamisel

Kui planeerija seab heliisolatsioonitingimuse, esitatakse see väljas, seinale suunatud helilaine rõhutaseme ja sees, hoones esineva lubatud helivälja rõhutaseme ehk kahe helitaseme vahena. Tingimuse ja eesmärgi seisukohalt on see lihtne ja arusaadav. Tingimuse määramine lähtub väljas esinevast müratasemest ja selle eesmärgiks on, et eluruumis oleks sisemüra normtasemest väiksem.

Üldplaneeringute peamine heliisolatsioonitingimust puudutav nõue tuleb esitada vormis:

„Ehitusala piiril paikneva hoone välisseinte ning akende ja teiste konstruktsioonide heliisolatsioon liiklusemüra suhtes peab olema vähemalt XX dB”.

Heliisolatsiooni all mõeldakse käesolevas sõnastuses kahe helitaseme, st välismürataseme ja sisemürataseme vahet. Välismüratase tähendab arvutatud või mõõdetud liiklusemüra keskmist helitaset seina välispinna kohal **ilma seina peegeldusmõjuta**. Teisiti öeldes, kui mürataset mõõdetakse välisseina ees, lahutatakse mõõtmistulemusest peegeldunud heli osakaal 3 dB.

Seda selgitab seina võime peegeldada praktiliselt alati peaaegu kõiki sellele suunatud helisid, vaid väike osa (5–10%) pääseb läbi seina-pinna edasi. Pool koguhelist (–3 dB) kuulub helilainele, mis liigub pärast peegeldust seinast eemale ja mis ei osale mürataseme kujunemisel hoone sees.

Heliisolatsiooni määramine

Heliisolatsiooni määramiseks tuleb sobitada omavahel kokku kolm erinevat tasemevahet. Ekspertide ülesanne on määrata kindlaks, mil moel seda tehakse.

Eeldatakse, et saabuvad helilained, mille võimsustaseme mõõtmise suhtes on eelnevalt kokku lepitud, saabuvad juhuslikest suundadest. See sobib hästi transpordile, mille allikad liiguvad. Eeldatakse, et siseruum on möbleeritud eluruum ja müratase toas iseloomustab seal esinevat reverberatsioonivälja.

Soome Keskkonnaministeeriumis on valminud heliisolatsiooni määramisjuhend, milles antakse juhiseid heliisolatsiooni määramiseks. Heliisolatsiooni määramiseks liidetakse omavahel ruumi suunduva heli võimsustaset iseloomustav helitasemete vahe ΔL ja ruumi peegelduvas heliväljas neelduva heli võimsustaset iseloomustavad liikmed $[= 10 \lg (S/A) + 3 \text{ dB}]$ ning täiendava reservina 4 dB. Viimane neist kompenseerib mõõtevead ja ühearvulise heliisolatsiooniindeksi määramise meetoditest tulenevad ebatäpsused. Heliisolatsioon määratakse valemiga:

$$R_W + C_{tr}\Delta L + 10\lg (S/A) + 7 \quad [\text{dB}]$$

5.5 Õiguslikud ja majanduslikud vahendid

Kontrollides müra käsitlevat regulatsiooni ja selleks kasutatavaid õiguslikke vahendeid, tuleb arvestada ka mõningate müraprobleemide üldiste omadustega.

Müra tekitamine on teiste keskkonnakahjudega võrreldes sageli seotud otseselt ka inimeste käitumisega, mõningates olukordades on üksiku mürakahju põhjustajaks indiviidi käitumine.

Selliste kahjude käsitlemise reguleerimine on näiteks heakorraeeskirjades sisalduvate keeldude ja piirangute ja nendega seotud sanktsioonide näol põhjendatud ning sageli ka ainus viis müra vähendada. Keelud toimivad ka ennetavalt.

Mürakahjustused on siiski aina sagedamini sellised, mida ei ole võimalik üksikute inimeste käitumisega seostada. Need on mehhaniseerunud ja linnastunud ühiskonna konstruktiivsed müraprobleemid (nt liikluse ja tootmistegevusega kaasnev müra).



Selliseid probleeme võib lahendada riiklikul või kohaliku omavalitsuse tasemel planeeritud meetmete abil, kasutades näiteks seadmete tootmise ja kasutuse reguleerimiseks üldisi piirnorme. Probleemi lahendamine eeldab plaanipäraseid, terviklikult läbimõeldud ja võimalikult pika aja peale kavandatud meetmeid.

Funktsionaalselt on müra vähendamine võimalik mitmel eelnevalt kirjeldatud moel. Põhijaotus võib lähtuda ka sellest, kas müra vähendatakse ennetavaid meetmeid kasutades või alles tagantjärele kahjudega kokku puutudes.

Müra vähendamise reguleerimine peab katma kõiki põhialternatiive. Tähtsaks küsimuseks võib kerkida alternatiivide omavaheline rõhuasetus. Üks keskkonnakaitseseaduse (*ympäristönsuojelulaki 86/2000*) üldistest põhimõtetest on põhimõte „saastaja maksab“. Selle kohaselt tuleks suunata müra vähendamise meetmed esmajärjekorras müraallikatele, teiseks müra levikule ja kolmandaks alternatiiviks oleks objekti kaitsmine.

Erinevaid vahendeid on võimalik kasutada ka samaaegselt. Praktikas on müraprobleemid enamasti sellised, et piisav, kõige ökonoomsem ja otstarbekam tulemus saavutatakse mitmete meetmete ühendamise teel.

Müra vähendamise õiguslikud alused

Müra vähendamist käsitlevad regulatsioonid võib põhimõtteliselt liigitada alljärgnevalt:

- ennetav regulatsioon;
- tagantjärele sooritatavad, korrigeerivad meetmed ja nende regulatsioon;
- mürataseme normid

Ennetav regulatsioon

Siia rühma kuuluvad ühiskondlikku planeerimist puudutavad regulatsioonid, juhised ja protseduurid, mille eesmärk on tagada planeeringute tegemisel ja sellega seotud järelevalve puhul müraga arvestamine.

Piirkondade kasutuse ja asutuste planeerimise kaudu lahendatakse müraallikate ja müratundlike ehitiste paigutamine. Toimimisviisid annavad ametivõimudele võimaluse sekkuda tegevuse korraldusse ennetavalt.

Müraatõrje seisukohalt olulised regulatsioonid käsitlevad:

- planeeringuid (*maankäyttö- ja rakennuslaki* 132/1999);
- erinevate ettevõtete paigutust (*ympäristönsuojelulaki* 86/2000, *laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä* 468/1994);
- teeplaneerimist (*laki yleisistä teistä* 234/1954);
- õhutranspordiga seonduva planeerimist (*ilmailulaki* 281/1995);
- maastikul ja veekogul liiklemist (*maastoliikennelaki* 1710/1995, *vesiliikennelaki* 463/1996).

Müraallikate emissiooninormide eesmärk on mõjutada erinevate liiklusvahendite ja seadmete emissioonide vähendamist, sätestades neile müraemissioonide piirnormid ning juhtides nende planeerimist, tootmist ja maaletoomist. Peamised regulatsioonid käsitlevad:

- mootorsõidukeid (*ajoneuvolaki* 1090/2002 ning *liikenne- ja viestintäministeriön asetukset* 1248/2002, 1250/2002 ja 1251/2002);
- välistingimustes kasutatavaid seadmeid (*laitemeluasetus* 621/2001);
- lennukeid (*ilmailulaki* 281/1995);
- mootorpaate (*kauppa- ja teollisuusministeriön päätös* 308/1973).

Üksikutele müra põhjustajatele võib sätestada lisaks veel nende tegevust reguleerivaid ajalisi või piirkondlikke piiranguid. Sellised piirangud võivad käsitleda:

- maastikul ja veekogul liiklemist (*maastoliikennelaki* 1710/1995, *vesiliikennelaki* 463/1996);
- erinevaid ajutisi tegevusi, näiteks ehitustöid ja motosportivõistlusi (*ympäristönsuojelulaki* 86/2000);
- elanike käitumist (valdade eeskirjad, mida asendavad 2003. aastal vastuvõetud *järjestyslaki*; *asunto-osakeyhtiölaki* 809/1991, *huoneenvuokralaki* 481/1995).

Tagantjärele sooritatavad korrigeerivad meetmed ja nende regulatsioon

Siia rühma kuuluvad

- ennetavateks mõeldud regulatsioonide, näiteks emissiooni- normide tegevust käsitlevate normide ja paigutus- ja loa väljastamisega seotud otsuste tingimuste süsteemne kontroll ja kokkupuuted võimalike rikkumistega;
- kokkupuude ametialase järelevalve või kaebuste põhjal üksikute müraallikatega, mille müra on ületanud ettenähtud stabiilsuse- ja tõsisuse astme ning mille põhjustaja on määratletav (*ympäristönsuojelulaki 82/2000, terveydensuojelulaki 763/1994, laki eräistä naapurussuhteista 26/1920*);
- olemasolevate piirkondade, hoonete ja tehaste uued planeeringud, saneerimine üldplaneeringu muudatuste alusel, loa väljastamistingimuste kontrollimine;
- keskkonnakahjude hüvitamine (*laki ympäristövahinkojen korvaamisesta 737/1994*).

Mürataset käsitlevad normid

Mürataset käsitlevaid norme (piirväärtusi) võib müra seadusandluse ülesehitust puudutavas ülevaates mainida eraldi, kuna neid on võimalik kasutada nii ennetavatena, mil eesmärgiks on müra ennetamine vähendamise kui ka tagantjärele kontrollimise käigus tehtavate toimingutega (*ympäristönsuojelulaki 82/2000, terveydensuojelulaki 763/1994*).

Majandusliku regulatsiooni meetmed ja põhimõtted

Majanduslikud meetmed aitavad müra vähendada. Need hõlmavad

- maksude ja tasude kogumist müra vähendamiseks ettenähtud töö tegemise jaoks;
- majanduslikke stimulaatoreid müra vähendamise edendamiseks;
- hüvituste maksmist neile, keda müra mõju puudutab.

Müra vähendamise majanduslikud meetmed ei seisa õiguslikest meetmetest eraldi, nende kasutamise aluseks on neid sätestavad õigusaktid.

Keskkonnakaitse üks olulisim printsiip on alates 1970ndatest põhimõte „saastaja maksab“ („polluter pays principle“). Selle järgi vastutab keskkonnaohtliku tegevuse, näiteks müra põhjustaja ennetustegevuse ja kahjude likvideerimise või vähendamise eest.

Enamasti on maksud ja hüvitused keskkonnakaitstes kõige enam kasutatavad majanduslikud meetmed, mis sobivad ka müra vähendamiseks. Varem on kasutatud ka erinevaid toetusi. Nendest aga on mõningal määral loobutud, kuna need on vastuolus põhimõttega „saastaja maksab“ ja võivad avaldada negatiivset mõju konkurentsile.

Keskkonnakaitstes kasutatud maksude põhimõtteks on motiveerida kahju põhjustajat võtma kasutusele meetmeid. Müramaksud peavad olema liiklusmagistraalide ja erinevate seadmete valmistajate ja ostjate suunajaks. Eesmärgiks on vaiksete toodete valmistamine ja kasutamine.

Maksude abil võib koguda ka müra-tõrjemeetmete või hüvituste jaoks vajaminevat reservi.

Keskkonnakaitses on peetud hüvitamist vajalikuks juhul, kui ennetavad meetmed ei ole võimalikud. Mürakahjusid on Soomes hüvitatud enamasti seoses teede ehitamisega. Teistes riikides on hüvitusi makstud lisaks teeliiklusele ka lennuliiklusest tekkinud kahjude eest.

Müra vähendamise kulud ja kasu

Eespool käsitletud müra vähendamise tehnilised ja halduslikud lahendused võivad mõjutada liikluspioneerimise otsuseid, eriti juhul kui kulud on võrreldes koguinvesteeringute ja saavutatavate eelistega mõistlikud. Otsuseid langetades on oluline teada, kas müra vähendamise meetmetega seotud kulud on müra vähenemisega kaasnevate eeliste seisukohalt vajalikud. Konkreetseid tasuvusanalüüse (*cost-benefit*) ei tehta kuigi sageli, samuti ei ole võimalik kasutada nende tulemusi.

Paljude eeliste, näiteks tervise taastumise, une kvaliteedi paranemise või sotsiaalsete kasude hindamine on majanduslike mõõteskeemide abil keeruline. Põhimõtteliselt on võimalik kasutada analüüsimeetodit, mida saab kohaldada müra kulude ja kasude analüüsimiseks. Sageli ei analüüsita võrdlust aga üldse mitte sama skaala alusel ja analüüsi läbiviimine eeldab head hindamisvõimet. Otsused muudab keerulisemaks järgnev asjaolu: kuigi müra on liikluse kahjustest olulisim, on see harva ainus arvestatav keskkonnategur.

Uue teega tekib müra piirkonda, mida eelnevalt võis pidada vaikselt, kuid sellel võivad olla ka muud tagajärjed, näiteks õhusaastatus ja teised ohutegurid. Lisaks sellele võivad mõjuda mõningad müra vähendamise meetmed kahjulikult teistele keskkonnateguritele. Näiteks võib müratõke varjata maastikku ja muuta keerulisemaks tee ületamise.

Otsustajatel tuleks arvestada kõiki liiklusega seotud keskkonnamõjusid. Nad peaksid suutma rõhutada mõju tähendust ning oskama hinnata keskkonnamõjusid ja liikluskorraldusest tulenevat kasu.



Väheste müraga liikumisviiside soosimine

Müra tähtsaimas valdkonnas, st liikluses, on peamine pikemas perspektiivis saavutatav eesmärk üleminek väheste müraga liikumisviisidele.

Ühistransport ei ole alati tingimata väheste müraga. Võtmeküsimusteks on enamasti uute liikumisviiside valimine ja uute sõiduvahendite muretsemine. Kohalikud ametivõimud võivad mõjutada müra vähenemist, esitades liikluskorralduse ja sõidukite projekteerimise ning hangelega seotud tingimusi ja nõudeid.

Tihedalt asustatud asulas on müra seisukohalt soodus liikumisviis enamasti raudtee kasutamine.

Jalgsi käimine ja rattasõit on müravabad liikumisviisid. Kergliikluse edukas propageerimine on seotud kahe arengusuunaga. Kohalikul tasandil on endiselt vajalik parandada kergliikluse kasutatavust: turvalised ja logistiliselt läbimõeldud teed, teekonnad, piirkonnad ja tsoonid.

Laiemas tähenduses sõltub kergliikluse kasutamine maakasutuse

ja ühiskondlike hoonete lahendustest. Esmatähtsateks on elumajade kaugused näiteks töökohtadest, kaubandusest, koolidest ning ühistranspordi- ja ümberistumispeatustest.

Kaubavedude puhul on müra-tõrjeks olemas täiesti potentsiaalsed võimalused. Vedude üldmürakoorust saab vähendada liiklusvoolude piiramise ja vedude logistika tõhustamisega näiteks infotehnoloogia abil.

Tuleviku arengusuunad

Üldiseks lähituleviku eesmärgiks ühiskondade arendamise, liikluse ja maakasutuse planeerimise seisukohalt on väheste müraga või müravabade tsoonide ja piirkondade rajamine ja laiendamine. Näiteks jalakäijate tänavad, liiklusest vabad elumupiirkonnad ja -tänavad ning väheste müraga puhkealad.

Pikema aja eesmärkideks on ühiskonna selline makrostruktuur, mis suudaks vähendada liikluse üldvajadust, ja füüsilise liikumisega seotud asenduste väljatöötamine telekommunikatsiooni ja infotehnoloogiaga.

Üks võimalik ja osaliselt juba kasutusel olev ühiskondlik arengusuund on inimese liikumise asendamine info liikumisega. Head näited on kaugtöö ja koosolekute pidamine telekommunikatsiooni abil. Nimetatud võimalusel on müra seisukohalt märkimisväärne tähtsus ja seda on lihtne edendada, kuna see on kasulik ka õhu saastatuse ja energia tarbimise seisukohalt.



Teadlikkuse tõstmine ja teavitamine, müratähised

Pealkirjas toodud meetmeid on vaja selleks, et täita müraregulatsioon, kuid neid võib kasutada ka otsese müra vähendamise innustamiseks.

Võimalused on:

- tehnilise personali, otsustajate ja valitud esindajate müraalase teadlikkuse tõstmine.
- üldsuse teavitamine, et rõhutada müra vähendamise meetmete rakendamise vajalikkust ja edendada vähe müra tekitavat käitumist, näiteks vaiksete liikumisvahendite või vähese müraga sõidustiili kasutamine.
- müra vähendamisega kaasnevast kasust teavitamine.

Kaks viimast punkti võivad osutada mõnikord keeruliseks. Tervise seisukohalt võiks üheks oluliseks meetmeks olla une kvaliteedi parandamine hommikul ajal. Sel ajal liikuvate inimeste motiveerimine rahuliku sõiduviisi kasutamiseks on siiski raske. Kiirusepiirangute automaatne kontrollimine võib tulla kõne alla ehk tulevikus. Energiasäästmisega kaasneva kasu on mõistetav stimulaator, mis toetab ka müra vähendamist.

Toodete tarbijad saaks aidata tõhusalt kaasa müra vähendamisele, kui nad jälgiksid sõidukite ja muude toodete müratähiseid. Seega on vaja anda elanikele rohkem teavet müratähise süsteemi ja selle rakendamise kohta.



Kirjandus

.....

Allikad

1. Meluntorjuntatoimikunnan mietintö. Komiteamietintö 1981:62. Helsingi 1981.
2. Transportation noise reference book. Toim. P M NELSON. Butterworths, London 1987.
3. Handlingsplan mot buller. Betänkande av Utredningen för en handlingsplan mot buller. Statens offentliga utredningar 1993:65. Göteborg 1993. 331 s. + lisad 608 lk.
4. VON GIERKE H E & ELDRED K M, Effects of noise on people. Noise/News International 1993:6, 67–89.
5. LOSERT R, MAZUR H, THEINE W & WEISNER C, Handbuch Lärminderungspläne. Modellhafte Lärmvorsorge und sanierung in ausgewählten Städten und Gemeinden. Umweltbundesamt, Berichte 7/94. Berlin 1994. 207 lk.
6. Roadside noise abatement. OECD Road Transport Research, Pariis 1995. 170 lk.
7. Towards fair and efficient pricing in transport. Policy options for internalising the external costs of transport in the European Union. CEC Green Paper, Brüssel 1995.
8. Skönheten och oljudet. Handbok i trafikbullerskydd. Svenska Kommunförbundet. Stockholm 1998. 132 s.
9. Noise abatement in European towns and cities. Strategies, concepts and approaches for local noise policy. European Academy of the Urban Environment, Berlin 1999. 124 lk.
10. SANDBERG U, Fordons- och däck/vägbanebuller—en kunskapsöversikt. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping 1999. 238 lk.
11. Technical Assessment of the Effectiveness of Noise Walls. Final report. International INCE Publication 99–1. Noise/News International 7(1999)3, 137–161.
12. Environmental noise. Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S, Nærum 2000. 65 lk.
13. SANDBERG U ym., Noise emissions of road vehicles. Effect of regulations. Final Report. International Institute of Noise Control Engineering, 2001. 56 lk.
14. Liikennemelun huomioon ottaminen kaavoituksessa. LIME-työryhmän mietintö. Suomen ympäristö 493, Keskkonnaministerium, Helsingi 2001. 45 lk.

Sõnavara ja standardid Arvutusmodelid

Akustika sõnavara. MET-julkaisuja 19/2001. Metalliteollisuuden keskusliitto, Helsingi 2001. 136 lk.

ISO 362. Acoustics—Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles—Engineering method. International Organization for Standardization 1994.

SFS-ISO 1996. Akustiikka. Ympäristömelun kuvaaminen ja mittaaminen. Osa 1. Perussuureet ja -menetelmät. Osa 2. Maankäyttöä koskevien mittaustietojen hankinta. Osa 3. Soveltaminen melurajoihin. Suomen Standardisoimisliitto 1992 (ISO 1996:1982–87).

SFS-EN ISO 3744. Acoustics. Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure. Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane. International Organization for Standardization 1994.

SFS-EN ISO 3746. Acoustics. Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure. Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane. International Organization for Standardization 1995.

ISO 8297. Acoustics—Determination of sound power levels of multi-source industrial plants for the evaluation of the sound pressure levels in the environment—Engineering method. International Organization for Standardization 1987.

Teeliiklusemüra arvutusmodel.

Raudteeliikluse arvutusmodel. Ympäristöopas 97. Keskkonnaministerium, Helsingi 2002. 117 lk.

Kragh J, Andersen B & Jacobsen J, Environmental noise from industrial plants. General prediction method. Danish Acoustical Laboratory, report 32. Lyngby 1982. 54 lk. + lisad 35 lk. (Üldine Põhjamaade mudel ehk nn tööstusmüramudel.)