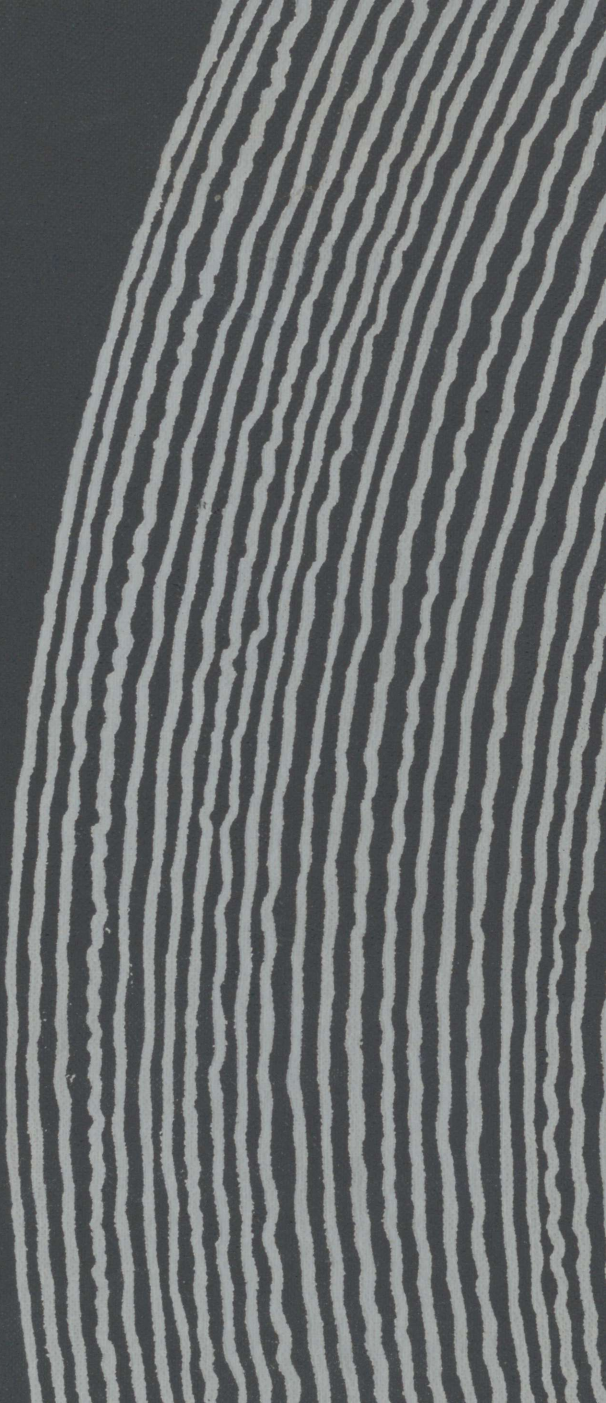


**H. PEDUSAAR**

**HELIDE  
MAAILMAS**









*Heino Pedusaar*

HELIDE MAAILMAS

# HELIDE MAAILMAS



KIRJASTUS «VALGUS» • TALLINN 1966



A-27952

MEYD ÜMBRITSEVAD LAINED

HEINO PEDUSAAR

ALERS KASVEM

# HELIDE MAAILMAS

Helide maailmas on üks tähtsaimaid ja kõige huvitavamaid teadus- ja tehnikaharusid. Helide uurimiseks on loodud spetsiaalsed meetodid ja seadmed, mis võimaldavad uurida heli füüsilisi omadusi ja selle mõju inimesele. Helide uurimine on seotud muusikaga, arhitektuuriga ja muusikaga. Helide uurimine on seotud ka muusikaga ja muusikaga.

Helide uurimine on üks vanemaid teadus- ja tehnikaharusid. Helide uurimiseks on loodud spetsiaalsed meetodid ja seadmed, mis võimaldavad uurida heli füüsilisi omadusi ja selle mõju inimesele. Helide uurimine on seotud muusikaga, arhitektuuriga ja muusikaga. Helide uurimine on seotud ka muusikaga ja muusikaga.

Mitmed antiikaja heli uurimiseks kasutatud meetodid. Näiteks püüdis Empedokles heli tekkimist, levikut ja tajumist eriliselt algsele filosoofiale, mida hellikalikas eraldab, kuid Aristoteles (384-322 e. m. a.) teadis juba, et helisev keha kutsus esile heli tekkimist ja hõnnetust ning seletas kaja kui peegeldumist. Rooma filosoof Pütagoras samasest, kes elas viienda sajandi enne meie ajaarvamist, eksperimenteeris hellikalikatega, määras pinguldatud keele võnkumise seadusi. Siis tuli akustikanähtuste uurimises vaheaeg, mis vältas ei vähem ega rohkem kui paar aastatuhandet.

Muide, paari tuhande aastane vaheaeg ei eiranda üksnes helinähtuste uurimises. Teadlased on märkinud, et ristlõikega, mis põhjustas heli tekkimist, on heli tekkimiseks ja levimiseks oluline roll. Helide uurimine on seotud muusikaga, arhitektuuriga ja muusikaga. Helide uurimine on seotud ka muusikaga ja muusikaga.



KIRJASTUS «VALGUS» \* TALLINN 1966

Kujundanud ja illustreerinud O. SUBBI

Üksikud lõigud käesolevas raamatus on kirjutatud

ALEKS KASKNEEM

2



Педусаар Хейно Константинович. В МИРЕ ЗВУКОВ. На эстонском языке. Обложка и иллюстрации О. Субби. Издательство «Валгус». Таллин, Пярнуское шоссе, 10.

Toimetaja H. Heinoja. Kunstiline toimetaja H. Tikand. Tehniline toimetaja O. Mullari. Korrektorid V. Leibak ja H. Kahar.

Ladumisele antud 28. XII 1965. Trükkimisele antud 9. VIII 1966. Paber 60×84,  $\frac{1}{16}$ . Trükipoognaid 10+0,5 pg. kleebiseid. Tingtrükipoognaid 9,8. Arvestuspoognaid 9,75. Trükiarv 6000. MB-08035. Tellimise nr. 3829. Trükikoda «Punane Täht», Tallinn, Pikk tn. 54/58.

Trükipaber nr. 1 — Ligatne Paberivabrik, Läti NSV. Hind 62 kop.

# MEID ÜMBRITSEVAD LAINED

## *Helide maailmas*

Üks lihtne kreekakeelne sõna on saanud nimetuseks ulatuslikule teadus- ja tehnikaharule. «Akuein» tähendab tõlkes «kuulma» ja mõiste akustika oli käibel algselt tähenduses «õpetus häälest». Hiljem selle sõna rakenduspiirid avardusid ning nüüdisajal kõneldakse akustikast ka helitehnika tähenduses.

Akustika on üks vanemaid peatükke aastatuhandeid kirjutatud teadusteraamatus, kuigi nimi pandi talle alles 1700. aastal. See tekkis huvist ja ka mõningast praktilisest vajadusest selgitada kõne, muusika ning kuulmisega seotud nähtuste olemust.

Mitmed antiikaja filosoofid on tegelnud akustikaga. Näiteks püüdis Empedokles (492—432 e. m. a.) seletada heli tekkimist, levikut ja tajumist erilise peene aine olemasoluga, mida heliallikas eraldab, kuid Aristoteles (384—322 e. m. a.) teadis juba, et helisev keha kutsub esile õhu tihendusi ja hõrendusi ning seletas kaja kui peegeldumistähtust. Suur mõttetark Pütagoras Samosest, kes elas viiendal sajandil enne meie ajaarvamist, eksperimenteeris heliallikatega, määrates pinguldatud keele võnkumise seadusi. Siis tuli akustikanähtuste uurimises vaheaeg, mis vältas ei vähem ega rohkem kui paar aastatuhandet.

Muide, paari tuhande aastane vaheaeg ei esinenud üksnes helinähtuste uurimises. Teadlased on märkinud, et ristiusk, mis põhjustas keskaegse pimeduse, pidurdas kõigi teadusalade arengut rohkem kui tuhandeks aastaks. Oeldu tähendab seda, et usu nõmeduseta oleks me teadus ja tehnika juba praegu olnud tasemel, kuhu ta jõuab umbes 3000-ndal aastal.

Alles 17. sajandil võeti akustika jälle tõsisemalt käsile. Teadusetaevasse olid ilmunud mitmed heledad tähed — Newton, Mersenne, Sauveur, seejärel Laplace, Helmholtz. Hiljem, juba meie sajandil, elavnes uurimistöökustika osas veelgi: arenev tehnika hakkas ka selles valdkonnas energiliselt nõudma uusi

avastusi, mida saaks praktiliselt väärtustada, tulutoovalt inimese teenistusse rakendada.

Meid ümbritsev helide maailm on väga mitmekesine. Inimkõne ja loomade hääled, lehtede sahin ja linnulaul, lennukimürin ja muusika... Oleks võimatu loetleda kas või osakestki kõikidest nendest helidest, milledesse oleme pidevalt sukeldunud. Tahes-tahtmata lisandame meiegi oma osa sellesse paljukõlaliselise helide sümfooniasse. Sahisedes libiseb pliiats neid ridu kirjutades mööda paberilehte. Kirjutuslaual tiksus kell ja akna kaudu kostab tuppä hilisõhtusse kevadrohelusse uppuva linna vaikima hakkav müra...

Sageli harjume teatavate müradega nii, et millelegi muule keskendumisel ei märkagi neid enam. Alles mingi muudatus ümbritsevas helitaustas mobiliseerib taas tähelepanu. Näiteks rongimüraga harjub reisiija tavaliselt kiiresti ja see ei sega tema und. Kuid peatumine või läbisõit tunnelist, millega müra iseloom järsult muutub, äratab enamiiku uinujatest.

Ka loomade, lindude ja isegi paljude kalade (!) elus on häälel ning kuulmisel erakordne tähtsus. Helid signaliseerivad varitsevatel ohtudest ning aitavad jälitada ja tabada saaki. Mitmetel olenditel (pimedates koobastes elunevad linnud ja loomad, mõned süvavee-kalad) asendab kuulmine koguni nõrgalt arenenud või hoopiski puuduvat nägemismeelt.

Kogenud tööline määrab tööpingi või masina hääle järgi, kas seadme talitlustingimused on õiged ja isegi «diagnoosib» võimalikke defekte.

Sel alal võib saavutada päris usutamatu. Tallinnas töötab automehhaanik, kes kuulatab pingutatult remonti vajava auto mootori töötamist umbes viis minutit ning ütleb seejärel auto vea. Üheksakümne üheksal juhul saajast osutub ta märke paikapidavaks.

Ei tule ka unustada, et inimesed kasutavad põhilise suhtlemisvahendina kõnet, ja seda kas vahetult või siis elektroakustikat, s. o. traat- või traadita sidet ja helisalvestust appi võttes.

Veel aastat nelikümmend tagasi olid üksnes vähesed kuulnud sõna «ringhääling», kuigi mõiste «raadio» oli siis juba üldiselt tuttav. Pisut enam kui veerandsaja aasta eest teadsid vaid raadioala eriteadlased, mis imeriist on magnetofon. Ja ometi on ringhääling ning magnetofon saanud meie igapäevasteks sõpradeks. Igas kodus on raadiovastuvõtja. Magnetofoni võidukäik kestab, teda võetakse kaasa juba isegi metsa, et magnetlindile salvestatuna koju tuua linnulaulu või oravatsukku. Või heli-

kino. Tänapäevasele kinokülastajale ei tule enam üldse meelde, et kunagi eile oli valgele linale võlutud «elav» kujutis veel tumm.

Helide maailm — see on erakordselt avar, tunduvalt sisukam, kui seda oleme harjunud ette kujutama. Pealiskaudsemal süvenemisel võib tunduda isegi imelikuna, kui füüsikud kinnitavad, et heliks loetakse igasugust mehhaanilist võnkumist, mis elastses keskkonnas lainetusnähtusena laiali levib — toimuks see siis gaasides, vedelikes või tahketes kehaosades, aeglaselt või kiiresti. Heli pole kaugeltki mitte ainult see, mida me oma kuulmismeele kaudu helina (selle sõna kitsamas mõttes) tajume.

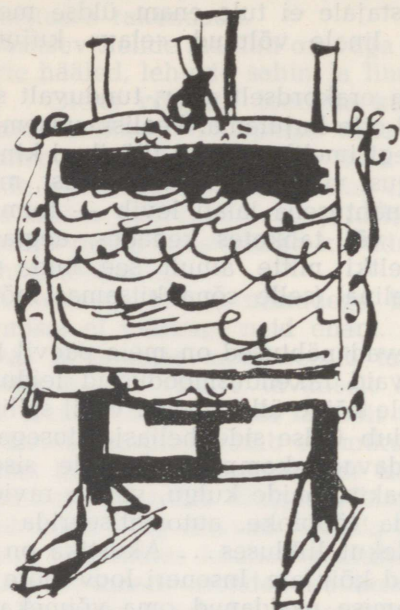
Helivõnkumisega kaasnevad nähtused on meie päevil teaduses ja tehnikas väga erinevaid rakendusmooduseid leidnud, nad teenivad inimest tihtipeale kõige üllatavamal viisil sellistel aladel, millel näiliselt puudub üldse side heliasjandusega. Akustilised seadmed võimaldavad «kompida» kehade siseehitust, kiirendada keemiliste reaktsioonide kulgu, valuta ravida hambaid, pesta pesu, juhtida tööpinke, automatiseerida tootmisprotsesse, tagada julgeolekut liikluses... Akustika on inimese ustava abiliseks tunginud kõikjale. Inseneri loov mõte on paljude ülesannete lahendamise usaldanud oma võimekale abiliselle — helitehnikale.

Käesolev raamat püüabki olla teejuhiks järgneval retkel helide huvitasse maailma.

### *«Lained, kuhu te tõttate?»*

Lained, kuhu te tõttate,  
ojakeses sulistades,  
päikse vastu hüpates,  
lillelisel kaldal?

Need meeleolukad värsid kirjutas meie poeet J. Liiv. Aga kaks inimpõlve hiljem leidis helilooja, kes viisistas selle luuletuse. Nii sündis Gustav Ernesaksa populaarne koorilaul. Lained, kuhu te tõttate? Veepinnal liuglevate lainete ilu on



alati köitnud kunstnikke, poete ja heliloojaid. Kui palju on möödunud aegadel loodud värse ja laule, isegi terveid sümfooniaid merest, kui palju on maalide ning joonistustena jäädvustatud vaikes tuules hääletult sillerdavat veepinda ja tormi raevuka möllu ürgset stiihiat, lähenevaid, eemalduvaid ning ristuvaid laineid. Milliseid laiahaardelisi allegooriaid on nendest looduspiltidest ammutatud ja milliseid suuri kunstilisi üldistusi tehtud!

Miks pöörduvad muusade teenrid ikka ja jälle mere ning lainete poole? Nii nagu Aivazovski maalis eelistatult merd, nii on meie Ernesaks kuulus kui mere laulik ja Smuuli teostes on mereteema lausa vältimatu.

Lained — see on tõesti ammendamatult probleemikas teema kunstnikule, heliloojale, poedile ja ... füüsikule.

Ehk tundub viimane näide ootamatuna? Nii nagu kunstide valdkonnas saab merele ja lainetele heita pilku paljudest erinevatest vaatenurkadest, neid selliselt jäädvustadeski, samuti saab ka füüsik laineid käsitleda väga mitmetelt seisukohtadelt.

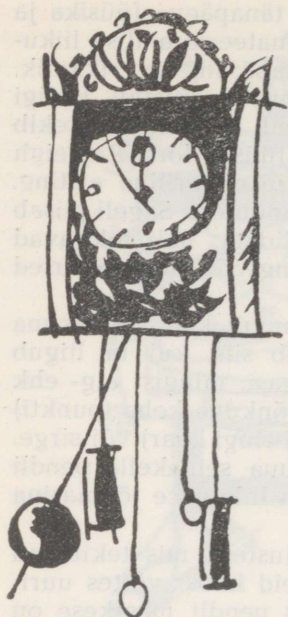
Lainetusnähtustega tuleb tegelda paljudel tänapäeva füüsika ja tehnika rakendusvaldkonnades. Laine — see on aine alalise liikumise ning muutumise eriline vorm, omapärane ja rikkalik, ammu tuttav ning üha uusi ja uusi üllatusi valmistav. Heligi on laine, helinähtused — lainetusnähtused. Ent kuidas tekib heli ja kuidas ta levib? Kuulus inglise füüsik lord Rayleigh kirjutas möödunud sajandi lõpul: «Helitaju on eriline aisting, mis pole võrreldav ühegi teisega meie aistingutest. Sageli piisab kõige põgusamast tähelepanekust, et näidata: heli tekitab kehad on võnkuvas olekus ja helilained ning võnkumisnähtused on tihedas omavahelises seoses.»

Tehnikas kohtame võnkliikumist igal sammul: keha tervikuna või mõni vaadeldav punkt selles võngub siis, kui ta liigub mööda kindlat rada järjekindlalt edasi-tagasi, mingist alg- ehk tasakaaluasendist ühele ja teisele poole. Võnkuva keha (punkti) liikumise rada võib olla kõverjoon (enamasti ringi kaar) või sirge. Võnkumisest kõverjoonel saab näitena tuua seinakella pendli liikumise, võnkumisest sirgjoonel — kolvi liikumise jõumasina silindris.

Kas olete kunagi lähemalt mõelnud põhjustest, mis tekitab võnkliikumist? Kui ei, siis analüüsime neid koos, võttes uurimisobjektiks lihtsa pendli. Rahuolukorras pendli massikeske on Maa külgetõmbejõu mõjul kõige madalamas võimalikus asendis ja püsib paigal. Kui nüüd mingi kõrvalise jõu mõjul viia pendel tasakaaluasendist välja, seda näiteks vasakule hälvitades, siis tuleb paratamatult tõsta pendli massikeset ja kulutada selleks teatav hulk tööd.

Pendli vabastamisel püüab ta muidugi võtta niisuguse asendi, et massikeske oleks taas võimalikult madalal. Seetõttu hakkab pendel üha kasvava kiirusega liikuma tasakaaluasendi poole. Seal ei saa edasist liikumist massikeskme langemise arvel muidugi enam tekkida. Kuid miks nüüd pendel ei peatu? Kõrgeima ja madalaima asendi vahel pendli liikumiskiirus suurenes ja osutus madalaimas punktis maksimaalseks. Ent igasse liikuvasse massi salvestub hoo näol teatav hulk energiat, mis on võimeline tööd sooritama.

Toome võrdluseks tavalise haamri. Viibutamisel annab haamri massile hoo, mille energia koondub hiljem näiteks naela löömiseks seinale. Kuid proovige sedasama naela haamri eelneva hoovõtuta puusse suruda: tõenäoliselt on katse asjatu, sest selleks ei piisa käe jõust. Hoovõtu puhul abistab teid liikuva haamri massi salvestunud energiavaru.



Vabalt võnkuv pendel, jõudnud tasakaaluasendisse, jätkab hoo arvel liikumist endises suunas, kuid aeglustuvalt. Ta kiirus väheneb seepärast, et pendli langemise vältel saadud hoog peab nüüd taas hakkama massikeset tõstma. Lõpuks jääb pendel paigale peaaegu samal kõrgusel, millest ta algselt vastaspoole liikumist alustas. Siis on küll kogu hoog ära tarvitatud, kuid pendel alustab raskusjõu mõjul liikumist tagasisuunas, omandades uuesti hoo, mis on maksimaalne tema madalaima asendi puhul. Hoo mõjul viibutub pendel taas äärmisse vasakpoolsesse asendisse ja edaspidi hakkab kirjeldatud nähtus — pendli perioodiline võnkumine — korduma.

Tegelikult vabalt võnkuva pendli liikumine lõpuks vaibub (võnkumine sumhub): iga järgnev hälve ehk amplituud on pisut väiksem kui eelmine.

«Süüdlasteks» osutuvad energiakaod, eeskätt õhutakistus. Võnkumise amplituudi säilitamiseks tuleb pendlile perioodiliselt, võnkumise taktis, anda väljastpoolt tõukeid. Näiteks pendelkellas täidab seda ülesannet vastav mehhanism.

Iga ühtlast võnkumist saab iseloomustada perioodi kaudu. *Periood* on see aeg, mis võnkuval kehal kulub ühest suurimast hälbest teiseni liikumiseks ja selleni tagasi jõudmiseks.

Märksa ülevaatlikum ja seetõttu eelistatum on võnkumishälvete iseloomustamine sageduse kaudu. *Sagedus* väljendab perioodide arvu ajaühikus. Mõõtmiseks kasutatavale ühikule on saksa füüsiku Heinrich Herti järgi omistatud nimetus herts (lühend: Hz). 1 herts tähendab võnkesagedust üks periood sekundis. Kui aga perioodide arv sekundis on näiteks 25, siis vastab sellele sagedus 25 Hz jne. Mõistagi «mahub» aeglasi, pikema perioodiga võnkumisi sekundisse vähem kui kiiremaid. Siit tuleneb, et sagedus ja periood on pöördvõrdelised suurused.

\*

Kas olete sümfooniaorkestri koosseisus märganud mõnede palade esitamisel kasutatavat omapärast india päritoluga löökpilli tamtammi? See ümmargune, painutatud servadega metallplaat on vertikaalselt hoideraami külge riputatud. Tamtamm on õigupoolest suur gong ja seda mängitakse pehmest vildist lööginuia abil. Löök tabab tamtammi plaati ligikaudu keskkohas ning painutab seda pisut. Elastsuse tõttu vetrub plaat tagasi ja kõrverdub kohe teises suunas seni, kuni taas mõjuma hakkav elastsusjõud liikumise peatab. Kohe algab nõtkumine tagasi suunas ning kirjeldatud võnkumine jääb perioodiliselt korduma, ehkki amplituud väheneb üha. Veel mitu sekundit pärast lööki vibreerib tamtammi plaat, tekitades omapärast sügava kõlaga madalatoonilist heli.

Juba eespool oli põgusalt juttu sellest, et kuuldav heli on õhuvõnkumine, mis lähtub heliallika — võnkuva keha — juurest, levib lainena edasi ja tabab meie kõrva. Tamtammi puhul lähetab helilaineid suurepinnaline võnkuv plaat. On ilmne, et plaadi võnkumisel hakkavad selle külgedel perioodiliselt vahelduma õhu hõrendused ja tihendused. Hõrenduse puhul on samas ruumalas õhuosakesi tavalisest vähem, tihenduse puhul aga rohkem. Muidugi ilmub samal ajal, kui plaadi ühe külje läheduses on tihendus, selle teise külje lähedusse hõrendus ja vastupidi.

Kui nüüd arvata, et need õhu tihendused ja hõrendused jäävad ruumis paigale, et «oodata» otsekohe järgnevaid tasakaalustavaid hõrendusi ning tihendusi, siis eksiksime. Õhk on elastne keskkond ning selle teatavas osas tekkiv tihendus või hõrendus kandub edasi naaberosakestele, sealt edasi veelgi kaugematele osakestele jne. Nii hakkavadki need vahelduvad hõrendused ja tihendused tamtammi külgedelt teineteise kannul ruumis teatava kiirusega edasi liikuma. Selliselt kujuneb võnkuva keha ümber helilaine.

Helilainet saab esile kutsuda ka võnkuva kehata: piisab, kui tekitada perioodiliselt muutuva intensiivsusega või katkendlik õhujuga. Selleks kasutatakse sireeni, seadet, mis lihtsaimal kujul on ehitatud järgmiselt. Düüsiist surve all väljuv õhujuga läbib pöörleva ketta ringjooneliselts paiknevaid aukusid ja muutub katkendlikuks. Heli sagedus sõltub ketta pöörlemiskiirusest ja aukude arvust.

Helilaine, nagu igasugune lainetusnähtus, kannab levides kaass energiat, mis lähtub laine tekitanud mehhaanilise energia allikast ja võib kusagil kaugemal sooritada tööd.

Kõige lihtsamad ja mõistetavamad on lainetusnähtused vees. Kivi vette heitmiseega saab esile kutsuda veepinnal levivat üksikut ringikujulist lainet, mille läbimõõt üha suureneb. Veepinda läbinud kivi taga tekib süvend, mis aga kohe täitub kõrvalasuvate veeosakeste surve tagajärjel. Järgmisel hetkel ilmub endise süvendi kohas võnkliikumisele ergutatud veeosakeste inertsi tõttu kõrgem hari ja selle ümber uus, nüüd juba ringikujuline süvend. Ka hari muutub avarduvaks ringiks, mis süvendringi kannul lainena laiali levib. Kuid ekslik oleks arvata, nagu kulgeksid veeosakesed koos lainega kontsentriilselt igas suunas edasi. Veepinnale lainetuspiirkonda asetatud väike ujuk (näiteks pudelikork) hakkab püstsuunas võnkuma, kuid ei liigu lainega kaasa. Järelikult on laines veeosakesed võnkliikumises mingi tasakaaluasendi ümber ning edasi kandub ainult laine energia.

Räägitakse, et helilaine õhus on pikilaine, vastandina veepinnal esinevale ristlainele. Milles on nende erinevus? Lainetusnähtuse puhul hakkavad aineosakesed mingi normaalasendi suhtes ühele ja teisele poole liikuma. Kui see liikumine toimub laine leviku suunas, nagu helilaine puhul õhus, siis kõneleme pikilainest; kui aga laine levikusuunaga risti, nagu veepinnal, siis on tegemist ristlainelega. Nii pikilaine kui ka ristlaine esinevad mingis keskkonnas sisemiste elastsusjõudude ja aineosakeste inertsi koosmõjul, kusjuures ristlaine võib esineda ka kahe erinevate omadustega keskkonna, näiteks vee ja õhu piirpinnal. Vedelikes ja gaasides levib heli ainult pikilainena, kuna tahketes kehaes võib tekkida nii piki- kui ka ristlaineid. Tuleks rõhutada, et helilaine levimist ei saa samastada mingi «tuulega», õhusakeste pideva edasikandumisega ühes suunas, heliallikast kuulajani.

### *Matemaatika ja mõõdupulgaga*

Pikki aastatuhandeid kestnud lakkamatus arenemis- ja kohanemisprotsessis on primitiivse kompimismeele kõrval kõrgema arenguastmega elusolenditel välja arenenud väga tundlikud kuulumiselundid. Inimese ja loomade kõrvad on erakordselt

täpsed aparaadid, mis on kohanenud üliväikeste õhurõhu võnkumiste tajumiseks. Kõrv võtab vastu õhus levivaid helilaineid ning töötleb need ümber eriliseks aistinguks, mis jõuab kuul-dava helina meie teadvuseni.

Võimsust mõõdetakse vattides (lühendtähis: W). Igapäevases elus rakendame seda ühikuid enamasti seoses voolu võimsuse mõõtmisega. Aga näiteks autode või mootorrataste ja jõumasinate seni hobujõududes väljendatud mehhaanilisi võimsusi hakati alates 1. jaanuarist 1963 uue rahvusvahelise mõõtühikute süsteemi kohaselt ainult vattides või kilovattides (kW;  $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$ ) väljendama. 1 hobujõud on võrdne 736 vatiga.

Te astute elektritarvete kauplusse ja ostate 40-vatise elektripirni ning 1200-vatise ahju. Te teate veel, et elektritriikraua võimsus on enamasti 350 ja 650 vati vahel. Tavalise taskulambipirni toitevõimsus on üsna täpselt üks vatt, kuid see valgusallikas, nagu iga teinegi elektrihõõglamp, on tuntud tohtu energiaraiskajana. Lõviosa, peaaegu 95% lampi juhitavast elektrivõimsusest muundub kasutuks soojuseks, kuna valguskiirgust saame ülejääva nappi 5% arvel. Siit järeldus, et taskulambi valgusvihi koguvõimsuseks osutub kõigest 0,05 vatti!

Juhul kui taskulambipirn pole paigutatud kiiri koondavasse reflektorisse, jaguneb kogu tekkiv valguskiirgus ümbritsevas ruumis ühtlaselt. Kui nüüd kujutleda ühe meetri kaugusel lambist valguskiirtega risti asetsevat üheruutsentimeetrise pindalaga valge paberi tükikest, siis langeb sellele umbes 0,4 miljondiku vati (mikrovati; lühendtähis:  $\mu\text{W}$ ) suurune valgusvõimsus. Sellise valgustuse juures on lugemine juba raskendatud, ehkki silm eraldab esemeid veel päris hästi.

Eemaldume mõttes oma valgustist. Saja meetri kaugusel on valgustatav pindala  $100^2 = 10\,000$  korda suurem. Nüüd langeb üheruutsentimeetrisele pinnale valgusvoog, mille võimsus on kõigest  $0,000\,04 \mu\text{W}$ . Seda on juba liiga vähe selleks, et ümbritsevas pimeduses midagi näha.

Ent läheme veelgi kaugemale. Kuuekümmne kilomeetri kaugusel asuva reflektorita taskulambipirni kogu valgusvoog peab nüüd jagunema tohtule pinnale — 60-kilomeetrise raadiusega kerapinnale. Eraldame sellest umbes  $450\,000\,000\,000\,000 \text{ cm}^2$  ( $= 4,5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^2$ ) suurusest pinnast ühe ruutsentimeetri. Lihtne arvutus näitab, et sellele napilt pöidlaküüne suurusele pinnale langeb taskulambist valgusvõimsust veel vaid ligikaudu

$\frac{1}{10\,000\,000\,000}$  mikrovatti ehk  $0,000\,000\,000\,000\,000\,01$  vatti  
( $= 10^{-17}$  W). Isegi pimedusega harjunud silm pole suuteline nii  
kaugelt seda nõrka valgusallikat tajuma.

Kõrv seevastu on veel võimeline registreerima samas suurus-  
järgus helivõimsusi. Kui helilaine kannab üheruutsentimeetri-  
sele pinnale võimsust  $10^{-17}$  mikrovatti, siis soodsates tingimuste-  
tajume seda.

Võtke käekell. Kõrva läheduses on selle väsimatu tiksumine  
hästi jälgitav. Kui viibite täiesti vaikses ruumis ja eemaldate  
kella kaugusele, mille puhul suudate «kõrvu pingutades» veel  
eristada tiksumist (tavaliselt umbes 1 meeter), siis tababki teie  
kõrva ligikaudselt helivõimsus suurusjärgus  $10^{-17}$  mikrovatti.  
See on kõrva maksimaalne tundlikkus ehk *kuuldelävi*. Nõrge-  
maid helisid me enam ei kuule, kuid peab märkima, et see  
polegi eriti kahetsusväärne tõsiasi. Õhumolekulid on alalises  
korrapärasus liikumises. Sihitu tõuklemine võib hetkeliselt  
mõnes kohas tekitada ajutise rõhumuutuse. Kui kõrv oleks  
kümme korda tundlikum, siis hakkaksime seda õhumole-  
kulide kaootilist liikumist kuulma kohinana, mis saadaks meid  
lakkamatult ja kõikjal.

Arvude keel võib olla igavalt kuiv, ent samas muutuda era-  
kordselt ilmekaks. Pöördume veel kord tagasi arvude valda,  
matemaatika ja mõõdupulga juurde.

Normaalset kõnelemisel tekitame häält võimsusega umbes  
 $10\ \mu\text{W}$ . Tugeval hüüdmisel võib võimsus kasvada 1 millivattini  
(lühendtähis: mW;  $1\ \text{mW} = 1000\ \mu\text{W} = 0,001\ \text{W}$ ), kuid sosina  
puhul on hääle võimsuseks kõigest  $0,001$  mikrovatti.\*

Meie vabariigi ühe esinduslikuma ja rahvusvaheliselt tuntuma  
muusikakollektiivi — Riikliku Akadeemilise Meeskoori liikmed  
on eranditult tugevate treenitud häältega elukutselised lauljad.  
Kas olete viibinud selle koori kontsertidel, kui kavas on Villem  
Kapi poeem «Põhjarannik»? Suurepärasest teosest kasvab välja  
pikk, piiritult paisuv lõppakord. Tundub, nagu oleks pääsenud  
valla tuhandekilovatine helidetorm, vahuharjaliste murdlainete  
äge sööst põhjaranniku karmi paekalda vastu. Mõjuv, võimas  
muusikal!

---

\* Esitatust ei tuleks siiski teha ekslikku «kokkuvõtet», nagu peaks tugeval  
hüüdmisel tekkiv umbes 1-millivattine helivõimsus olema kuuldav arvutusliku  
mitmekümnekilomeetrise distantsi taha. Tegelikuses esinevad õhus leviva heli-  
võnkumise korral alati energiakaod.

Poemi «Põhjarannik» lõppakordi lauldes paiskab Akadeemilise Meeskoori kollektiiv kontserdisaali võimsuse, mis on kogusummas kõigest . . . sadakond millivatti ehk 0,1 vatti!

Uskumatult vähe, eks?

Kui mingi seni leiutamata «imemuundi» abil õnnestuks see energia jäägitult kinni püüda ja kadudeta elektrienergiaks muundada, siis tuleks rakendada korraga vähemalt kuussada taolist eliitkoori, et saada energiat ühe keskmise võimsusega elektrilambi tarbeks. Muidugi peaksid kõik lauljad kogu «energiatootmise» vältel hinge tõmbamata laulma nii valjusti, kui suudavad.

Riiklik Akadeemiline Meeskoor on tegutsenud pisut üle kahe aastakümne. Kui koor oleks selle aja jooksul igal tööpäeval laulnud puhkuseta kolm tundi, siis saaks kahekümne-aastase töö tulemusena tekitatud helienergia elektriks muundamisel seda kehtiva tariifi kohaselt tervelt . . . kaheksa kopika eest.

Meie üldlaulupidude ühendkoori koosseisus esineb ligilähedalt kakskümmend tuhat lauljat. Matemaatika ei lase ennast ka siin kõigutada ning kinnitab, et ühendkoori üldisest koguvõimsusest piisab «imemuundi» vahendusel parasjagu üheainsa 15-vatise elektrilambi jaoks ja seitsmetunnise laulmise vältel toodetud energiaga saaksime keema ajada liitri teevett.

### *Vasar, alasi ja «arvutav» koer*

Eelnenust kogesime, et helivõimsused on tohutult väikesed. Ja ometi me tajume neid. Järelikult peab helilaine vastuvõtja — kõrv — olema väga tundlik ning komplitseeritud seade.

Inimese kõrv moodustub kolmest järjestikku paiknevast eraldatud osast. Nendest esimene, väliskõrv, koosneb heli koondavast kõrvalestast ning kuulmekäigust. Viimane lähtub kõrvalestast ja lõpeb umbes 0,65-ruutsentimeetrise pindalaga elastse kuulmekilega. Loomade kadestamisväärne oskus kõrvalesti liigutada, et neid paremaks kuulmiseks heliallika poole suunata, inimesel säilinud pole.

Õhus leviv helilaine paneb kuulmekile võnkuma. Selle võnkumine kandub keskkõrvas asetseva kolme liikuvalt sidestatud

kuulmeluukese kaudu edasi järgmisele, keskkõrva sisekõrvast eraldavale membraanile. Neid imeväikese kuulmeluukesi, mille kogumass ei ületa 0,05 grammi, nimetatakse — mõninga välise sarnasuse tõttu — vasaraks, alasiks ning jaluseks.

Sisekõrva moodustab eriline, lamedat spiraalset teokarpi meenutav organ, mida nimetataksegi teoks. Sel «teokarbil» on  $2\frac{3}{4}$  keerdu ning ta on nn. basilaarmembraaniga terves ulatuses kaheks jaotatud. Basilaarmembraani pind on kaetud paljude peente kiududega: neid on üle kahekümne tuhande. Just need kiud ongi mehhaanilise võnkumise suhtes tundlikud. Tegelik kuulmine, helivõnkumise muundumine kuuldenärvi kaudu ajju kanduvaks informatsiooniks, toimub basilaarmembraanis.

Kõrva keerukas mehhanism on kohanenud õhus leviva helilaine vastuvõtuks. Kuid helisageduslik võnkumine võib sisekõrva jõuda ja basilaarmembraanile mõjudes heliainstingut esile kutsuda ka teist kanalit kaudu, läbimata välis- ja keskkõrva.

Helilaine kandjaks võib olla tahke keha, näiteks koljuluu. Muidugi ei suuda «tavaline» heli, s. o. õhuvõnkumine, panna suure massiga koljuluud võnkuma nii, nagu ülikergel kuulmekilet kõrvas. Kui aga asetada võnkuv ese, s. o. heliallikas, vahetult vastu koljuluud, kandub kuulmisaistingu esilekutsumiseks küllaldase amplituudiga võnkumine luude vahendusel sisekõrva.

Mehhaanikud kasutavad masinaosade töö ja korrasoleku kontrollimiseks tihtipeale puupulka, mille ühe otsa võtavad hammaste vahele ja teise suruvad vastu masinat. Igasugused ebasoovitavad vibratsioonid jm. häired masina töös saavad iseloomulike helidena puupulga, hammaste ning koljuluu kaudu kuuldavaks. Kogenud mehhaanik võib nende järgi oma teras- hoolealuse «tervisest» samasuguse ülevaate saada kui näiteks haiget läbikuulav arst.

Koljuluu helijuhtivuse tõttu tajume oma häält sootuks teisiti kui ülejäänud kuulajad, kelle kõrva tabab helilaine ainult õhu kaudu. Just sel põhjusel ootab eranditult igaüht, kes magnetofoni vahendusel esmakordselt oma häält kuuleb, suur üllatus. Ollakse veendunud, et kasutatav helisalvestusseadis on vigane, kuna see moonutab ära just tema hääle, kusjuures aga ime-liku erandina kõigi ülejäänud vestluspartnerite kõne kõlab millegipärast täiesti normaalselt, «täpselt nii, nagu alati».

Muidugi pole magnetofon siin süüdi: ta salvestas kõneleja hääle sellisena, nagu seda püüdis õhust mikrofon ja nagu seda kõik teised kuulevad. Kuid kõneleja on loomulikult harjunud oma

häält eelistatult koljuluu kaudu kuulma, ega soovigi seepärast ennast «veidralt» kõlava tundmatu hääle omanikuks tunnista-tada.

\*

Meie kuulmiselund eristab ümbritsevast helideküllusest kõige mitmekesisemaid helisid — madalaid ja kõrgeid, nõrku ja tugevaid, meeldivakõlalisi ja vastikuid. Sellest mitmekesisusest kasvabki välja küsimus — mille poolest võib üks akustiline võnkumine teisest erineda, mis põhjustab heliaistingu erinevuse?

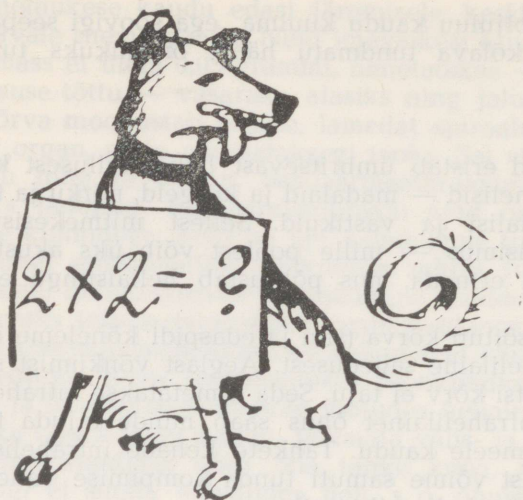
Helikõrguse taju sõltub kõrva (siin ja edaspidi kõneleme inim-kõrvast) jõudva helilaine sagedusest. Aeglast võnkumist sagedusega alla 16 hertsi kõrv ei taju. Seda nimetatakse infraheliks. Küllalt võimsat infrahelilainet õhus saab muide tajuda terve kehaga, kompimismeele kaudu. Tahkete kehade infrahelisageduslikku võnkumist võime samuti tunda kompimise vahendusel: märkame, kuidas keha vibreerib.

Kui jälgida «Estonia» kontserdisaalis orelimuusikat, võib mõnikord tabada madala tooni, mida ei kuulda niivõrd kõrvaga, kui tunnetatakse kogu kehaga. Sellise tooni sagedus on alla 20 hertsi ja seda tekitab orelil pikim, umbes kümne meetri vile.

Suureneva sageduse puhul hakkame kuulma madalat tooni, mille kõrgus kasvab, kuni lõpuks kuuleme kõrget-kõrget vilet. See läheb üle ligilähedaselt s-hääliku taoliseks kahisevaks viisnaks, mis võnkesageduse pideval suurendamisel lõpuks kaob. Kõrv osutub kurdiks sagedustele, mis ületavad 20 000 hertsi (= 20 kilohertsi; lühendtähis: kHz). Sellest väärtusest kõrgema sagedusega (inimesele mittekuuldavad) võnkumised kannavad nimetust ultraheli.

Võimalik, et lugejal tekib küsimus: kas ja kuidas saab õigustada mittekuuldava, «liiga» kõrge või «liiga» madala sagedusega võnkumise nimetamist ühiselt heliks?

Ultra- ja infraheli erinevad kuuldavatest helidest ainult sageduselt, mitte füüsikalise olemuse poolest. Nii infraheli, kuuldav kui ka ultraheli (sagedusega kas või miljonid hertsid) on füüsika seisukohalt ikkagi vaid elastses keskkonnas (näiteks õhus) leviv mehhaaniline lainetusnähtus. 16-hertsine piiritulp, mis on asetatud infraheli ning kuuldavate helide piirkonna vahele, ja teiselt poolt 20-kilohertsine versta post kuuldavate helide ning ultraheli vahel on õigupoolest füsioloogilise, hoopiski mitte aga



füüsikalise päritoluga. Siin on liigituse aluseks võetud inimkõrva omadus tajuda vaid teatavasse sagedusalasse kuuluvaid võnkumisi.

Eelnenu täpsustamiseks olgu märgitud, et kõrgeim kuuldav sagedus on isegi individuaalselt väga erinev ning oleneb suurel määral inimese eest. Kuuldevõime ülemine sageduspiir alaneb vanuse kasvades. Kui lapsed tajuvad 20-kilohertsist ja veelgi kõrgema sagedusega heli, siis juba neljakümnendate aastate künnisele jõudmisel on heli tajumise ülemine sageduspiir mõnevõrra langenud, küündides vaid 15...18 kilohertsini. Aga 70-aastased vanakesed tajuvad kõrgeid helisid tavaliselt kõigest 10 kilohertsini või veelgi vähem.

Seevastu on mitmete loomade kuulmisorganid tundlikud inimkõrva ülemisest sageduspiirist veel märksa kõrgemate sagedustega helidele. On kindlaks tehtud, et näiteks koer kuuleb helisid võnkesagedusega kuni 40 kHz.

Seda omadust on väga leidlikult kasutatud huvitavateks trikkideks tsirkuses. Koera võib dresseerida mingit tegevust sooritama, näiteks haukuma, niipea kui ta kuuleb ultraheli. Enamasti sellel põhinevadki menukad etteasted koertega, kes «oskavad» arvutada. Loomale antakse suuliselt või tahvlile kirjutatud tehete näol lihtne matemaatikaülesanne. Vaatajaskonnale öel-

dakse eelnevalt, et koer ei saa arvutustulemust teisiti teatavaks teha kui haukumise teel.

Tõepoolest, koer-«matemaatik» liidab, lahutab, korrutab, jagab ning suudab võtta isegi lihtsamaid ruutjuuri, eksides vaid haruharva. Hämmastav «oskus»!

Tegelikult toimub kõik järgnevalt. Arvutajaks pole koer, vaid inimene. Kui saabub õige moment vastuse haukumiseks, puhub dresseerija märkamatul väikest ultrahelivilet või käivitab riidesse peidetud ultraheligeneraatori. Ükski pealtvaataja ultraheli ei kuule, kuid koer reageerib sellele harjumuslikult haukumisega. Dresseerija katkestab ultraheli hetkel, mil koer on jõudnud vastuseks vajalik arv kordi haugutada, ja koer vaikib.

\*

Kunagi ei ümbritse meid täielik vaikus. Isegi maailmaruumi üksinduses viibivate kosmoselaevade kabiinides pole seda: töötavad loendamatud automaatikaseadmed, muud aparaadid ning kas või kosmonaudid ise tekitavad ikkagi heli. Vaatamata sellele loome enesele ise üsna sageli kunstliku vaikus: lülitame oma teadvusest heliaistingud välja. Olgugi et me siis «kõrvadest möödalastavaid» helisid «ei kuule», registreerib kõrv neid siiski. Tarvitseb vaid vajalikul helil lisanduda mittevajalikule, kui meie teadvus selle otsemaid teistest, võib-olla isegi palju tugevamatest helidest välja selekteerib. On küllalt juhuseid, kus laeva radist võib sisselülitatud vastuvõtja juurde liigväsimumusest uinuda, kuid tarvitseb vaid eetris valitsevasse helidekaosesse sekkuda oma jaama kutsungsignaal või lakooniline appikutse SOS, kui sügavaimgi uni on lausa käega pühitud. Järelikult võib teadvus ka une puhul vajaduse korral osaliselt kõrvadest saabuvald heliaistinguid analüüsida.

\*

Võnkesagedus määrab heli väga ühekülgsest, lähtudes vaid heli kõrgusest. Sagedusest ei sõltu, kas toon kõlab vaikselt või valjusti. Mesilase sumin ja tselloheli võivad olla täpselt võrdse kõrgusega, kui kummagi tekitab sama sagedusega võnkumine (mesilasel — kiiretest tiivalöökidest; tsellol — keele võnkumisest poogna hõõrdumise tagajärjel). Erinevusi on siin kaks — võnkumise intensiivsuses (helitugevuses) ja kõlavärvingus (tämbri).

Muusikud kasutavad toonide kõrguste ülesmärkimiseks noodi-



kirja. noodi asend viiest rööpjoonest koosneval noodistiikul määrab tooni nimetuse ja sellega koos ka kõrguse. Vajaliku helivaljuse määramiseks puistavad nad noodimärkide kohale lühendtähisteid, nagu *p*, mis tähendab *piano*, vaikselt; *f* — *forte*, valjusti; *ff* — *fortissimo*, väga valjusti jt. See dünaamiline (helivaljuste) skaala on siiski väga juhuslik ning kontrollimatu. Kuid muusika on elav kunst ja siin polegi oluline, et kõik interpreedid mängiksid ühte ja sama kohta mingis palas alati täpselt kindla helitugevusega. Pealegi on *fortissimo* sooloviulil muidugi hoopis midagi muud kui «seesama» *fortissimo* puhkpilliorkestril: dünaamilise skaala lühendtähistega tehtud ettekirjutused noodis on suhtelised ja kohaldatavad ainult kindlatele pillidele.

Helitugevus oleneb sellest, milline on võnkumise amplituud. Muude tingimuste võrdsuse korral põhjustab väiksem amplituud nõrgema heli kui suurem.

Et heli on perioodiliste tihenduste ja hõrenduste lainekujuline levimine õhus või muus elastses keskkonnas, siis saab helilaine mõjupiirkonnas mõõta helisagedusvõnkumise rütmis kõikuvat rõhku, et selle kaudu väljendada helitugevust. Mõõdetav suurus (õhurõhu perioodiline muutumine normaalsest pisut suuremaks ja väiksemaks) kannab nimetust *helirõhk* ning põhimõtteliselt saab seda mõõta tavalistes rõhuühikutes (ühele ruutsentimeetrile mõjuva jõu suurusega).

Paljudes kodudes on olemas õhurõhumõõtja — baromeeter. See primitiivne «ilmajaam» on siiski liiga tuim ja ebatäpne seadis, selleks et kasutada teda helirõhu mõõtmiseks. Baromeeter on ehitatud atmosfäärirõhu määramiseks, mis on tavaliselt 1 kilogramm ruutsentimeetrile, kõikudes, olenevalt ilmast, viie kuni kuue protsendi ulatuses. Helilaine tekkiv (vahelduv) helirõhk on suurusjärgus kõigest üks miljondik atmosfääri keskmisest rõhust. Kui baromeetri skaala jaotusteks on normaalõhurõhu sajandikosad, on helirõhu suurusjärg sellestki veel keskmiselt 10 000 korda väiksem. Nii saaks baromeetri osuti hälve hakata helilaine mõjul võnkuma momendil valitsevast keskmisest õhurõhust kõigest ühe skaalajaotuse kümnetuhandikosa võrra suuremate ja väiksemate hälvete poole, mis enam midugi loetavad pole. Pealegi toimub rõhu vaheldumine helilaine nii kiiresti, et mõõteriista mehhanism ei suuda oma inertsi tõttu seda järgida. Helirõhu mõõtmiseks on füüsikute kasutada mitmed sobivamad vahendid.

Mõistet heli tajutavast valjusest («viul mängib valjemini kui kontrabass») on sageli võrdsustatud helivõnkumise amplituudiga: valjemate toonide võnkeamplituud on suurem kui väiksematel toonidel. Siiski kehtib selline analoogia võrdlemisi tinglikult, ja seda järgmistel põhjustel.

Kui helivaljus on füsioloogiline või psühhofüüsikaline suurus, mis kirjeldab kõrva omadust erineva füüsikalise iseloomuga helidele reageerida vaiksemat või valjemat heliaistingut esile kutsudes, siis tuleb füüsikas rakendada objektiivset suurust, mis iseloomustaks helivõnkumist energeetilisest seisukohast, nimelt helitugevust.

Teame, et helilaine kannab edasi võnkumisenergiat. Helitugevus ongi suurus, mis näitab, millist energiahulka kannab helilaine oma leviku suunaga risti olevale pinnaühikule. Teisiti saab helitugevust defineerida võimsusena, mis mõjub helilaine leviku suunaga risti asuvale pinnaühikule.

Oluline on pisut lähemalt peatuda helitugevuse ja helivaljuse omavahelisel sõltuvusel. Tajutav helivaljus ei muutu nii nagu helitugevus, vaid sõltub sootuks selle logaritmist. Kui helitugevus suureneb näiteks neli korda, siis jääb mulje heli valjuse kahekordistumisest.

Helivaljuse taju sõltub ka kõlavärvingust ja helikõrgusest, seega mitte ainult kõrva langevast helivõimsusest.

Erinevaid sagedusi tajub inimkõrv sama helitugevuse puhul erineva valjusega, kusjuures kõige tundlikumaks piirkonnaks

on sagedusala 800...4000 hertsi. Kui üheaegselt kuulata kahte võrdse valjusega tooni, millest üks on madal (näiteks 40 Hz) ja teine langeks kõrva suurima tundlikkuse alasse (näiteks 1000 Hz), ning hakata kummagi helitugevust ühesugusel määral vähendama, siis ilmneb ootamatu nähtus: madalama tooni kuuldav valjus hakkab nõrgenema palju kiiremini kui kõrgemal toonil. Helitugevuse edasisel vähendamisel kaob madalama tooni kuuldavus hoopis. Kõrgema tooni helitugevust tuleb aga veel ligi 1000 korda vähendada, enne kui seegi kuuldeläve taha kaob.

Mida siit järeldada? Madalate toonide osas on inimkõrv palju vähem tundlik kui kõrgemate (õigem: keskmiste) puhul; viimasel juhul vastab kuuldelävi palju väiksematele helirõhkudele. Samalaadse võrdleva mõõtmise teel saab kindlaks teha kuuldeläve kõrgenemist (kõrva tundlikkuse vähenemist) ka 2000 hertsist suurema sagedusega toonide jaoks.

### *Kellalöögid vees*

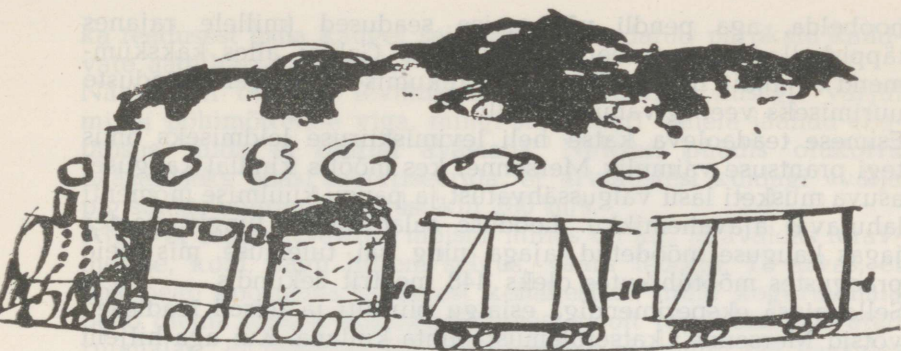
Vist kõik on äikese ajal loendanud sekundeid, mis lahutavad nähtavat valgusähvatust kaasnevast müristamisest. Igaüks teab, et sekundite arvu jagamisel kolmega saab leida, mitme kilomeetri kaugusel pikselöök toimus.

Taamal tõttab aururong. Jaamale lähenedes paiskub veduri kohale valge aurupilveke. Alles viivu pärast kuulete vilet, mis lakkab samuti hetk pärast aurupilve kadumist.

Ehk on teil olnud juhust viibida turismimatkal mägedes. Hüüate korra, ja võite oma häält imetleda kaljuseintelt mitmekordselt peegelduva kajana.

Taalised tähelepanekud õpetavad, et heli ei levi silmapilkselt. Seda võib kõige hõlpsamini märgata muidugi siis, kui heliallikat lahutab kuulajast suhteliselt pikk vahemaa.

Siinkohal kirjeldaksin üht huvitavat juhust oma lapsepõlvest. See toimus maal. Ilm oli vaikne ning ainus heli oli tubli tükk maad eemalt lahtise ääsi juurest kostev sepistamine. Haamrilöökide rütm oli väga ühtlane. Niipea, kui haamer tabas alasil lebavat hõõguvpunast rauatükki, lendasid sädemed ja kõlas



hele kõlksatus. Selles polnud näiliselt midagi erilist ja olingi parajasti oma pilku ning uudishimu sepalt hoopis pea kohal lendlevale kirevale liblikale üle viimas, kui miski ootamatult mu tähelepanu paelus: sepp katkestas viivuks tagumise ja laskis haamrit hoidva käe lõdvaks. Kuigi nägin päris selgesti, et haamer enam alasi ega millegi muu vastu ei puutunud, järgnes siiski veel üks löök! Peatselt jätkas sepp tööd, kuid nüüd jäin esimest vasarahoopi saatvast helist ilma. Olin hämmelduses.

Hakkasin lähenema. Olles umbes poolel teel, ei kuulnud ma löögi heli enam «õigel ajal», s. o. vasara puutumisel alasi vastu. Kõlksatused kostsid hoopis siis, kui sepp viibutas vasarat kõrgel pea kohal. Nähtu kooskõlastus kuulduga alles siis, kui olin jõudnud sepikojale juba üsna lähedale.

Meistermees osutus lahkeks meheks. Ta seletas teadusejanulisele kuresaapakandjale, et heli vajab seda rohkem aega, mida kaugemal kuulaja asub. See aga, et teataval kaugusel viibides rütmiliste löökide heli ühtus haamri nähtava liikumisega, oli vaid juhus. Heli vajas minuni jõudmiseks sel puhul täpselt niisama palju aega, kui suur oli kahe löögi vahe. Nägin lööki, kuid kuulsin selle juurde eelmise löögi heli.

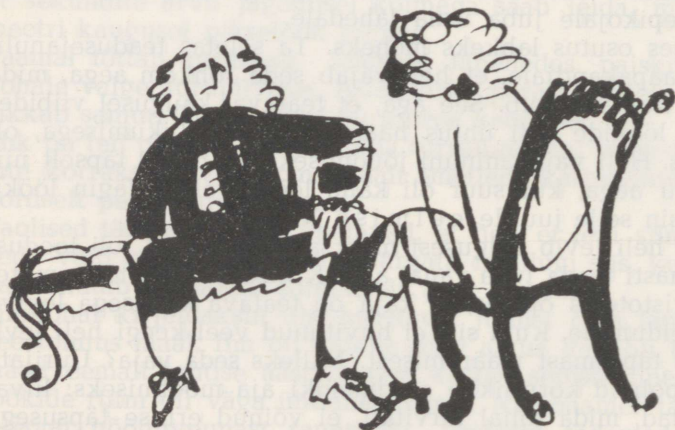
Tõsiasi, et heli levib valgusest märksa aeglasemalt, oli loodusuurijatel hästi teada juba vanal ajal. Kreeka mõttetark ja matemaatik Aristoteles õpetas, et kaja on teatava kiirusega leviva heli peegeldumine. Kuid siis ei huvitunud veel keegi heli levimiskiiruse täpsemast määramisest. Milleks seda vaja? Uurijate kasutada polnud korralikke seadmeidki aja mõõtmiseks: liivaja veekellad, mida tollal tarvitati, ei võinud erilise täpsusega

hoobelda, aga pendli võnkumise seadused (millele rajanes täppiskellade konstrueerimine) määras Galilei alles kakskümmend sajandit hiljem, kasutades liikumis- ja langemisseaduste uurimiseks veel igivanu veekelli.

Esimese teadaoleva katse heli levimiskiiruse leidmiseks õhus tegi prantsuse vaimulik Mersenne, kes mõõtis kindlal kaugusel asuva musketi lasu valgussähvatust ja paugu kuulmise momenti lahutavat ajavahemikku. Looduse saladustesse tungiv paater jagas kauguse mõõdetud ajaga ning sai tulemuse, mis meie praegustes mõõtühikutes oleks 448 meetrit sekundis.

Selle ainsa eksperimendiga esialgu piirduti ja teised teadlased võtsid Mersenne'i katsetulemust puhta kullana. Kui aga hiljem kuulus Isaac Newton tuletas teoreetilise valemi heli kiiruse jaoks gaasides, algasid suured pahandused. Autoriteetse teadlase arvutused näitasid, et heli peab õhus levima kiirusega ei rohkem ega vähem kui 280 meetrit sekundis.

Nüüd hakkas küsimus heli kiirusest tõsisemalt huvitama ka teisi õpetlasi. Uued, senistest täiuslikumate ja täpsemate mõõtmisvahendite abil tehtud hoolikad katsed andsid Mersenne'i ning Newtoni tulemuste vahepealseid suurusi: kes sai 300, kes 350 või isegi 320 meetrit sekundis... Heli levimiskiirusest õhus sai «päevaküsimus number üks» niihästi teadlaste kabinetide hämaruses kui ka suurilma vahaküünla-säralistes salongides. Vestelda targalt heli kiirusest — see kuulus «hea tooni» juurde



ka teadusest üsna kaugel seisvate puuderdatud parukaid kandvate aadlihärrade seas...

Nähtavasti oli heli levimiskiiruse määramises kusagil varjul mingi põhimõtteline viga, mingi silmapaari vahele jäänud ebatäpsus, mida ei osatud avastada. Newton püüdis olukorra päästmiseks edasi teoretiseerida, et arvutustest kuidagi «välja pigistada» suuremat kiirust kui 280 m/s.

Algul ei osanud Newton mõista, milles on asi, ja avaldas teravmeelse, kuid, nagu hiljem selgus, väärteooria. Ta arvas, et õhk peab koosnema tahketest kehakestest, mille koguruumala peab olema täpselt kümnendik gaasi poolt tervikuna hõivatud ruumalast. Et tahketes ainetes levib heli kiiremini kui gaasides (seda Newton nähtavasti juba teadis), siis heli kiirus gaasi läbimisel kasvab. Newton osutas ühtlasi asjaolule, et heli levimiskiiruse määramisel tuleb arvesse võtta ka õhu niiskusesisaldust. Mitmesuguste andmetega žongleerimise lõpptulemusena sai kuulus inglise teadlane eksperimendiga imehästi ühtiva arvutustulemuse: kokkulangevus ulatus kuni tuhandiku protsendini! Ilmselt pingutas ta siin pisut üle.

Pikaleveninud vaidluse lahendamiseks otsustasid Pariisi Akadeemia teadlased 1738. aastal korraldada suurejoonelise katsete seeria, kasutades heli levimiskiiruse määramiseks vana läbi proovitud meetodit, kuid senisest hoolikamalt, et vigu vältida. Teadus oli muutunud igati täpsemaks, eksperimendid ja katseseadmed viimistletumaks ning enam ei võinud kesta häbistav olukord, kus mingi lihtsa loodusliku konstandi jaoks oli saadud nii palju erinevaid väärtusi.

Neil aegadel ei olnud Pariis veel praegune maailmalinn. Puudus linna siluetele nii iseloomulik Eiffeli torn, hoonestuski ei ulatunud kuigi kaugemale ja lõuna pool asuv Montmartre'i kõrgendik oli alles tühi. (Selles pole midagi imelikku. Veel 1860. aastal alustas J. W. Jannsen «Perno Postimehes» üht artiklit nii: «Tallinna ligidal on üks mägi, mille nimi on Tõnismägi.» — Autori sõrendus.)

Ühel varakevadelisel hommikul töid soldatid Montmartre'ile kaks pronkssuurtükki. Neist üks mahutas kaheksa ja teine kaksteist naela kanget püssirohtu. Tõsi, need koletislikud sõjamasinad (massiühik 1 nael = 0,4 kilogrammi) ei lasknud küll eriti kaugemale, kuid tegid seda rohkem müra. Aga eeskätt müra oligi akadeemia doktoritel seekord tarvis.

Soldatid ei tulnud siia selleks, et kohale rutanud sensatsioonihuvilistele pariislastele oma laskeosavust demonstreerida. See-

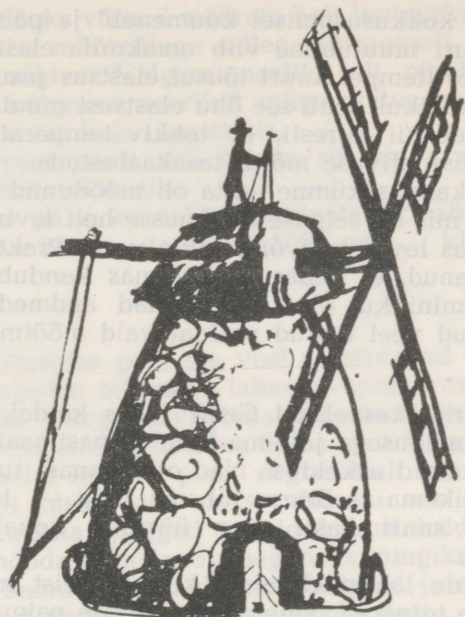
kord olid nad võitluses teadusetõdede eest. Nagu üks jutukam soldat uudishimulikele seletas, kavatsesid teadusemehed terve õhtupooliku põmmutada tühje laenguid taeva alla, et uurida heli levimist. Ja ärgu rahvas arvaku, et Montmartre on ainus koht, kuhu kahurid toodi. Kaks täpselt samasugust toimetati 38 kilomeetri kaugusele Montlhéry linnakesse, ja sealgi viibib mitu akadeemia liiget. Kuid taamal — soldat tegi ebamäärase viipe Seine'i jõe kääru suunas — on kontrollimiseks veel kaks vaatluspunkti: tähetornis ja Fontenay-aux-Roses'i suures tuuleveskis.

Pool tundi kaikus terve Pariis Montmartre'ilt kostvast mürinast. Seejärel tuli Montlhéry järjekord. Jälle kõlas varakevadises õhus pauk paugu järel nii kiiresti, kui vaid soldatid oma kahureid laadida jõudsid.

Teadusemeestel kõigis neljas vaatluspunktis olid käed töödtegemist täis. Ühed silmitsesid läbi pikksilma õhtuhämarusse mattunud horisonti, tabades kahurite suudmetuld, teised jälgisid kronomeetreid, kolmandad tegid märkmeid ja arvutusi. Ligi poolteist minutit vajab heli selleks, et läbida vahemaad Montmartre'ist Montlhéry'sse.

Kui hiljem kõik vaatlustulemused kokku koondati ja täpselt





läbi arutati, siis saadi heli levimiskiiruseks õhus väärtused, mis kõik lähenesid 337 meetrile sekundis. Niisiis vajab heli ühe kilomeetri läbimiseks peaaegu täpselt kolm sekundit.

Juba üksteist aastat igavest und puhkava Newtoni arvutus-tulemus ja teooria olid ümber lükatud, sest eriti suurt viga ei saanud viimaste mõõtmiste andmetes enam peituda: katseid tehti ligi poolsada ja kõik need andsid piisavalt ühtlanguvaid tulemusi.\*

Alles 1816. aastal sai prantsuse matemaatik ja füüsik Laplace lõpuks jälile tõelisele põhjusele, mis viis lahkhelidele eksperimendi ning Newtoni teoreetiliselt tuletatud valemi vahel. Newton oli helilaine levimiskiiruse määranud õhu tiheduse ja mahuelastsuse kaudu, kuid ei olnud arvesse võtnud asjaolusid, et rõhu suurenemisel ja vähenemisel (seega ka helilaine mõjul!) elastsus vastavalt kasvab ja kahaneb, ning et õhk nagu iga

\* Praeguste, täpsustatud mõõtmisandmete kohaselt loetakse heli levimiskiiruseks õhus normaalarõhu ja 0°C puhul 331 meetrit sekundis ja 20°C puhul 343 meetrit sekundis.

gaas kokkusurumisel kuumeneb\* ja paisumisel jahtub. Temperatuuri muutumine viib omakorda elastsuse täiendavale muutusele (temperatuuri tõusul elastsus pisut kasvab ja vastupidi). Loomulikult saab see õhu elastsust muuta vaid siis, kui protsess kulgeb nii kiiresti, et tekkinud temperatuurivahe ei jõua õhu soojusjuhtivuse mõjul tasakaalustuda.

Üle kaheksakümne aasta oli möödunud Montmartre'i kanonaa-dist, mis tõi selguse küsimusse heli levimiskiirusest õhus. Kuid kuidas levib helivõnkumine vees? Praktika oli juba korduvalt näidanud, et selles keskkonnas kandub helilaine edasi palju kiiremini kui õhus. Täpsemad andmed siiski puudusid, sest polnud veel tehtud usaldatavaid mõõtmisi.

\*

Kalurid, kes elasid Genfi järve kaldal, jäid sel õhtupoolikul hämmeldusega jälgima kahe linnast saabunud härrasmehe arusaamatuid askeldusi. Nad olid ennast tutvustanud — Colladon oli pikema ja Sturm lühema nimi —, laadinud vankrilt maha mitu suurt kasti ning üürinud kohalikest kaluritelt kaks paati.

Kastide lahtipakkimisel koorus neist muuhulgas välja ehtne raske tornikell. Ühe paadi ninasse paigutati rõhtsalt üle parda ulatuv palk. Kell kinnitati selle külge, üleni vette. Kalurid vangutasid arusaamatuses päid. Aga peaasi on see, et mösjööd maksavad hästi, ja kõliseva hõbeda eest võib ju pealetükki-vaid naeruturtsatusi pilkavaks muigeks vähendada. Võib isegi surmtõsise näoga askeldada mehepikkuse kõvera «piibu» kinnitamisel teise lootsiku küljele, laiema otsaga vette. Ja kellaga paati tuli panna veel plekkpann tavalise püssi tulelukuga, mis päästikule vajutamisel annab sädemeid.

Milleks see kõik? Arusaamatu.

Kui õhtul pimenema hakkas, olid mösjööd Sturm ja Colladon askeldustega valmis ning lasksid ennast järvele sõuda: üks ühes ja teine teises paadis. Paadid asetused nii, et kaldal paiknevate esemete järgi sai hõlpsasti määrata nende vahe-maad.

Vasarake, mis vee all kella vastu lõi, oli mehhaaniliselt sisetatud tuleluku päästikuga. Colladon puistas plekkpannile kuhjakese püssirohtu, ja sellega ettevalmistustööd piirdu-sidki.

\* Selle kohta näide. Pump, mida kasutate õhu surumiseks jalgrattakummi või jalgpalli sisse, kuumeneb kiiresti.

Mõlemad uurijad olid nõuks võtnud määrata heli levimiskiirust vees kella heli hilinemise mõõtmisega sellega üheaegselt tekitatava valgussignaali suhtes. Valgussignaali oli püssirohu süütamine. Teise paadi külge monteeritud «piip» osutus suureks kuuldetoruks, millega veest heli «õngitseti».

Heli levimiskiiruseks vees saadi neli korda suurem arv kui õhus, nimelt 1440 meetrit sekundis.

Huvitav on asjaolu, et paljudes tahketes ainetes tõttab heli veelgi kiiremini — näiteks terases 5000 m/s., klaasis 5600 m/s.

\*

Heli levimiskiirusest kõneldes pole me veel puudutanud küsimust, kas heli võnkesagedus mõjustab laine levimiskiirust või mitte. Selguse saamiseks polegi tarvis teha keerukaid katseid, aitab igapäevastest tähelepanekutest koos lihtsa aruteluga.

Oletame, et madalad helid levivad pisut aeglasemalt kui kõrged. Kui see tõesti nii oleks, siis oleks võimatu mis tahes muusikat kaugemalt kuulata: kõrged toonid kiirustaksid teel kuulajani madalatest mööda ja meloodia seguneks mingiks arusaamatuks virvarriks. Samuti jõuaksid akordi kõrged ja madalad toonid kuulajani eri aegadel ning tekitaksid mulje, nagu mängiksid pillimehed halvasti, ebarütmiliselt. Et niisugust nähtust tegelikkuses ei esine, võimegi järeldada, et meie oletus ei pea paika ja kõik helid levivad ühes ja samas keskkonnas võrdse, sagedusest sõltumatu kiirusega.

Peab ütleva, et tänapäevaste kiiruste ja tõtliku elutempo jaoks levib heli väga aeglaselt. Kui tahaksime (ja suudaksime) Tallinnas hõigata nii valjusti, et meid kuuldaks näiteks Riias, kuhu on linnulennult 280 kilomeetrit, siis kuluks umbes veerand tundi, enne kui hääl Daugava kallasteni jõuab. Hääle teekond Vilniusse kestaks juba ligi kakskümmend viis minutit!

Kui 1883. aastal Krakatau vulkaani purskel peaaegu terve Sunda väinas asuv samanimeline saar õhku lendas, oli võimas plahvatus kuuldav isegi Austraalia lõuna- ja idarannikul rohkem kui 4000 kilomeetri kaugusel. Helilainel kulus selleks teekonnaks pisut rohkem kui kolm tundi!

Vanad Narva elanikud mäletavad, et enne viimast sõda anti nendele täpset kellaaega teada sireeniga, mis paiknes iidse Hermani kindluse tornis. Sireen pandi hüüdma iga päev täpselt kell 12. Soodsa kagutuule puhul oli sireeni heli kuuldav ka




Narva-Jõesuus. Kui jõesuulased kelli selle signaali järgi õien-  
dasid, hakkasid nende ajanäitajad üle 35 sekundi valetama.

Eriti häirivalt mõjub heli küllaltki aeglane kiirus valjuhääldi-  
seadmete puhul, mida kasutatakse staadionidel, vabaõhukont-  
serdilavadel, miitingutel jm. massiüritustel. Kui kuulaja juhtub  
asuma akustilises mõttes ebasobival kohal (näiteks kahe valju-  
hääldi mõjupiirkonnas, kuid ühele lähemal kui teisele), siis  
kuuleb ta iga kõneldud silpi kahekordselt: lähemast valju-  
hääldist lähtuv hääl jõuab kohale pisut varem. Kui vahe ületab  
 $\frac{1}{20}$  sekundit (kauguste erinevus on umbes 15 meetrit), ei liitu  
need helid enam kõrvas ühte ja tekibki mitmekordse kaja tao-  
line efekt. On juhuseid, kus halvasti püstitatud valjuhääldite  
tõttu jääb kogu ülekantav programm peaaegu arusaamatuks.

Väike kõrvalmärkus: heli levimiskiirus õhus on 1200 kilo-  
meetrit tunnis. Kaasaegses reaktiivlennunduses on jõutud juba  
kiirusteni, mis tunduvad ületavad helikiiruse, seniste kosmose-  
laevade kiirused on aga umbes veerandsada korda suuremad!

### *Vedurivile ja reaktiivlennuk*

Kindlasti ei leidu inimest, kes poleks märganud, et kiirelt möö-  
duva veduri vile või auto signaali helikõrgus möödumise  
momendil muutub. Seni, kui liikuv helitekitaja läheneb kuula-



jale, tajutakse kõrgemat heli, kuulajast möödumise hetkel muutub see järsult madalamaks. Samal ajal aga kuuleb heliallikaga koos liikuv kuulaja, näiteks masinist või autojuht ainult ühe kindla kõrgusega heli.

Kui heliallikas läheneb kuulajale (või kuulaja liigub heliallika poole, põhimõttelist erinevust siin pole), siis nende vahemaa vähenemise tõttu «surutakse» õhus levivad helilained nagu tihedamalt kokku. Järelikult väheneb helilaine pikkus heliallika ja kuulaja vahel ning kuulamiskohas selle sagedus suureneb — toon kõrgeneb, sest kõrva tabab nüüd samas ajaühikus rohkem helivõnkeid kui seisva heliallika puhul.

Hetkel, mil liikuv heliallikas möödub kuulajast (või liikuv kuulaja heliallikast), muutub olukord vastupidiseks: kaugeneva helitekitaja ning kuulaja vahel «venitatakse» laine pikemaks ja kõrv hakkab tajuma madalamat heli. Mida suurem on suhteline liikumiskiirus, seda suurem erinevus helikõrguses tekib.

Helikõrguse muutumist heliallika ja kuulaja suhtelisel eemaldumisel või lähenemisel nimetatakse austria füüsiku Christian Doppleri järgi Doppleri efektiks.

Tavalises elus puutume kokku kiirustega, mis on võrreldamatult väiksemad heli levimiskiirusest õhus. Seevastu lennuasjanduses osutuvad veel suuremadki kiirused igapäevaseks nähtuseks. Nii on täiesti põhjendatud küsimus: milliseks kujuneb olukord, kui liikuva heliallika (näiteks reaktiivlennuki) kiirus üha suureneb. Püüame järgnevas arutelus sellele huvitavale probleemile vastuse leida.

Nii kaua, kui kiirenevalt liikuv heliallikas enda tekitatud ja

1200-kilomeetrise tunnikiirusega kontsentriliste lainetena igas suunas levivale helile järele ei jõua, pole midagi erilist oodata. Lennu suunas eemalduvad helilained suunavad eespool asuvaid õhusakesi nii, et need mööduvad lennukist.

Milliseks kujuneb aga olukord, kui reaktiivlennuki kiirus küünib heli levimiskiiruseni? Seni said õhusakesed helilainest aeglasemalt liikuva lennuki eest eemalduda helikiirusega, nüüd hakkab lennuk enda tekitatud helilainest ette tõttama. Õhusakesed ei kaldu lennuki liikumisteelt kõrvale ning moodustavad lennuki ees kurikuulsa helibarjääri, tihedalt kokkusurutud õhukihi, mis lennukikonstruktoritele kaua aega suurt meeolehärrmi valmistas. Helikiirusega lendamisel hakkavad lennukit ja selle osi (eeskätt tiibu) mõjustama täiesti erilised aerodünaamilised jõud, mis muuhulgas põhjustavad tiibade vibamist ja lennuki ebasobiva konstruktsiooni puhul ka avariisid. Ilmub eriline surveaine, mis liigub koos lennukiga, ulatudes koonusekujuliselt ka maapinnani, kus tekitab kahuripauku meenutava löögiheli.

Helibarjääri ületamise hetkel kaotavad kehtivuse «tavalise» aerodünaamika reeglid, mis käsitlevad lennuki liikumist õhus, ning asenduvad gaaside dünaamikast tulenevate seadustega.

Reaktiivlennunduse algaastail, mil helibarjääri alles ründama hakati, on olnud mitmeid juhuseid, kus katselendurid lennuki purunemise või juhitavuse kaotamise tõttu õnnetult hukkusid. Salakaval helibarjäär ei tahtnud kuidagi oma saladusi reeta.

Helibarjääri läbimurdmist pidasid paljud nimekad spetsialistid kaua aega isegi võimatuks ja ennustasid, et maksimaalseks kiiruseks lennunduses ja seega üldse transpordis võib kujuneda kuni 1000 km/h. Siiski ületati helibarjäär spetsiaalsel lennukil juba esimestel pärastsoja-aastatel. Praegusel ajal on inimesed lennanud lennukitel juba kiirusega 6000 km/h, mis vastab umbes viiekordsele heli levimiskiirusele õhus.

Lennundusteooria areng ja rohke katsematerjal viisid lõpuks kiirlennukite konstruktsiooni põhjalikule ümberkujundamisele. Eeskätt muutusid tiibade kuju ja paigutus (ilmus nooljas figuur võrdlemisi kaugel tagaosas asetsevate tiibadega) ning lennuki ninasse asetati pikk teravik. Viimase ülesandeks oli — piltlikult öeldes — helibarjäär «katki torgata».

Täpselt helikiirusega lennuk kestvalt liikuda ei saa — ta peab võimalikult kiiresti selle kriitilise kiiruse ületama, et mitte purunemisohtu sattuda. Kui helibarjäär on juba selja taha jäänud, muutub lend taas stabiilseks nagu väiksematelgi kii-

rustel. Sama kordub, kui ülikiire lennuk asub ületama kahe- või kolmekordse helikiirusega määratud barjääre (vastavalt umbes 2400 ja 3600 km/h).

Et 12 kilomeetri kõrgusel maapinnast, kus kiired reaktiivlennukid lendavad, valitseb üsna madal temperatuur ja õhk on hõre, siis vastab seal helibarjäär kiirusele umbes 1050 km/h. Nii et kui näiteks Tallinn—Moskva lennuliinil kurseeriva Tu-124 stjuuardess lennu algul teatab, et lennatakse 10 000 meetri kõrgusel kiirusega 1000 kilomeetrit tunnis, siis on lennutingimused juba üsna lähedased helibarjäärile.

### *Igal helil on oma käekiri*

Igal inimesel on oma iseloomulik käekiri. Kõnelemata muudest käekirjade erinevustest märkame, et üks kirjutaja kallutab tähti vasakule, teine paremale, kolmas aga reastab need paberile püstistena.

Igal helilgi on oma iseloomulik käekiri. Tiit Kuusik on bariton. Georg Ots on samuti bariton. Aga ometi teame teadustusetagi, kumb nendest laulukuulsustest parajasti raadiosaates esineb. Nende hääli tunneb iga laulusõber eksimatult.

Milliste tundemärkide kaudu saame hääle järgi eristada lauljaid, vahet teha muusikariistades ja tunda tuttavate inimeste kõnet?

Igal inimehäälel ning igal muusikariistal on oma iseloomulik kõlavärving ehk tämber, oma «käekiri». Ühte ja sama meloodiat saab mängida nii kandelil, klaveril, flöödil kui ka uudsetel elektrimuusikariistadel. Kuulaja, kes vähegi tunneb pille, eristab neid just kõlavärvingu põhjal. Ainult elektripillid on mõnikord konstrueeritud nii, et nendest saab välja meelitada mitmete «tavaliste» muusikariistade hääli, s. o. muuta sünteetiliselt tekitatavate helide «käekirja» selliseks, nagu näiteks viiulil, flöödil, tsellol või isegi trummil. Elektripilliks, mis «oskab» imiteerida kõigi orkestri-instrumentide helisid alates kõrgeimast pilkoloflöödist ja lõpetades kontrabassiga, on nõukogude konstruktorite Ivanovi, Dzeržkovitši ja Rimski-Korsakovi valmistatud «Emiriton».

Kuid lähemalt vestleme elektrimuusikainstrumentidest hiljem. Mis tekitab kõlavärvingu, millest oleneb helide «käekiri»? Selle nähtuse uurimisel jõuamegi helide liigituseni «käekirjade» järgi.

Võnkumise olemuse kohaselt jaotatakse helid nelja liiki.

*Toon* on lihtsaim perioodiliselt kulgev võnkumine, mille graafiliseks vasteks oleks sinusoid. Tegelikuses me puhtaid toone ei kohta. Küll aga on helid, mida tekitab muusikariist või mõni võnkuv keha, omapärane segu mitmest toonist.

*Müra* on täiesti korrapäratu helivõnkumine ja seetõttu ei ole tal ka kuudeliselt tajutavat kõrgust. Näiteid müradest võiks tuua lõpmatuseni. Nimetagem metsa kohinat, kiirelt sõitva auto kummide iseloomulikku vihinat vastu asfaldi, riiete kahinat. Vihin, kohin, sisin, sahin, pahin, mühin... Kui rikas on igapäevane kõnekeel mitmesuguseid mürasid iseloomustavate sõnade poolest!

Ka enamiku muusikainstrumentide heli tekib koos mingi iseloomuliku müraga: flöödil on selleks puhumise õhuvoolu kahin, klaveril haamrikese löök vastu keeli heli tekkemomendil jne.

Kui mingi tugev müra kestab väga lühikest aega, siis räägitakse *paugust* (ka *löögist*).

Nii inimhääli kui ka muusikariista heli on omapärane segu paljudest erineva sagedusega võnkumistest: põhitoonist (mis määrab helikõrguse) ja sellele lisanduvatest kõrgemate sagedustega ülemtoonidest. Põhitoon on helivõnkumise madalaima sagedusega koostisosa ehk komponent. Väga oluline on teada, et põhitooniga kaasnevad harmoonilised ülemtoonid on kõik sageduselt selle täisarvkordsed. Kui helisagedus (põhitoon) on näiteks 120 hertsi, siis võimalik harmooniliste ülemtoonide rida oleks järgmine:

2. ülemtoon	3. ülemtoon	4. ülemtoon	5. ülemtoon	6. ülemtoon	jne.
240 Hz	360 Hz	480 Hz	600 Hz	720 Hz	

Ülemtoonide intensiivsus võib põhitooniga võrreldes kõikuda väga laiades piirides. Flöödi helis leidub näiteks ainult madalamate sagedustega ülemtone ja needki on nõrgad, seevastu klarneti helis on palju intensiivseid ülemtone. Kontrabassi helis on määrava tähtsusega just ülemtoonid, sest põhitoon on sellel pillil võrdlemisi nõrk (sageli kõigest 10% ülemtoonide koguvõimsusest!).

Kuidas helide käekirja nähtavaks muuta? Nagu järgnevalt

selgub, on näitlikustamiseks kõige hõlpsam kasutada heliharki, vahendit, mida muusikud tarvitavad oma pillide täpseks häälestamiseks. Kuid kõigepealt pisut helihargist.

Pikematagi on selge, et iga muusikapala peab kõlama niisuguses helikõrguses, nagu komponist kavatses. Kui pillid oleksid erinevates kohtades häälestatud erinevalt, ei oleks see nõue täidetav. Raskusi tekiks ka lauljatega: esitatav pala, mis ühe klaveri saatel lauldes hästi «mahub» laulja loomuliku hääleulatuse piiridesse, võib teise klaveri puhul jääda häälele sobimatult kõrgeks või madalaks.

Ühtse häälestuse saamiseks on kõikjal rahvusvaheliselt kehtestatud normaalhäälestus, mis määrab kindlaks teatava tooni võnkesageduse. Selleks tooniks on esimese oktaavi *la* sagedusega 440 Hz. Helihargid ongi käepäraseimad etaloonid, mis praktiliselt küllaldase täpsusega annavad pillide häälestuse kontrollimiseks vajaliku *la*.

Helihark on U-kujuliseks painutatud metallvarras, mille põlvikule on kinnitatud pide. Kerge löök vastu heliharki paneb selle härud võnkuma ning tekitab nõrka heli, mille sagedus oleneb helihargi mõõtmetest ja materjalist. Suuremõõtmeline helihark võngub aeglasemalt, andes madalama tooni kui väike.

Muusikainstrumentide ühtne häälestus kujunes muusikakunsti kiire arenguga võrreldes välja alles suhteliselt hilisel ajajärgul. Esimene katse absoluutse häälestuskõrguse normeerimiseks tehti 1858. aastal Pariisi Teaduste Akadeemia vastava otsusega, mis küll alles 27 aastat hiljem Viinis peetud konverentsil üldkehtivaks tunnistati. Siis fikseeriti esimese oktaavi tooni *la*<sup>1</sup> võnkesageduseks 435 herti. Hiljem, 1939. aastal Londonis toimunud uuel rahvusvahelisel konverentsil tõsteti *la*<sup>1</sup> (nn. normaal-*la*) sagedus 440 hertsini. See häälestus on tänapäeval kõikjal kohustuslik ja Nõukogude Liidus fikseeritud koguni vastava riikliku standardina.

Varematel aegadel oli muusikariistade absoluutne häälestus väga muutlik ning erines tunduvalt isegi ühe ja sama linna piirides. Tooni *la*<sup>1</sup> häälestussageduse äärmuslikud hälbed küündisid 374 hertsist 567 hertsini (sellele vastaksid praeguse normeeritud häälestuse puhul umbes toonid *fa*<sup>1</sup>-*diees* ning *do*<sup>2</sup>-*diees*!).

Näiteks pidi J. S. Bach Leipzigi kirikutes mängima orelitel, mille häälestustes oli lahkuminekuid kuni ühe tooni võrra. Kui ta saatis orelil püsiva häälestusega puupuhkpille, siis tuli paratamatult iga pala helistikku muuta — seda transponeerida.

Heliharki nimetatakse praegugi mõnikord kammertooniks. See nimetus on teatav anakronism aegadest, millal muusikainstrumentide häälestuskõrgus veel normeeritud polnud ja erinevatel puhkudel ka erinevat la'd kasutati. Kammertoon oli umbes poole tooni võrra madalam praegusest normeeritud häälestusest; peale selle kasutati veel kõrgemat, nn. kooritooni, vaskpuhkpillimängijate tarbeks oli omakorda nn. kornetitoon ja ooperiteatrites ooperitoon. Vastavateks «tooni-normaalideks» kasutati väikesi vilesid, kuid eelkõige siiski heliharke.

Pöördume nüüd tagasi küsimuse juurde helide käekirjast. Helihargi võnkumise nähtavaks muutmiseks tuleb selle ühe haru otsa külge kinnitada metallteravik. Nüüd tuleb võtta veel tükike paberit või klaasi ja katta see suitseval petrooleumilambil või küünlaleegil tahmaga. Kui võnkuva helihargi teravikuga tahmatatud paberit puudutada, eemaldub sellelt pisut tahma ja tekib lühike valge jooneke, mille pikkus võrdub teraviku kahekordse võnkeamplituudiga (tasakaaluasendist võrdselt kummalegi poole).

Järgnevalt tõmbame paberit võnkuva helihargi teraviku all edasi. Millise kujundi joonistab teravik meile nüüd? On pike-mata selge, et kui liikumine kulgeb risti teraviku võnkumise suunaga, peab paberile ilmuma lainejoon: võnkumine nagu laotuks tasapinnale. Niiviisi saamegi tunda õppida helihargi poolt tekitatava heli «käekirja». Heliallikas, s. o. võnkuv keha, joonistas üles iseenese võnkumise.

Helihargi võnkumisel tekib puhas toon, mis ülemtoone peaaegu ei sisalda. Teataval mõndusel (kui jätta arvesse võtmata helihargi võnkumise sumbumist) sarnaneb saadud lainejoon — võnkumisgraafik — matemaatikast tuntud sinusoidiga; ülemtoonideta perioodilist võnkumist ainuüksi põhisagedusel kutsutakse siinusvõnkumiseks.

Siinusvõnkumine on lihtsaim liik mitesumbuvatest perioodilistest võnkumistest. See tekib siis, kui võnkuva aineosakese hülbel keskkonnas tekkiv elastsusjõud on võrdeline seda põhjustanud hülbega (võnkeamplituudiga).

Ülemtoonid muudavad võnkumisgraafiku mõnikord väga keeruliseks. On olemas vahendeid, mis võimaldavad nähtavaks teha ning uurida igasuguseid helivõnkumisi — ostsillograafid, helispektrograafid jm.

Mis põhjustab ülemtoonide ilmumise? Miks helivõnkumine ei esine ainult põhisagedusel? Vastuse nendele küsimustele saame näiteks pillikeele võnkumist uurides.

Keel võib võnkuda nihästi tervikuna kui ka osade kaupa, jagunedes kaheks, kolmeks jne. võrdse pikkusega osaks, mis võnguvad omaette. Seega hakkab ta sooritama liitvõnkumist, tekitadeski põhitoonile lisaks veel kõrgemate sagedustega toone. Need osutuvad põhisageduse täisarvkordseteks, seega ülemtoonideks, kuna võnkesagedus on pöördvõrdeline keele võnkuva osa pikkusega, terve keel aga omakorda jaguneb täisarvuks iseseisvalt võnkuvateks võrdse pikkusega osadeks. Niiviisi kujunebki igal helil oma «käekiri».

### *Muusika ja füüsika*

Vist iga rahva kultuuripärandis on oluline koht mütoloogial. Vanade pärimuste ja kangelaslugude hulgas võib alata leida ka muusikaga seotud episoodide. Kreeka mütoloogias on üheks tuntumaks tegelaseks päikesejumala Apollo poeg Orfeus, keda vanadel skulptuuridel kujutatakse enamasti lüürat — iidset seitsmekeelelist muusikariista mängimas. Nendes muistendites on Orfeus laulik, kes kõike elusat ja elutut suutis muusika võlu köidikuusse haarata. Kui ta laulis, siis järgnesid talle puud ning kaljud, ja kui ta mängis, taltusid metsloomad ning peatusid tormakad jõed.

Räägiti, et samasugust võlujõudu kui Orfeusel omavat ka eestlaste Vanemuine.

Võlur-laulikute ja -muusikute sagedane esinemine mütoloogias viitab asjaolule, et muusikakunsti algmeid tuleb otsida kaugest minevikuhämarusest. Eks iseloomusta Orfeusele ja Vanemuisele või teistegi rahvaste muistenditest pärinevatele laulikutele omistatud imevõim muusikat üldse, seda kõige vahetumalt mõjuvat ja vist ka kõige vanemat kunstiliiki.

Muusikahelide mõju inimese tunnetele paistis vanasti niivõrd seletamatuna, et muusikat hakati pidama üleloomulikuks «jumalate anniks». Helid on suutelised inimeses esile kutsuma kõige erinevamaid elamusi ning peenimaid tundevarjundeid — ülevast rõõmaid sügava kurbuseni, ettevõtlikust reipusest enesesesüvenenu mõtlikkuseni.

Mitmed laulud sündisid revolutsioonilises võitluses, kõlasid

innustajatena meie isade suus, need on laulud, mida meiegi ajal meelsasti kuulatakse. Porletariaadi revolutsioonilist liikumist saatnud laulud, eeskätt «Internatsionaal», «Julgesti, vennad, nüüd tööle!» ja «Punane lipp» on läinud vene ning maailma kunstivaramusse. Loodud bolševike esimese põlvkonna poolt ning väljendades julgete võitlejate tundeid, tahet ja mõtteid, jäävad need laulud ka tulevikus revolutsioonilise kunsti igavesti elavateks ja teednäitavateks monumentideks.

Erakordse mõjuga oli kuulsa eesti viiuldaja Eduard Sõrmuse kunst. Revolutsiooni tulihingeline tribuun võitles suurte ideedest oma relva — muusika abil.

Palju on tsiteeritud V. I. Lenini sõnu Beethoveni klaverisonaadi «Appassionata» kohta: «Ma ei tea midagi paremat kui «Appassionata», võiksin seda iga päev kuulata. Imestamisväärne, ülev muusika.»

Muusikakunsti üheks tõenäolisemaks lätteks oli jahisaagi juurdemeelitamiseks tarvilik linnulaulu ja loomahäälte imiteerimine ürginimese poolt. Sellest kasvasid välja esialgu paaritoni pikkused meloodiaalmed, mis hiljem arenesid lauluks.

Laulmiseks pole vaja mingit abivahendit, sest hääli on iga inimesel. Seevastu muusikainstrumendid tekkisid, nagu arvavad ajaloolased, mitte iseseisvalt, vaid tööriistadest, relvadest ja majapidamisvahenditest, mida inimene oli igapäevases elus valmistama ning kasutama õppinud.

Kindlasti märgati kunagi, et pinguldatud vibunöör võib juhuslikul näppimisel tekitada meeldivat heli, et metalli- või puutükkide kokkulöömisel need kõlisevad ja et oskuslikult läbi loomasarve puhudes võib sellest välja meelitada isegi lihtsaid viisiakesi.

Nendest tähelepanekutest lähtudes loodigi mitmesugused algelised puhk-, keel- ning löökpillid. Aastatuhandete vältel arenedes, täiustudes ja muutudes on nendest saanud lüürad ning aulosed ja hiljem meie harfid, klaverid, viiulid, flöödid, trompetid jm. muusikainstrumendid. Ainuüksi kaasaegse sümfooniaorkestri koosseisus, milles mängib sageli kuni sada muusikut, võib loetleda oma veerandsada eri liiki muusikariista.

«Kõikide asjade tõeline olemus peitub arvudes. Nendega saab väljendada pikkust, pindala ja ruumala. Kõik asjad on mõõdetavad ja kui võrrelda mõtetulemusi, uurida nende omavahelist



sõltuvust, siis võib näha, et täiuslikum ja kaunim erineb vähem-täiuslikust ja inetumast arvude suhte poolest. Mida lihtsam on arvude vahekõrd, seda kaunimad ning täiuslikumad on asjad!» Nii õpetas kahe ja poole aastatuhande eest tegutsenud kreeka filosoof Pütagoras.

Kuulus mõttetark koos oma õpilastega oli üks esimesi, kes hakkas tõsisemalt uurima matemaatikat. Tuletagem vaid meelde Pütagorase teoreemi täisnurkse kolmnurga kaatetite ruutude summast.

Pütaagorlaste koolkond püüdis kõike väljendada arvudes. Nad uurisid ka muusikat, soovides avastada arvudes väljenduvat seost ühelt poolt hästi kokkukõlavate toonide ehk konsonantside ja teiselt poolt halvasti sobivate toonide ehk dissonantside vahel. Ehkki helinähtuste füüsikalist olemust veel ei tuntud, tegid Pütagorase õpilased katseid hammoonia (kooskõla) seaduste leidmiseks ja nende seaduste allutamiseks arvudele, püüdes tõestada, et nende filosoofia põhiprintsiip kehtib ka muusikas.

Aegade vältel on muusikas välja kujunenud teatav toonide süsteem, nn. heliredel. Kuigi inimkõrv võib üldse eristada kõikvõimalikest kuuldepiirkonda kuuluvatest erineva sagedusega toonidest umbes 10 000 ümber, ei kasutata neist muusikas kaugeltki kõiki. Kui satute klaveri juurde, siis loetlege selle instrumendi klahve: neid on kokku kaheksakümmend viis kuni üheksakümmend — umbes viiskümmend valget ja kolmkümmend viis musta. Üldse on muusikas kasutusel kuni sadakond põhitooni.

Miks on muusikas välja kujunenud kindel toonide süsteem? Miks ei rakendata meloodiate moodustamiseks ja akordide ehitamiseks juhuslikke, meelevaldselt valitud toone, vaid need peavad omavahel kindlas vahekorras olema?

Pütaagorlased kasutasid muusikahelide saladustesse tungimisel abivahendina monohordi (kreeka keeles tähendab *monohordos* — ühekeeleline). See oli lihtne muusikariist, hiljem veel üksnes füüsikaline uurimisvahend. Monohordi pikliku seedripuust lauakese või kastikesse kohal asus loomasoollest valmistatud keel, mida elevandiluust pulka pöörates võis rohkem või vähem pinguldada (nii nagu tänapäeva keelpillidelgi). Keelt sõrmitsetes tekkis heli, mille kõrgus sõltus keele pikkusest ja pingususest. Viimast hoiti katse käigus jäävana.

Keele heliseva osa pikkuse muutmiseks oli keele ja kasti kaane vahele kiilutud kolmnurkne puitprisma. Kasti servadele olid tõmmatud kriipsud, mis tähistasid asendeid, kus prisma jaotab keele täpselt pooleks, eraldab sellest kaks viiendikku, kolmandiku, neljandiku jne.

Väikese kõrvalpõikena märgiksime, et Teatri- ja Muusikamuseumis Tallinnas võib näha vana saarlaste muusikariista mollipilli, mis sarnaneb põhimõtteliselt eelkirjeldatuga. Tal on samuti vaid üks, puidust mollikujulise kasti kohale pingutatud keel, kuid erinevalt monohordist mängiti seda poognaga, samal ajal sõrmede abil keele helisevat osa lühendades. Puuduvad andmed, et vanad saarlased oleksid mollipilli füüsikalise katseseadmena kasutanud.

Pütagoras püstitas ülesande näidata monohordi keele jaotamise teel, et juba tol ajal käibel oleva seitsmetoonilise heliredeli kõiki toone saab tuletada keele pikkuse jaotamisest lihtsaimateks võimalikeks osadeks — poolitamisega ja kolmandiku eraldamisega.

Mida lühem keel, seda kõrgema tooni saame. Kui prisma jaotab monohordi keele kaheks täpselt võrdseks osaks, siis annab

kumbki osa ka ühesuguse tooni, mis on küll kõrgem esialgsest, tervele keele pikkusele vastavast põhitoonist, kuid sellega lausa äravahetamiseni sarnane. Muidugi ei tohi sealjuures muutuda keele pingsus. Erinevus heli kõrgustes (intervall), mis tekib keele lühendamisel poole võrra (s. o. suhtes 1 : 2), kannab nimetust *oktaav*. Oktaav on ideaalseim konsonants.

Järgmine lihtsaim keele pikkuste suhe on 2 : 3. Selle saamiseks tuleb prisma ilmselt paigutada nii, et monohordi keele algpikkusest eralduks  $\frac{1}{3}$ . Järelejäänud kaks kolmandikku keelest annab esialgse põhitooniga võrreldes heakõlalise, konsoneeriva intervalli *kvindi*.

Muide, tänapäeva keelpillidest on viiulid ja tšellod häälestatud kvintides.

Enne kontserti häälestavad orkestrandid pille. Ühel sümfooniaorkestri puupuhkpillidest — oboel — antakse vajalik, eelnevalt helihargi abil kontrollitud õige kõrgusega toon ning viulidajad häälestavad oma instrumentide neljast keelest ühe täpselt sellele toonile, muutes lihtsalt keele pingsust. Seejärel kuulete pisut aega ainult kvintintervalle, sest viuli iga keel peab naaberkeele suhtes andma kvindi võrra erineva kõrgusega tooni. Mitte eriti musikaalne kuulajagi tabab hõlpsasti vähimagi kõrvalekaldumise õigest, ehk nagu seda nimetatakse, «puhtast» kvindist.

Konsonantside hulka kuulub ka keele pikkuste suhtearvu 3 : 4 puhul tekkiv intervall *kvart*. Keele tooni kõrgendamiseks kvardi võrra tuleb helisevat pikkust vähendada veerandi ulatuses.

Kvartintervallidesse häälestatakse näiteks kontrabassid. Põhitooniga üheaegselt kõlav kvart on pisut kalgim kui kvint.

Oktaavi, kvindi ja kvardiga oli neli astet tollal kasutatud heliredelist juba määratud. Kasutades toonide tähistena kaasaegseid nimetusi, kujuneks pilt järgmiseks:

1. aste	2. aste	3. aste	4. aste	5. aste	6. aste	7. aste	8. aste
<i>do</i>	<i>re</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si</i>	<i>do<sup>1</sup></i>
priim	sekund	terts	kvart	kvint	sekt	septim	oktaav

Viimane *do<sup>1</sup>* on algtooniks arvatud esimesest *do*'st oktaavi võrra kõrgem ja kuulub õigupoolest juba järgmisse, kõrgemasse oktaavi, uude «seitsmepulgalisse redelisse» eelmistega samanimelistest, kuid oktaavi võrra kõrgematest toonidest *do<sup>1</sup>*, *re<sup>1</sup>*, *mi<sup>1</sup>*, *fa<sup>1</sup>*, *sol<sup>1</sup>*, *la<sup>1</sup>*, *si<sup>1</sup>* jne.

Heliredeli ülejäänud toonide — 2., 3., 6. ja 7. astme määramiseks ei piisanud võnkuva keele pikkuse ühekordsest jaotamisest. Ent Pütagoras kasutas nendegi puhul ainult lihtsaimaid, kõige «puhtamaid» konsonantse — oktaavi ja kvinti. Selle asemel, et kvindi «ehitamisel» lähtuda näiteks esimesest astmest, *do*'st, võis uueks lähtetooniks võtta juba varem määratud viienda astme tooni, seega *sol*'i (kusjuures keelt oli juba lühendatud  $\frac{2}{3}$ -ni *do*'le vastavast algpikkusest).

Kui nüüd keelt veelkordselt lühendada sama suhtearvu 2:3 võrra, siis omandab see

$$\frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} = \frac{4}{9}$$

esialgsest pikkusest, osutudes veidi lühemaks kui pooli algpikkusest. Saadav toon, n.-ö. «kvint kvindist», on seega pisut kõrgem lähtetooni oktaavist *do*<sup>1</sup>. Muutes nüüd keele helisevat

osa kaks korda pikemaks ( $\frac{4}{9} \cdot 2 = \frac{8}{9}$  algpikkust), siis peab

uus toon hakkama oktaavi võrra madalamalt kõlama. Niiviisi saadi Pütagorase heliredelis veel üks puuduv toon — teise astme toon *re*, mis lähtetooni *do* suhtes moodustab intervalli *sekund*.

Kuuenda astme tooni konstrueerimiseks liitis Pütagoras sekundiga ühe kvindi ja sai *seksti*, millele vastab toon *la*. Pole raske arvutada, et selle annab 16:27 keele esialgsest pikkusest:

$$\frac{8}{9} \cdot \frac{2}{3} = \frac{16}{27}$$

sekund kvint sekst

Toonini *mi* jõudmiseks (sellele vastab intervall *terts*) tuli Pütagorasel läbida veelgi keerukam tee. Nelja kvintimise ja kahe tagasioktaavimise kaudu saadi keele pikkuseks 64:81 algpikkusest.

Viimane lünk heliredelis — *septimi* moodustav toon *si* — tuleb viie kvintimise ja kahe tagasioktaavimisega, saades enam kaugeltki mitte lihtsa suhtearvu 128:243 keele algpikkusest.

Näis, nagu oleks Pütagorase õpetus leidnud kinnitust ka muusikas. Mida keerukamaks läksid keelte pikkuste suhtearvud monohordil, seda dissoneerivamaks muutusid intervallid Pütagorase häälestuses heliredeli toonide vahel.

Lihtsa ühehääle muusika tarbeks, mis ei väljunud inimhääle loomulikust ulatusest ja milles ei kasutatud akorde — üheaegselt kõlavate toonide ühendeid — piisas niisugusest heliredelist täiesti. Näiteks häälestati vanu oreleid, mis 12.—13. sajandil koosnesid ainult kümnest-kahekümnest vilest, monohordi abil Pütagorase meetodil.

Helisageduse mõistet Pütagoras muidugi ei tundnud. Alles rohkem kui kaks aastatuhandet hiljem määrati lihtne sõltuvus võnkuva keele pikkuse ja tekkiva tooni sageduse vahel: kui keele pingsus ei muutu, siis on sagedus ja keele pikkus pöördvõrdelised suurused.

Eelnenust teame, et kvindi saamiseks tuleb lühendada keelt kahe kolmandikuni esialgsest pikkusest. Niisiis on kvinti moodustava tooni sagedus põhitooni sageduse 1,5-kordne.

Heliredeli astmete toonide sagedussuhted kujunevad seega järgmiseks:

<i>do</i>	<i>re</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si</i>	<i>do</i> <sup>1</sup>
$\frac{1}{1}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{81}{64}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{27}{16}$	$\frac{243}{128}$	$\frac{2}{1}$
priim	sekund	terts	kvart	kvint	seks	septim	oktaav

Sama võib väljendada ka naabertoonide sageduste suhte arvude kaudu. Näiteks *mi* ja *re* sageduste suhe on

$$\frac{81}{64} : \frac{9}{8} = \frac{9}{3}.$$

Sama suhte leiame ka intervallidel *sol* — *fa*, *la* — *sol* ja *si* — *la*. Kuid *fa* — *mi* ja *do*<sup>1</sup> — *si* sageduste suhe on vastavalt:

$$\frac{4}{3} : \frac{81}{64} = \frac{256}{243} \quad \text{ning} \quad \frac{2}{1} : \frac{243}{128} = \frac{256}{243}.$$

Järelikult kehtivad Pütagorase heliredelis järgmised naabertoonide sageduste suhte arvud:

<i>do</i>	<i>re</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si</i>	<i>do</i> <sup>1</sup>
$\frac{9}{8}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{256}{243}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{256}{243}$
♯äistoon	täistoon	pooltoon	täistoon	täistoon	täistoon	täistoon	pooltoon

Matemaatilisest seisukohast oli lahendus muidugi väga elegantne: oktaav jagunes viieks omavahel vastavalt võrdseks «täistooniks» ja kaheks «pooltooniks». Just sellepärast oli Pütagorase süsteem muusikaõpetuse alussambaks kuni hilise keskajani, mil hakkas tasapisi selguma, et praktilise muusika tarbeks sobiva harmoonilise toonidesüsteemi arvude keele väljendatav sisestruktuur, s. o. heliredeli toonidest moodustuvate intervallide sageduste suhtearvude tabel, osutub Pütagorase omast mitmeti erinevaks.

Pütagoras allutas terve heliredeli matemaatikale ega arvestanud mitmete intervallide puhul nende loomupärast kuuldelist kooskõla — harmooniat. Tüliõunaks Pütagorase teooria ning praktika, varasel keskajal juurdunud mitmehäälese muusika vahel kujunes kaks intervalli: tertsi *mi—do* ja seksti *la—do* (sageduste suhted Pütagorase süsteemis vastavalt 81 : 64 ning 27 : 16).

Pütagorase häälestuse puhul osutusid need intervallid halvakõlalisteks, täiesti tüüpilisteks dissonantsideks. See oli aga vahepeal edasi arenenud harmooniaõpetuse ja muusikapraktikaga vastuolus. Tegelikuses on nii tertsi kui ka seksti säravalt kaunid kooskõlad. Nii on näiteks lauluedetid suures osas üles ehitatud just nende intervallide kasutamisele.

Vasturääkivuse rüpest kasvaski välja uus, muusikaliselt võraturalt täiuslikum häälestusviis, mis osaliselt kukutas Pütagorase heliredeliteooria.

Uute tõekspidamiste kohaselt vastasid kuuldeliselt puhtaks häälestatud tertsile ja sekstile võnkesageduste suhted vastavalt 5 : 4 ja 5 : 3. Füüsika seisukohalt on need suhtearvud täiesti põhjendatavad ega osutu enam omamoodi vägivaldseks matemaatiliseks spekulatsiooniks nagu Pütagorase häälestuses. Tertsi ja seksti õige loomus peitub pillikeele võnkumise seadustes, selles, et keel võib võnkuda mitte ainult tervikuna, vaid samaaegselt ka ositi, jagunedes võrdse pikkusega osadeks ning tekitades lisaks põhitoonile ka harmoonilisi ülemtoone. Põhitooni suhtes puhas tertsi (kuigi kõrgematesse oktaavidesse kuuludes) tekib niisiis muusikalisel helis eneses «automaatselt», rikastades ülemtoonina selle kõla.

Selleks et kaks (või enam) üheaegselt kõlavat muusikaheli annaksid konsonantsi, peab nendest kummagi ülemtoonide «komplektis» leiduma võimalikult rohkesti ühtivate sagedustega komponente. See ongi ainus füüsikaline-muusikaline kriteerium, mis määrab toonide konsoneerimise või dissoneerimise.

Harmoonilise toonidesüsteemi terts vastab sellele nõudele täiesti. Kui aga kõlaksid üheaegselt põhitoon oma puhaste ülemtoonide reaga (milles, nagu teame, leidub ka tertsi) ning Pütagorase häälestuse mitteharmooniline tertsi, siis nende ülemtoonid ei ühti, vaid hakkavad omavahel «hõõruma» ja tekitavad dissoneeriva kõla.

Uue, harmoonilise toonidesüsteemi puhastel tertsidel ja seksididel põhineva nn. diatoonilise heliredeli intervallid omandasid järgmised sageduste suhtearvud:

<i>do</i>	<i>re</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si</i>	<i>do</i> <sup>1</sup>
$\frac{1}{1}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	$\frac{2}{1}$
priim	sekund	terts	kvart	kvint	seks	septim	oktaav

Harmoonilise toonidesüsteemi matemaatiline sisestruktuur on paraku komplitseeritum kui Pütagorase häälestuse puhul. Heliredeli eri astmete vahel ilmuvad kahe erineva suurusega täistoon-intervallid:

<i>do</i>	<i>re</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si</i>	<i>do</i> <sup>1</sup>
$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$	
Suur täistoon	väike täistoon	pool- toon	jne.				

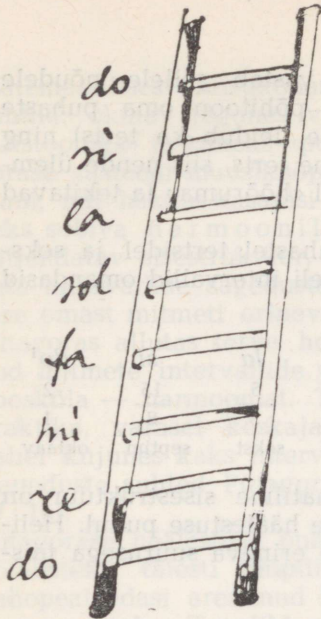
Ka kõik kvindid pole selles süsteemis täiesti puhtad. Näiteks kvint *la* — *re*

$$\frac{5}{3} : \frac{9}{8} = \frac{40}{27}$$

erineb puhtast kvindist rohkem kui protsendi võrra.

Diatoonilise heliredeli rakendamine muusikapraktikas võimaldas mõningaid olulisi intervale saada puhastena, kuid selle heliredeli kõik toonid ei osutunud samaväärseteks. Polnud võimalik nihutada meloodiat heliredelil üles või alla (transponeerida), ilma et oleks tekkinud olulist moonutust suurte ja väikeste täistoonide omavahelise asendumise tõttu.

Diatoonilise heliredeli kasutamisega seotud raskused viisid taas pillide häälestusviisi reformimisele. Suure helilooja Johann Sebastian Bach'i initsiatiivil võeti üldiselt kasutusele nn. ühtlaselt tempereeritud häälestus, milles kõik täistoonid jagunevad



kaneks võrdseks pooltooniks. Kõik pooltoonid (neid on terve oktaavi ulatuses 12) on täpselt ühtlustatud. Kuigi matemaatiliselt puhtaks osutuvad sealjuures veel vaid oktaavid, on teiste intervallide puhul ebatäpsused niivõrd väikesed, et need praktilist musitseerimist ei häiri. Näiteks pole ühtlaselt tempereeritud häälestuses sageduste suhteary kõikide kvintide puhul mitte täpselt  $3:2 = 1,5$ , vaid ligikaudu 1,496. Kuid vaevumärgatavalt ebatäpsete intervallide hinnaga on saadud heliredel, mis lubab muusikapalu kitsendusteta transponeerida ja meelevaldselt kasutada muusikas hädavajalikku kompositsioonitehnilist võtet *modulatsiooni* — üleminekut ühest helistikust teise.

Muusika ja füüsika... Kaks esimesel pilgul teineteisest nii kaugel seisvat ala osutuvad lähemal vaatlusel tuhandete salaniidikestega kokkukõidetuks. Isegi mehhaanika leidis heliõpetuses enesele sõbraliku abimehe.

Vanasti arvestasid insenerid sildade tugevuse määramisel ainult taladele mõjuvat võimalikku maksimaalkoormust ja silla materjali enese kaalu, lisades sellele igaks juhuks veel tubli varu. Kuid ootamatud õnnetusjuhtumid veensid ehitajaid, et kusagil peitub veel mingi põhjus, mida ei osatud seni arvesse võtta.

Rood sõdureid ületas Prantsusmaal üht rippilda. Oli tunda, kuidas sild hakkas sammude taktis vähehaaval kõikumama. Järsku katkesid silda hoidvad ahelad. Suure jõe vahutavates voogudes leidis märja haua kakssada inimest.

Õnnetusjuhtumi järelkajana esitati silla ehitajatele ränk süüdistus: nad olla käpardid, kes arvutustes olid vea teinud või lubamatult metalli kokku hoidnud, tehes kandeketid liiga peened. Insenerid hakkasid ennast õigustama sellega, et sild oli varem, mitme pika aastakümne vältel stabiilselt hoopis suuremaid koormusi talunud.

Kahjuks ei jäänud niisugune seletamatu katastroof omataoliste hulgas ainukeseks. Vanas Peterburis oli üle Fontanka jõe ehitatud tugev ripp-sild. See purunes, kui teda ületas ratsaväeosa. Rütmilisel sammul käima õpetatud hobused löid kapjadega täpses taktis vastu silda. Jällegi hakkas see võnkuma, võnkeamplituud kasvas kiiresti ja kordus sama, mis paarikümne aasta eest Prantsusmaal.

Unustatud vaidlusküsimus kerkis jälle päevakorrale. Moodustati komisjon, kes tõestas, et silla konstruktsioon oli arvutatud õigesti ja pidi taluma palju kordi suuremat koormust kui ratsameeste rühm. Kuid kandeahelad purunesid siiski. Miks?

Insenerid tulid järeldusele, et katastroofide põhjust tuleb otsida silda mõjutavate löökide rütmilisusest. Meenutati ka itaalia teadlase Galilei huvitavat katset, kui ta ainuüksi puhumisega pani võnkuma raske pendli. Galilei oli esmalt määranud pendli pikkkusest sõltuva omavõnkesageduse ning siis hakanud tasakaaluasendis olevale pendlile perioodiliselt sama sagedusega peale puhuma. Iga puhumisega sai pendel vaevumärgatava tõuke. Et aga need tõuked toimusid perioodiliselt ja kooskõlas pendli omavõnkesagedusega, liitusid tõugete mõjud ja panid keha järk-järgult suureneva amplituudiga kõikumale. Niisugust nähtust nimetatakse *resonantsiks*. Muide, selle mehhaanikanähtuse nimetus tuleneb akustikast; tähendab ju *resonare* ladina keeles «kajama».

Resonantsinähtust kasutatakse ka kiikumisel: küllaldase võnkeamplituudi andmiseks ja säilitamiseks tuleb raskele kiigele kogu aeg võnkumisega kooskõlastatud perioodiliste tõugete varal liikumisenergiat nii palju juurde anda, et see kataks hõõrdumise. Arusaadavalt ei saa tõugetest olla tulu, kui need järgnevad huupi ega toimu kiige omavõnkumise taktis. Siis perioodiline võnkumine enamasti sumbub kiiresti ja lakkab.

Sildade purunemise põhjust tuli tõepoolest otsida resonantsinähtusest. Purunenud silla konstruktsioonist, massist ja mõõtetest sõltuv omavõnkesagedus oli juhuslikult osutunud võrdseks üle silla marssivate sõdurite või taktis kõndivate hobuste sammu sagedusega. Sild hakkas võnkuma nagu kiik. Saades igal perioodil uue tõuke, suurenes võnkeamplituud seni, kuni ahelad rebenesid.

Resonantsi vältimiseks ületavad jalaväeosad nüüd väiksemaid sildu vabasammul ja rongid tavaliselt liikumist kiirendades või aeglustades.

Resonantsinähtustega puutume kokku ka helide maailmas.

Kui satute klaveri juurde, siis tehke järgmine lihtne katse. Vajutage parempoolset pedaali, mis tõstab summutavad vilt-padjakesed keeltelt, ja hüüatage. Võite veenduda, et teie hääل kõlab avatud klaveris tagantjärele veel mitu sekundit.

Miks?

Helilaine paneb resonantsi tõttu võnkuma need klaveri keeled, millele vastavate sagedustega toonid hääles esinevad (põhitoon pluss ülemtoonid).

Resonantsiga saab seletada nähtust, miks mõnikord aknaklaasid hakkavad valjusti mängiva raadiovastuvõtja heliga või mööduva autobussi mootori madalatoonilise müraga kaasa klirise-ma. Esimesel juhul resoneerivad aknaruudud valjuhääldi kõrgemate toonidega ise, teisel juhul aga resoneerib tupp-a suletud õhumass ja paneb klaasid intensiivselt võnkuma.

Väitel, et viuliheli on suuteline purustama veiniklaasi, ei tarvitse olla palju uskujaid. Ometi demonstreerivad mitmed muusikaklounid niisugust trikki tsirkuseareenil. Lauakesele asetatakse tavaline õhukeseseinaline veiniklaas. Kloun haarab poogna, ja viulit klaasi vahetus läheduses hoides, mängib rea üsna kõrgeid toone, mille puhul klaas resoneerib ja intensiivselt kaasa piniseb, piisab paarist poognatõmbest — ning klaasis tekibki mõra.

Nähtuse seletus on lihtne. Kui klaasi mõjutab omasagedusele vastav mehhaaniline (ka akustiline) võnkumine, siis hakkab klaas nagu kelluke küllaltki tugevasti vibreerima ka võrdlemisi nõrga heli puhul. Tugevama ergutava helilaine korral — kui viulit klaasi läheduses hoida — võib võnkeamplituud küündida klaasi purunemiseni.

Resonants saadab heli tekkimist ja mõjustab kõlavärvingu kujunemist muusikariistades.

Nagu eelnenust teame, võnguvad keeled ka ositi, luues lisaks põhitoonile terve hulga ülemtoone. Muusikariistade ehituse, mõõtmete ja materjali omapäras-t tingituna tekib teatavates sageduspiirkondades resonantse ning nendesse langevad ülemtoonid tulevad teistest rohkem esile. Võib esineda ka vastupidine olukord — võnkumise suurem sumbumus üksikutes sageduspiirkondades, mis nõrgendab mõningaid ülemtoone.

Mõned muusikainstrumendid konstrueeritakse selliselt, et nendes ei saa teatav ülemtoon praktiliselt üldse tekkida. Näiteks klaveris asetatakse keeli helisema panevad haamrikesed nii, et põhitooni seitsmenda ülemtooni ilmumise võimalus on välditud

(haamrikesed puudutavad keeli nende pikkuse ühel seitsmendikul).

Muusikariistade sisemise resonantsi tõttu tugevnenud ülemtoonide rühmi nimetatakse *formantideks*. Just formandid on üheks tähtsamaks teguriks mingi pilli või inimhääle kõlavärvigute tekkimises.

Formandid tekivad muusikariistades kaasavõnkuvate pindade (klaveri kõlalaud, viuli kaas ning põhi jne.) ja nendes loodud suletud ruumalade — resonatorite (viuli sisemus jne.) resonantsist. Resonants võib tekkida ka enam-vähem eraldatud õhuruumis. Igaüks teab, et tühja pudeli suudmele puhudes saab tekitada madalatoonilist ookeanilaeva vilega sarnanevat häält. Sellegi põhjuseks on omamoodi resonantsinähtus.

Samaga seletub suurte konnakarpide kõrva juures hoidmisel kostev kahin, mille kohta kõneldakse, et see on karp vangistatud «merekohin». Füüsika seisukohalt osutub karp akustiliselt öösresonaatoriks, mis «korjab» ümbritsevast paljusageduslikust helitaustast enesesse resonantsisagedusega võnkumist ja võimendab seda. Tekib omapärane formant, mida tajumegi kohinana. Muide, samasugust «merekohinat» võime kuulda ka näiteks tühjas konservipurgis või piimapudelis.

Isegi kõneldes kasutame teadmatult akustilist resonantsi. Häälikute kõla vormimiseks muudame pidevalt keele ja huulte asendit ning suukoopa kuju. Kõris asuvate häälekurdude (häälepaelte) tekitatud ülemtooniderikas helivõnkumine satub resonatoritena toimivatesse suu- ja ninakoobastesse, kus moodustuvad häälikuid iseloomustavad formandid.

Väärib märkimist, et formandid ei lase ennast mõjustada põhitooni sagedusest. Seetõttu kõlab näiteks viiul ikka viiulina, vaatamata mängitava tooni kõrgusele, häälik *a* ikka *a*-na, vaatamata sellele, kas seda hääldab kõrge lapse- või sügav mehehääli.

Sosistamisel on häälekurrud välja lülitatud ega tekitata heli. Hääli moodustub siis ainult õhujoa hõõrdumiskahinast — müra, mis sisaldab üheaegselt väga paljude sagedustega võnkumisi. Suu- ja ninakoobaste resonants toob sellest «segavõnkumisest» esile häälikuid tekitavad formandid, mille iseloomulikes sageduspiirkondades kahin võimendub, andeski mulje häälikutest.

## TRUMMIPÕRINAST TELEFONINI (JA KAUGEMALEGI)

*Kui Maratonist saabus võiduteade...*

Vajadus omavahel suhelda on tegelikult niisama vana kui inimühiskondki. Juba ammu minevikuhämarusse vajunud aegadel tuli alatasa ja võimalikult kiiresti pikemate vahemaade taha olulisi sõnumeid viia. Peatselt kogeti, et inimese hüüe kandub kaugemale kui mõni tuhat sammu ainult eriti soodsates tingimustes. Nii tuli teadete edasiandmist suurematele kaugustele teisiti korraldama hakata. Võeti kasutusele kullerid — kärmed jooksjad või osavad ratsamehed. Sõnumite edasitoimetajaid nimetati meil omal ajal *lööpriteks* ilmselt saksakeelse sõna *der Läufer* — «jooksja» järgi. Sageli, kui ületatavad vahemaad eriti pikad olid, jäeti sõnumikandjaid juba eelnevalt teele teineteist ootama. Nii jagunes distants, mida üks kuller poleks vahepeal puhkamata suutnud läbida, mitme vahel, kes järjestikku teel asendusid ja teadet käest kätte andsid. Wiedemann'i järgi teame, et vanasti hüüti niisuguseid mehi *tahvetiteks*. Sõna «tahvet» näib pärit olevat vene ja prantsuse keele vahendusel itaalia keelest, kus *stafetta* tähendab ratsurit-kiirkullerit.

Muide huvitav on märkida, et sellest omaaegsest sõnumite edasitoimetamise moodusest on välja kujunenud ka spordiala, teatejooks. Põhimõtteliselt on see kiirusjooks, mille ülddistants jaguneb mitmeks etapiks. «Sõnumit» kujutab siin sümboolne teatepulk, mille iga eelmine jooksja järgmisele üle peab andma.

«...Kui kreeklaste välejalgseima jooksjana tuntud Diomedon viimset jõutagavara kokku võttes Ateena suurimale väljakule jõudis, jätkus tal veel parajasti nii palju energiat, et hüüda rahvale: «Meie võitsime!» Vapper sõdalane, keda kuulus väejuht Miltiades oli kohe pärast heitluse võidukat lõppu kodus-tele rõõmusõnumit viima läkitanud, langes seejärel surmuna maha.»

Sellist lugu kohtame meie ajaarvamise eelsel 490-ndal aastal toimunud kuulsast Maratoni lahingust vestvates vanades ürikutes ja pärimustes.

Esimestel kaasaegsetel olümpiamängudel, mis toimusid 1896. aastal Ateenas, taaselustati see kaks ja pool aastatuhandet vana ajalooline seik spordialana — jooksuna Maratonist Ateenasse. Nii sündis kergejõustiku pikim, 42,2-kilomeetrisele distantsil toimuv maratonijooks.

Kullereid kasutatakse mõnikord veel meie päevil: üks telegrammikandjagi ole omamoodi kuller. Kuid vanasti polnud kullerid ei vajalikult kiired ega igakord eriti usaldatavad sidepidajad. Teel tõttavat üksikut jooksjat või ratsurit võis varitseda vaenlane ja ta hõlpsasti tappa. Meenutagem siin J. Bergmanni tuntud ballaadi «Ustav Ulo» süžeed. Ajalugu teab rohkesti juhuseid, kus tähtsat teadet edasi toimetav kuller asendati teel teisega ning sihtkohta jõudis võltsitud dokument või väär sõnum.

Tuli otsida uusi, kindlamaid ning kiiremaid sidevahendeid. Sõnumite edasitoimetamiseks hakati rakendama valgus- ja helisignaale.

Paarkümmed aastat pärast Maratoni lahingut rajati Kreekas mitmele poole mägedesse omapärased tornikujulised «sidekontorid», mis paiknesid teineteisest kindla nähtavuse kaugusel. Põlevate tõrvikutega ja nende rühmitamise teel sai teatava koodi abil ööpimeduses tornist torni üle anda mis tahes sõnumeid. See oli esimene «telegraafiliin» maailmas.

Antiikkirjanik Aishülos kirjeldab oma tragöödias «Agamemnon» tuleposti kasutamist: üheainsa öö jooksul anti tõrvikutega signaliseerides teade Trooja langemisest Ida mäelt 600 kilomeetri kaugusel asuvasse Mükkeenesse:



Hephaistos ise Idalt valgust läkitas.  
Leek lendas kullerina kaugelt tõrvikult  
taas tõrvikule: Idalt sai Ermaion tuld —  
too rüngas Lemnosel — ja võttis kolmandaks  
signaali Athos, Zeusi pühaks peetud paik,  
kus rändav valgus võimsalt, rõõmsalt loitma läi,  
kust üle mere leekis põlev männivaik,  
mis hiilgas kuldsest nagu paistus päikeselt,  
ja tungis Makistose valvekünkani.

.....  
Ning lõpuks lossi katusele laskus loit,  
see Ida tulekuma kauge lapselaps.  
Nii kandsid teatejooksjad järjest tõrvikut,  
käest kätte rändas sõnum, selle kandjatest  
tõi võidu esimene, tõi ka viimane.\*

Capri saarel Itaalias on huvitav kõrgendik. Nimetuse «Telegraafimägi» sai ta juba väga ammu: see pärineb veel ajast, millal vanad roomlased rajasid Caprit mandriga ühendava valgustelegraafiliini. Valgussignaalidega anti teateid üle kuni 1883. aastani, kui vahepeal leiutatud elektritelegraafi võidukäik sinnagi ulatus.

Ka eestlaste Jüriöö ülestõusu algusest teadustasid külast külla kumavad suured märgutuled. E. Bornhöhe kirjeldas seda ajaloolises jutustuses «Tasuja» järgmiselt:

Ratsanik pani kaabu jälle pähe, võttis siis kuue alt tõrvalondi välja, läi tuld, pistis londi põlema ja hoidis seda nagu küünalt püsti. Leek lõkendas tuule käes kõrgele.

Imelik oli, mis nüüd sündis.

Ümberringi, niikaugele kui silm ulatas, välkusid pimeduses tulisilmad, mis paar silmapilku põlesid ja jälle kustusid.

Mees männi all hoidis tulelonti ikka kõrgel, seda aeg-ajalt pea ümber keerutades. Selle aja sees vilkusid ja kadusid üksikud tulukesed ikka edasi. Siis jäi kõik mõneks ajaks jälle pimedaks; viimaks kustus ka tulelont mäekingul.

Kuid nüüd tõusis ühes kohas uus tuli, mis enam ei kustunud, vaid pilk-pilgult kasvas, kuni leegid torni kõrgusele lendasid ja ööpimedust ümberringi päevavalguseks muutsid. See ei olnud enam tuluke, see oli tulekahi. Üks mõis põles.

\* R. Sepa ja Ü. Torpatsi tõlkes.

Palju hiljem hakkas levima semaforitelegraaf. Sellest teravmeelsest leiutisest kandis 1792. aastal Prantsuse konvendile (valitsusele) ette Claude Chappe ning prantslased võtsid uudse signaliseerimisabinõu ka kohe kasutusele.

Semaforitelegraafi liin koosnes nähtavuse kaugusele reastatud kõrgetest puittornidest. Iga torni tipus oli kahe aknaga ruumike, milles viibivate valveametnike ülesandeks oli järjekindlalt mõlemat naabertorni silmas pidada.

Telegraafitornil oli kaks liigenditega varustatud, teatud määral tuuleveski tiibu meenutavat semafori, mida teravmeelse mehhanismi abil liigutada sai. «Tiibade» eri asenditele vastasid koodi kohaselt üksikud tähed, silbid või isegi terved sõnad.

Semaforitelegraaf osutus üsna efektiivseks sidevahendiks. On andmeid, et leidur suutis kuue minutiga edasi anda teate, mille toimetamiseks sihtkohta oleks ratsanikul kulunud tervelt kolmkümmend tundi.

1839. aastal püstitati Peterburi ja Varssavi vahele poolteistsada semaforitelegraafi torni. Vene impeeriumi pealinna muude Euroopa riikidega ühendav mehhaanilis-optiline sõnumite edasiandmise masin töötas kuusteist aastat, kuni ilmus täiuslikum, elektromehhaaniline telegraaf. Sealjuures oli see sideliin küllaltki kiiretoimeline, sest sõnumi läbimiseks kulus umbes kakskümmend minutit.

Mehhaanilistel ja valgussignaalidega töötavatel telegraafidel oli kõigi eeliste kõrval ka olulisi puudusi. Teadete üleandmise süsteem oma arvukate vahejaamadega ja sellest tulenevate ebatäpsustega ülekantavas tekstis oli väga kohmakas ega taganud sõnumite salajasust. Igaüks, kes koodi tundis, võis terve telegraafitornide trassi ulatuses signaale kaasa lugeda.

Paljudele ei tule mõttesegi, et semaforitelegraafi kasutati edukalt veel lähimas minevikus. Semaforile on võimalik küll anda vaid kaks asendit, mis «kodeeritult» tähistavad kas *ei* või *jaa*. On semafori «käsi» rõhtasendis, ei tohi rong jaama sisse sõita, on «käsi» ülal, võib rong seda teha. Muide, rahvapärane ütlus *käsi* pärineb ajast, mil semaforisignaale tähistati käes hoitava lipuga (võrdle: «Semafori käsi oli all»).

Lisaks nägemismeelt kasutavale optilisele telegrafeerimisele rakendati kokkulepitud sõnumite levitamiseks ka akustilisi signaale. Kui 1796. aastal Moskvas Paul I krooniti, siis lähetati tseremoonia alustamise kohta signaal Peterburi. Selleks oli juba varakult kolm tuhat soldatit piki neid linnu ühendavat maanteed paigutatud. Kuuldes kroonimispidustuse algust tähis-



tavaid katedraalikella lööke, tulistas esimene soldat õhku. Kui naaber seda märkas, vajutas temagi päästikule. Seejärel laskis kolmas soldat. Nii jõudis signaal rohkeid «vahejaamu» läbides lõpuks sihtkohta.

Moskvast Leningradi on linnulennult veidi üle 600 kilomeetri ja helilaine läbib selle vahemaa pisut enam kui 30 minutiga. Ent «kiirsõnum» uue valitseja kroonimisest jõudis Neeva kallasteni alles kolme tunniga. Igal soldatil kulus naabri püssilasu kuulmisest oma relva päästikule vajutamiseni teatav reageerimisaeg. Üksikult võttes olid need viivitused muidugi tühiselt väikesed, kuid 3000-kordselt summeerudes tekitasid siiski väga suure ajakaotuse.

Ulatuslikumaid sõnumeid helide abil edasi anda on üsna tülikas ja seepärast kasutataksegi seda meetodit vaid mõne kindlaksmääratud teate levitamiseks või siis lihtsalt hoiatussignaalidena.

Siiski osatakse helisignaalide abil edasi anda ka mis tahes sõnumeid. Kodanluse poolt vanglatesse suletud eesti kommunistid-revolutsionärid suhtlesid üksteisega paksudest müüridest

läbi kostva primitiivse koputamiskoodi vahendusel. See aitas neil organiseeruda, kollektiivselt kätte võidelda neidki kasinaid vangioigusi, millest poliitvange tollal meelsasti ilma püüti jätta, samuti olla kursis kõigega, mis toimus välisilmas. Heli-signalisatsioon ei lasknud vangistusel muutuda «hermeetiliseks», nii nagu politseinuhid ja valvurid ihaldasid.

D. Rudnevi raamatus «Johannes Lauristin» on mitu huvitavat peatükki pühendatud kodanliku Eesti vanglatesse suletud kommunistide elu ja tegevuse kirjeldamisele. Muuhulgas kõneldatakse sellestki, kuidas poliitvangid omavahel ühendust pidasid:

*Kõige levinumaks sidepidamise viisiks oli koputamine.*

*Poliitvangidel oli morsetähestik, mis pisut erines sellest, mida kasutasid kriminaalvangid. Poliitvangide tähestik algas arvuga «2», kriminaalvangid alustasid ühest. Näiteks anti tähte «a» edasi järgmiselt: kaks lööki ja veel kaks; täht «c» — kaks lööki ja siis viis. Ja nii edasi (— — —). Ei koputatud mitte ainult vastu seina, vaid ka vastu veetoru (üksikkambrites) — nõõp-nõelapeaga. Niiviisi sai sidet pidada ülemiste ja alumiste kambritega.*

Ajal, mil morsetelegraaf veel au sees oli, võisid suure praktikaga telegrafistid saabuvat teksti vastu võtta mitte paberilindile, nagu tavaliselt, vaid kuulmise põhjal, lähtudes morseaparaadi klõbisemise rütmist. Räägitakse, et öösel valves olnud telegrafist lamanud kušetil ja sellelt tõusmata talletanud lühemad sõnumid lihtsalt mälusse. Vanema põlve telegrafistid mäletavad morseaparaati asendavat riista *klopitsat*, ehk nagu tol ajal saksapäraselt öeldi, *klopperit*, mis töötaski ainult heliga. Aga laeva-, lennuki- ja amatöörraaditelegrafistid võtavad radiogramme vastu eranditult kuulmise abil. Töö toimub nn. piiksuga — morsekirja punktile vastab lühike ja kriipsule pikk heli. Vilunud raadiotelegrafist saadab ja võtab minutis vastu 120 kuni 160 tähte, s. t. kuuleb ja eristab minutis 400 kuni 500 üksikut märgielementi (punkti ning kriipsu).

Me oleme harjunud trumme muusikariistadeks pidama: mõni löökpillide rühma kuuluv rütmiinstrument kuulub tingimata iga orkestri koosseisu. Nii pidasid ka esimesed teadlased, kes kumagist «valget laiku» maailma kaardil — Aafrikat — süste-

maatilisemalt uurima hakkasid, sealsete rahvaste poolt ohtrasti kasutatavaid trumme lihtsalt pillideks. Alles hiljem hakati märkama imelikku ühtelangevust kahe omavahel näiliselt seoteta nähtuse vahel: «Musta mandri» põlismetsade elanike ekslikult «kunstiliseks isetegevuseks» peetav trummide rütmikas põrin kostab väga kaugele ja uudised levivad külast külla lausa hämmastavalt ruttu. Nii selgus üllatuslik tõsiasi, et Aafrikas kasutati trumme omapärase «traadita telefonina».

Kui 1896. aastal puhkes esimene sõda Itaalia ja Abessiinia vahel, oli neegus Menelik II alati väga hästi informeeritud vastasjõudude dislokatsioonist. See tuli Itaalia väejuhatusele ootamatusena: ei aimatudki, et võiks olemas olla niisugune asi nagu trummitelegraaf.

Sama täheldati ka Inglise-Buuri sõjas. «Telegraafilised» — kui mitte isegi «telefonilised» — sõnumid sõjasündmustest ennetasid kulleritega saadetavaid ametlikke teateid ikka vähemalt päeva või kahe võrra. Isegi veel teise Abessiinia sõja ajal, mis toimus peaaegu meie päevil, esimesest ligi nelikümmend aastat hiljem, «avaldati» samal viisil üldise mobilisatsiooni käsk ja saadeti Addis-Abebast kiiresti laiali maa kõige kaugematesse soppidesse.

Mitmetel Aafrika, Kesk-Ameerika ja Polüneesia rahvastel on trummid omandanud imetaolise kõnevõime: nende omapärase rütmi ja vahelduva kõlavarjundiga heli kannab sõnumeid edasi... vahetult inimkõne imitatsioonina, ilma mingi koodita!

Trummide «kõneoskus» seletub mitmete keelte iseärasusega: neis puuduvad käändelised ja pöördelised muuted ning sõna tähendus võrdse silpide arvu puhul oleneb tooni kõrgusest (niisuguseid keeli nimetatakse tonaalsemantilisteks). Seepärast õnnestubki elavat kõnet nendes keeltes päris hästi imiteerida trummidel, mille löökide rütm annab edasi silpide arvu ja vältust ning tooni kõrgus väljendab sama rütmikujundiga, kuid tähenduselt erinevaid sõnu.

«Kõnelevaid trumme» kasutatakse praegugi teadete levitamiseks Ugandas, Nigeerias, Gaanas ja teistes Aafrika maades.

\*

Nii semafortelegraaf kui ka igasugune heli- ja valgussignali-seerimine oli kadumisele määratud siis, kui avastati, et elektri-vool läbib metalltraati tohutu kiirusega. Õieti just telegraaf sai esimeseks elektri praktiliseks rakendusalaaks. Elekter muutiski

väga lühikese ajaga maailma palge. Tuhandeid aastaid olid inimkonna kiireimateks sidevahenditeks olnud hobune ja purjelaev. Nüüd tuli midagi sootuks uut — elektritelegraaf.

Elektrinähtusi tunti küll juba väga ammu, mõningaid neist aastatuhande eest, kuid kaua aega ei osatud selle loodusjõuga midagi tõsisemat peale hakata. Esimesed primitiivsed, kuid siiski töötavad telegraafiaparaadid, milles vooluga juhitud ümbritsevat magnetvälja magnetnõela kallutamiseks kasutati, ehitasiid kuulsad saksa teadlased Gauss ja Weber omamoodi «tehnilise meeletahutusena» alles 1833. aastal.

Elektritelegraafi süsteeme on mitmeid; nende loomisel ja edasiarendamisel on töötanud paljud õpetlased ning insenerid. Kuid tõuke elektritelegraafi arenguks ja ulatuslikumaks levikuks kogu maailmas andsid Vene Teaduste Akadeemia liikme Paul Schillingi tööd.

Schilling oli erakordselt mitmekülgne inimene. Õigupoolest asus tema eriala füüsikast väga kaugel: akadeemikuks oli ta valitud kui nimekas orientalist (idamaade keele, kirjanduse ja kultuuri uurija), kuid töötas ta hoopis diplomaadina. Teda paelus probleem luua täiuslik abinõu teadete edasiandmiseks elektrivoolu vahendusel.

Vene akadeemiku leutisest hakati kiiresti rääkima kõikjal ning sellest sai teada ka Nikolai I. Võimukandja tutvus Schillingi telegraafiseadmetega isiklikult, kuid pidas neid üksnes mänguasjadeks. Siiski andis ta korralduse sisse seada telegraafiühendus oma töökabineti ja . . . ühe õuedaami buduaari vahel. Selle asemel, et rajada elektritelegraafi liine, jätkasid postipoisid ja kullerid aegaviitvaid rännakuid pikki Venemaa lõputuid teid.

### *Hääl traadis*

Aeg on sammunud oma rada ja tehnika progress on lausunud otsustava sõna. Maratonijooksjat keegi enam sidevahendina ei kasuta ning ka omaaegsed primitiivsed optilised telegraafid on leidnud endale viimse puhkepaiga tehnikaajaloo muuseumides. Kaasaegne sidetehnika on andnud meie käsutusse imepärsed

abilised, mis säästavad aega ja teevad praktiliselt olematuks ka pikimad vahemaad.

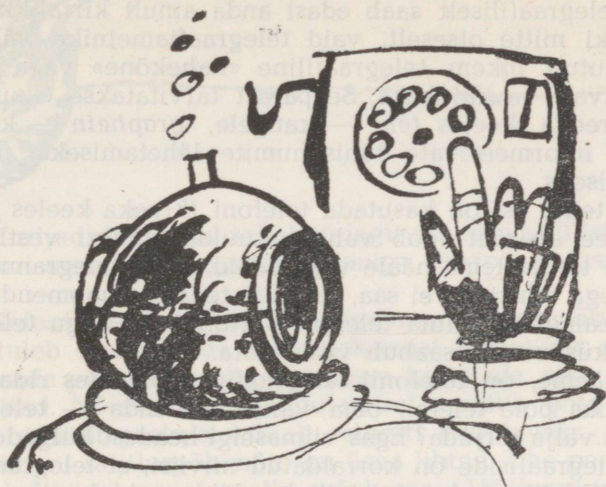
Kõik see on võrratult lihtne. Võib-olla soovite vestelda oma sõbraga või lähetada talle kiirteadet? Miks mitte! Sellest pole ju midagi, et elate näiteks Tallinnas ja teie sõber Tartus või sootuks kusagil Nõukogude Liidu kaugemas servas. On ju olemas telegraaf ja telefon — kaks igapäevaseks muutunud, kuid siiski nii erakordset suhtlemisvahendit.

Sageli me unustame, et nüüdsel ajal nii populaarsetel tehnikalistel vahenditel on turjal üle saja aasta. 1857. a. toob J. W. Janssen äsja ilmumist alustanud ajalehes «Perno Postimees» nr. 2 ära järgmise loo:

Telekrahv, kedda minnetva ford nimmetasime, on ka meie maal uus asi. Kes Riast ülle Perno, Tallina ja Narwa Peterburgi linna sõidab ehk seält seddasamma teed Riga, se näeb leige tee ääres pitkad postid püsti ja nende otsas üht trati ollewad, mis Riast Tallina ja seält Peterburgi ullatab. No mis sellega tehakse? Sellega antakse rutto sannumid. Se on se immelst sannumeandmisse massing, misga legi üht küsimist Riast Peterburgi woib sata ja se lähhäb sedda trati möda ülle Perno, Tallina ja Narwa ni rutto, et enne kui piip tubbakast ärrapõlele, on wastus jälle taggasi. Sannumed ei ronni kül mitte, nago kärbesed (kärblased) möda trati eddasi, waid mis ühhe trati otsa pannakse, on teises otsas warsi teada, nago kui legi so ninna näppistab, tundwad seddamaid ka leil teised liikmed.

Et näte, kui rutto telekrahv sannumid wiib, siis kuulge. 29 mal Aprilli ku päwal, kui Jummal Keisri Prouale nore poia andis, mis üllemal ollete kuulnud, sai Keisri Wend, Cuurtwürst Konstantin Nikolajewits Pariisi linnas Brantsussemaal, 3 tundi pärrast lapsokesse sündimist teada, mis Peterburgi linnas olli sündinud, ja sedda wahhet on leige õigemat teed peäle 2000 wersta. — Agga Jummal hoidko, et legi selle trati külge ei putu, ei laps egga wanna! Kes sedda teeb ja saab raske nuhtlusse alla. — Mis telekrahv on ja kuidas sellega sannumid antakse, sest same eddespidi pitkemalt kõnnelema.

See rahvapärases jansenlikus stiilis kirjutatud artikkel näitab, kui õigesti hinnati juba tol ajal «telekrahvi» suurimat eelist — informatsiooni levitamise kiirust. Enne kui piibutäis tubakat ära põles, oli «massing» sõnumi mitusada versta edasi viinud ja vastuski juba käes.



Sõnum või hääl kandub elektrivoolu vahendusel traati mööda adreassaadini või vestluskaaslaseni. Elektrivool toimetab sealt viivitusega tagasi ka vastuse. Telegraafi- ning telefoniaparaate on praegu maailmas loendamatu hulk ja neid ühendab «inimkonna närvikava»: vähemalt kümnetesse, kui mitte isegi sada- desse miljonitesse kilomeetritesse küündiva kogupikkusega traatjuhtmestik küll õhuliinidena, küll maa- ja veealuste kaab- litega. Ainuüksi meredesse on saja viimase aastaga paigutatud neid üle miljoni kilomeetri. Telefoniaparaadid on seatud meie kolhoosidesse, ametiasutustesse ja kodusesse. Telefoniseadmete vahendusel peetakse ühendust vee all töötavate tuukritega ning sügavates šahtides viibivate kaevuritega. Telefoni abil saab kiiresti välja kutsuda tuletõrjet ja arstiabi.

Kuid meie päevil võib sõnumeid edasi anda ka traadita. See, mis alles seitsme aastakümne eest tundus teostamatu unistu- sena, on praegu saanud täielikuks reaalsuseks. Nähtamatud lained, mida vahetpidamata paiskavad välja tuhanded tornid- terashiiglased kogu maailmas — võimsate ringhäälinguajaamade saateantennid — kannavad kuulajateni kõige värskemaid päevasündmusi ja kaunimaid muusika- ning draamakunsti teo- seid. Ka selles osas oleme sidetehnikale tänu võlgu.

Kuid ei maksa liialt ette rutata. Pöördugem esialgu veel tele- graafi ja telefoni juurde tagasi.

Tehniliselt kõige täiuslikumal telegraafisidelgi on mitmeid puudusi. Telegraafiliselt saab edasi anda ainult kirjalikke teateid ja neidki mitte otseselt, vaid telegraafiametnike vahendusel. Nii muutub pikem telegraafiline «kahekõne» väga tülikaks, aegaviitvaks ja kulukaks. Seepärast tarvitatakse «kaugkirjutajat» (kreeka keeles *tele* — kaugele, *graphein* — kirjutama) eeskätt informeerivate lühisõnumite lähetamiseks, mitte aga vestlemiseks.

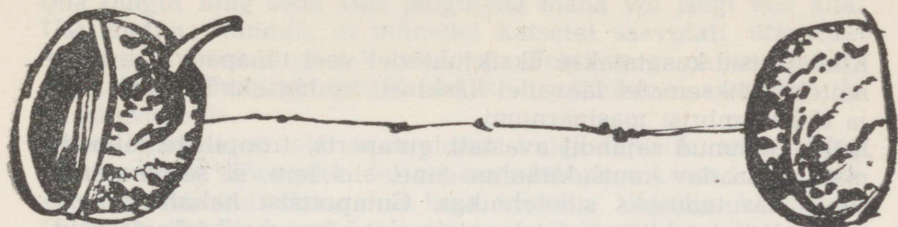
Hoopis teine asi on kasutada telefoni (kreeka keeles *phone* — heli). See aparaat loob vahetu kuuldekontakti vestluskaaslasega: te tajute tema hääle varjundeid, mida telegrammis kirjamärkidega tähistada ei saa, ja võite teda igal momendil katkestada. Pealegi ei kuluta telefon asjatult aega nagu telegraaf — vastus küsimusele saabub viivitusega.

Nagu näeme, on telefonil telegraafiga võrreldes rida eeliseid. Kuid miks pole telefon oma vanemat venda — telegraafi — suutnud välja tõrjuda? Egas viimaselgi headest külgedest puudu tule. Telegraafiside on korraldatud niiviisi, et telegrammi võib saata üksikõik kuhu ja kellele: lähim sidekontor toimetab sõnumi aadressaadile kätte. Pealegi jääb igast telegraafilisest «kõnelusest» järele kirjalik dokument telegrammi näol. Seevastu telefonikõne on põhimõtteliselt mõeldav ainult kahe abonentide-telefonivaldaja vahel. Pealegi ei saa pärast kõne lõppu enam dokumentaalselt fikseerida kõnelust, kui see ühel või teisel põhjusel peaks tarvilikuks osutama.

Kuidas sündis inimese loov mõte häält mööda metalltraati levima?

Enamasti arvatakse, et telefoni eluiga pole veel kuigi aukartustäratav. Tõepoolest, elektritelefon sündis koos meie vaarisadega ja hakkas laiemalt levima käesoleva sajandi algaastail. Kuid arheoloogilistel väljakaevamistel on leitud omapärase telefoni säilmeid, millede vanust hinnatakse vähemalt tuhandele aastale. Tõsi küll, sellel kaugkõnelemise vahendil polnud veel midagi ühist meie elektritelefoniga, ent sedagi vanaaegset seadist kasutati tollal ilmselt päris edukalt. Pealegi välistas see kõneluste salajase pealtkuulamise võimaluse soovimatute kolmandate isikute poolt.

Hämmastav leid, mis sattus Peruu ühe vanaaegse lossi varemetes töötavate arheoloogide kätte, koosnes kahest õõnsast kuivatatud kõrvitsapooldest, mille vahele oli tõmmatud pikk



nöör. Uurijad ei osanud sellele mingit muud praktilist otstarvet leida, kui samastasid ta nööri telefoniga, tänapäeva laste mänguasjaga.

Nööri telefoni mäletab vist iga lugeja oma lapsepõlvest. Selle jaoks tuleb meisterdada kaks paksemat kartongist peekrikkest ning nende põhjade keskpunktidesse kinnitada pika nööri või niidi otsad. Nööri kergel pingutamisel muutub ühte peekrises kõneldu teisest peekrist küllalt selgesti kuuldavaks.

Nööri telefoni talitluspõhimõte on üsna lihtne. Ühe peekri põhja täbav helilaine paneb selle võnkuma. Võnkumine kandub pingutatud nööri pikivõnkumisena teise peekrini, paneb selle põhja täpselt samuti võnkuma ja tekitab helilaine. Et võnkumine levib nööris õige väikese energiakaoga ja energiat kuhugi mujale ei haju, võib nööri telefoniga ka vaikset kõnet mitmekümne meetri kaugusele edasi anda.

Peruu lossi omaaegse «sisetelefoni» poolikud kõrvitsad toimisid samasuguste häälekogujate-kiirgajatena nagu laste nööri telefoni kartongpeekrid.

Kuid vanasti kasutati veel teist tüüpi «telefone». Iidsete ehitiste seinad on mõnikord varustatud pikkkade torujate süvenditega, mis seovad üksteisest kaugel asuvaid ruume. Need süvendid algavad ja lõpevad lehtrikujuliste laienditega seinas. Sellised konstruktsioonid toimisid kõnetorudena. Samalaadseid seadmeid leidis keskaegsetes rüütlilossides kõneluste salajaseks pealtkuulamiseks.

Pärimused kõnelevad, et üks umbes tuhande aasta eest elanud ja tegutsenud kange kirikuisa olevat oma koguduse manitsemiseks ja vaoshoidmiseks konstrueerinud kõneleva pühakuju. Väga tõenäoline, et see oli varustatud mingisuguse kõnetoru taolise seadeldisega, mille kaudu sai teises ruumis kõnelust kuuldavaks teha «pühaku enese suust». Tõepoolest teravmeelne abinõu ja käegakatsutav «tõend» uskliklike veenmiseks «üleloomulike jõudude» olemasolus!

Kõnetorusid kasutatakse üksikjuhtudel veel tänapäevalgi, nagu näiteks väiksematel laevadel käskluste andmiseks kaptenisillalt ja tüürikambri mastaruumi.

Kui möödunud sajandil avastati gutaperts, troopiliste taimede mahlast saadav kautsukitaoline aine, siis leiti, et see materjal sobib kasutamiseks sidetehnikas. Gutapertsist hakati valmistama allveekaablite isolatsiooni ja mitmesuguseid kõnetorusid. Tänapäevaste panevad kindlasti muigama reklaamitekstid eilsest, nagu\*:

Wäikefjed ja odawad

Wäikefjed ja odawad

## Raudtee kõnetorud

Wõimaldawatw sõidukaaslastel ka sõidu ajal hõlpsalt ja meeldiwalt westelda, waatamata mürale, mida teeb sõitew rong. Kõnelda wõib isegi õrnal sõinal, nii et naabridki ei kuule, millest juttu on. Kõnetorud wõtawatw wähe ruumi, neid saab kergesti rõngaks kokku keerata ning mahutwatw siis isegi kübarasse.

Mida tsiviliseeritumaks sai inimühiskond, seda efektiivsemaks pidid muutuma ka kasutatavad sidevahendid. Aeglaselt tähti tippiv elektritelegraaf ei suutnud enam kaugeltki rahuldada kasvanud vajadusi. Sellest ka tendents luua mitmesuguseid kaugkõnelemise süsteeme, mis võimaldaksid mehhaaniliste vahenditega elawat inimkõnet transleerida kui mitte just suurtele, siis vähemalt väikestelegi kaugustele. Lisaks mitmesugustele kõnetorudele ilmus möödunud sajandi kaheksakümnendatel aastatel silmapiirile omamoodi kurioosum sidetehnikas — mitteelektriline traattelefon. Meie tänapäevase mõiste järgi ei olnud see mitte sidevahend, waid pigemini mänguasi (ja sellena teda kasutatakse praegugi!). See «telefon» koosnes kahest kergest membraanist, mis olid seostatud metalltraadiga. Heli mõjul hakkas üks membraan wõnkuma, see wõnkumine kandus puhtmehhaaniliselt piki traati teise membraanini ja sundis sellegi samalaadselt wõnkuma. Niisiis printsiip oli siin sama mis nööri-

\* Tsiteeritud A. C. Clarke'i raamatust «Voice across the sea» («Hääli üle mere»).

telefonilgi, ainult selle vahega, et ühendustraata ei tarvitsenud olla pingul ning seda võis paigutada maha või isegi vee alla. Uskumatuna tundub, et mõnedel katsetel saavutati ühenduskauguseks tervelt pool kilomeetrit. Tehti isegi naiivseid katseid luua väheldasi mitteelektrilise traattelefoni süsteeme ja «keskjaamugi».

Sidevahendina ei ole nõrtelefon kuigi täiuslik seade ning kõnetorus ei tööta pikkadel vahemaadel: peenikeses torus levib sumbub helivõnkumine liiga kiiresti. Vajadus käepärase ja talitluskindla kaugkõnelemisaparaadi järele aga üha teravnes. Et möödunud sajandil oli elektriline kaugkirjutusaparaat — telegraaf — ennast kõige paremast küljest näidanud, pöörduiti taas abi saamiseks uue ja paljutöotava tehnikaharu — elektrotehnika — poole.

Hääle ülekandmisest traatide kaudu ei tekkinud põhimõttelist tehnilist probleemi. Hääle, s. o. õhuvõnkumine, tuleb muundada täpselt samalaadseks küllalt tugevaks elektrivooluvõnkumiseks (vahelduvvooluks), see piki traate sihtkohta lähetada ja taas kuuldavaks hääleks — õhuvõnkumiseks kujundada. Kuid just hääle muutmine elektrivooluks ja vastupidi valmistab uurijatele tõsist peavalu; vaatamata rohketele katsetele ja ideedele ei leitud kaua selleks päris sobivat viisi.

Probleemi lahendas elektromagnet — pehmest terasest südamikule mähitud traatpool. Traadi keerud on omavahel ja südamikust isoleeritud. Kui mähisest juhtida läbi alalisvoolu, siis muutub südamik magnetiks ja omandab voolu liikumise kestel võime külge tõmmata väiksemaid terasesemeid. Teatud piires on selle tõmbejõu suurus voolutugevusest.

Elektromagneti südamiku ühe otsa lähedusse paigutati õhuke terasmembraan. Servast kinnitatud ümmargune membraan võib elastselt võnkuda. Voolu olemasolul tõmbub see rohkem või vähem kooldudes magneti poole. Voolu katkestamisel kaob magnetväli ja membraan vetrub elastsuse mõjul esialgsesse asendisse tagasi. Küllalt kiiretele voolumuutustele mähises reageerib membraan samalaadse võnkumisega ning tekitab õhus helilaine.

Heli tugevus sõltub siin muidugi membraani võnkeamplituudist, mis omakorda oieneb voolutõuge tugevusest. Heli kõrguse määrab membraani võnkumise (seega — voolutõuge) sagedus.

Niisuguse vahendiga — elektromagnetilise telefoniga (sõna kitsamas mõttes, telefoniks laiemas mõttes oleme igapäevases kõnepruugis harjunud nimetama ikkagi telefoniaparaati kui tervikut) — saamegi elektrivoolu võnkumist muundada kuuldavaks heliks.

Samalaadse konstruktsiooniga seadis kõlbab ka vastassuunaliseks muundamiseks — helienergia muundamiseks vastavalt võnkuvaks vahelduvvooluks. Kui elektromagnetilise telefoni membraani läheduses kõnelda, siis paneb helilaine membraani võnkuma samuti nagu kõrvas asuva kuulmekile või nööri telefoni papist torbiku põhja: iga õhutihendus «lükab» ja sellele järgnev hõrendus «tõmbab» membraani.

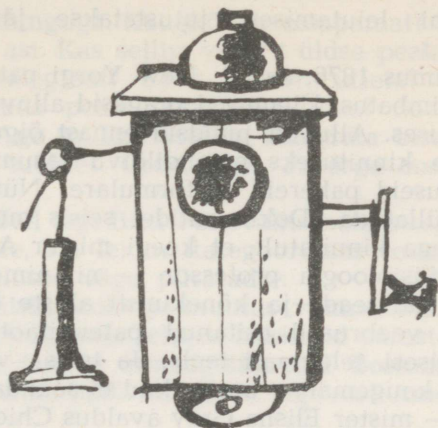
Ent kuidas telefoni membraani mehhaaniline võnkumine muundub elektriliseks?

Selleks tuleb elektromagneti südamik varustada püsivmagnetiga. Vastavalt magneetuvast materjalist membraani kooldumisega helilaines muutub pisut ka püsivmagneti väli. Kuid iga sugune magnetvälja muutus indutseerib mähises membraani võnkumisele vastava vahelduva elektromotoorse jõu (membraani lähenemisel südamikule tekib see ühesuunalisena ja eemaldumisel vastassuunalisena) ja niiviisi iga võnkeperioodi vältel. Kui püsivmagnet puuduks, ei kutsuks membraani võnkumine esile magnetvälja muutumist (sest välja polegi!) ja pooli traatjuhtmesse elektromotoorset jõudu ei indutseeruks.

Lihtsaim kaugkõnelemismasin koosnebki kahest elektromagnetilisest telefonist, mis on juhtmepaari kaudu kokku ühendatud. Neist ühte kõnelemisel tekkiv vahelduvsuunaline elektromotoorne jõud loob juhtmetes ja teise telefoni mähises nõrga voolu, mille tagajärjel selle membraan hakkab kordama esimese võnkumist.

Eespool selgus, miks telefoniaparaadi kõnetoru peab sisaldama püsivmagnetit. Kuid see ei tohi puududa ka kuuldetorus. Iga elektrotehnik tunneb reeglilt, mis määrab vooluga traatmähisesse asetatud terräsüdamiku magneetumise — põhja- ja lõunapooluse asukohta. Detailidesse laskumata piirdume siinkohal teadmiselega, et voolu suunast ja mähise kerimise suunast olevalt tekib elektromagneti südamiku teatavas otsas kas lõuna- või põhjapoolus.

Helisagedusliku vahelduvvoolu tagajärjel ilmub püsivmagnetita konstrueeritud telefonis membraani mõjustav vahelduv magnetväli. Sõltumata välja ning seda põhjustava voolu suu-



nast tõmbub membraan voolu igal tugevnemisel (seega üks kord vahelduvvoolu kummalgi poolperioodil) südamikku poole. Nii viisi hakkab membraan kordama elektrivoolu võnkumist kaks korda sagedamini. Telefonis kuulduks siis täiesti moonutatud kahekordistunud sagedustega helipilt (helid on oktaavi võrra kõrgenenud).

Püsivmagnetit sisaldavas telefonis sellist moonutust ei esine. Membraan on magneti tõmbe tõttu ka vooluta mähise puhul pisut kooldunud. Kui nüüd mähisest juhtida läbi voolu, siis viimase magnetväli võib — olenevalt voolu suunast — tugevdada või nõrgendada püsivmagneti mõju ning seega esimesel juhul tõmmata membraani tugevamini ja teisel juhul nõrgemini või isegi tõugata. Seega hakkab telefoni membraan võnkuma täpselt mähisesse juhitavat vahelduvvoolu järgides (sooritades voolu iga perioodi vältel ühe poolvõnke magneti suunas ja ühe poolvõnke sellest eemale). Taasesitatavas ülekantud helis enam sageduse moonutumist ei ilmne.

Juba ammu loobuti telefoni kuuldetorudes pulgakujuulisest magnetist. Magnet mõju suurendamiseks ja telefoni tundlikkuse tõstmiseks (selleks et nõrgema vooluga saaks võimalikult tugevat häält) valmistatakse mähiste südamikud koos püsivmagnetiga ligikaudu hobuseraua-kujulisena. Selle tagajärjel satuvad mõlemad magnetipoolused membraani lähedusse ning võnkeamplituud ja helitugevus kasvavad.

\* Seigi korral ei leidnud ta inimest, kes oleks nõustunud...

Telefoni leiutamisest jutustatakse järgmist tõestisündinud lugu.

See toimus 1876. aastal. New Yorgi patendiametis tekkis põhjalik kimbatu. Ülemused pragasid alluvatega, süüdistades neid hooletuses. Alluvad püüdsid ennast õigustada ja näitasid oma väidete kinnituseks patendilõivu tasumise kviitungiraamatut, igasuguseid pabereid ja formulare. Nüüd oli ülemuste käes kord üllatuda. Dokumentidel seisis must valgel, ilusasti allkirjadega kinnitatult, et keegi mister Alexander Graham Bell, vokaalfüsioloogia professor — nii nimetati tollal kõnemetoodika, hääleseade ja kõnekunsti aluste õpetajaid — Bostonist, on 15. veebruaril esitanud patenditaotluse «Kõnehelide ülekandmisest telegraafi teel». Ja teisel, vaevalt paar lehekülge sellest kaugemal — ametnikud ei sõanda enam oma silmi usaldada — mister Elisha Gray avaldus Chicagost. Samuti allkirjad all ning vormistatud nagu kord ja kohus. Kuid sellegi leiutise pealkiri on: «Kõnehelide ülekandmisest telegraafi teel»... Hämmastav ühtelangevus!

Põhimõte on sama. Tehniline teostus on sama. Ja kuupäevgi on sama! Eksitust pole. Sellist juhust polnud neil ega kuuldavasti teisteski patendiametites veel esinenud.

Kummale leidurile väljastada patent? Maksutšekkide võrdlemise ja ametnike küsitlemise teel õnnestus kindlaks teha, et Bell oli oma rivaali... pisut vähem kui kahe tunniga ennetanud!

Vähem kui kuu aega hiljem (7. märtsil 1876. a.) anti patent Bellile. Nüüd võis ta minna äriinimeste juurde, oma skeemid plaanid lauale laotada ja telefonikompanii asutada. Enam polnud tarvis muret tunda rõhuva võlakoorma pärast. Tõsisel eludraamas avanes uus vaatus. Kõigest paari nädala eest oli ta asjatult palkunud 2500 kohemakstava dollari eest 50 protsenti kõigest tuludest, mida telefon võib tulevikus andma hakata. Kuid ärimehel, kellele Bell selle ettepaneku tegi, ei olnud nähtavasti tehnilist vaistu. Ta vist ei taibanud leiutise mõtet, selle tohutut praktilist väärtust, ja kaup jäi katki.

Õnneks. Olgugi et leiduril olid rasked päevad. Katsed telefoniga olid neelanud kogu raha. Võlausaldajad ähvardasid, kauplusest enam midagi võlgu ei antud. Veel paari päeva eest oli olukord katastroofiline. Meeleheites oli Bell juba valmis saja tühise dollari eest loovutama kümnendiku telefoni pealt loodetavast teenistusest.

Selgi korral ei leidnud ta inimest, kes oleks nõustunud nii

lootusetuna näiva äritehinguga. Kaugkõnelemisaparaat? Naeruväärne, väga kahtlane asi. Kas sellist vigurit üldse peaks vajutama, kui on olemas telegraaf? Sada dollarit, ütlete? Millist tagatist suudate pakkuda peale oma narri idee? See oleks tulde loobitud raha. Aga milline tõeline ameerika bisnesmen loobib teadlikult raha tulde? Good bye! Ja ärge enam siia tulge!

Veel 1877. aastal, kui Bell tegi Briti Postivalitsusele ettepaneku võtta telefon kasutusele, sai leidur kategoorilises toonis vastuse: «Kasutamisevõimalused väga piiratud!».

Telefonikompanii sai siiski teoks ja muutus võimsaks kontserniks. Kurtummade kooli õpetaja leiutist hakkasid pärast patenteerimist finantseerima mõned ettenägelikumad Bostoni rahatuusad ja uus firma võis alustada energilist tegevust Ameerikas ning Inglismaal.

### *Elektrikõrv*

Juba esimesed kogemused Belli telefoniaparaatidega näitasid, et need suudavad häält kanda ainult mõne miili kaugusele. Telefoni magneti mähises indutseeruv vool osutus siiski liiga nõrgaks ja energiakaod vähegi pikemates juhtmetes «neelasid» kogu helitugevuse.

Põhimõtteliselt oli selge, et telefoniaparaatidega ületatava ühenduskauguse suurendamiseks tuleb ilmselt hoolitseda selle eest, et kõnetorusse rääkimisel tekiks ühendusjuhtmetes (ja teise aparaadi kuuldetorus) võimalikult tugevad elektrivoolu võnkumised. Elektromagnetilise telefoni kasutamisel ka kõnetoruna, millele oli rajatud Belli süsteem, muundub vooluks vaid tühine osa membraani tabanud heli võimsusest. Valdav enamus sellest jääb kasutamata.

Kuid kas ei saaks helivõnkumise muundamist samalaadseks elektrivõnkumiseks korraldada nii, et selleks ei kasutata üldse helilaine enese võimsust, vaid hääl ainult «tüüriks» kõrvalisest võimsamast vooluallikast ühendusjuhtmesse juhitatav elektrienergiat? See oleks ainus mõistlik lahendus probleemile, mis tekkis linnadevahelise telefonikaugside loomise katsetel.

Kõik lahenes seadme ehitamisega, mida võib täie õigusega «elektrikõrvaks» nimetada.

«Elektrikõrv» — mikrofon — omandab telefoniaparaadis umbes samalaadse tüüriva funktsiooni kui ventiil, mille kaudu toidetakse aurumasina silindrit auruga. Ventiili käepidet pole raske pöörata, kuid selle abil saab ahistada tugeva rõhu all olevat auru ning võimsa masina tööd «tüürida». Masin töötab siin muidugi selle energia arvel, mida katlast tulev aur silindritesse kannab, mitte aga ventiili pöörava jõu arvel. Telefoniasjanduses kasutatavad mikrofonid on samasugused elektrilised «ventiilid», mis helivõnkumise taktis juhivad kõrvalisest energiaallikast rohkem või vähem elektrienergiat teisel asuvasse elektromagnetilisse telefoni.

Me oleme harjunud mikrofoni nägema metallsilindrikese või -kapslina, mille pinnast on osa kaetud metallvõrguga (helilaine pääseb sealt sisse). Kuid ameerika füüsiku David Hughes'i 1878. aastal leiutatud mikrofoni prototüüp koosnes kahest rõhtsast rööbitisest raudnaelast, mis asusid väheldase karbikese kaanel, ning nendel tähe *H* kujuliselt lebavast kolmandast naelast. Naelad asendusid katsete jätkamisel ümmarguste söepulkadega, mis hiljem viisid meiegi päevil kasutatavate süsimikrofonide leiutamiseni.

Süsi on teatavasti elektrijuht. Kui ühendada see seadis rööbitiste söepulkade külge monteeritud juhtmete abil vooluringi, siis suundub vool ka läbi kolmanda pulga, läbides ühest pulgast teise üleminekul nende puutekohti. Söel on aga eriline omadus: puutekohtade elektritakistus sõltub suurel määral survest. Kui surve süte kontaktpindadel suureneb, pääsevad elektrivoolu moodustavad elektronid mikrofonist hõpsamini läbi ja vool vooluringis kasvab. Samuti vastupidi: surve vähenedes üleminekutakistus suureneb ja vool kahaneb.

Kui niisuguse primitiivse mikrofoni läheduses valjusti kõnelda, hakkavad söepulgad helilainega mingil määral kaasa võnkuma ja seadme takistus laine rütmis muutuma. Kui lisaks mikrofonile ja väikesele alalisvooluallikale asuks samas vooluringis ka elektromagnetiline telefon, siis muundaks see voolu helisageduslikud kõikumised taas hääleks. Et voolu võimsus on nüüd palju suurem kui heli ülekandmisel kahe identse telefoni abil, ei osutu energiakaod ühendusjuhtmetes enam nii mõõduandvateks kui Belli süsteemi puhul.

Süsimikrofoni kasutatakse telefoniaparaatides praegugi, ehkki tublisti täiustatud kujul. Omaduste parendamiseks — eeskätt

tundliikkuse ja tööstabiilsuse suurendamiseks — suunatakse vool mikrofonis läbi söepuru, mida helilaine mõjul võnkuv membraan perioodiliselt kokku suruma hakkab. Membraan toimib siin samuti nagu kõrva kuulemekile, kujundades õhuvõnkumise samasuguseks mehhaaniliseks võnkumiseks ja andes selle edasi võnkumistundlikule organile.

Ehkki need surve võnkumised on üliväikesed, hakkab mikrofoni takistus heli mõjul märgatavalt muutuma, sest söepurus peab vool läbima paljusid rõhutundlikke kontaktpindu.

Süsिमikrofon on kõigest mikrofonidest tundlikem: ta annab suurima amplituudiga voolukõikumisi. Sellegipoolest kasutatakse süsimikrofoni veel üksnes telefonisidetechnikas, kus ülekantava heli kvaliteet pole määrava tähtsusega. Ehkki süsimikrofoni suur tundliikkus välisfab vajaduse igas telefoniaparaadis vooluvõnkumist võimendada, on tal ka mitmeid kaalukaid puudusi. Süsimikrofon töötab ainult üsna piiratud sagedusalas (üldiselt kõigest 300..3000 hertsi piirides). Ülekantavasse helisse seguneb häirivaid kahinaid ja moonutusi, mis tulenevad mikrofoni talitluspõhimõttest: elektrikontakt söeosakeste vahel pole alati päris ühtlane ning mikrofoni sisetakistuse muutused pole täiesti võrdelised membraanile mõjuva helilaine rõhu muutustega. Seepärast kasutataksegi seal, kus vajatakse kvaliteetsemat heliülekannet, täiuslikumaid elektrodünaamilisi ja kondensaatormikrofone.

Kas olete sattunud avalikule kontserdile või teatrietendusele, millest tehakse radio- või televisiooniülekannet? Sel puhul näete laval just kondensaatormikrofone. Kui aga radio- või televisioonimehed teevad kusagil reportaazi-iseloomuga saadet, siis kasutatakse eelistatult odavamaid ja hõlpsamini käsitsetavaid elektrodünaamilisi mikrofone.

Tuleb märkida, et kõik kvaliteetsed mikrofonid on süsimikrofonist tuhandeid kordi väiksema tundliikkusega ja seetõttu saab neid kasutada üksnes koos võimenditega. Kuid võimenditest — seadmetest, mis tugevdavad nõrku elektrivooluvõnkumisi, vestleme allpool.

Kondensaatormikrofoni helitundlik kapsel on ehituselt üliihntne, kuigi selle valmistamine nõuab suurt täpsust. Põhimõtteliselt koosneb see metallplaadist, mille vahetusse lähedusse on pinguldatud membraan: üliõhuke, mõne aatomi paksuse kullakihiiga kaetud plastmasskile. Metallplaat ehk aluselektrood ja membraani selle suhtes väga hoolikalt isoleeritud elektrit juhtiv metalliseeritud pind moodustavad elektrikondensaatori. (Kon-

densaatori saamiseks on põhimõtteliselt vaja kaks teineteisest isoleeritud lähestikust elektrit juhtivat pinda.) Plaatide suurus ja nende vahekaugus määravad kondensaatori elektrimahtuvuse, s. o. võime mingi pinge juures enesesse koguda teatavat elektrilaengut.

Kondensaatormikrofoni membraanile antakse aluselektroodi suhtes kõrge alalispinge. Sellele vaatamata ei saa ahelas tekkida püsivat alalisvoolu: mikrofoni kui kondensaatori «plaatide» isoleerituse tõttu on vooluringis katkestuskoht.

Kui helilaine tabab mikrofoni ja membraan võnkuma hakkab, muutub vastavas rütmis ka kondensaatori mahtuvus. Plaatide vahemaa vähenemisel (hetkel, mil membraanil mõjub helilaine tihendus) seadme elektrimahtuvus kasvab. Kuid niisugusel juhul peab kondensaatoris salvestuma esialgsest suurem elektrilaeng ning see «puuduv osa» võetakse lühiajalise voolutõuena pingeallikast. Kui aga plaatide vahemaa suureneb (hetkel, mil membraanil mõjub helilaine hõrendus), siis kahaneb seadme elektrimahtuvus ja tekib eelmisele vastupidise suunaga voolutõuge, mis kannab nüüd juba «liigseks» osutuva osa kondensaatorisse salvestunud laengust pingeallikasse tagasi.

Membraani võnkumisel ilmuv mahtuvuse muutumine tekitab kondensaatormikrofoni kapsli vooluringis helisagedusliku vahelduvvoolu. Seda üsna nõrka voolu võib miljoneid kordi võimendada. Esialgseks võimendamiseks — et kondensaatormikrofoni ülinõrku helisagedusvoole üldse kaugemale juhtida saaks — on iga mikrofoni kapsel kokku ehitatud väikese eelvõimendiga.

Elektrodünaamiline mikrofoni on ehituselt küll kondensaatormikrofonist keerukam, kuid valmistamine ei nõua nii täpset töötlemist ja ta on odavuse ning helikvaliteedi õnneliku kompromissi tagajärjel laiatarbelistes heliseadmetes kõige levinumaks mikrofoni tüübiks muutunud.

Elektrodünaamilises mikrofonis asub püsivmagnet, mille poolustevahelises silindrikujulises õhupilus võngub vabalt kerge plastmassmembraani külge kinnitatud traatmähis — võnkepool. Helivõnkumise vahelduvvooluks muundamiseks kasutatakse siin elektromagnetilise induktiooni nähtust. Teatavasti tekib magnetvälja lõikavas liikuvast elektrijuhtmes induktiooni toimele elektromotoorne jõud, mis suletud vooluringi puhul võib ka voolu tekitada. Voolu suund oleneb juhtme liikumise suunast magnetväljas.

Elektrodünaamilise mikrofoni membraanile mõjuv helilaine paneb võnkuma ka võnkepooli. Et pool koos membraaniga võngub edasi-tagasi, saame vahelduvvoolu, mis vastab mikrofoni tavavale helivõnkumisele.

### *Mehhaaniline hääl*

Me jalutame hilisõhtul väikelinna tänavail. On vaikne. Kuid taamal, läbi poolavatud akna kõlab tasase viulimängu hõbedane heli — surematu Beethoveni «Kevadsonaat». Viul nagu nutaks ja naeraks ühekorraga... See köidab, sunnib peatuma. Kuulatame. Kas teispool akent, pill toetumas õlale ja poogen käes, ei seisa üks tõeliselt suurtest viulikunstnikest: Oistrahh, Kogan, Alumäe...

Jälle kostab aknast seesama tasane viulimäng, Beethoveni «Kevadsonaat». Seesama heliderida, seesama meisterlikkus. Kuid aken ise asub hoopis teisel, ühes kolhoosiasulas.

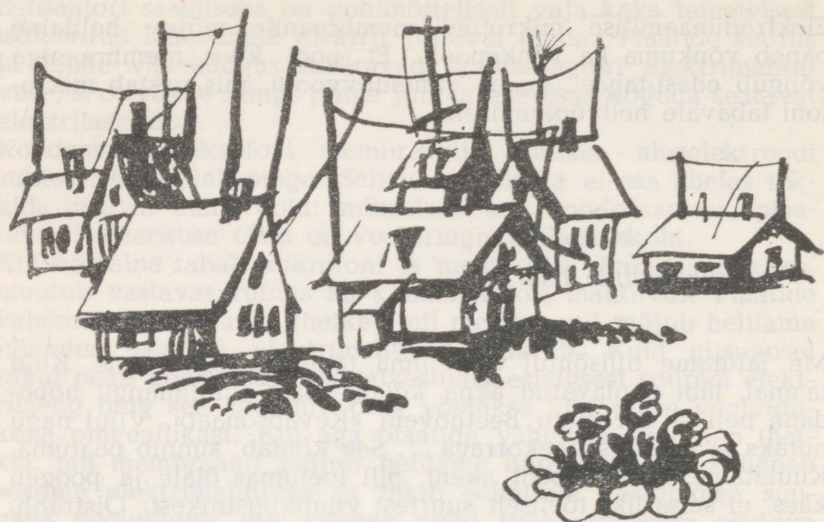
Kolmandastki aknast kuuleme sama sonaati. Ja kui pala lõpeb, kostab ringhäälinguteadustaja hääl: «Kuulsite esinemas David Oistrahhi. Meie järgnevas saates on kavas...»

Ainult valjuhääldi! Nähtamatud lained ning helisageduslikud vahelduvvoolud. Valjuhääldis tükike magnetilist metallisulamit, pisut vasktraati ja koonuseks vormitud kartongleht. Mehhaaniline hääl...

Kuid see mehhaaniline hääl võib laulda nagu Gigli või Šaljapin, võib nutta ja naerda Stradivariuse viulina Oistrahhi meistri kätes. Mehhaaniline hääl võib heliseda üldlaulupeo võimsustulvava ühendkoorina ja ööbiku õhkõrna lauluna. Mehhaaniline hääl saadab meid hea sõbrana kõikjal, aitab organiseerida tööd ja sisustada hubaseid puhkehetki.

Juba ringhäälingutehnika koidikul otsiti abinõusid elektri abil ülekantava heli reprodutseerimiseks nii valjult, et võiks loobuda tülikate peatelefonide, nn. kõrvaklappide kasutamisest.

On pikemata selge, et valju heli saamiseks tuleb suured õhmassid küllaldase amplituudiga võnkuma panna. Selleks peaks telefoni membraani pind olema suur või siis võnkuma suure amplituudiga.



Esialgssed katsed valjuhääldi loomisel lähtusidki sellest. Kõigepealt prooviti tavalist telefoni «toita» tugevama helisagedusvooluga, et membraan hakkaks suurema amplituudiga võnkuma ja heli muutuks intensiivsemaks. Kuid õnnetuseks on võnkumise ulatus ühelt poolt piiratud magnetiga: membraan hakkab paratamatult vastu pooluseid puutama. Magneti mõningane eemaldamine membraanist annaks viimasele küll suurema «vabaduse», kuid oleks kasutu, sest muudaks telefoni tuimaks, vähetundlikuks ning saadava heli taas nõrgaks.

Järgmiseks suurendati telefoni membraani pinda, kuid seegi ei viinud oodatud tulemusteni.

Kas olete juhtunud kuulma omapärast häält, mis tekib õhukese plekktahvli viibutamisel? Midagi selletaolist juhtub ka telefoni suurepinnalise metallmembraaniga ja ülekantavasse helisse lisandub soovimatuid kõrvalhelisid. Kuid see on moonutus, nähtus, mida tuleb igati vältida.

Parema lahenduse puudumisel sai järgnevat aastatostinaks mõningase eluõiguse 1918. aastal ilmunud «kõvakõneleja»

\* Veel paarkümmend aastat tagasi tehti ringhäälingus kuuldemängude jaoks plekktahvli võbistamisega «müristamist»; ka teatris on sama abinõu aastasadu müristamise imiteerimiseks kasutatud.

ehk «valjulträäkiv telefon», kohmakas seadis, milles mõnevõrra suurendatud mõõtmetega tavalise elektromagnetilise telefoni külge oli asetatud ruupor. «Valjulträäkiva telefoni» hääli oli plekikõlaga ning väga piiratud sagedusalaga, milles madalaimad ja kõrgeimad sagedused puudusid sootuks. Viimane kõlas selles häälemasinas samuti nagu flööt ja tšelloigi polnud mõne puhkpilli kõrval tihtilugu mingit olulist erinevust. Oma aegne ruuporiga valjuhääldi võis rahuldada ainult vähenõudlikku kuulajat. Kuid ebamugavate peatelefonide kõrval oli see ikkagi tubli sammuke edasi.

Siin on kohane meenutada «asjalikke» nõuandeid, mida tol ajal jagati ruuporvaljuhääldi küllaltki kesise helikvaliteedi parandamiseks. 1926. a. soovitas näiteks eesti ajakiri «Raadio» katta valjuhääldi toru seestpoolt tiseriliimiga ja siis peensuhkruga üle puistata. Kirjeldatud moodus pidi muutma hääle mahe-daks.

Kuid käsikäes ringhäälingu populaarsuse kasvuga suurenesid ka helikvaliteedile esitatavad nõuded ja mõningate eksirännakute kaudu uute valjuhäälditüüpide loomisel jõuti elektrodünaamilise (lühidalt: dünaamilise) valjuhääldini.

Praegugi kasutatavad mehhaanilised hääletegijad — dünaamilised valjuhääldid — on ehituselt üsna sarnased elektrodünaamiliste mikrofonidega. Erinevus on siin peasjalikult ainult mõõtmetes ja talitlusprintsibi vastandlikkuses. Kui mikrofon muundab membraani võnkumise elektrivooluks, siis valjuhääldi muundab elektrivoolu tagasi membraani võnkumiseks.

Dünaamiline valjuhääldi koosneb tugevast püsivmagnetist, mille pooluste vahele on jäetud samasugune silindrikujuline vahemik nagu elektrodünaamilises mikrofoniski. Püsivmagneti kogu magnetvoog on sellesse vahemikku koondunud. Valjuhääldi magnetsüsteemi külge kinnitub kausskujuline suurte avadega varustatud membraanihoidik, millele toetub koonuse-taolise kartongmembraani serv. Niisugust membraani nimetatakse enamasti lihtsalt koonuseks.

Koonuse tipu külge liimitud silindriline alus kannab kergelt traatmähist — võnkepooli. Poolitraadi otsad on ühendatud helisagedusliku vahelduvvoolu allikaga, näiteks võimendiga. Võnkepool asub magneti pooluste vahelises silindrilises pilus ning saab sealt vabalt oma telje sihis edasi-tagasi liikuda. Võnkepooli puutumist vastu pooluseid väldib koonuse tippu toetav elastne tsentreerimiseseib.

Seni tutvusime valjuhääldi ehitusega. Aga kuidas ta töötab?

Kõik elektromagnetisminähtused on pööratavad. Kui elektri-juhtme suhtes liikuv magnetväli tekitab induktsoonivoolu, siis esineb ka vastupidine nähtus: magnetväljas asuvale vooluga juhtmele hakkab mõjuma mehhaaniline jõud, mis olenevalt voolu suunast püüab juhet magnetväljast ühele või teisele poole välja tõrjuda.

Elektrodünaamilises valjuhääldis kasutataksegi seda printsiipi. Seni, kui võnkepoolis voolu ei ole, asetseb see magnetpilus mingis keskmises asendis, mille määravad koonuse kinnitussüsteemi detailide elastsusjõud. Kui aga juhtida mähise traati elektrivool, siis muutub pool magnetiks: vastavalt voolu suunale tekib selle ühte otsa põhja- ja teise lõunapoolus. Nüüd hakkavad valjuhääldis ühekorraga mõjuma püsivmagneti ja pooli läbiva voolu magnetväljad. Kuid füüsikast on teada, et kahe magnetvälja koosmõjul ilmub alati mehhaaniline jõud. Seepärast tõukubki võnkepool läbiva voolu toimel olenevalt selle suunast magneti pooluste vahelt ühes või teises suunas välja. Tõukejõule töötavad vastu muidugi membraani kinnitusedetailide elastsusjõud ja pooli hälve koos koonusega osutub praktiliselt võrdeliselt sõltuvaks vooluks.

Kirjeldatust pole raske teha järeldust, et kui valjuhääldi võnkepooli juhtida võimendist küllalt tugevat helisageduslikku vahelduvvoolu, siis hakkab koonus võnkuma ja tekitab heli.

Nii töötabki mehhaaniline hääl — seadis, mis võib laulda nagu Gigli või Šaljapin.

### *Elektronide dresseerimine*

Teravapilguline nõukogude humorist ja satiirik Ilja Ilf on ühes oma teoses jäädvustanud järgmise üldistava tähelepanekukilkul-kese kahekümnendate aastate vabaõhukontsertidest: «Vahva oli vanake Varlamov, kes pasundas õrnu armusõnu rohelisest kiirkõitjast kokkuõmmeldud ruuporis...»

Varlamov oli omaaegne tuntud estraadikunstnik. Aga ruupor — olgu see valmistatud kas või kiirkõitja kartongist — oli tarvilik hääle suunamiseks publiku poole, et selle niigi kasinat energiat asjatu hajumise läbi veel rohkem kaduma ei läheks.

Kuidas toimiksite juhul, kui peate midagi hüüdma oma kaas-  
lasele, see aga asub nii kaugel, et ei saa sõnadest enam aru?  
Tõenäoliselt kasutaksite lihtsat, kuid mõjusat abivahendit:  
kujundaksite oma peopesadest suu ees lehtritaoliselt avarduva  
ruupori ja hüüaksite läbi selle. Hääl muutub suunatumaks ja  
selle intensiivsus kuulamiskohas tõuseb mõnevõrra.

Neil aegadel, millest kirjutab Ilf, oli helitehnika alles lapse-  
kingades. Mikrofonid ja valjuhääldid, mida tänapäeval pea-  
aegu igal massiüritusel kohtame, polnud siis veel laiemalt  
levinud. Hääle tugevdamiseks, inimhääle ulatuskauguse suu-  
rendamiseks kasutati megafone (kreeka keeles tähendab  
*megas* — suur ja *fone* — heli): enamasti plekist valmistatud  
lehtrikujulisi kõnetorusid. Neid käepäraseid vahendeid tarvi-  
tatakse praegugi käskluste edasiandmiseks laevadel ja spordi-  
platsidel.

On teada, et näitlejad, kes esitasid enam kui kahe aastatuhande  
eest iidse Ateenas komöödiaid ja tragöödiaid, kasutasid hääle  
kandvuse suurendamiseks ruuporeid. Tolleaegse teatritegemis-  
kombe kohaselt olid kõik osalised muude atribuutide kõrval  
varustatud ka maskidega. Nii saadi eriti ilmekalt väljendada  
vastava tegelaskuju karakterit ning seda ka eemalt hästi näh-  
tavaks muuta. Maskide suu-avad olid kujundatud lühikeste  
ruuporitena, mis arvatavasti niisamuti suunasid häält nagu  
kokkupandud peopesadki.

Ruupor oli ja jäi hääle tugevdajana ikkagi hädaabinõuks, mis  
areneva elektroakustika täiuslikumate heliülekande- ja või-  
mendusmeetodite ees kiiresti ja meelsasti taandus.

\*

Õigupoolest tuleb moodsa elektroakustika ja helitehnika lähte-  
punktiks lugeda võimendava mitme elektroodiga elektronlambi  
leiutamist.

Aine aatomites leiduvate pisimate elektrilaengut kandvate osa-  
keste — elektronide «dressuur» võimenduslambis pani aluse  
helisagedusvoolude praktiliselt piiramatule võimendamisele.

Juba telefoniasjanduse algaastail selgus, et heli elektriline  
ülekanne süsimikrofoni, ühendusjuhtmete ja elektromagnetilise  
telefoni vahendusel võib toimuda ainult võrdlemisi piiratud  
kaugusele; pealegi on telefonis reprodutseeritav heli kuuldav  
ainult ühele inimesele.

Dünaamilisest ja kondensaatormikrofonist saadav vool on nii  
nõrk, et sellest ei piisa isegi tavalise elektromagnetilise telefoni

töölerakendamiseks, rääkimata veel pikast juhtmestikust, milles vältimatult tekkivad võimsuskaod «hävitaksid» lõviosa sellestki energiapistkust, mida mikrofon toota suudab.

Meid abistab võimendi. Dünaamilisest mikrofonist saadava elektrivoolu võimsus on sageli väiksem kui kümnendik mikrovatti, aga üks mikrovatt on teatavasti miljondik vatist! Oletame, et mikrofon asetseb Tallinna laululaval ja on ühendatud võimendiga. Mikrofonist saadud tühiselt väike elektrivõimsus tüürib võimendis elektrivõrgust ammutatavat võrratult suuremat võimsust, mis lõpuks mikrofonist saaduga täpselt identse, kuid tugevama helisagedusvooluna arvukatesse valjuhäälditesse juhitakse. Ainuüksi lauluväljaku territooriumil on valjuhääldeid nii palju, et nende koguvõimsus ületab kaugelt mitu tuhat vatti.

Võimendi elektronlambid täidavad ülikeerukat ülesannet, «tehes» mikrofonist saadavast miljondiku vati murdosast valjuhäälditesse juhtimiseks tuhandeid vatte. Peab ju lauluväljaku valjuhääldeid toitev võimendi mikrofonist lähtuva helisagedusvoolu võimsust suurendama ikuni  $\frac{2000}{0,0000001} = 20\,000\,000\,000$  korda!

Iga võimendi põhilisteks detailideks on elektronlambid (uuemal ajal ka neid asendavad pooljuhtseadised — transistorid). Need võimaldavad ühes vooluringis mõjuva pinge või voolu muutuste kaudu tüürida voolu teises, tugevama vooluallikaga ühendatud vooluringis.

Võimendusprotsessi tundmaõppimiseks vaatleme esmalt põhimõttelt lihtsaimat võimendavat lülituselementi, nimelt elektromagnetilist releed. See seadis sisaldab elektromagneti, mille südamikule lähedusse on asetatud teatud ulatuses edasi-tagasi liikuv terasriba, nn. ankur. Voolu olemasolul elektromagneti mähises tõmbub ankur väikese vedru elastsusjõudu ületades pooli südamikule poole ning sulgeb teise vooluringi kuuluva kontaktipaari. Nii saabki suhteliselt väikese energiakuluga elektromagneti mähise vooluringis tüürida (s. o. sisse ja välja lülitada) voolu teises vooluringis, mis võib sisaldada tugevaid vooluallikaid ning võimsaid tarbijaid.

Relee kui võimendava seadme võttis esmakordselt kasutusele üks edukamaid leidureid telegraafi valdkonnas, ameerika maalikunstnik Samuel Morse, et muuta tugevamaks pikkade telegraafiliinide vahejaamades võimsuskadude tõttu nõrgenenud signaale.

Neid ridu lugedes võib tekkida arvamus, et elektromagnetilist releed saab kasutada ka helisagedusvoolu võimendamiseks. Tarvitseb ainult mikrofonist saadav nõrk vool relele mähisesse juhtida ning kontaktide vooluringi ühendada järjestikku küllalt võimas alalisvooluallikas ja valjuhääldi, siis peaks relele hakkama valjuhääldit läbivat voolu ühendama ning katkestama mikrofonitaband heli võnkumise taktis ja valjuhääldis peaks tekkima kuitahes võimas heli, mille tugevus oleneb vaid vooluallika võimsusest.

Kahjuks see nii ei ole. Elektromagnetilist releed saab kasutada väga paljudeks tehnilisteks otstarveteks, eeskätt igasuguses automatiseerimises, kuid see seadis ei sobi üldse helisagedusvoolu võimendamiseks.

Helisagedusvool koosneb paljudest erineva sageduse ja amplituudiga osadest ehk komponentidest. Võimendamise käigus peavad kõik need koostisosad, nende sagedused ja amplituudide vahekorrad säilima — vastasel korral kuuleksime moonutatud heliülekanne. Kuid relele saab «võimendada» voolu ainult robustse sisse- ja väljalülitamise kaudu ning osutub seega peenekoeliste helisagedussignaali jaoks kõlbmatuks: vool relele kaudu tüüritavas vooluringis ei osutu isegi ligilähedaseks koopiaks releed tüüritavast helisagedusvoolust. Ülepääsmatu takistusena lisandub veel relele ankru ja kontaktsüsteemi inert, mis suuremate sageduste korral ei lase lülitamistel enam normaalselt kulgeda.

Elektrivõngeteks muudetud heli võimendamiseks sobib ainuüksi seadis, mis mõjub inertsi vabalt muutuva takistusena kõrvalise alalisvooluallika ja valjuhääldi vahel. Takistuse suurenemisel pääseb valjuhääldisse vähem voolu ja koonuse hälve on väiksem. Vastupidisel juhul, kui takistus väheneb, kujuneb vool suuremaks ja valjuhääldi koonuse hälve suureneb. Taolise võimendusseadise takistus peab mingil viisil sõltuma sellest väikesest helisageduslikust tüürvoolust või -pingest, mida toodab mikrofon.

Juba ammu on tehnikute käsutuses üks universaalsemaid seadiseid raadiotehnikas, automaatikas ja loendamatul muudel aladel — võimendamiseks vajalike omadustega elektronlamp.

Heal lapsel olevat palju nimesid. Ja nii hüütakse elektronlampi ka võimenduslambiks, elektrontroruks, katoodlambiks, raadiolambiks.

Elektronlampe valmistatakse mõnikümmend põhitüüpi. On olemas diodid, triodid, tetroodid, pentodid, heksodid, heptoo-

did... Seda rida võiks veelgi jätkata, kuid piirdume siinkohal üksnes ehituselt lihtsaima võimenduslambi, trioodi kirjeldamisega.

Triood on elektronlamp, mis sisaldab kolm elektroodi — katoodi, võre ja anoodi.

Kuid kõigepealt tuleb jõuda selgusele, miks seadist, mille ülesandeks pole üldse valgustamine, nimetatakse lambiks. Põhjus on vanade «raadiolampide» ligikaudne väline ja ka teatav sisemine sarnasus tavalise elektrihõõglambiga — kumbki on õhutühi klaasballoonike.\* Nagu hõõglambis, nii on ka elektronlambis olulisimaks detailiks peenike raskestisulavast metallist hõõgtraat, mille otstest on ühendused jämedamate traatidena läbi klaasballoni välja toodud. Hõõglambis kuumutab hõõgtraati läbiv elektrivool seda mitme tuhande kraadini, nii et traat hakkab helevalgelt hõõguma ja valgust kiirgama.

Elektronlambi hõõgtraat pole ette nähtud valguse «tootmiseks» elektrivoolust. Siin nimetatakse seda detaili kütteniidiks. Iga elektronlambi töötamise eeltingimuseks on kütteniidi küllalt kõrge temperatuur — praegustel lambitüüpidel ulatub see üldiselt 600...900 kraadini. Päris vanadel elektronlampidel hõõgus kütteniit helekollaselt, paarituhandekraadisel temperatuuril, andes niiviisi «pealekauba» ka päris palju valgust. Just sellest saigi seadis omale kohatu nime «lamp».

Vanematele raadiohuvilistele peaks praegugi meenuma, et 1925. aasta «neljalambilisel» oli neli lampi, mis valgustasid tuba peaaegu nagu 40-vatine valgustuslamp (sest ühe taolise raadiolambi küttepinge oli 3,5 volti ja küttevool 3 amprit, võimsus seega 10 vatti).

Iga metalli aatomite vahel on pidevas liikumises vabu elektrone, mis pole seotud ühegi konkreetse aatomiga. Aine kuumutamisel kasvab vabade elektronide liikumisenergia ning osa nendest omandab nii suure kiiruse, et ainesisesed tõmbejõud ei suuda neid enam kinni pidada. Need elektronid eralduvad kuuma hõõgniidi-katoodi pinnast ning moodustavad selle ümber hõljuva negatiivse elektrilaenguga pilvekese, nn. ruumlaengu. Niisugust vabade elektronide eraldumist ainest nimetatakse elektronide emissiooniks.

Elektronlambis on vaakuum tarvilik kahel põhjusel. Õhus hakkaks metallkatoodi kuum pind oksüdeeruma ning kütteniit

---

\* Rohkesti on käibel ka metallballooniga elektronlampe.

põleks lühikese aja jooksul läbi (samal põhjusel pumbatakse õhk välja ka valgustuslampidest või asendatakse mõne keemiliselt inertse gaasiga, nagu krüptooni või lämmastikuga). Veelgi tähtsam on vaakuum elektronlambis selleks, et õhumolekulid ei hakkaks takistama katoodist emiteerunud elektronide liikumist elektrodide vahel, millel just põhinebki selle seadise võimendav toime.

Kui ruumlaengut moodustavaid elektrone võimenduslambi balloonist mingil viisil «ära ei korjata», tekib peatselt omapärane tasakaaluolukord: negatiivne ruumlaeng muutub nii intensiivseks, et hakkab tagasi tõrjuma katoodilt hiljem eralduvaid elektrone (teatavasti samanimelised elektrilaengud tõukuvad) ja emissioon katkeb.

Võimenduslambis on tarvis luua pidev elektronide vool katoodilt anoodile. Anood on õhukesest plekist silindriline elektrod, mis ümbritseb katoodi. Kui anood pingestatakse katoodi suhtes positiivselt, siis suunduvad viimase kuumutamisel emiteeruvad elektronid läbi õhutühja ruumi anoodile, sealt ühendusjuhtmete kaudu pingesallikasse ning tagasi katoodile, kus «stardivad» uueks lennuks katoodi ja anodi vahelises vaakuumis. Kui sellesse, nn. anoodvooluringi ühendada veel näiteks valjuhääldi, siis esialgu see vaikib: püsiva tugevusega alalisvool ei saa membraani võnkuma panna ja heli tekitada.

Anoodvoolu tüürimiseks — selle muutmiseks helivõnkumise rütmis, millele reageeriks valjuhääldi — on võimenduslambis lisaks katoodile ja anoodile veel kolmaski elektrod — sõela- või võrgukujuline tüürvõre. See asetseb tõkkena katoodilt anoodile tõttavate elektronide teel.

Kuidas toimib tüürvõre? Seni, kui võre on pingevaba, ei mõjuta peaaegu üldse anoodvoolu moodustavatele elektronidele. Aga niipea, kui sellele elektrodile anda kas või väikegi pinge katoodi suhtes, muutub olukord lambis põhjalikult. Siin pääseb mõjule reegel, et samanimelised laengud tõukuvad ja isenimelised tõmbuvad. Võre muutmisel positiivseks anoodvool kasvab (seda küll teatud piirides) ja vastupidi. Esimesel juhul võre elektrilaeng «tõmbab» katoodi ümbrusse kuhjunud ruumlaengust elektrone välja ja enamik neist omandab sellise kiiruse, et võib võre traatide vahelt hõlpsasti anoodile lennata. Teisel juhul tõrjub võre negatiivne laeng ruumlaengu elektronpilvekest katoodile lähemale, emissiooni intensiivsus väheneb ja elektronid lendavad läbi negatiivse võre poolt loodud tõkke väga «vastumeelselt» anoodi suunas.

Vahelduvpinge rakendamisel elektronlambi tüürvõre ja katoodi vahele hakkab anoodvool kõikumata täpselt vastavuses võrepingega. Selles peitubki võimendamise saladus kolme elektroodiga elektronlambis: väikesed pingekõikumised võrel, milleks võimsust ei tarbita, põhjustavad suuri analoogilisi anoodvoolu kõikumisi.

Edasine peaks olema selge. Trioodi kütteniiti tuleb kuumutada, võre ja katoodi vahele ühendada mikrofon ning anoodi ja katoodi vahele järjestikku küllaldase võimsusega alalisvooluallikas ning valjuhääldi.

Valjuhääldit läbiv vool hakkab siis mikrofonist saadava vahelduva võrepinge taktis võnkuma ja muundubki taas kuuldavaks heliks. Kui aga ühe elektronlambi võimendusest ei peaks piisama, siis kasutatakse neid rohkem, nii et esimeses lambis võimendatud helisageduslikku vooluvõnkumist võimendaks edasi järgmine lamp jne. Seepärast sisaldavadki helisagedusvõimendid mitut elektronlampi.

Võib-olla üllatab see lugejat, kui pärast kõike esitatut teeme täpsustuse: võimenduslampi selle sõna otseses tähenduses polegi olemas! Kui niisugune seadis tõeliselt eksisteeriks, siis oleks inimkonna käsutuses imepäraseim energiaallikas ja me ei peaks pead murdma aatomienergia kasutamise ja muude looduslike energiavarude eksploateerimise probleemide kallal. Siis juhiksime näiteks taskulambipatarei nõrga voolu läbi paari-kolme niisuguse lambi ja... muutuksime elektrivõrgust täiesti sõltumatuks! «Võimendatud» patareivooluga saaksime valgustada ja kütta elamut, valmistada toitu ja kaitada mitmesuguseid elektririistu.

Me peame aru saama, et elektronlambi võimendusomadus on lähedane elektromagnetilise relee talitluspõhimõttele ega tähenda energiahulga suurenemist eimillegi arvel.

Võimendamine on teataval määral võrreldav näiteks projektsiooniaparaadi toimega. Diaskoop ei tee väikest pilti suureks, vaid tugeva valgusallika ja projektsiooniobjektiivi vahendusel laseb näha väikese pildi suuremat kujutist. Nii ka võimendi ei tee nõrka voolu tegelikult tugevaks, vaid loob võimaluse väikesi vooluvõnkeid täiendava energiaallika (elektrivõrgu) arvel nii suurendada, et me oma «kuuldepilti» suuremana, s. o. valjemana tajuda võime.

## Arvudest, mis hämmastavad astronoomigi

Astronoomid on teatavasti harjunud opereerima tohutute arvudega. Kosmose mastaapides pole meie «maise» pikkusühiku meetri kasutamine kuigi otstarbekas ja sel puhul kasutatakse võrratult suuremat ühikut, mis on tuletatud valguse levimiskiirusest. Üks valgusaasta on selline kosmiline vahemaa, mille 300 000-kilomeetrise sekundikiirusega tõttav valgus ühe aastaga läbib. Ligikaudselt on selleks  $9,5 \cdot 10^{12}$  kilomeetrit. Meid kaugetest udukogudest lahutavad tuhanded ja miljonid valgusaastad on astronoomide jaoks «tühised», kuid tavalistele, maisetes mastaapides elunevatele inimestele harjumatud, isegi kujutlematud.

Edasisest näeme, et ka astronoomiast nii kaugel asuvas ainevallas nagu helitehnikas võib esineda arve, mis hämmastavad astronoomegi. Need arvud on seotud allvee-kaugsidekaablitega. Juba 1840. aastal väljus elektritelegraaf laboratooriumide seinte vahelt ja levis järgnevate aastate vältel suuremas osas Euroopas ning Põhja-Ameerikas. Mõnevõrra hiljem alustas oma võidukäiku telefon, mille kiiret arengut soodustas muidugi asjaolu, et selle sidevahendi jaoks sai ära kasutada juba olemasolevaid telegraafi-õhuliine. Kuid kummagi mandri sidevõrgud jäid omavahel eraldatuks ookeaniga, mis veel kauaks osutus telegraafi- ja eriti telefonisignaalidele ületamatuks tõkeks.

Esimene allvee-telegraafikaabel maailmas, mis pidi ühendama Inglismaad muu Euroopaga, paigaldati 1850. aastal Pas de Calais' väina. Tehnilised eeldused selleks olid juba olemas. Äsja oli avastatud gutapertš — huvitavate omadustega aine, millest võis valmistada mitte ainult «kergeid ja odavaid raudtee kõnetorusid», vaid ka veekindla isolatsiooniga allveekaableid. Selle ürituse algataja ning läbiviija oli taas inimene, kes seisis tehnikast ja teadusest, vähemalt reaalteadustest, väga kaugel — John Watkins Brett, elukutse poolest põline antikvaar.

Pas de Calais' kaabel ei tahtnud juba alguses korralikult «kõnema õppida», pakkudes vastuvõtjale vaid tundmatu seni moonutatud telegraafisignaalide impulsse. Mõned elektrotehnika põhitõed olid tollal veel tundmata. Pikk allveekaabel on tänu oma suurele elektrimahtuvusele väga «inertne» ja käitub sootuks erinevalt õhuliinist: elektriimpulsse, seega telegraafikoodi «punkte» ja «kriipse» saab temast läbi saata üksnes väga aeg-

laselt, kui sideliinis pole kasutatud erilisi mahtuvust kompenseerivaid vahendeid. Kuid need seadused ja vahendid avastati alles hiljem ja selles oligi esimeste katsete traagika.

Pas de Calais' väina asetatud kaabli kaudu ei õnnestunud üle anda ainsatki mõistetavat teadet. Ja kõigest mõni päev pärast kaabli paigaldamist lakkas see kõikide asjaosaliste suureks kurvastuseks sootuks voolu läbi laskmast, võttes võimaluse edasisteks katseteks. Nimelt oli, nagu tagantjärele selgus, üks kalur kaabli paha aimamata koos oma paadi ankruga välja tõmmanud ja sealjuures sügavalt imestanud nii pikka... vesikasvu nähes. Kõige tagatipuks lõiganud uudishimulik mees imelikust moodustisest tubli jupi välja, et selle abil oma sõpradegi silmaringi avardada.

Vahepeal omandati kogemusi, katsetati ning süvendati side-teooriat. Ja kuna üha arenevad kaubandussuhted ei lubanud enam kesta olukorral, kus kiirsõnumite toimetamiseks «suure lombi» taha ka pärituule puhul peaaegu paar nädalat kulus, siis leidis ettevõtlikke inimesi, kes asusid teostama hulljulget ideed — ühendama telegraafikaabliga Vana ning Uut Maa-ilma.

Mitu katset läks luhta ning katkenud ja riknenud kaablijupidena maeti ookeani põhja tohutud varandused, enne kui 1858. aastal valminud telegraafiühenduse kaudu merepõhja mööda Euroopast Ameerikasse esimene telegramm saadeti.

Tehnika arenes ja sajandivahetuseks töötas kogu maailmas juba 1750 veealust telegraafiliini kogupikkusega üle 300 000 kilomeetri; nendest tervelt 15 läbisid Põhja-Atlandit.

Kuid kõikidel nende aegade allveekaablitel oli ühine puudus: nad sobisid küll lihtsaimatest vooluimpulssidest koosnevate telegraafisignaalide ülekandmiseks pikema vahemaa taha, kuid sootuks mitte keerukamate helisignaalide transleerimiseks.

Elektrotehnikas kehtivad kõigutamata seadused, mis kinnitavad, et helisagedusvoolu saab suurt mahtuvust omavates allveekaablites üle kanda vaid üsna tühistele distantsidele. Kõne puhul tuleb ühest punktist teise edasi anda teatavasti küllaltki avarasse sageduspiirkonda kuuluvaid helisagedusvoolusid — tavalises telefonitehnikas 300 kuni 3400 hertsini, seda aga niisugune kaabel ei taha võimaldada.

Ulatuslikum telefoniside on teostatav ainult vahepealsete võimendite abil, mis kompenseerivad kaablis paratamatult tekkinud energiakadusid. Nüüdisaegsetesse telefoni-kaugliinidesse ei juhita enam vahetult helisagedusvoolu, vaid kõrgsagedus-

voolu, mis nagu kannab oma turjal sihtpunkti korruga paljusid telefonikõnesid. Nii saab üht kaablit raadiotehnika abil paljukordselt ära kasutada.

Poleks kaablis vahevõimendeid, sumbuksid signaalid, nii et juba mõnesaja kilomeetri kaugusel kuuldavus täielikult kaoks. Seepärast on veelustesse sidekaablitesse iga 60—80 kilomeetri taha lükitud spetsiaalne võimendi.

Signaal allveekaablis ei sumbu mitte võrdeliselt kaugusega, nagu arvata võiks, vaid tunduvalt kiiremini. Lähem analüüs näitab, et signaali nõrgenemise väljendamiseks arvudes pole tavaline matemaatika ja isegi igapäevane arvuvald kuigi sobivad.

Ligikaudnegi arvutus viib hämmastavate tulemusteni: see väidab, et kui Atlandi telegraafikaabli kaudu oleks püütud vahepealse võimendamiseta sisse seada telefoniühendust, siis piisanuks kogu maailma elektri jaamade koguvõimsuse rakendamisest kaablile vaid selleks, et signaalid oleksid küündinud 370 kilomeetri kaugusele, s. o. kõigest kümnendikuni ületata vast vahemaast. Pealegi poleks võimalik ühelegi reaalsele kaablile sellist võimsust sisestada kaablit täielikult riikumata.

Vähem kui neljasaja kilomeetri kaugusele, ja seda kogu maailmas toodetava elektrienergia võimsusega! See väide tundub paradoksina, sest ometigi läbib telegraafisignaal sama kaablit võrratult väiksema võimsuse juures. Kogu küsimus taandub sideliini elektriliste omadustega määratud läbilaskevõimele, mis piirab ülekantavat sagedusala ja telegraafisignaalide (elektriimpulsside) saatmise kiirust. Kui telegrafeerimisel on võimalik kahandada ülekandetempot, sobitades seda liini tehniliste omadustega, siis kõnesignaalide poolt hõivatava sagedusala edasine ahendamine viiks kõne täielikule moonutamisele. Huvitav on märkida, et kui esimese üleatlandilise telegraafikaabli katsetamisega oldi lõpuks nii kaugel, et võidi hakata üle andma Inglise kuninganna Victoria tervitustelegrammi teksti Ameerika Ühendriikide presidendile Buchananile, siis kulus 99 sõna edasiandmiseks tervelt kuusteist ja pool tundi, s. o. umbes niisama palju, kui tänapäeval aviopostisaadetise kohaletoometamiseks samal marsruudil.

Nimetatud põhjustel töötaski Ameerika ja Euroopa vahel kuni 1956. aastani ainult rida telegraafikaableid, sest küllaldase talitluskindlusega ja nõutavate tehniliste omadustega võimendeid, mida võinuks kümnete kaupa järjestikku kaablisse lük-

kida, veel polnud. Tähendab ju üheaainsagi veealuse võimendi riknemine kaabli selle osa väljaõngitsemist, kõnelemata juba kaabli leidmisest tuhandete meetrite sügavusest ja erimõõtmistest töötamast lakanud võimendi järjekorranumbri ja täpse asukoha kindlaksmääramisel.

Kaks mandrit said vahetult kõnelema hakata alles alates 1927. aastast, mil seati sisse esimene raadiotelefoniühendus. See jäigi järgnevaks kolmeks aastakümneks ainsaks (ja algul üsnagi tujukaks) elava kõne ülekandmise vahendiks. Kuid vajadus täiesti talitluskindla traattelefoniühenduse järele süvenes üha.

Alles meie päeviks jõudsid sidespetsialistid nii kaugele. 1956. aastal paigaldatud esimeses allveetelefoniiniis Atlantil on ühtekokku 102 võimendit; neist igaüks võimendab vahepeal sumbunud signaali miljon korda. Et kummaski suunas töötab selles liinis järjestikku 51 võimendit, siis nende koguvõimendus (ja vastavalt ka signaali sumbumus kaablis) küündib fantastilise arvuni, mis pole võrreldav millegagi ei maa peal ega kosmoses. See arv, miljon, mida tuleb iseenesega korrutada 51 korda, mahuks tavalist kümnendsüsteemilist kirjaviisi kasutades meie raamatukeses kuuele reale: «üks», millele järgneb 306 nulli.

Isegi nn. astronoomilised arvud on sellest tublisti väiksemad. Astronoomias lihtsalt nii suuri arve pole. Ameerika teadlane A. Clarke, kellelt käesolev mõttekäik on tsiteeritud, märgib, et arvu  $10^{306}$  ei õnnestu võrrelda isegi liivaterakeste arvuga maakeral. Isegi kui meie koduplaneet kogu oma mahu ulatuses koosneks ainult liivateradest, siis nendegi koguarv väljenduks arvuga, milles on umbes kolmkümmend nulli. Võtame elektronide hulga kosmoses: see on tõepoolest suurem, kui võrd seda hinnatakse arvuga, mille jaoks piisaks kaheksakümnest nullist. Aga viiskümmend üks järjestikust võimendit ookeanikaablis — nende koguvõimendus ületab järelikult kosmilisedki mastaa- bid.

1963. aastal asetati Atlantide ookeani rekordilise pikkusega sidekaabel, mille kaudu saab üheaegselt pidada ühendust 128 telefonisidekanali kaudu. Kaabli pikkus on 6670 kilomeetrit ja selles töötab 182 võimendit. Praegu on aga ookeanides telefoni- kaableid juba kaugelt üle 100 000 kilomeetri pikkuses. Milline aga võiks olla nendes rakendatud võimendite koguvõimendus? ...

## TARDUNUD HELIDEST MÜNCH- HAUSENI POSTISARVES

### *Konserveeritud hääl*

Saksa kirjaniku, despotismi vaenlase Gottfried Bürgeri loodud parun Münchhausen on omapärasemaid kujusid kirjanduses — väsimatu luiskaja ning olematute lugude vestja. Imepäraste juhtumite hulgas, mille minakangelaseks Münchhausen ikka ise oli, leidub üks episood, kus ta jutustab oma seiklustest Vene-Türgi sõja ajal. See lugu kõlab järgmiselt:

*Sel aastal oli terves Euroopas nii külm, et isegi Päike oli külmetanud ja saanud külmakahjustusi, millede all ta tänaseni kannatab. Kuna mu hobune oli Türgimaale jäänud, pidin kasutama postitõlda. Kui kord sellega kõrgetest taradest piiratud kitsale teele sattusime, meenutasin postipoisile, et ta oma sarvega signaale annaks, sest muidu võiksime mõne vastutuleva tõllaga ummuksisse sõita.*

*Mees pani sarve suule ja puhus kõigest jõust, kuid tema pingutused olid asjatud — sarvest ei tulnud ainsatki tooni.*

*Kui lõpuks võõrastemajja jõudsime, riputas postipoiss sarve kamina kohale naela otsa ja me seadsime ennast mugavalt söögilauda.*

*Järsku läks lahti: tuut-tuut-tuut! tuutu-luutu-tuut! Ahju küljes rippuv postisarv hakkas iseenesest häälitsema. Me kõik tegime suured silmad ja põrnitsesime naelal rippuvat ilmaimet. Nüüd avastasime ka põhjuse, miks postipoiss ei saanud teel olles sarvest häält kätte. Nimelt külmusid helid teel sarve sisse kinni ja tulid nüüd, mil ahju soojus neid järk-järgult üles sulatas, iseenesest puhtalt ja selgelt esile.*

*Imeline pill lõbustas meid tükk aega kauneima muusikaga ning tuntuimate meloodiatega, ilma et postipoiss oleks tarvitenud sarve suule panna.*

Eks selles episoodis kajastu inimeste ammune soov talletada helisid ja hääli, et neid hiljem soovikohaselt taas kuuldavaks muuta. Kuid soov sooviks: hääled vanadest aegadest on kõlanud ja kadunud. Heli on haihtuv ega jäta enesest järele materiaalset jälge, mille järgi õnnestuks seda hiljem reprodutseerida.

Juba paljude aastatuhandete eest osati joonistada ja primitiivseid kujutisi — loomi, linde — kivisse raiuda. Mõnevõrra hiljem muutus muistsete kunstnike käsi osavamaks ja nad õppisid piltidena kujutama stseene oma igapäevasest elust, tegevusest ning ümbruskonnast. Nii ilmusid kaljudele ja koo-  
baste seintele kohati vägagi ulatuslikud kunstiteosed — lahingustseenid, pildikesed jahilt ja majapidamistalitustest.

Just tänu nendele meie päevini säilinud iidsetele kunstimälestistele saavad arheoloogid piisavalt usaldatavat informatsiooni sellest, kuidas vanad rahvad riietusid, millised olid nende tavad ja peamised tegevusalad. Neist piltidest suudavad teadlased isegi teravmeelseid järeldusi teha omaaegse kogukondliku korra üle.

Läbi aegade jõudsid nähtavate kujutiste vahendusel meieni andmed esemetest ja olenditest, mida enam olemas pole, lahingutest, mis olid löödud tuhandete aastate eest, ja inimestest, keda lahutab meist loendamatu arv põlvkondi.

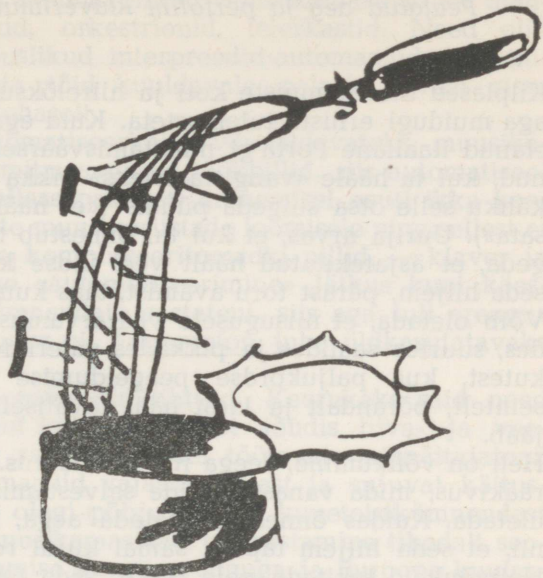
Möödunud piltkujutisena salvestada polnud raske. Ja kui piltidest arenes välja üldkasutatav kiri, muutus informatsiooni säilitamine päris lihtsaks. Hoopis iseasi oleks, kui sooviksime teada, kuidas kõlasid ülestähendatud ennemuistsed laulud või kuidas kõneles mõni antiikaja kõnemees. Või kuidas kõlas inimkonna elus uut eposhi tähistav lask legendaarselt «Auro-ralt».

Häält, helide elavat kõla ei suudetud kivisse raiuda...

Homerose «Odüsseia» tekst on üles kirjutatud ja kõikidesse kultuurrahvaste keeltesse tõlgitud. Kuid leidub viiteid sellele, et autor on neid rütmikaid heksameetreid esitanud mitte deklameerides, vaid lauldes. Kuidas kõlas nende meloodia? See peab paratamatult jääma igavesti lahendamatu küsimuste laekasse.

Palju keeli on inimühiskonna arengu vältel kõrvale jäänud ja välja surnud. Üksnes väheste kohta lubavad mõningad säilinud kirjalikud teated hääldamisreeglite suhtes ligikaudseid oletusi teha. Nende täpne kõla jääbki saladuseks.

Tänapäeval on kõik hoopis teisiti. On olemas «helikonservid»:



grammofoniplaat, helifilm ja magnetofonilint säilitavad tulevastele põlvedele kõnet ja muusikat, igasuguseid helisid. Juba praegu võime kuulata lähema ja isegi pisut kaugema mineviku laulusuuruste ning nimekate näitlejate hääli, nautida maailma-kuulsate dirigentide ja orkestrite hingestatud kunsti, ehkki need muusikud ei viibi elavate ridades võib-olla juba aastakümneid.

Iga kirjandussõbra jaoks on isikliku raamatukogu omamine täiesti enesestmõistetav. Süstemaatiliselt kogutakse teoseid ühelt või mitmelt alalt, avardatakse nende najal oma silmaringi ning suurendatakse teadmistepagasit. Raamatukogude kõrval tekivad ja paisuvad nüüd ka fonoteegid, grammofoniplaatide ning magnetofonilintide kogud.

Helisalvestustehnika on ulatanud oma abistava käe ka kaugeal asuvatele aladele. Küberneetiliste aparatuuride ja elektronarvutite mäluseadmetes, tööpinkide, laevade ja lennukite automaatjuhtimisel ning programmeerimisautomaatides — kõikjal kasutatakse magnetilisest helisalvestusest välja arenenud meetodeid.

Kilplased olevat muiste koti ja hiirelõksuga valgust püüdnud, aga muidugi eriliste tulemusteta. Kuid ega 1500-ndatel aastatel elanud itaallane Porta'gi nimetamisväärselt targemini ei toimunud, kui ta hääle «vangistamiseks» pikka tinatorusse karjus ja kähku selle otsa sulgeda püüdis («et häääl välja ei jõuaks lip-sata»). Uuri ja arvas, et kui tal õnnestub toru nii kärmesti sulgeda, et äsjatekitatud hääält veel üldse kuulda pole, siis saab seda hiljem, pärast toru avamist, taas kuuldavaks muuta.

Võib oletada, et niisugusele väärarvamusele tuldi kirikulöövides, suurtes saalides ja pikkades galeriides tehtud tähelepanekutest, kus paljukordse peegeldumise tagajärjel siledatelt seintelt, põrandalt ja laest häääl tavaliselt sekunditeks kõlama jääb.

Heli on võnkumine, seega liikumisnähtus. Siit tulenebki vasturääkivus, mida vanasti helide salvestamise katsetel ei osatud ületada. Kuidas õnnestub peatada aega, kinni hoida liikumist nii, et seda hiljem täpselt samal kujul reprodutseerida saaks? Helivõnkeid tekitada pole raske, seda teab igaüks. Neid võib ka hõlpsasti nähtavaks muuta ja isegi omamoodi «pildina» säilitada. Meenutagem katset võnkuva helihargiga, mille külge kinnitatud teravik jätab piki tahmapaberit liueldes järele lainejoone. Umbes samalaadselt sai teadlane Leon Scott 1857. aastal «üles kirjutada» oma hääält. Ta valmistas seadme, mille helilainet koondava ellipsoidikujulise ruupori ühes fookuses asus õhuke membraan. Ruuporisse hüüdmisel hakkas membraan hääle mõjul võnkuma ja andis oma võnkliikumise edasi teravikule, mis jättis pöörleva silindri tahmaga kaetud pinnale võnkumise jäljendi. Siiski ei võimaldanud Scotti «fonograaf» ehk «hääle isekirjutaja» niiviisi jäädvustatud helivõnkumist hiljem taas kuuldava häälena reprodutseerida; järelikult võis aparaadiga tehtud helipildist kasu olla esialgu küll ainult teadusele.

Polnud kerge leida tehnilisi võimalusi mis tahes helide — eeskätt muusika — üleskirjutamiseks-reprodutseerimiseks. Kuid kindlasti leidub neid inimesi, kes suudavad ja tahavad muusikat nautida, hulga rohkem kui neid, kes ise võivad muusikat tekitada, s. o. mõnda pilli mängida. Sellest olenevalt ongi püütud muusika tekitamist automatiseerida ja mehhaniseerida, luues instrumente, mis ise mängivad. Nii hakkasid õige varakult

levima mitmesugused mehhaanilised muusikamasinad — män-gutoosid, kellamängud, orkestrionid, leierkastid. Need olid enam või vähem täiuslikud interpreedid-automaadid, mis inimese loova osavõtuta töid kuuldavale palasid varem sisse pandud programmi kohaselt.

Kui lihtsamateks automatiseerimist võimaldavateks muusika-riistadeks olid algul mitmesugused löökpillid, siis automatiseerimisoskuse ja ka kellassepakunsti arenemisel asuti ikka kee-rukamate isemängivate muusikariistade loomisele ning sellest ei jäänud kõrvale kõige komplitseeritumadki pillid — klaver ja orel. Muusika taoline «automatiseerimine» jätkus kuni käes-oleva sajandi kahekümnendate aastateni, siis aga tuli arengus seisak, sest selleks ajaks oli grammofon juba üldkasutatavaks saanud.

Algul olid muusikaautomaadid lihtsad. Keerukaks said need muutuda alles siis, kui kellassepakunst jõudis liiva- ja vee-kelladest vedru ning raskuse toimel töötavate ajanäitajateni, sest ka muusikaautomaadid vajasisid ühtlast ja sujuvat käitus-mehhanismi. Eks see olegi põhjuseks, et kuueteistkümnendast sajandist alates on muusikamasinate valmistamine tihedalt seotud ajanäitajate ehitamise kunsti arenguga ja Euroopa kuulsamad kellassepad olid sageli ka tuntud suurepärase muusika-automaatide loojatena. Nii leiame juba 1500-ndatel aastatel musitseerivaid nukke. Kaheksateistkümnendal sajandil, mil osati teha juba liikuvaid nukke, püüti neid panna mängima mitte ainult malet ja kabet, vaid ka muusikariistu. Asi läks isegi niikaugemale, et automaatinimestelt taheti kuulda koguni laulu ja kõnet. Ning tolleaegsetele peenmehhaanikutele tuleb au anda, sest tõesti ehitati automaate, mis matkisid lapse häält ning olid suutelised lihtsamaid sõnu ütlema.

Nukud, mis mõne mänguriista juures istusid ja muusikal kõlada lasksid, kandsid androiidide nimetust. Nende puhul püüti võimalikult täpselt matkida inimese liigutusi ja saavutada seda, et pillimäng kujuneks väliselt imiteeritava pilli helide sarnaseks. Kuidas selle ülesande täitmine õnnestus, olenes androiidi ehi-tanud peenmehhaaniku võimetest. Käesolevasse aega on ula-tunud kaasaegsete võib-olla pisut liialdatud märkmed, et reisi-jad on kohanud laatadel demonstreeritavaid musitseerivaid nukkusid, kelle eristamine pärisinimesest on olnud isegi mõne sammu kauguselt võimatu.

Iga automaatne muusikariist asendab musitseeriva inimese pilli-käsitsemise automaatikaga, kuid vajab inimese abi või jõudu

pilli käitamiseks. Algul toimus see vända või mingi pedaali kaudu, hiljem üleskeeratava vedrumehhanismi abil, kusjuures viimane pidi lõpuks omakorda taganema elektrimootori ees.

Automaatpilli «hingeks», tegelikuks musitseerijaks on eriline aeglaselt pöörlev silindriline šabloon, mille pinnast ulatuvad välja tihvtid. Seda nimetatakse tihvtvaltsiks. Tihvtid tüüriivad helide tekitajaid, avades ja sulgedes klappe, mis vahetult või pneumaatilise (hiljem ka elektromagnetilise) mehhanismi vahendusel käivitavad kellamängu vasarakesi ning trummide pulki ja annavad oreliviledesse ning pasunatesse suruõhku. Olenevalt tihvti asukohast silindri moodustajal ja ulatusest («pikkusest» valtsi ümbermõõdu suunas) vallandub ühe või teise kõrgusega ja vältusega heli. Kui tihvtid näiteks orelivilede ventiile tüüriivad, kostab heli kindlalt vilelt seni, kuni antud tihvt on klappi käitava kangikese alt möödunud. Mängutoosi puhul pingutab liikuv tihvt metallist nn. helikammi üksikut keelt («piid») ja kui viimane tihvti möödumisel pingest vabaneb, siis ta võngub ja heliseb. Kammi piide arv vastab antud muusikatükis ettetulevate helide arvule. Muidugi võib tihvtvalts samaaegselt käivitada erineva helikõrguse või kõlavärvinguga helitekitajaid — vilesid, keeli, kelli jne., andes akorde.

Mängutoosi kammipiisid häälestati nii, et kaabitseti neid õhemaks või muudeti tinatilgaga raskemaks. Muide, otstest kinnitatud võnkuva keele kohta teame, et selle heli kõrgeneb oktaavi võrra, kui keele pikkus väheneb kaks korda. Samavõrra lühendatud pii — ühest otsast kinnitatud keel — heliseb algmõõdulisest piist kaks oktaavi kõrgemalt. Mängutoosi heli tugevdamiseks kinnitati helikamm sageli õõnsa resonaatori külge.

Mängutoosi alati ühesugune kõlavärving muutus kuulajatele igavaks. Selle vastu leiti rohtu kõlavärvingu muutmisest. Tavalisemaks võtteks oli mandoliiniheli kasutamine, mis saavutati nii, et korraga pandi helisema mitu samale helikõrgusele häälestatud piid. Populaarsed olid ka mängutoosid, mis matkisid tsitri või harfi heli. Selleks lebas helikammil tükk kangast.

Et mängutoosist kostva ühe ja sama muusikapala kuulamine muutus pikapeale tüütavaks, ilmusid möödunud sajandi kaheksakümnendatel aastatel müügile vahetatava tihvtvaltsiga mängutoosid. Uue sajandi künnisel oldi jõutud isegi niikaugele, et valtsid olid standardiseeritud, s.t. ühe firma valtsid sobisid ka teise firma mängutoosi ja erinevaid muusikapalu

kandvaid valtse võis poest osta nii, nagu me praegusel ajal ostame heliplaate.

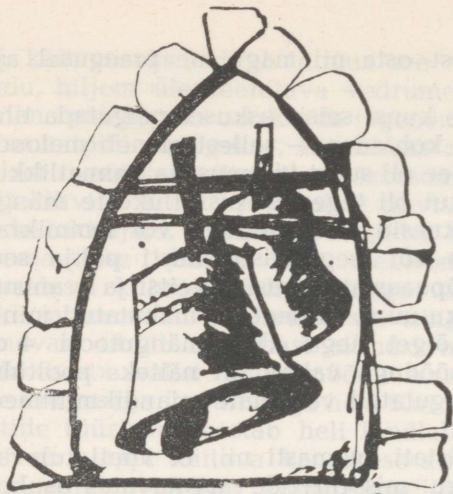
Automaadiehitaja peamine kunst seisis oskuses paigutada tihvtid valtsile täpselt õigetes kohtades — sellest oleneb meloodia rütm ja akordide täpsus. See oli suurt vilumust ja kannatlikkust nõudev töö, eriti juhul, kui oli tegemist pisitillukeste mängutoosidega, mis sageli paiknesid mõne albumi või lemmikraamatu kaanes, äratuskellas või isegi käsitöökasti põhja sees. Napoleoni valitsemisaja lõpuaastatel asusid šveitsi ja prantsuse kellassepääd turustama tasku-uure, milledesse mahutatud miniatuurne mängutoos «lõi» õiget aega. Ühe mängutoosi 4 cm pikkusel ja 1,5 cm läbimõõduga valtsil oli näiteks pooltuhat tihvti, mis pidid olema paigutatud vähemalt sajandikmillimeetrise täpsusega.

Automaatpilli valts valmistati enamasti nii, et võeti tulevase valtsi kujuline messingtoru, mis tihvtide arvatavates asukohtades sisselõigetega varustati. Kogenud muusik-peenmehhaanik pistis seestpoolt nendesse peakestega varustatud tihvtid ja «rihtis» need kuuldeliselt katsetades õigetes kohtadesse. Oli see tehtud, täideti messingtoru tarduva vaiguga ja kui see oli kõvenenud, kinnitati toru otstele kaaned, mis kandsid valtsi pöörlemistelge.

Helindi originaalile vastav ülekanne automaadi vahendusel oleneb peamiselt kahest asjaolust. Nendeks on valtsi ühtlane käik ja tihvtide õige asend. Ühtlane käik saavutati, nagu märgitud, kellavärgi vahendusel, tihvtide täpset paigutamist aga abistas plaan, mis näitlikustas helitöö ülekannet tihvtvaltsi pinnalaotusele.

Huvitava seigana kirjeldaksime, kuidas mitusada aastat tagasi tegutsenud automaatikud ehitasid linnuhääli imiteerivaid «pille». Selleks võeti üks või mitu vilet, milledes liikuvad kolvid muutsid nende tööpikkust ja seega ka helikõrgust (lühemale vilele vastab teatavasti kõrgem heli). Kolvi asendi viles määrab mitte tihvtvalts, vaid nukkidega varustatud ketas. Õhuvoolu avab ja suleb ventiil, mille tegevust tüürib teine nukulise profiiliga ketas. Kummagi ketta üheaegsel pöörlemisel kostis viledest loodust matkiv linnulaul. Kuivõrd ehtsalt see kõlas, olenes meistrist, kes ketaste nukid õigetes kohtadesse meisterdas.

Vanades kroonikates leidub märkmeid, et 16. ja 17. sajandil polnud Hollandis ja Flandrias ainsatki linna, kus oleks puudunud mõni kellamänguga varustatud torn. Genti linnas ehitati



kolmesaja aasta eest kellamäng, mis sisaldas üle nelja tosina väga mitmes suuruses kella. Selline komplekt erineva helikõrgusega helistatavaid kellasid pandi kas käsitsi või vastava mehhanismi abil meloodiat ja isegi akorde mängima.

Kellamäng saabus Euroopasse 13. sajandil Hiinast. Algul oli kellamängu mängimine puhtakujuline «käsitöö», mängija — väljaõppinud kellamees, kariljonist — lõi kelladele kas otsest vasaraga või hoobseadmestiku abil, mis paiknes klaveri klaviatuurina. Tõsi küll — need «klahvid» olid tollistest laudadest ja vajasid mitmekümne-kilogrammist löögisurvet, et vastav kell helisema hakkaks. Seepärast oli kariljonil mängimine füüsiliselt väga pingutav ja keerukamate meloodiate esitamiseks tuli vahetevahel korraga rakendada isegi kahte mängijat.

Kellamäng sobis vaid lihtsate ja aeglaste meloodiate mängimiseks. Oluline oli sel puhul, et eelmine heli pidi enne uue kõlama hakkamist olema küllaldaselt vaibunud või siis järgnevaga harmoneeruma.

Tavaliselt ühendati tornide kellamängud ajanäitajatega ning automatiseeriti gigantsete, mitmemeetrise läbimõõduga tihvtvaltside abil. Need kariljonid helisesid igal täis- ja pooltunnil, sageli aga ka veerandtundidel. Eriti uhked olid selle linna elanikud, kus kellamäng tornist iga veerandtundi erineva meloodiaga kuulutas.

Moskva Kremli Spasski torni 1625. aastal ehitatud iidne kella-

mäng, mis kohe Oktoobrirevolutsiooni võidu järel kohandati mängima fraasi «Internatsionaalist», on kujunenud meie pealinna omapäraseks «akustiliseks embleemiks», mida tunneb kogu maailm. Igal öösel täpselt kell 24.00 kõlab meie raadio-saatjate kaudu Punaselt väljakult Kremli kellade pidulik helin.

Sobiva helikõrgusega kella valamine on suur kunst; harilikult see ideaalse puhtusega ei õnnestunudki ja seepärast tuli kellad pärast valamist häälestada. Tavaliselt toimus järelhäälestus kas temmimise, viilimise ja kaabitsemisega või koguni treimisega. Tuleb öelda, et praeguseni säilinute hulgas on muusikaliselt täiesti puhtad kellamängud haruldased.

Peale erilise pronksisulami, nn. kellapronksi on kellamängu helisteid valmistatud ka muust materjalist. Nii olevat tsaar Peeter II lasknud teha klaasist kellamängu, mida, muide, käitanud voolav vesi. Orkestrites kasutatakse omapäraselt pilli tšelestat (itaalia keeles tähendab mainitud sõna «taevalik»), milles klaviatuuriga ühendatud vasarakesed löövad vastu helisevaid kvartsklaasist või terasest plaadikesi. Kuulsas portselanilinnas Meissenis valmis alles 1929. aastal kaunikõlaline portselanist kellamäng.

Alates 19. sajandi esimesest poolest asuti kellamängu helisteid valmistama ka rippuvatest teraslattidest. Selle mooduse eeliseks on asjaolu, et latt annab lühemaks löikamisega hõlpsalt häälestada. Praegu sümfooniaorkestrites kasutatav kellamäng koosnebki rippuvatest erineva pikkusega metalltorudest; neid rakendatakse ka teatrites, kui on tarvis imiteerida tornikella. Siiski leiavad lavapraktikas kasutamist ka ehtsad tornikellad. Nii on Moskva Suure Teatri lavaportaali taha riputatud terve komplekt erineva suuruse ja kõlaga kelli, mis arendavad täisvõimsust näiteks Mussorgski ooperi «Boris Godunov» kuulsas kroonimissteenis.

Aastakümneid otsisid muusikaautomaatide loojad võimalusi kausshuulikuga puhkpillide tehislikult helisema panemiseks. Kõik sellelaadilised tööd jooksid esialgu ummikusse, sest nime-tatuus (metsasarv, trompet, kornet jne.) tekib heli puhuja huulte vibreerimisest õhujoas, mitte aga vile põhimõttel; pasuna kuju ja pikkus mõjustab vaid kõlavärvingut ja helikõrgust. Otsingute tulemusena võeti heli tekitajana kasutusele ühest otsast kinnitatud metall-lest. Niisuguste õhujoas võnkuvate metall-keeltega on nüüd varustatud harmooniumid, akordionid ja suupillid. Isegi suurte kontsertorelite viledes on need keelregistri-

tena rohket kasutamist leidnud. Kuid võnkuv metall-lest andis automatiseerijatele vahendi ehitada trompetit puhuvaid sõdu-reid, küll omadel jalgedel püstiseisvaid, küll ratsutavaid.

Ühest niisugusest kõneleb kroonika, et see olevat ehmatanud Napoleoni ja põhjustanud oma mänguga prantslaste sõjalaagris valehäire. Kui Napoleon pärast Jena lahingut Charlottenburgi lossis ööbinud, kuulnud ta öövaikuses järsku trompetihüüdu, mis kõlanud nagu Preisi rünnakusignaal. Napoleon laskis kuulutada häire; alles hiljem selgus, et oletatavaks sakslasest signalistiks oli lossi marmorsaali seatud signaalsarve puhuv automaat, mille uudishimulikult mööda lossi hulkuv Napoleoni saatjaskonda kuuluv ohvitser oli kogemata mängima pannud.

Kõlalt erinevate automaatpillide ilmumisega kaasnes mehhaanikute püüd võimalikult paljusid neist koondada ühiseks tervikuks. Nii ilmusidki kasutusele suured muusikamasinad, orkestrionid. Muide, muusika kõlas nendest väga meeldival, imiteerides sageli ehtsat orkestrit päris tõetruult. Seepärast ei suhtutudki vanasti, nagu arvata võiks, taolistesse «mehhaanilistesse orkestritesse» üleolevalt. Teoseid nende jaoks on kirjutanud isegi Mozart ja Beethoven. Kes on tutvunud Beethoveni elukäiguga, see teab, millise (tõsi küll, mööduva) menu omandas tema naturalistlikult kärarikka «lahingusümfoonia» «Wellingtoni võit ehk lahing Victoria all» ettekanne talendika meistri Mälzeli konstrueeritud tohutu suurel mehhaanilisel muusikamasinal «Panharmonikumil».

Orel on vaieldamatult kõige keerukama mehhanismiga muusikariist. Kuid juba selle konstruktsioon ise pakub nii palju automaatikalähedast, et sammuke automaatselt mängiva orelini polnud kuigi pikk. Üks maailma esimesi automaatoreid, mis tänaseni on säilinud, on aastal 1502 ehitatud nn. Salzburgi sarv-värk. Orel sisaldab 350 vile, ühe tihvtvaltsi ja hiiglasuure lõõtsa. Tihvtvaltsile talletatud muusikapala algab võimsa akordiga, milles üheaegselt heliseb 150 orelivilet.

On mõistetav, et taolised suured ja väga kallid pillid leidsid kasutamist üksnes suurnike lossides, vaene rahvas võis neid parimal juhul vaid läbi lahtise akna imetleda.

Automaatorelite konstrueerimisel esines ka mitmeid kurioosumeid. Nii ehitasid J. Kuznetsov ja S. Dubasnikov aastail 1785—1801 Peterburis vankeroreli, mis mängis ainult liikumisel. Württembergi kuningal Friedrichil olnud leentool, mis mänginud ainult siis, kui keegi selles istunud.

Seoses automaatorelitega tuleks mainida ka muusikaseadmeid,

mida flööturideks nimetati. Flööturid olid automaatorelite väikesed lellepojad, need koosnesid väiksemast arvust viledest ja neid käitati eranditult üleskeeratava kellavärgiga. Ka nende seadmetele on tuntud heliloojad loonud spetsiaalseid meloodiaid — sonaate, marsse ja tantse.

Teiseks automaatoreli väikevennaks oli väntorel ehk leierkast. Kui mängutoosid oma vaikse õrna häälega sobisid kasutamiseks vaid toas, võis valjuhäälese leierkasti järgi väljas murul suur rahvahulk tantsida.

Leierkasti eelkäijaks olevat olnud nn. linnuorel, mille abil õpetatud laululinde laulma. Teadupärast on laulurästad väga õpimulised ja omandavad üsnagi keerukaid meloodiaid, mida nad noorelt kuulevad.

Leierkasti väntas leierkastimees, sageli kuulus komplekti veel kas tantsiv karu või ahvike. Viimase ülesandeks oli pärast muusikapala lõppu raha koguda. Leierkasti vänta tuli üsna kiiresti pöörata, et kastis paiknev kaksiklööts suudaks viledesse küllalt õhku puhuda.

Aegapidi kujunes leierkastist tänavamuusikute ja laadalõbus-tuste pill. Kuid nende küllaltki «maisete» ülesannete kõrval on seda kasutatud ka kabelites ning väiksemates kirikutes. Küllap on siin üheks põhjuseks asjaolu, et leierkasti kui vilepillseadme heli sarnaneb mõneti oreli heliga.

Ka eesti kirjanduses on leierkastist ja koguni automaatleierkastist juttu. Juhan Liiv laseb ühes uudisjutus kellelgi ameeriklasest tegelasel panna auruga käitatav leierkast mängima populaarset lugu «Kodu, mu kuldne kodu».

Tihvtvalts oli muusikaautomaatikas kaua aega valitseval kohal, kuni tema asemele tuli käepärasem ühtlaselt pöörlev perforeeritud või ka väljastantsitud «tihvte» kandev plaat või liikuv lint. Need plaadid olid valmistatud kas plekist või kartongist, lindid enamasti paksemast paberist.

Huvitav on märkida, et perfolint elas oma teise aupäeva üle alles lähemas minevikus, mil ta muutus vältimatuks abinõuks kaasaegses programmeeritud automaatikas ja moodsas elektronarvutis. Aga ka vahepeal täitis ta tähtsaid ülesandeid — näiteks kiirtelegraafis.

Isemängivaid mehhaanilisi muusikainstrumente täiustades jõudsid leidurid seadmeteni, mis olid võimelised mingil määral salvestama elavate interpretide-klaverikunstnike esinemist. Selleks ehitati erilise mehhanismiga klaver, milles pikka, umbes 30 sentimeetri laiust pabeririba keriti ühelt rullilt teisele.

Klaviatuuriga mehhaaniliselt sidestatud eriline seadis lõi paberisse lühemaid või pikemaid auke, mille laiutisuunalised asendid ribal vastasid pianisti sõrmede poolt allavajutatud klahvidele ja pikkused — toonide kestustele.

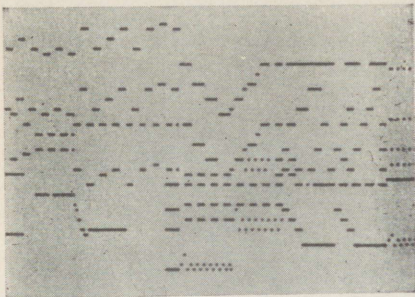
Nii saadud perforeeritud paberiribasid — «originaalülesvõtteid» kuulsate ja vähemkuulsate klaverikunstnike esinemistest — paljundati tööstuslikult ja suunati müügile. Ostjaid leidis rohkesti, sest pneumaatilise mängumehhanismiga varustatud automaatklaaverid ja -harmooniumid olid omal ajal väga levinud nii koduste muusikamasinatena kui rahva lõbustajadena.

Viimasega seoses mainitagu muusikariista, millest ikka on juttu (eriti J. Londoni novellides), kui kõneldakse Põhja-Ameerika kullakaevurite linnade kõrtsidest. See on elektriklaver, mis tavaliselt siis ise mängima hakkab, kui teatava väärtusega münt pillil asetsevasse avasse poetatakse.

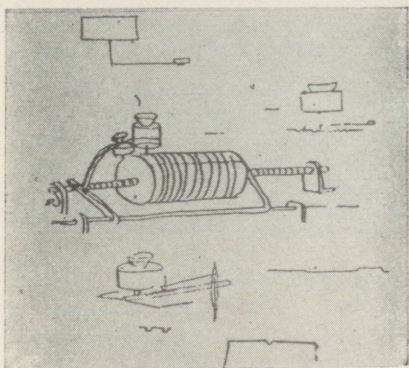
Paberile perforeeritud muusikapala reprodutseerimise seadis automaatklaaveris töötab vaakuumi abil, mida toodab elektriga või pedaalide jõul käitav pump. Mootor veab «ülesvõttega» pabeririba mööda liistust, milles on tihedalt kõrvuti reastatud augud. Nendest aukudest lähtuvad torukesed viivad klahvide all olevate väikeste lõõtsadeni. Liistu iga auk vastab kindlale toonile ja kui sellega algavas torus vaakuum kaob, täitub lõõts kohe õhuga ning käivitab vastava klahvi mehhanismi. Vaakuumi tõttu torustikus liubub paber küllalt tihedasti liistu vastu ja suleb sellel asuvad augud. Järelikult tekib vajaliku kõrgusega ja kestusega heli just siis, kui mulk paberiribal satub kohastikku vastava auguga liistul. Klahvid vajuvad ja tõusevad, ilma et keegi neid puudutaks, ja pillist väljub virtuooslik helidetulv.

Pneumaatilise manipulatsiooni kõrval kasutati ka elektromagnetilist: klahvialused lõõtsad asendati elektromagnetitega ja perfolint möödus erilistest vedrukontaktidest, mis andsid voolu just sellesse elektromagnetisse, millele vastas lindi mulk.

Seoses automaatklaaveritega tutvustame huvitavat fakti. Vaid vähesed muusikasõbrad teavad, et osa vanade pianistide, nagu Skrjabin, Hofmanni, Paderewski, Busoni jt. esinemisloomingu heliülesvõtetest, mida praegu võib heliplaatidel (näiteks ulatuslikus sarjas-antoloogias «Möödunud aegade klaverikunstnikke») ja raadios kuulda, on meie aegadeni jõudnud mitte tavaliste grammofoniplaatidena, vaid hoopis automaatklaaveri paberirullidena.

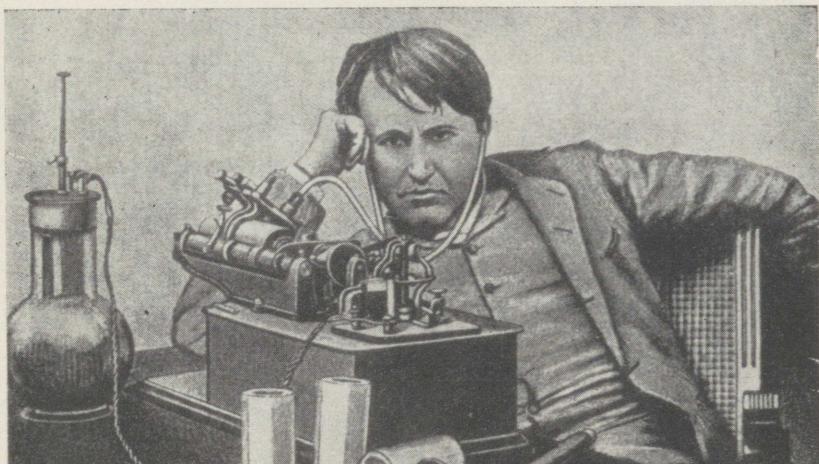


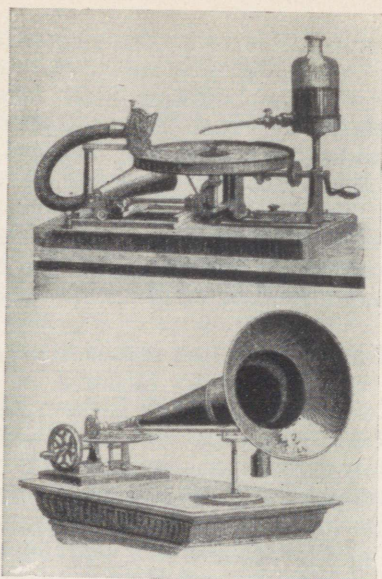
*Selline ongi perfolint, millele salvestati omaaegsete klaverikunstnike esinemisi.*



*Edisoni visandatud eskiis, mille järgi valmistati esimene fonograaf.*

*«Mary'l oli väike tall...»*

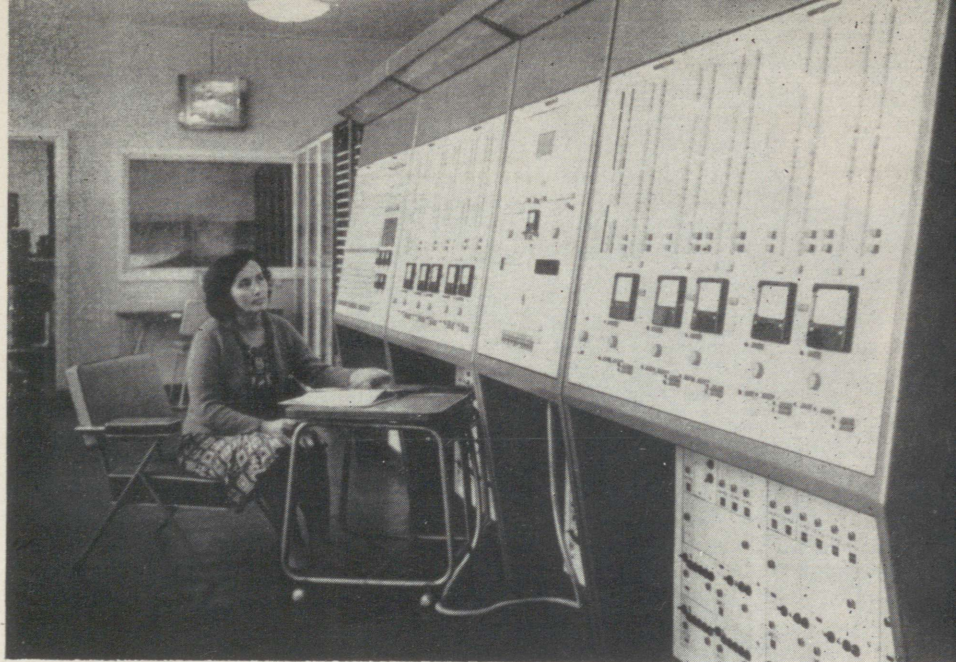




*Grammofoni salvestus- ja taasesitus-  
aparaadi algmudelid.*

*«Siin Tallinn! ...»*





*Siit väljastatakse kõik ringhäälinguprogrammid saatjale.*

*«Vaikust! Helisalvestus!»*

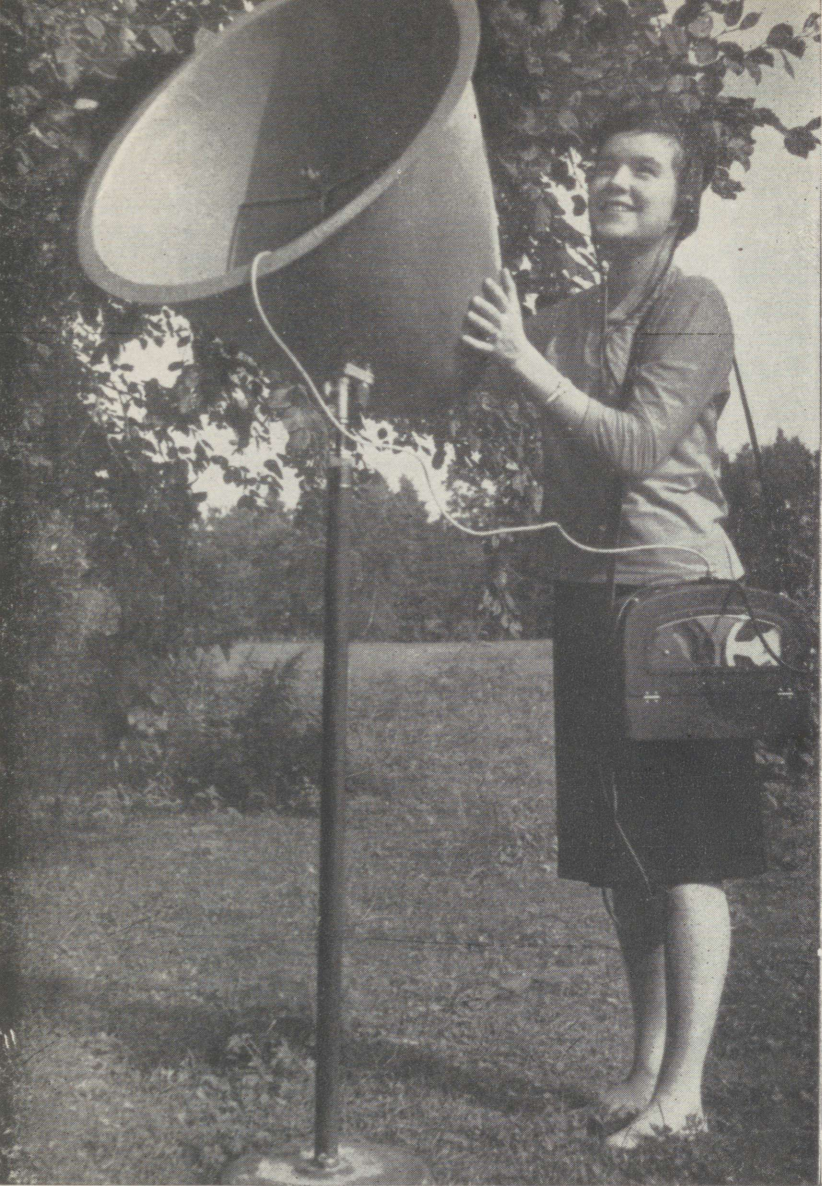




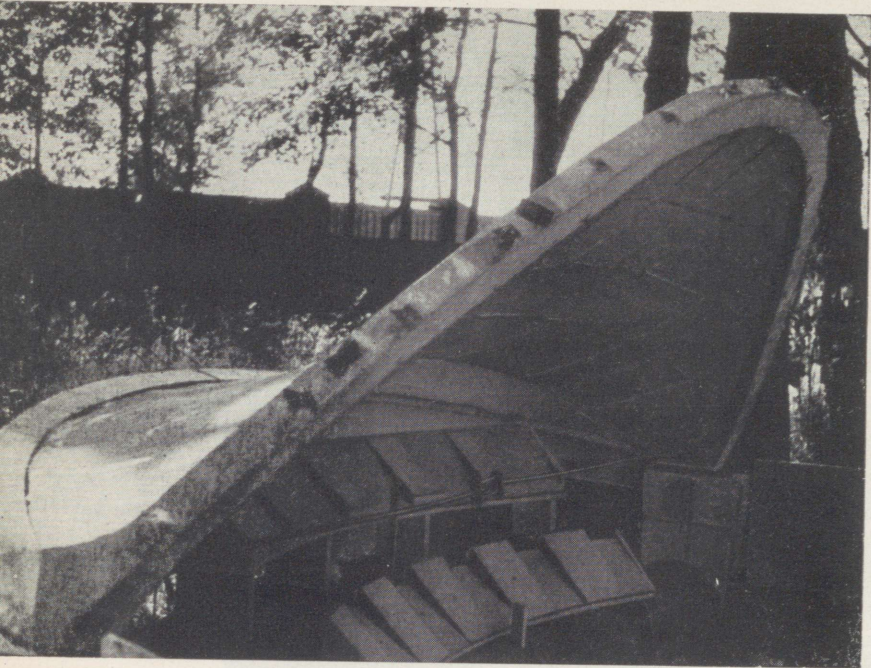
*... ja juba ongi pala kokku monteeritud.*

*Keeleteaduslike heliülesvõtete pioneerid rändasid mäöda maad fonograafiga ringi.*

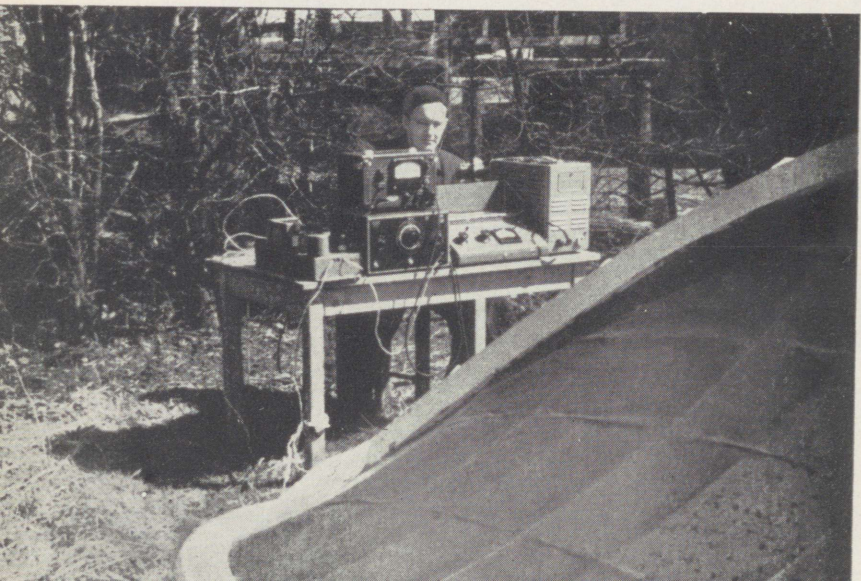




*Sulistele laulikutele tuli spetsiaalse suundmikrofoniga järgneda metsadesse ja põldudele.*



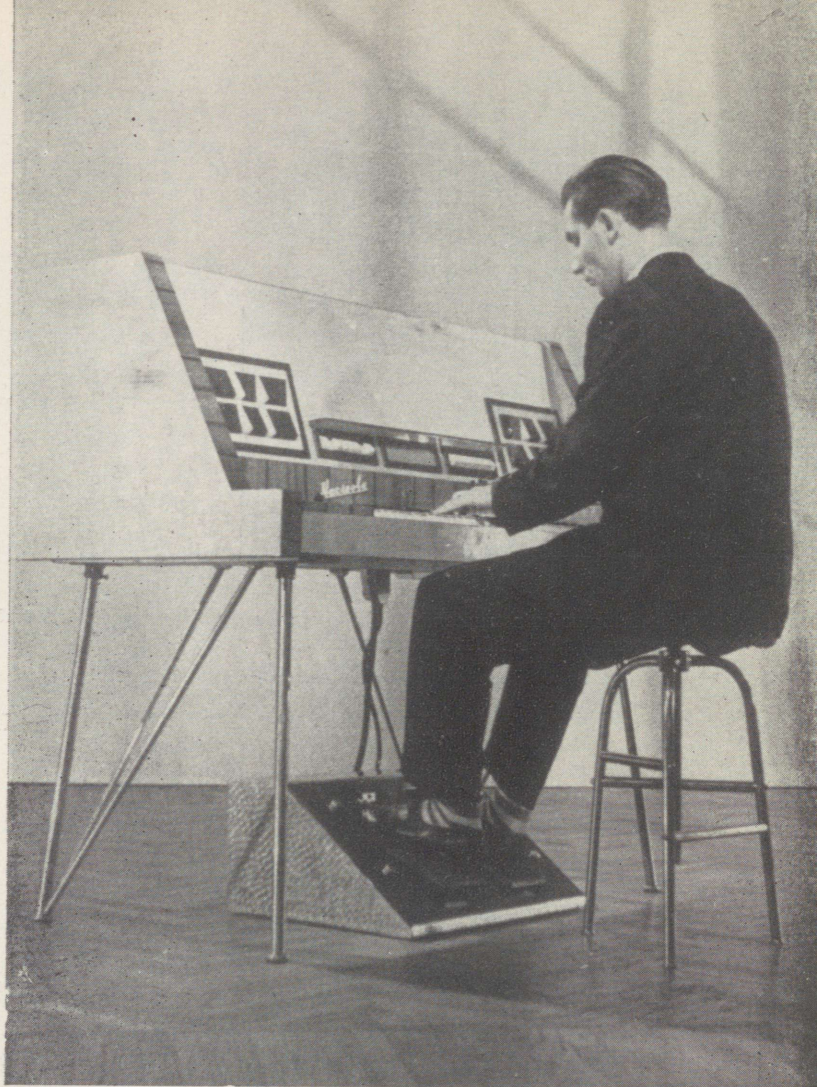
*Hiiglaruupori — Tallinna laululava — «akustiline sünd».*





*Elektronmuusikainstrumentid «Retakord» ning «Ionika» avardavad meeldivalt estraadiansamblite kõlavärvingupaletti.*





*Elektronorelil «Varioola» kõlab võrdselt hästi nii kerge kui ka klassikaline muusika.*

Kuulsate pianistide kunsti «transformeerimiseks» perforeeritud paberiribalt kaasaegsele kauamängivale heliplaadile toodi heliplaadistamisstudiosse automaatklaver, paigutati sellesse rull poole sajandi eest sissemängitud perforibaga ja võeti moodsa tehnika vahendusel pianistita mängiva klaveri heli plaadile.

Et mängu dünaamikat (helitugevust) tüürivad «käsklused» paberiribal puuduvad, siis tuli plaadistamise käigus dünaamikat kunstlikult kujundada, samuti vajaduse korral lindi kiirust (seega mängimise tempot) korrigeerida. Muide, ühel juhul tehti seda interpreedi enese osavõtul.

Poola pianist Josef Hofmann oli möödunud sajandi lõpuaastatel ja käesoleva sajandi esimesel veerandil üks silmapaistvamaid instrumentaalsoliste maailmas. Tema pikaajaline muusikaline tegevus langes õnnelikult ühte helisalvestustehnika arenemisega omaaegsetest automaatklaveri paberirullidest kuni tänapäeva heliplaadini. Kuid suur osa Hofmanni mängitud väärtuslike heliülesvõtteid on meieni jõudnud siiski perforeeritud paberilintidena.

Veel kunstniku enese elupäevil alustati tema kuuekümmne üheksal paberirullil säilinud palade akustilis-tehnilist ülekandmist kauamängivatele heliplaatidele, et muuta vähemalt säilmedki Hofmanni suurest kunstist kõigile muusikasõpradele kättesaadavateks. Oli ju Josef Hofmann see, kelle interpretatsioon sai mitmete palade puhul mõõduandvaks etalooniks pianistide järeltulevatele põlvkondadele.

Taastatavate muusikateoste enamikule täpsustas selleks ajaks juba ülikõrgesse ikka jõudnud kunstnik ise tempod ning määras muusikalised aktsendid ja dünaamika. Muide, Hofmannile meeldis niisugune tehniline eksperimenteerimine väga. Oli ta ju helikunstnikutegevuse kõrval ligi seitsmekümne patendi autor klaveriehituse ja ... autoasjanduse valdkonnas.

Muidugi polnud automaatklaveri perforiba veel mingi ideaalne lahendus muusikute esinemisloomingu jäädvustamiseks. Taoline vahend suutis talletada ainuüksi klaverimuusikat ning seegi «heliülesvõte» allus hiljem juhusele või reprodutseerija maitsele, kes võis suvaliselt valida — ja moonutada! — muusikapala taasesitamise tempot ning helitugevust (selleks olid automaatpillil vastavad reguleerimishoovad). Nii ei saanudki muusikariistad-automaadid rahuldada üha kasvavaid nõudeid ja leidurid intensiivistasid töid niisuguste masinate loomisel, mis oleksid suutelised salvestama ja reprodutseerima juba igasuguseid hääli ja muusikahelisiid.

Sõnumiga, et «elavat» häält saab kinni püüda ja hiljem samas kohas või teisel suvaliselt jälle kuuldavaks muuta, tuli avalikkuse ette ameerika leidur Thomas Alva Edison, inimene, kelle rohkete avastuste hulka kuulub ka fonograaf.

*«Mary'l oli väike tall...»*

Laagritele toetuv vändast pööratav metallsilinder, mille pinnale on lõigatud ühtlane spiraalsüvend, paar puitdetaili, hoideraami pinguldatud vilgukivileheke, mille keskele kinnitub lühike nõel... Edisoni laboratooriumi osavaim mehhaanik John Kruesi vaatleb šefi kiiruga visandatud eskiisi, mille järgi ta peab kolme päeva jooksul uue masina valmistama. Arusaamatu otsustarbega seadis, mille mõtet ei oska kuidagi tabada. Ja Edison salapäratseb seekord rohkem kui tavaliselt uute ideede realiseerimisse sukeldudes.

Kruesi osavates kätes valmis aparaat muidugi õigeaegselt ja Edisoni laboratooriumi personal kogunes järjekordset üllatust silmitsema. Aga seda, mis nüüd järgnes, ei osanud küll keegi aimata. Šeff väitis, et uus masin püüab kinni tema hääle ja võimaldab seda hiljem jälle kuulda. Mitmed naersid, pidades Edisoni sõnu lihtsalt naljaks, ja mister Carman, kes laboratooriumi vanima töötajana seda enesele lubada võis, vedas šefiga karbi sigarite peale kihla, et asi läheb viltu. See naeruväärne metallist masinavärk ei saa ju ometi kõnelda elava inimese häälega!

Edison ei rajanud oma ideid tühjale kohale. Saksa arsti ja loodusteadlase Hermann von Helmholtzi 1863. aastal ilmunud raamat «Õpetus heli tajumisest» oli ameerika leiduri raamatukogus olemas ja põhjalikult läbi uuritud. Tähelepaneliku uurija pilk tabas tulevase helide üleskirjutamismasina üht võimalikku konstruktsioonipõhimõtet juba siis, kui ta katsetas oma kiirtelegrafeerimisaparaati.

Telegraafiliinide paremaks ärakasutamiseks oli tulus tõsta telegrafeerimise kiirust. Kuid sellel olid omad loomulikud piirid: ka osavaim telegrafist ei suutnud käsitsi edasi anda rohkem kui paarsada tähte minutis.

Edison suurendas liinide läbilaskevõimet järgmiselt. Morse-märke ei saanud elektrivooluimpulssidena liinile enam telegrafistid ise, vaid nad töötlesid telegramme hilisemaks automaatseks kiirsaatmiseks sobivasse vormi. Erilistel aparaatidel surusid nad kassettidele keritavatele paberilintidele morsemärkide taolisi pikemaid ja lühemaid reljeefseid kõrgendikke. Sel viisil ettevalmistatud lindi lasti palju suurema kiirusega läbi telegraafiliiniga ühendatud saateaparaadi, kus eriline lindi pinda kompiv tihvt sulges ja avas voolukontakti vastavalt sellele, kas paberiribal oli kõrgendik või mitte.

Kiirtelegraafi saateaparaadi töötamisega kaasnes omapärane sumin: telegrammi kandev reljeef paberil pani kontaktvedru kiiresti võnkuma ja see tekitas heli.

Edison otsustas helide üleskirjutamismasinas kasutada samaaadset nähtust: suruda membraani külge kinnitatud teravikuga mingisse mitte liiga pehmesse materjali helivõnkumisega sarnaneva profiiliga süvend, mis oleks nagu selle võnkumise tardunud kujutis. Kui piki süvendi põhja lasta libiseda ümmarguse elastse membraani keskpunkti kinnituval tõmbil nõelal, peaks membraan võnkuma hakkama ja tekitama õhus originaalheli täpse «koopia».

Kaastöölise vaikivast ringist ümbritsetud Edison pingutas Kruesi valmistatud aparaadi trumli ümber stannioliüle ning hakkas vänta pöörama, ise karjudes torukesse lõbusat lastelaulu Mary'st, kellel on väike tall. Nõela teravik libises stanniolil ja surus sellesse kruvijoonekujulise süvise (iga pöördega liikus trummel ka telje suunas pisut edasi). Kui laul lõppes, askeldas Edison veidi oma masina kallal, paigutas sellele suurema ruupori ja uue membraani (esimene oli vilgukivist, teine aga pärgamendist) ning hakkas jällegi vänta pöörama. Kõigi, kaasa arvatud leiduri enese imestusel polnud piiri. Nagu kau-gusest, kuid siiski täiesti selgelt, kuulsid kõik Edisoni häält, täpselt nii, nagu ta alles äsja oli deklameerinud:

«Mary had a little lamb...»

Rida aastaid hiljem tunnistas Edison ise: «Ma pole kunagi elus olnud nii üllatunud kui tookord — mul on alati hirm asjade ees, mis esimesel katsel kohe töötama hakkavad!»

Järgmisel hommikul pakkis leidur oma värskeima loomingu kohvrisse ja viis New Yorki. Ta sisenes ühe teadusliku ajakirja toimetusse ning sõnu lähemaks seletuseks kulutamata dikteeris oma masinasse jällegi sama luuletust:

Ajakirja toimetuses Edisoni ei tuntud; seega võib arvata, mida seal kutsumata külalisest algul arvati.

Päev hiljem olid kõik ajalehed tulvil teadetest hääle üleskirjutamismasinast, mida keegi mister Edison «Scientific American'i» toimetuses demonstreerimas käis. Paljud tahtsid seda imeaparaati oma silmaga näha ja väikesesse asulasse Menlo Park'i, kus Edisoni laboratoorium asus, suundus selline uudishimulike laviin, et raudteekompanii pidi käiku laskma lisarongid.

Nii sündis fonograaf.

Kuigi «kõnemasina» leiutamine tegi Edisoni kuulsaks kogu maailmas, hakkasid otsekohe levima kuuldused, et tegemist on kõhurääkimisega, mustade jõududega või lihtsalt pettusega. On ju mõistusevastane arvata, nagu saaks häält kinni hoida. Fonograafi demonstreerimisel Pariisis väitis üks õpetatud akadeemik kaljukindlalt, et tegemist võib olla ainult mingi akustilise illusiooniga. Nii kirjutatigi Euroopas fonograafist kaua aega üksnes salvavaid följetone. Tundub sootuks kurioosumina, et esimese fonograafi omanik Venemaal olevat mõistetud kolmeks kuuks türmi «mehhaanilise peletise» demonstreerimise eest...

Skeptikuid leidis mujalgi. Üks Leipzigi ajaleht kirjutas 1878. aastal, et Edisoni fonograaf on küll huvitav katsetus, kuid praktiliselt pole sellega ikkagi midagi tulutoovat peale hakata. Tasapisi hakkas siiski suhtumine esimesse helisalvestisse positiivsemaks muutuma. 1891. aastal ilmus samas ajalehes juba artikkel, mis kõlas järgmiselt:

*Rahvusvahelisel elektrotehnika näitusel Frankfurdis Maini ääres on ruumike, milles Edisoni fonograafi demonstreeritakse, alata uudishimulikest ümber piiratud. Suurt naudingut pakub nende inimeste miimika jälgimine, kes on kuuldetorukesed kõrvadesse pistnud ja esimesel fonograafil kuulavad, kuidas üks näitekunstiliselt koolitatud hääl «Metshaldjat» deklameerib, et seejärel teisel fonograafil kontserti klaverile ja flöödile kuulata, mis, nagu deklamatsioongi, mõne kuu eest fonograafiliselt üles võetud sai.*

Edisoni fonograafi algmudel oli siiski väga ebatäiuslik seadis. Pärast esialgse vaimustustuhina möödumist hakati märkama selle suuri puudusi. Reprodutseeritava heli kvaliteet jättis tublisti soovida, kaashäälikud kadusid sõnade algusest ja lõpust

teadmata kuhu ning käsitsi vändatava silindri pöörlemise ebaühtlusest tingituna kõikus helikõrgus alatasa. Fonograafirullidele tehtud heliülesvõtteid polnud võimalik paljundada. Edisoni katsed võtteid kipsvormidesse valada ei kandnud tegelikult mingit vilja.

Kuid Edisoni ette kerkisid selleks ajaks juba uued, pakilisemad ülesanded. Fonograafi täiustamine pidi elektrihõõgvalgustuse väljatöötamise ees tervelt kümneks aastaks taganema.

Kui tööga hõivatud leidur lõpuks jälle heli salvestamise probleemide juurde asuda võis, olid tal varuks juba mitmed uued ideed. Silindrit pami nüüd pöörlema vedrumehhanism või elektrimootor. Membraani konstruktsioon oli täiustunud ja rullide vahetamine senisest lihtsam. Edison omandas ostu teel õigused ühe teise leiduri patendile, kes kasutas heli salvestamise materjaliks («heli kandjaks») stannioli asemel vaha. Heli kvaliteet paranes otsekohe.

Ettevõtlik ameeriklane ei viivitanud enam hetkegi ja saatis oma täiustatud fonograafid Euroopasse — esmalt näitusele ja seejärel kohe müügile. Kuid siis selgus midagi ootamatut.

### *Rull või plaat? . . .*

Hannoverist pärinev, kuid Washingtonis elunev Emil Berliner oli 1887. aasta novembris saanud Saksa patendi heliüleskirjutusmasinale, mille ta grammofoniks nimetas. Ja nüüd, mil Edisoni fonograaf uuesti Euroopasse jõudis, leidis seal tugev konkurent. Grammofonis (kreeka keeles *gramma* — kirjutus) kasutati küll tegelikult sama fonograafi põhimõtet, kuid helivõnkumise salvestatud «kujutise» kandjaks ei olnud mitte kohmakalt käsitsetav ja säilitamisel rohkesti ruumi nõudev fonograafirull, vaid palju käepärasem õhuke ketas — grammofoniplaat.

Tehnika ajalugu teab rida juhuseid, kus ühe ja sellesama leiutise kallal on teineteisest sõltumatult töötanud mitu uurijat. Omapäraseim selliste hulgast oli muidugi situatsioon telefoni leiutajate Belli ja Gray'ga, kuid ka helisalvestusaparaatide loojaid on olnud mitu. Nimetagem siin lisaks Edisonile ning Berli-

nerile prantsuse luuletajat ja teadlast Charles Cros'd, kes juba 1877. aastal, ennetades seega ka Edisoni, esitas Prantsuse Teaduste Akadeemiale materjalid «Kuulmise teel tajutavate nähtuste ülesmärkimise ja taasesitamise protsessi» kohta. Leidur kavatses oma aparate demonstreerida järgmisel aastal toimival suurel rahvusvahelisel näitusel, kuid hilines: energiline Edison jõudis oma fonograafiga temast ette.

Berlineri grammofon osutus Edisoni fonograafist praktilisemaks ja elujõulisemaks. Plaat tõrjus rulli kõrvale ja on mehhaanilises helisalvestuses tänaseni jäänud ainuvalitseja ossa.

Plaadil on rulli ees olulisi voorusi. Plaatide paljundamine pressimise-vormimise menetlusel praktiliselt piiramatus tiraažis on küllaltki lihtne ja odav, kuid iga fonograafirull seevastu on unikaalne ja mittekopeeritav. Laiatarbekaubana müügil olnud «sissemängitud» muusikaga rullide valmistamisel paigutati näiteks laulja ette riulitele 12...14 fonograafi (rohkem neid sinna ei oleks mahtunud!). Niiviisi saadi ühekorraga vastav arv heliülevõtteid. Suurema tiraaži valmistamiseks ühest ja samast palast pidi kunstnik hommikust õhtuni, päevast päeva seda fonograafirullidest «kuulajaskonnale» esitama. Heatasemeline laulja sai iga sisselauldud rulli eest tollal honorari, mis meie vääringus vastaks ligilähedaseks 20 kopikale.

Edisoni meeleheitlikud katsed fonograafirullidest-originaalidest kipsvormidele äratõmbeid võtta, et neid siis valumeetodil paljundada, jäid tagajärjetuteks. See saigi fonograafide saatuslikuks ning andis grammofoni kätte tugeva trumbi. Juba 1900. aastal valmistati kogu maailmas üle nelja miljoni heliplaadi ja 1915. aastal väljus ainuüksi Venemaa heliplaaditehaste värvatest kokku kakskümmend miljonit plaati!

Erinevalt fonograafirullidest on grammofoniplaate hõlbus paljundada pressvormide abil. Selleks vajalikud matriidsid valmistatakse vahasse (tänapäeval erilise plastmassi või lakikihti) «lõigatud» originaalplaadilt galvanosteegilisel meetodil. Algset fonogrammi kandva plaadi pind kaetakse keemilisel teel üliõhukese hõbedakihi või pihustatakse sellele vaakuumis mõne aatomi paksuselt kulda. Seejärel paigutatakse plaat galvanosteegilisse vanni. Voolu toimel sadestub plaadi elektrit juhtivale pinnale paksem metallikiht, mis täidab ka originaalplaadi pinnasse lõigatud süvendi.

Nii saadakse salvestatud helist «negatiiv» — tardunud helivõnkumisega süvend on metallkoopia muutunud samakujuliseks spiraalseks kõrgendikuks. Põhimõtteliselt võiks selle negatiivi

abil erilistes pressides juba plaate valmistada, kuid tavaliselt kopeeritakse sealt veel mitu «positiivi». Alles nendelt tehakse jällegi galvanosteegilist menetlust kasutades nõutav arv pressimismatriitse.

Vahepealne töötsükkel (täiendavate positiivide-negatiivide valmistamine) toimub esimese, unikaalse originaalnegatiivi säilitamise huvides, et kaugemaski tulevikus saaks valmistada samast fonogrammist uusi matriitse. Heliplaadide metalloriginaale säilitatakse vastavates arhiivides.

Fonograafil ja grammofonil on veel üks põhimõtteline erinevus. Kui Edisoni aparaatides võngub lõiketera pöörleva silindri pinnaga ristsuunas, jättes järele muutliku sügavusega sirge vao, siis Berliner'i kõnemasinas toimub võnkumine plaadi raadiuse suunas, andes püsiva sügavusega lainelise kanali.

Esialgu vormiti grammofoniplaate kuumpressimisel kautšukist, eboniidist või tselluloidist. Alles 1897. aastal leidis Berliner materjali, mis jäi heliplaaditööstuses järgnevaks pooleks sajandiks juhtivale kohale — mitmeid tädisaineid (nõge, kaoliini jm.) sisaldava šellakmassi.

Kuid vahaplaati kasutati veel kaua originaalplaadi «lõikamiseks». Vahaplaati sai üldse kuulata viis-kuus korda, eboniid- või tselluloidplaati mõnevõrra rohkem. Igal taasesitamisel lõhkus kompiv nõel süvendit, «freesis» maha helivõnkumist kandvaid laineid. Elastne ja kõva pealispinnaga šellak oli sobivam aine kulumisele vastupidavate heliplaadide tootmiseks. Üsna hiljuti pakkus kõikvõimas plastmasside keemia siingi oma abi. Praegused heliplaadid on valmistatud samast materjalist, millest plastikaatvihmamantlidki — polüvinüülkloriidist.

Uus materjal on vanast igati parem. Taasesitamisel on heliga kaasnev nn. plaadikahin (seda põhjustab materjali struktuuri ebahütlus süvendi pindadel, mis paneb nõela soovimatult võnkuma) palju väiksem või puudub üldse, pealegi on polüvinüülkloriidist plaadid purunemiskindlad (šellakmass seevastu killuneb ülikergesti!). Enam ei anna sekeldused plaatidega põhjust kahe heliplaadide kollektsionääri kurvameelseks vestluseks: «Teate, mul juhtus hir-rmus õnnetus — Miisu tõmbas koos laudlinaga põrandale mu uue Caruso, kõige valjema Šaljapini ning kaks Artur Rinnet!» . . .

Palju uut tõi heliplaaditehnikasse ka elektroonika kiire areng. Kõigepealt loobuti nn. akustilisest salvestusest, mille puhul esinejate hääle energiat koondati lehtrite-ruuporitega ning juhiti ülesvõtteaparaadi membraanini. Helitugevuse regulee-

rimise ning soolohääle ja saatepartii vahelise kõlavahekorra korrigeerimise võimalused siis muidugi puudusid. Kasuta selleks kas või «helitorustikus» nihutatavaid siibreid!

Ainsat teed tasakaalu loomiseks näiteks laulja ja klaveri kõlajõu vahel heliülesvõttel kirjeldab Peterburi omaaegse Maria-teatri tuntud tenor A. D. Aleksandrovitš oma mälestustes:

*Ma laulsin üsna palju grammofoni jaoks. Laulmine grammofoni jaoks — nagu praegu raadios — on eriline ala, mis nõuab vilumust ja harjumist. Ja ega iga hääl passinudki grammofoni. Minu hääl millegipärast «istus» ja grammofoniühing sõlmis minuga lepingu mitme aasta peale.*

*Kuid ei või ütelda, et plaatidele laulmine oleks meeldiv tegevus. Selletagi närviõsed ruupori ees, aga seal veel häiritakse igati: antakse märku, tiritakse, tõmmatakse, liigutatakse sind käega — kord ruuporile lähemale, kord sellest kaugemale. Nendes tingimustes kaob igasugune tuju ja vahest ka soov laulda...*

Käesoleva sajandi algul märkis meie ajakirjandus ka eestlaste kokkupuuteid helisalvestusseadmetega. Nii kirjutab ajaleht «Teataja» 1904. a. 27. jaanuaril järgmist.

### **Eesti laulud ilmareisil.**

Nagu teada, leidis Edison ühe aparadi ülesse, mille abil kõiksugused healed, olgu see laulmine, mõne mänguriista peal mängimine või jälle terve muusikafoori ettekanne, ülesse võetud ja alal hoitud võitvad saada. Esiteks oli sel aparadil aga see viga, et ta muusikatoodete etteandmisel, mis jälle sinna olivad mängitud või lauldud, kõrvalt siin nat tegi, nii et muusikatüki ilu seeläbi märksa vähendatud sai. Nüüd on aga selles aparadis täiendusi üles leitud, mis tagajärjel teatud ettefande kuuldalaskmine puhtalt sünnib. Nii suguse uue aparadi sisse laulis „Kuld Lõvi“ võerastemaja saalis „Estonia“ laulukoor minewal pühapäeval 15 Eesti laulu, suuremalt jaolt kõik rahwalaulud. Eile tegitwad sedasama prl. P. Brehm ja hr. M. Seal juures märgiti laulu kui ka komponeerija nimi raamatusse ülesse. „Estonia“ laulukoori poolt sisse lauldud lauludest lasti meid „Kannelt“ kuulda. Aparat andis selle laulu nii selgeste tagasi, et ka sõnad täitsa arusaadawad oliwad. Nii siis saawad need siin sisse lauldud Eesti laulud arwatawaste kõik ilmalaared grammofoni sees läbi sõitma. Nagu kuulda, olla need samad agendid, kes siin oliwad, Läti muusika-ilmast 60 nummert oma aparadiga üles võtnud.

Kahekümnendate aastate keskel kadusid helisalvestusstudio-test ruuporid, torud ja lehtrid. Ilmusid mikrofonid, võimendus-lambid ning elektromagnetilised salvestuspead, kus lõiketera ei võngu mitte enam membraanile langenud heli energiapisku arvel, vaid elektromagneti mähisesse juhitava võimendatud helisagedusvoolu mõjul. Uus elektriline meetod oli senisega võrreldes võrratu samm edasi.

Tunduvalt hiljem hakkasid käibelt kaduma ka senised mehhaanilised grammofonid, milles kogu taasesitatava heli energia pidi tulema pöörleva plaadi lainelist spiraalsüvendit kompiva nõela võnkliikumisest.

Esialgu saabusid turule elektrilised helipead (adapterid ehk pikapid). Nendes elektromagnetilise induktsiooni põhimõttel töötavates seadmetes muudetakse nõela helisageduslik võnkumine samalaadselt võnkuvaks elektrivooluks, mida saab näiteks raadiovastuvõtja abil võimendada ja valjuhääldis kuuldavaks teha. Hiljem ilmusid elektrigrammofonid, mis juba ise sisaldasid niihästi võimendit kui ka valjuhääldeid.

Elektriline helipea on kergem mehhaanilise grammofoni «membraanist». Lisaks peab selle nõel võnkumisel väiksemat mehhaanilist takistust ületama kui tavalises grammofonis, kus nõel paneb võnkuma membraani ja õhu. Kokkuvõttes kulutab elektriline helipea plaati võrratult vähem kui «membraan». Plaatide kasutusiga suurenes paljukordselt. Muidugi tagab elektriline taasesitusmeetod heli parema kvaliteedi ja suurema võimsuse kui tavaline mehhaaniline grammofon.

Võimaluse võimendada heliplaadile salvestatud fonogrammilt taasesitatavat heli ja plaadimaterjali omaduste paranemine lubas vähendada plaadile löigatava võnkumise amplituudi ning kasutada seega spiraalsüvendi tihedamat paigutust ja alandada plaadi pöörlemiskiirust. Nii võideti viimane heliplaadi puudustest — piiratud mängimiskestus.

Plaadile mahutatava muusikapala maksimaalne pikkus võis kasutataval suurimal (30-sentimeetrisel) plaadil olla pisut üle 5 minuti. Seda oli muidugi üpris vähe ning sageli pidid esinejad ja helitehnikud ülesvõtte ajal sekundimõõtjat silmitsedes ja tempot kiirendades närvitsema, kas pala mahub plaadile või mitte. Muusikas tehti armutult kupüüre (kärpeid) ning tihti valiti sobimatult elav tempo. Pikemate teoste kuulamisel tuli plaate alatasa vahetada. Kõilke seda dikteeris omaaegne puudu-liik helisalvestustehnika.

Mitmed muusikud on Caruso aadressil väljendanud rahulole-

matust, et ta polevat osanud õigesti esitada Lenski aariat ooperist «Jevgeni Onegin», tehes sellest mõtlikust palast heliplaadil mingi bravuurses tempos mahavõristatud «tüki». Tõenäoliselt tuleb sellele küsimusele läheneda mitte kunstilisest, vaid hoopis tehnilisest vaatevinklist. Kui 1919. aastal üks heliplaadifirma Carusolt muude palade hulgas ka Tšaikovski populaarseima tenoriaaria tellis, oli enesestmõistetavaks tingimuseks see, et pala pidi mahtuma väikese heliplaadi ühele küljele. Seepärast tuli loobuda mitmetest orkestrivahemängudest (lühikestest fraasidestki!) ja nähtavasti laulda aariat ka tublisti kiirendatud tempos. Tõepoolest, vaevalt oleks nii nimekas ja tõsine kunstnik võinud eksida suure vene muusikaklassiku kogu maailmas ülihästi tuntud aaria interpreteerimisel.

Praegusest mikrokiri- (nn. kauamängivast) heliplaadist ei osanud Caruso isegi unistada. See mahutab kummalegi küljele kokku kuni 50 ja enam minutit salvestatud heli. Ulatuslik ooper, milleks vanasti vajati kakskümmend plaati (kui ebamugav oli neid alatasa vahetada!) kogukaaluga vähemalt kümnekond kilogrammi, mahub praegu kolmele kergele mikrokiri-plaadile, mida on hõlbus säilitada, kasutada ja kuulata. Kaasaegne heliplaat on elujõuline tarbeese, mis ei sure välja, nagu seda ennustati siis, kui magnetofon oma võidukäiku alustas.

Küll aga on kadumisele määratud omal ajal pikemate muusikateoste pausideta läbi kuulamiseks kasutatud seade, mida koduselt automaatgrammofoniks kutsuti ja mille ülesandeks oli 7 kuni 12 heliplaati üksteise järel ühelt poolt «läbi mängitada». Nüüd, kus kauamängiva plaadi ühelt küljelt võib kuni poole tunnist kava esitada, pole enam mõtet kuuetunnist programmi ette varuda. Teisiti öeldes, automaatgrammofon kaotab mõtte.

### ... Hoopiski lint!

Grammofon levis kiiresti kogu maailmas kuni Teise maailmasõja lõpuni, mil tema kõrvale astus sootuks paremate omadustega tõsine võistleja — magnetofon.

Laiatarbeartiklina ilmus magnetofon turule alles pärast sõja-

aastatel, kuid tegelikult on ta hoopis auväärsema elueaga kui üldiselt arvatakse. Heli magnetilise salvestamise põhimõttest kirjutas keegi Smith juba 1880. aastal, s. o. kõigest kolm aastat pärast Edisoni fonograafi leiutamist. Kuid praktiliselt viis idee ellu taani insener Valdemar Poulsen tervelt kaheksateist aastat hiljem. Vahemärkusena võiks mainida, et Poulseni nimega on seotud ka esimeste võimsate nn. kaarleek-raadiosaatjate printsiibi täiustamine ning tegelik rakendamine raadiotehnika varasemas arengustaadiumis.

1898. aastal sai Poulsen Saksa patendi oma värsketele leiutisele — heliüleskirjutusaparaadile «Telegraphon». Pisut hiljem, juba uue sajandi künnisel, kujunes «Telegraphonist» Pariisi maailmanäituse menukamaid eksponaate. Seadme rullidele-kassetidele oli mahutatud 5000 meetrit terastraati, mis liikus ühtlase kiirusega (umbes 3 meetrit sekundis) lihtsa süsimikrofoni vooluringi ühendatud elektromagneti pooluste vahelt läbi ning magneetus oma pikkkuses ositi, helivõnkumise rütmis muutliku intensiivsusega magnetiliste aladena.

Vool süsimikrofoni vooluringis, kuhu oli ühendatud ka «Telegraphoni» salvestusmagneti mähis, sõltus membraani tabavast helilainest, mis teatavasti mõjustab mikrofoni elektritakistust.

Tugevama voolu korral mähises on terastraadi magneetumine intensiivsem kui nõrgema voolu korral. Traat säilitab magneetumise jäävmagnetismina. Kohalike magnetväljade muutlik pilt piki traati teisendub seega helivõnkumise magnetiliseks kujutiseks, selle salvestuseks.

Terastraadist helikandja pikkus võimaldas Poulsenil katkestuseta salvestada enneolematult pikka, tervelt ühe tunni kestusega programmi. Tõsi küll — traadile «kirjutatud» fonogrammi taasesitamisel (selleks lasti magneetunud traati liikuda sama, kuid vooluta elektromagneti eest teistkordselt läbi) indutseerus «lugeva» elektromagneti (helipea) mähises väga nõrk helisagedusvool, mis sellega ühendatud telefonides suutis anda üksnes vaikset heli. Võimendusprintsipi ei saadud siin veel kasutada sel lihtsal põhjusel, et esimene võimenduslamp leiutati alles seitse aastat hiljem. Peale selle oli «Telegraphoni» abil saadav heli mitmesuguste moonutuste tõttu üsnagi tagasihoidliku kvaliteediga.

Sõnum Poulseni helisalvestusaparaadist jõudis 1903. aastal ka meie ajakirjandusse, ehkki pisut moonutatud kujul. Ajalehe lugejaskond võis tutvuda lühisõnumiga, milles kõneldi, et

„Tähtsa uuenduse kõnetraadi juures on Taani insener Paul Poulsen välja mõelnud. See on kõnemasin (fonografi), mis kõik seda vastu mõtab, mis kõnetraadi omaniku äraolekul kõnetraadil on teatatud ja pärast avaldab.

(«Postimees» nr. 252, 10. nov. 1903. a.)

Nähtavasti asjaolu, et «Telegraphonis» kasutati kõne ülesvõtmiseks terastraati ja tol ajal oli Eestis võõrapäraselt kõlava nimetuse «telefon» asemel käibel kodusem (ja vägagi tabav) «kõnetraat», põhjustaski segaduse. Poulseni aparaadile leiti alles hiljem rakendus artiklis kirjeldatud automaatseadisena, mis salvestab abonendi äraolekul tema telefoniliini sisenevad väljakutsed ja sõnumid.

Oma leiutisega jõudis Poulsen ajast ette. Peamiselt just sobiva võimendi puudumise pärast langes taani inseneri teravmeelne helisalvesti kiiresti unustusehõlma ning hääle magnetilise säilitamise ideed hakati arendama alles mitu aastakümnet hiljem. Kuid selleks ajaks oli tavaline mehhaaniline grammofon niivõrd levinud, et magnetilisel printsiibil rajanev helisalvestusseadis magnetofon ennast enam läbi lüüa ei suutnud.

Siiski väärub mainimist, et Briti ringhäälinguühing kasutas enam kui kümnekonna aasta jooksul programmi salvestamist terastraadile. Süsteem, mida tunti *plattnerphone*'i nimetuse all, oli õigupoolest Poulseni leiutise edasiarendus.

Kolmekümnendate aastate teise poole magnetofon töötas üldiselt mitte enam terastraadist, vaid peamiselt lindikujulise helikandjaga, nagu praegugi. Selleks oli kas üliõhuke teraslint või siis koosnes see paberist (hiljem veel ainult plastmassist) alusmaterjalist, millele oli kantud õhuke magneetuv kiht (raudoksiide sisaldav lakikiht).

Magnetofoni kasuks kõnelesid heliülesvõtte hõlpus monteeritavus, mis liimi ja kääride abil lubas sobivasse järjestusse reastada ülesvõtte üksikuid lõike või kõrvaldada tekstist mis tahes osi, samuti võimalus mittevajalikku salvestust kustutada ja sedasama linti korduvalt kasutada. Magnetlindilt võis salvestust «kustutada» tugeva püsivmagneti abil. Kui linti sellest mööda keriti, siis magneetus lint ühtlaselt ümber, kaotades eelneva salvestatud helidele vastava muutliku magneetumuse.

Teiseks heaks omaduseks osutus katkematu helisalvestuse pikem kestus: juba enam-vähem standardiks kujunenud lindi-

kiirusel 76,2 cm/s. mahutas ühe kilomeetri pikkune rull magnetofonilindile 22-minutise programmi. Ent väga oluliseks teguriks, mis ei lasknud magnetofonil kaua aega levida, oli salvestuse madal helikvaliteet, mida sai võrrelda ainult keskmise grammofooniplaadi omaga. Vaatamata inseneride jõupingutustele ei õnnestunud seda kuidagi paremaks teha. Seepärast kasutati kolmekümnendatel aastatel magnetofone võrdlemisi piiratult ringhäälingutes reportaazide jm. operatiivsete sõnaliste saadete salvestamisel, kuid mitte head kvaliteeti nõudvate muusikavõtete tegemisel. Viimastel jäid valitsevaks ikka vaha- ja lakkplaadid.

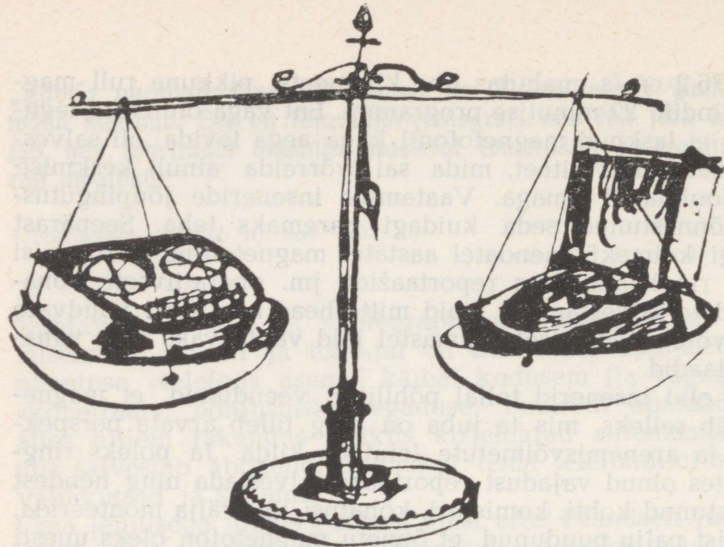
Igatahes olid insenerid tollal põhiliselt veendunud, et magnetofon jääb selleks, mis ta juba on ning tuleb arvata perspektiivitu ja arenemisevõimetute leiutiste kilda. Ja poleks ringhäälingutes olnud vajadust reportaaze salvestada ning nendest ebaõnnestunud kohti, komistusi, kõhatusi jm. välja monteerida, poleks vist palju puudunud, et õnnetu magnetofon oleks uuesti kolikambrisse sattunud.

Lausa kurioosumina tundub, kuidas perspektiivituks tunnistatud aparaat ennast ise järsku sootuks uuest kvalitatiivsest küljest näitama hakkas. Siin aitas pime juhus. Kahe saksa inseneri Braunmühli ja Weberi magnetofon kaotas järsku kõik oma halvad omadused (helimoonutuse ja salvestusele lisanduva tugeva kahina) ning hakkas esialgu arusaamatutel põhjustel andma ennekuulmatult kõrge kvaliteediga heliülesvõtteid. Selle ootamatu nähtuse lähem uurimine viis insenerid praegugi igas magnetofonis rakendatava nn. kõrgsagedusliku eelmagneetimisega helisalvestusmeetodi leiutamiseni.

Leiutisest ei kujunenud mitte üksi magnethelitehnikat, vaid juba tervet helisalvestust hõlmav revolutsioon.

Selgus, et Braunmühli ja Weberi magnetofoni võimendi oli juhuslikult rikki läinud ja hakanud tekitama kõrgsageduslikku, kõrvale kuuldamatut ultrahelivõnkumist, mis sattus ka salvestavasse elektromagnetisse-helipeasse ja lõi lindi jaoks helitehnilisest seisukohast ideaalse magneetimisrežiimi, mida seni ei tuntud — kõrgsagedusliku eelmagneetimise.

Nüüdsest peale võidi magnetofonil salvestada helisid, mis vaikseimast pianissimost võimsakõlalise fortissimoni, madalaimatest orelibassidest kõrgeimate ülemtoonideni andsid sellise kõlapildi, nagu varem ei osatud unistadagi. Algas magnetofoni tohutu võidukäik, mis selle käepärase helisalvestusseadise on ka meie kodudesse toonud.



Magnetofon sai grammofoni ees ilmse kvaliteedilise edumaa. Sellegipoolest ei tahtnud aegade vältel ulatuslikuks paisunud heliplaadi- ja grammofonitööstus iseenast elavalt matma hakata. Selles «leeris» algasid pingsad otsingud heliplaadisalvestusele omaste puuduste — lühikesevõitu mängimiskestuse, suure omakahina ja reprodutseeritava sagedusala ning dünaamika piiratuse kõrvaldamiseks.

Grammofoni ja magnetofoni rivaalitsemisest oli kasu: ilmusid «kauamängivad» heliplaadid. Heliplaat tõusis taas magnetofonilindi kõrvale, kuid seekord mitte enam võistlejana. Kumbki süsteem täiendab teist oma spetsiifiliste hüvedega. Magnetofoni heaks küljeks on mis tahes programmi hõlpsa (täiendava töötlemiseta) salvestamise ja mittevajalikuks osutuva salvestuse kustutamise, s. t. helikandja korduva kasutamise võimalus; grammofoniplaate saab aga tööstuslikult paljundada, neid on hõlpus kasutada ning fonogramm säilib metallist originaalmatriitsidena piiramatu aja. Laiatarbeliste seadmetegi osas on nii grammofoni kui ka magnetofoni tehnilised näitajad praktiliselt võrdsed.

Kumbki seade täiendab teineteist ka järgnevas. Rohked muusikasõbrad-heliplaadikogujad hangivad n.-ö. valmisproduktioonina ülesvõtteid neid huvitavatest heliteostest, kusjuures nad siiski on valiku tegemises piiratud müügilolevate plaatide

nomenklatuuriga. Selles mõttes pakub kodudes kasutatav magnetofon grammofoni ees mitmeid hüvesid (näiteks salvestamine raadiosaatest). Olulisim on muidugi võimalus igal ajal salvestada mis tahes helisündmust. Isikliku fonoteegi või koduse heliarhiivi seisukohalt on neil ülesvõtetel hiljem samasugune väärtus, nagu fotoalbumil ja amatöörfilmidelgi. (Amatöörfilmid varustatakse sageli heliga filmiprojektori magnetofoniga sidestamise teel.)

On pikemata selge, kuivõrd huvitavaks hiljem kujunevad perekondlikus ringis magnetlindile talletatud helidokumendid imiku hääliksustest, väikelapse järkjärgulisest kõneoskuse omandamisest, nooruki esimestest edusammudest klaveri- või viiulimängus jne.

Enne magnetofonide laiemat levimist leidis asjahuvilisi, kes tegelesid heli salvestamisega erilistele poolpehmetele plaatidele, püüdes sel kombel grammofoniasjanduse eelkirjeldatud põhipuudust ületada. Selline menetlus oli üsna kulukas ning ülesvõtte helikvaliteetki jättis enamasti päris tublisti soovida.

Magnetofoni ilmumisega tekkis ideaalne kompromisslahendus: praegusaja helisalvestusamatöör kasutab rööbiti nii heliplaati kui ka magnetlinti. Plaatidel on ta fonoteegi põhifond, mis tasapisi uute ostude teel avardub; lintidele on aga salvestatud nii arhiivilise väärtusega kestmamale säilitamisele kuuluvad ülesvõtted kui ka sellised, mis omavad üksnes ajutist tähtsust ja kuuluvad peatsele kustutamisele, n.-ö. liikuv fond. Niisiis täpsustagem: mitte plaat või lint, vaid plaat ja lint!

### *Kõnelev valguskiir*

Helivõnkumise jäädvustamiseks hilisema reprodutseerimise eesmärgil on mitu põhimõttelist võimalust. Seni oleme tutvunud kahega neist. Teame, et grammofoni puhul graveeritakse võnkumine lainejoonelise spiraalsüvendina vahetult plaadikujulise helikandja pinnasse, magnetofoni puhul aga säilitatakse vahelduvalt magneetunud aladena lindi raudoksiide sisaldavas pealiskihis.

Plaadile ja lindile kui helisalvestuse kandjatele seltsib veel

film: helivõnkumist saab valgustundlikul kihil fotograafiliselt kinni püüda, isegi nähtavaks muuta ja hiljem optika-elektroonikavahenditega taasesitada.

Fotograafilist helisalvestusmeetodit kohtame filmitehnikas ja paratamatult ka televisioonis, kus suur osa programmist esitatakse mitte «elava» saatenähtusest, vaid helifilmilt.

Helikino sünnilugu on huvitav. Varsti pärast kinematograafia leiutamist hakati kujundama mitmeid süsteeme, mis pidid kinolinal hargnevat tumma sünnimustikku helitaustaga illustreerima. Kasutati diktoritaolist «sisuseletajat» ja palgati klaverimängija või isegi väike orkester, kes filmi kurbadel kohtadel mängis näiteks «Solveigi laulu» ja heroilistel kohtadel triumfimarssi «Aidast». Suuremates kinodes rakendati tera-meelset mehhanismi, mis teatud piltide puhul tekitas heliefekte, nagu ukse sulgemise, tooli nihutamise jt. mürasid, laskusid, klaasiklirinat jn. Kõik see pidi suurendama muljet «loomulikkusest».

On üldiselt teada, et kinematograafia ilmus algul «tummana» ja alles hiljem «õppis kõnelema». Kuid lugejate enamikule on uudiseks, et Edisoni leidurikätes sündis kino algsest kui... täiendus fonograafile. Ta pidas heli salvestamist primaarseks ning väljendas 1888. aastal mõtet, et tahab lisada oma fonograafile vastava optilise täienduse. Viis aastat hiljem eksponeeris ameerika leidur Chicago maailmanäitusel kõrvuti oma elavate piltide näitamise masinat — kinetoskoopi ja fonograafi, ent kumbagi siiski veel eraldi, omavahel seostamata kujul.

Vahepeal tegelesid sõltumatult Edisonist sama küsimusega mitmed uurijad Euroopas. 1890. aastal sai Marey Prantsuse priviileegi «fotokronograafilisele aparaadile» ja kaks aastat hiljem Demeny «fonoskoobile», mis pidi «valguse kasutamise teel looma illusiooni kuuldavatest sõnadest ja nähtavatest nägudest». Nii polnud Edison ainus, kes püüdis ühel ajal jäädvustada ja reprodutseerida kujutist ning heli.

Nähtavasti polnud tehnika tase kõigi taoliste ideede teostamiseks tol ajal küllalt kõrge, sest veel kaua pidid kinokülastajad leppima filmi tegelaste kõneteksti lugemisega kinolinal hargneva tegevustiku vahele paigutatud trükitud tiitritelt.

Vahetiitrite leiutamise seoses tekkis 1897. aastal Pariisis skandaal. Sealne kino-suurettevõtja Pathé oli esmakordselt varustanud mõned filmid trükitud vahetiitritega, aga laiem publik ei osanud selles tulusat uuendust näha. Kinokülastajad hakkasid valjuhäälselt protesteerima, öeldes, et nad on kallist

piletiraha maksnud mitte fotografeeritud kirjatähtede vahtimiseks, vaid ikkagi «elavate piltide» eest. Sellest nähtub, et mitte iga väärtuslikku ideed ei osata kohe vääriliselt vastu võtta. Hiljem jäid filme saatvad vahetiitrid teatavasti mitmeks aastakümneks ainukasutusele ja subtiitritena pildi allosas aitavad praegugi ületada keelebarjääre.

Aastaiks 1927, kui meie ajakirjanduses oli mitmel korral jõutud juttu teha, et välismaal olevat käiku lastud helifilm, esitas tolelaegne Tallinna suurkino «Grand Marina» (asus Mere puistesel, seal kus nüüd paikneb Laevastiku Ohvitseride Maja) filmi «Tiivad», mis käsitles lendurite elu Esimeses maailmasõjas. Filmi reklaamiti kui esimest helifilmi Eestis. Tegelikult polnud sellel veel midagi ühist helifilmiga, sest heliefekte — mootorimürinat ja kuulipildujaraginat — tehti ekraani taga käristitega, tugevamaid lahingumürasid trummi ja timpaniga.

Muidugi ei suutnud niisugune «heliga film» isegi vähenõudlikku kinokülastajat rahuldada, eriti alates ajast, mil hakati tootma suurema kunstilise väärtusega filmitooteid.

Uurijad ja insenerid asusid väsimatult teed rajama tõelisele helifilmile. Hiljem leviski võrdlemisi laialdaselt film, millele mängiti grammofoniplaadilt heli juurde. Selleks et plaadi mängimiskestust võimalikult suurendada (muuta see võrdseks filmirulli projitseerimise kestusega, milleks oli 10...15 minutit), valmistati see kuni poolemeetrisel läbimõõduga. Heli reprodutseerimise aparaat — suur mehhaaniline grammofon — asetati ekraani taha.

Kuid kohtuti ka mitmete raskustega. Filmi demonstreerimisel tuli pidevalt hoolitseda selle eest, et pilt ja heli kulgeksid sünkroonselt (et kuuldav kõne vastaks näitleja kujutise huulte liikumisele ekraanil). Seepärast pidi pidevalt reguleerima filmi liikumiskiirust projektoris või heliplaadi pöörlemiskiirust grammofonil. Ja häda, kui filmist oli selle katkemisel osake välja lõigatud: siis hakkas pilt helist lootusetult ette tõttama ja sünkroonsuse puudumine võis saalis esile kutsuda lõbusa naeru.

Niisugust plaatidelt esitatava heliga filmi esindas esimesena Eestis 1929. a. hilissügisel kuulus film «Sonny Boy», mida näidati kinos «Gloria Palace», hoones, kus praegu asub Tallinna Riiklik Vene Draamateater. Nagu meenutavad Eesti kinomehhaanikud-veteranid L. Sild ja A. Mikk, «mahtus» ühe seansi heli tavaliselt kümnele suureformaadilisele ning seetõttu tülikalt käsitletavale plaadile.

«Õige», arenemisvõimeline helikino sai levima hakata siiski alles fotograafilise helisalvestuse najal. Tänu sellele õnnestus ühisele filmilindile jäädvustada nii optilist kujutist kui selle juurde kuuluvat heli. Seega langes ära vajadus filmi iga demonstreerimise vältel pilti plaadilt reprodutseeritava heliga sünkroniseerida. Muidugi võis ka filmiteoseid paljundada üksnes fotograafilisel menetlusel.

Kes leiutas fotograafilise helisalvestusmeetodi?

Selle avastuse prioriteedi üle on kaua piike murdnud ameerika, saksa ja prantsuse historiograafid, kuni nõukogude teadlane A. I. Parfentjev ühest arhiivist unustusse jäänud patendi leidis. See dokument pärineb 1888. aastast ja näitab, et helivõnkumise valgustundlikule kihile jäädvustamise süsteemi leiduriks on meie kaasmaalane, meditsiinidoktor Adam Vikstsemski (mõnede allikate järgi: Vikšemski) Tartust.

Vikstsemski aparadi talitluspõhimõte oli leidlikult lihtne. Seadis koosnes heli mõjul võnkuvast membraanist ja peeglite süsteemist, mille kaudu valgus langes kitsa pilu taga trumlil pöörlevale valgustundlikule (foto-) paberile. Üks peegel oli membraaniga mehhaaniliselt ühendatud ja võnkus sellega heli taktis kaasa, juhtides valgust kas suuremale või väiksemale osale pilust.

Fotopaberi ilmutamisel tuli nähtavale helivõnkumist kujutava hambulise joonega eraldatud must ja valge pind.

Muide, Vikstsemski kasutas esimesena kaasajal üldkasutatavat terminit «fonogramm».

Sellist tüüpi fonogrammi kasutatakse helikinos praegugi, ehkki täiustatuna. Pilu kaudu filmile langevat valguskiirt juhib nüüd valgusmodulaator — elektrodünaamiline peegelseadis, või P. G. Tageri ja V. D. Ohhotnikovi samaotstarbeline aparaat, milles valguskiire laiust reguleerib elektromagneti pooluste lähedal helisagedusvoolu taktis võnkuv terasleheke.

A. Vikstsemski ei andnud veel kasutuskõlblikku ideed fonogrammi reprodutseerimise võimaluste kohta. Sellekohane patent 1900-ndast aastast kuulub Moskva Kõrgema Tehnika-kooli üliõpilasele Jossif Poljakovile. Leidur soovitas filmile fotograafiliselt salvestatud fonogrammist läbi juhtida peenikene valguskiir, mis langeb fotoelemendile, kus muundub helisageduslikuks elektrivooluvõnkumiseks.

...Fotoelement? Aastal 1887 märkas vene füüsik A. G. Stoleto, et mitmed metallid — eeskätt tseesium, kaalium ja antimon — emiteerivad valgustamisel elektrone. Hiljem Stoletovi

efektiks nimetatud nähtus leidis praktilise rakenduse fotoelementides — seadmetes, mis muuhulgas võimaldavad valguse intensiivsuse kõikumisi muuta samalaadselt võnkuvaks elektri-vooluks. Kuid just niisugust vahendit vajati hääle saamiseks fotograafiliselt fonogrammilt.

Fotograafilise helisalvestuse idee lõplikule väljakujunemisele aitas kahtlemata kaasa 1893. aastal Chicago maailmanäitusel demonstreeritud aparaat «Radiophon», teravmeelne seadis, mille abil sai valguskiire vahendusel kõnelda küllaltki pika vahemaa tagant. «Radiophoni» autoriks oli telefoni leidur Alexander Graham Bell. Uue kaugkõnelemismasina talitluspõhimõte oli lühidalt järgmine. Tugeva elektrilambi valgus koondatakse nõguspeegli ja kondensorläätse abil liikuvale peeglikesele, mis on mehhaaniliselt sidestatud heli püüdva ruupori põhja kinnitatud membraaniga. Membraani tabava helilaine rütmis toimuv peegli võnkumine moduleerib paigalseisvat pilu läbiva valguskiire intensiivsust. Moduleeritud valguskiir suunatakse eemal asuva vastuvõtjaama seleenfotoelemendile, mille elektritakistus sõltub valgustusest. Fotoelemendi vooluringi kuuluvad veel alalisvooluallikas ja tavaline elektromagnetiline telefon. Viimases muutubki valguskiirega ülekantud hääld taas kuuldavaks. Loomulikult võib «Radiophoni»-tüüpi heliülekanne toimuda vaid otse nähtavuse ulatuses saate- ja vastuvõtjaama vahel. Mõnevõrra hiljem leidsid üsna piiratud kasutamist ka samaprintsiibilised *heliotonid*, mis töötasid mitte elektrilambi, vaid päikesevalguse abil.

Tegelikult kasutas seda põhimõtet ka Vikstsemski, ehkki ainult heli salvestamiseks, mitte kõnehelide traadita transleerimiseks.

Filmiasjanduses kasutatavad fotoelemendid, millega reprodutseeritakse fotograafiliselt fonogrammilt heli, koosnevad õhutihjast või hõrendatud gaasiga (argooniga) täidetud klaaskolvist. Selles on suurepinnaline katood, mida katab valgustundliku, s. o. valguse mõjul elektrone emiteeriva metalli kiht, ja väike traatsilmus — anood. Kui fotoelemendi elektrodidele rakendada alalispinge, nii et anood muutuks katoodi suhtes positiivseks, siis hakkavad valguse mõjul katoodist väljunud elektronid kiiresti anoodile tõttama ja välisvooluringis — ühendusjuhtmetes ning pingeallikas — tekib vool.

Elektronide emiteerimise intensiivsuse (ja voolu välisvooluringis) määrab ainuüksi katoodile langenud valgusvoog: tugevamale valgustatusele vastab tugevam vool ja vastupidi. Voolu-

muutused järgivad valgusvoo kõikumisi silmapilkselt. Kui valguse intensiivsus hälbiks helivõnkumise taktis, siis tekiks fotoelemendi ahelas nõrk helisagedusvool, mida elektronlampides saab võimendada ning valjuhääldis kuuldavaks muuta.

Leningradis Nevski prospektil asub kino «Znanije». Selle ühe vaatesaali seinal on tagasihoidlik marmortahvel: «Siin avati 5. X 1929. aastal Nõukogude Liidu esimene helikino». Kolmekümnendate aastate künnisel algas fotograafilise fonogramiga helifilmi võidukäik. Pildiosa tehti filmilindil senisest pisut kitsamaks ning selle ühele servale jäänud vaba riba hakati kasutama heli salvestamiseks: helivõnkumised kopeeritakse valguse intensiivsuse või valguspilu kujutise pikkuse võnkumisenähtena. Pärast filmi ilmutamist jääb sellele nn. helirajale heledamate ja tumedamate alade jada, mis optilise fonogrammina kajastabki salvestatud helivõnkumist.

Heli taasesitamiseks helirajalt suunatakse läbi selle fotoelemendile juuspeen valguskiir, mille heledus liikuvast filmist läbiminekul muutub. Lõpptulemusena saadakse fotoelemendist helisageduslikku voolu, mis võimendatuna ja valjuhääldisse juhituna muutub taas kuuldavaks heliks.

Fotograafilise fonogrammiga helifilmi heaks omaduseks on see, et nii pilt kui ka heli asuvad ühisel kandjal (filmilindil). Kui filmist tulebki lõiguke eemaldada (näiteks katkemiskoha kokkuliimimisel), siis ei kao selle tagajärjel sünkroonsus pildi ja heli vahel. Pealegi on niisuguse filmi käsitsemine palju hõlpsam.

Fotograafiline helisalvestus ei jõua kvaliteedinäitajatelt järele praegusele magnetilisele ja mehhaanilisele salvestusele, seepärast on nüüd ka magnetiline helisalvestus filmitehnikasse juurdunud. Filmi heli «valmistatakse» ja töödeldakse esmalt magnetofonidel, kust see alles filmiteose lõplikul valmimisel fotograafilise fonogrammina filmile kopeeritakse. Kujutise ja heli sünkroniseerimisel siin probleeme tekkida ei saa, sest filmistuudiotel (ka televisioonis) kasutatakse filmide heliga varustamisel laiu, tavalist 35-millimeetrist kinofilmil meenutavaid servadest perforeeritud magnetlinte, mis eri tüüpi magnetofonil liiguvad täpselt niisama kiiresti kui filmilint ülesvõttekaameras.

Panoraam- ja ringpanoraamkinodes rakendatakse ainult magnetilist fonogrammi. Magnetilised helirajad asuvad siin filmiga sünkroonselt jooksva 35 millimeetri laiusel magnetlindil ja heli taasesitamiseks kasutatakse magnetilisi helipäid koos võimendite ning valjuhääldite süsteemiga.

## VAIKUST! HELISALVESTUS!

*Helide tehas*

1922. aasta septembris võis ajalehe «Izvestija» veergudelt leida ebatavalise teate:

*Raadio-telefoni tsentraaljaama poolt saadeti järgmine radiogramm:*

*«KÕIGILE. KÕIGILE. KÕIGILE.*

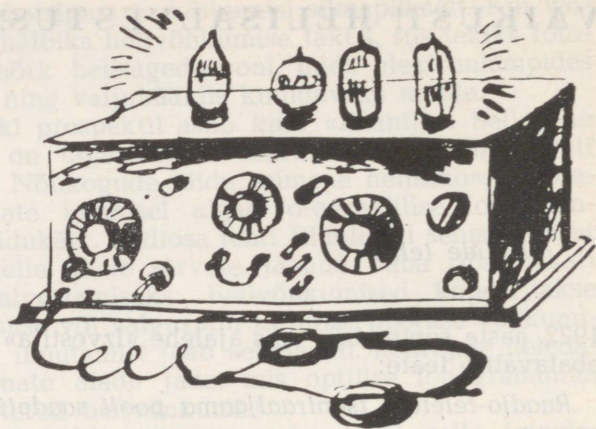
*Häälestage lainele 3000 meetrit ja kuulake.*

*Pühapäeval, 17. septembril kell 3 päeval toimub Posti-Telegraafi ministeeriumi Raadio-telefoni tsentraaljaamas esimene raadiokontsert...»*

Ettenähtud ajal saatsiski Moskva raadiojaam välja esimese kunstilise saate. Eetris kõlas N. A. Obuhhova laul. Seejärel astusid mikrofoni ette tuntud viulikunstnik professor B. O. Sibor ja mitmed teised solistid. See oli Nõukogude ringhäälingu sünnipäev. V. I. Lenini unistus ajalehest, mille jaoks pole olemas kaugusi ning mis ei vaja paberit, oli täitunud.

Regulaarseid ringhäälingusaateid alustas Moskva Kominterni nimeline raadiojaam sama aasta 7. novembrist. Selle jaama oma aja kohta rekordilise võimsusega aparaat ehitati Nižni Novgorodi raadiolaboratooriumis M. A. Bontš-Brujevitsi juhtimisel. Kui New Yorgis töötas samal ajal kõigest 1,5-kilovatise ja Pariisis 5-kilovatise võimsusega saatja, siis Nõukogude ringhäälingu esiklapse võimsus oli tervelt 12 kilovatti.

Moskva esimese raadiokontserdi hiilgav õnnestumine sai paljudele välismaa raadiospetsialistidele stiimuliks oma ringhäälingusaadete organiseerimisel. Edaspidi hakkasid mitmed maad kasutama nõukogude raadioinseneride abi ringhäälingu rajamisel. Vist ainult vähesed teavad, et ka kodanliku Eesti omaegne raadioringhäälingu osauhisus Tallinnas tellis 1926. aastal Lasnamäele püstitatud saatja Nõukogude Liidust.



Ringhääling on kujunenud meie elu lahutamatuks koostisosaks. Praegu on ringhäälinguga seotud ulatuslikud tööstusharud ja see ise muutunud omapäraseks helide tehaseks.

Teeme sinna mõttes ühe põgusa retke. Üht-teist ringhäälingust me muidugi teame. Kõigile on tuttavad Eesti Raadio reporterid ja kommentaatorid, samuti kunstikollektiivid — sümfoonia-orkester, segakoor, vokaal- ja instrumentaalansamblid. Nii mitugi meist on viibinud mõnes Raadiomaja rohketest stuudio-test kas isetegevuslasena või siis usutletavana mingi saatelõigu jaoks. Oleme avalikel üritustel märganud hõbedastel statiividel seisvaid mikrofone, mis kogu toimunu viivad raadiokuulajale koju kätte, ning maanteedel tõttavaid hõbehalle reporteriautoid. Ja «uudishimulikke» inimesi, kohvrike-magnetofon käes. Raadioreportereid. Küsitlevad teid siinsamas, tööpingi juures, huvituvad rõõmudest ja raskustest — ning juba mõned tunnid hiljem võib seda raadiosaates kuulda. Kuulevad ka need, kelle ülesanne peaks olema esinevate puuduste kõrvaldamine. Nõukogude ringhääling on muutunud ajakirjandusega võrdväärseks vahedaks ja operatiivseks kriitikarelvaks, asendamatuks abinõuks tuleviku ehitamisel.

Kõige tähtsam igas raadiomajas on muidugi stuudiote kompleks. Studio juurde kuulub helikindla aknaga eraldatud aparaadiruum ehk foonika, kus asuvad vajalikud võimendid, heli reguleerimisseadmed ja magnetofonid.

Foonikas, keeruka helireguleerimispuldi taga töötab helirežis-söör. Kui saabub täpne aeg saate alustamiseks, veendub ta, kas esinejad on valmis ning lülitab sisse teadustaja mikrofoni. Kuigi teadustaja tööruumiks on hoopis teine stuudio, süttib kohe tema laual signaallamp «Kõik valmis!». Sellele märgu-andele peab järgnema kontserdi algusteadustus. Järgnevalt lülitab helirežisöör sisse juba muusikastuudio mikrofonid. Samaaegselt süttivad studios punased hoiatussignaalid ja ustel tablood kirjaga «Vaikust! Saadel!».

Mikrofonidest saadav helisagedusvool võimendub foonika heli-reguleerimispuldi võimendites ning suundub vastava kaabli kaudu tehnilisse keskusse.

Raadiomaja tehniline keskus on omamoodi keskjaam, kuhu suubuvad ühendused kõikidest saatefoonikatest. Siit väljuvad omakorda liinid, mis seovad «tarbijaid», s. o. raadiosaatjaid ja raadiotranslatsioonivõrkude võimendusjaamu raadiomajaga.

Tehniline keskus väljastab korraga mitut erinevat programmi. Siin jälgivad vahetusinsenerid ja raadiooperaatorid, et saated kulgeksid tõrgeteta ning algaksid ja lõpeksid õigeaegselt. Ring-häälingu toimetuste ühistööna valminud saatekava alusel ühen-datakse siin iga kord, kui saate iseloom (ja ühtlasi ka stuudio) muutub, vajalikud foonikad ühe või teise programmi saatjate-grupiga.

Igas raadiomajas peab lisaks tavalistele diktoristuudiotele leiduma terve komplekt suuruselt ja kõlaomadustelt erinevaid studiodid, et nendest saaks valida antud muusikateosele või kuuldemängulõigule kõige sobivama. Ühes studios sumbub hääli kiiresti, teises aga jääb kauaks kõlama. Sellest kõnel-dakse — mitte just päris õnnestunult — kui ruumide erinevast «akustikast».

Mis põhjustab ruumide kõlaomaduste, «akustika» erinevuse? Vastuse leiame, kui jälgime pisut heli levimist kinnises ruumis. Heli allikast lähtunud helilaine saabub samas ruumis viibiva kuulajani või mikrofonini mitut erinevat teed mööda. Ehkki heli levib sirgjooneliselt laiali ja üks «helikiir» jõuab ka otse-suunas kuulaja kõrva, satuvad sinna veel ruumi seintelt, põran-dalt, laest ning esemetelt peegeldunud lained. Kuna need pea-vad pikema tee läbima, tekib peegeldunud lainete teatav hiline-mine. Loomulikult esineb rohkesti ka heli paljukordseid peegeldumisi, mis summeeruvad vastavalt suuremaks hiline-miseks. Heli kõlab ruumis teatava aja jooksul ka pärast heli-allika vaikimist: tekib järelkõla.



seks, siis hakkab muusika ebaloomulikult «kuivalt» kõlama ja orkestriinstrumentid ei saa monoliitseks ansambliks kokku sulada.

Seevastu liiga pika reverberatsioonija puhul muutub vähegi kiiremakoeline muusika «määrduks» ja kõne kaotab selguse (iga uus akord või silp «astub» eelmiste veel kestva reverbereerumise peale).

Valdav osa muusikasaateid ja eranditult kõik kuuldemängud antakse raadiosaatesse helilindi vahendusel. Niisugune «kõrvalepõige» loob võimaluse saateid hoolikalt ette valmistada, programmide vahetamise otstarbel paljundada, nn. fondivõtetena säilitada ja paljukordselt kasutada.

Kui salvestatakse üksikesineja kõnet, siis piirduakse üldjuhul üheainsa mikrofoni (teine on stuudios vaid reserviks). Seevastu muusikapalade puhul tuleb tavaliselt kasutada mitut mikrofoni, mis asetatakse teatavate reeglite kohaselt ja stuudio akustilisi omadusi arvestades üksikute instrumentide või instrumendirühmade vahetusse lähedusse. Lisaks nendele kasutatakse veel ka üldmikrofone, mis seisavad stuudios esinejatest kaugemal ja püüavad kinni reverbereeruvat summaarset heli. Nii paigutatakse stuudiosse terve mikrofoni kompleks, mida «kasutab» helirežissöör.

Igast mikrofoniist saadavat helisagedussignaali võimendatakse foonikas esialgu iseseisvates, sõltumatutes eelvõimendites ja seejärel segustatakse tarvilikus vahekorras. Selleks on helirežissööri puldil iga mikrofoni jaoks vastavad helitugevuse ja kõlavärvingu regulaatorid.

Viimastega saab ülekantavas helis kõrgemaid ning madalamaid helisagedusi vajaduse korral suhteliselt rohkem esile tuua või summutada. Tallinna Raadiomaja suure stuudio foonikas asuval puldil on ühtekokku tervelt 350 nuppu regulaatorite, korrektorite, signalisatsiooni ja mitmete muude ülesannete jaoks. Nendega manipuleerides saab helirežissöör salvestuse või raadiosaate käigus muuta üldise kõlapildi tasakaalu: näiteks seda, et saateinstrumentid ei «mängiks üle» soolot ja et kõik muusikas momendil tarvilik oleks reljeefselt kuuldav. Muidugi eeldab selline reguleerimine (mis lõppkokkuvõttes kuulajaile siiski märkamatuks peab jääma!) head muusikatundmist, treenitud kuulmist ja pikaajalisi töökogemusi.

Helirežissöör seisab kahe erineva elemendi — muusika ja tehnika piirimail ning peab hoolitsema selle eest, et kumbki teisele ülekohut ei hakkaks tegema: on ju muusika poolt tehni-

kale esitatavad nõuded ja tehnika poolt muusikale pakutavad võimalused mitmetigi üsna vasturääkivad.

Nii võib suure sümfooniaorkestri helivõimsus õrnimast pianisimost võimsaima fortissimoni paisudes suureneda peaaegu kuni 60 000 000 korda, kuid tehniliselt otstarbekaim ja põhjendatuim on elektriliselt üle kanda märksa kitsamat dünaamilist piirkonda (helitugevuste ala), mille ulatuses helivõimsuste erinevus poleks suurem kui 1 : 10 000.

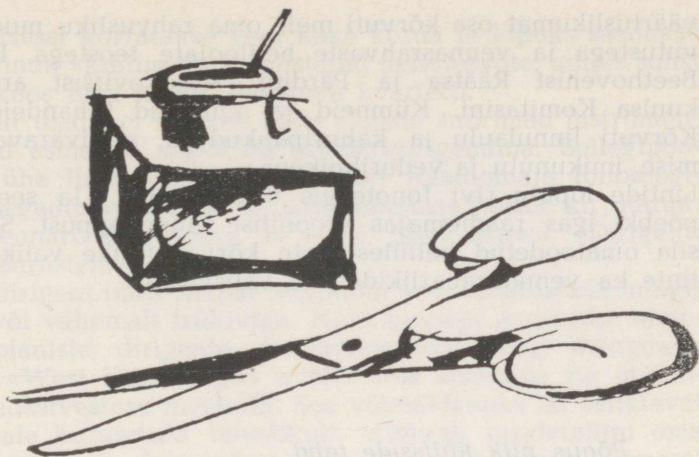
Muusika loomuliku dünaamika ahendamine peab tingimata toimuma inimese osavõtul. Mingite automaatide — dünaamika-kompressorite rakendamine ringhäälingus ei annaks soovitud tulemusi. (Helikinos ja telefoni-kaugsides neid siiski kasutatakse.)

Helirezissööri vastutusrikas töö ei piirdu muidugi kaugeltki mainituga. Selleks et üks või teine muusikapala ka valjuhääldis nagu kord ja kohus kõlama hakkaks, tuleb eelnevate katsetega või kogemuste najal valida sobivatüübilised mikrofonid ja täpsustada nende (ka esinejate) parim paigutusviis studios.

Väga harva juhtub, et mõni muusikakollektiiv võib studios asetuda niisamuti nagu kontserdilaval publikule esinedes. Siin kehtivad sootuks teised, rangemad reeglid. Mikrofonile esinedes on puhtväline külg kaotanud tähtsuse: orkestrandid ei istu enam sirgetes ridades, vaid on koondunud «oma» mikrofonide ümber. Džässorkestri trummimängija koos pillide ja mikrofoniga on igast küljest ümbritsetud heli summutavatest plaatidest varjetega; samasugused plaadid on ka solisti selja taga. Kontrabassi mängitakse võib-olla isegi nii, et pill ei toetu mitte põrandale, vaid suurele kastile, mille resonants muudab heli lopsakamaks ja mikrofoni jaoks «suupärasemaks». Taoliste näidete loetelu võiks veelgi jätkuda.

Salvestatavast muusikapalast tehakse tavaliselt mitu varianti, kusjuures helirezissöör juhib ülesvõtte käigus esinejate tähelepanu võimalikele ebatäpsustele ja muudele pisipuudustele interpretatsioonis. Võtet tervikuna või selle üksikuid osi korratatakse seni, kuni terve pala ulatuses on saadud laitmatu materjal.

Nüüd tuleb appi helioperaatori oskus. Kõik variandid kuulatakse läbi dirigendi ning solistide juuresolekul ja tehakse nootidesse märkmeid. Lõpuks koostatakse montaaži plaan, mis näitab, milline lõik millisest variandist võtta. Seejärel asub helioperaator koos helirezissööriga magnetlinti «monteerima».



Osavad löiked mittemagnetiliste vaskkääridega, lindi otsad vaheliti, klaaspulgaga pisut liimi — ja juba ongi pala kokku pandud nii, et teravamgi kõrv ei suuda midagi liigset eraldada. Heliteos kõlab nüüd veatult.

Naljatledes kõneldakse, et vilunud helioperaator suutvat lindile jäädvustatud kõnes isegi *i*-tähelt täppi pealt ära monteerida. See pisiliialdus on muidugi huumor ja iseloomustab nii helioperaatorite osavust kui ka nende tööd ennast. Reportaažist äpardunud lauset, vildakat sõna või juhuslikku kõhatust välja monteerida pole eriline kunst, ent proovige lindile võetud muusika mitmest erinevast fragmendist mosaiigina kokku monteerida kiireid passaaže! Siis veendute, et ringhäälingu helioperaatorid on oma ala tõelised virtuoosid.

Valmismonteeritud magnetlint, mis nüüdsest peale kannab muusikapala, sõnavõttu või kuuldemängu, rändab karpiga paigutatuna vahetult saatefoonikasse või fonoteegi riulitele oma järke ootama.

Mida küll ei leidu ringhäälingu fonoteegis! See on tõeline kõikvõimalike helide varamu. Sooviija võib siit leida kõike, alates mesilinnu suminast («mõned liigid sumisevad pisut erinevalt», lisab fonoteegihoidja tagasihoidlikult) ja lõpetades järjekordse Nõukogude kosmonaudi tervitussõnadega sõpradele Maal. Kõnelemata muusikast. Mitmevärviliste karpide lõputud read peidavad eneses kogu maailma muusikakultuuri

väärtuslikumat osa kõrvuti meie oma rahvusliku muusika saavutustega ja vennasrahvaste heliloojate teostega. Bachist ja Beethovenist Räätsa ja Pär dini, Šostakovitšist armeenlaste kuulsa Komitasini. Kümneid ja kümneid tuhandeid palasid. Kõrvuti linnulaulu ja kahuripaukudega, raudvärava kriiksumise, imikunutu ja vedurihukega.

Lintide lõputu rivi fonoteegis üha pikeneb. Ja see osakond põebki igas raadiomajas kroonilist ruuminappust. Saabub ju siia omatoodetud heliülesvõtete kõrval rohke valik magnetlinte ka vennasvabariikidest ja välismaalt.

### *Põgus pilk kulisside taha*

«Esineb vokaalkvartett koosseisus... neli korda Georg Ots!» Sellisele raadioteadustusele järgneb kõlav neljahäälne kvartettilaul. Uskumatu, aga selles on tõesti kuulda meie populaarse vokalisti häält neljakordselt! Taolisi väikesi üllatusi võib helitehnika pakkuda veel mitmeid.

Ei tohiks olla raske mõistatada, kuidas niisugune kombineeritud heliülesvõtte sünnib. Esmalt salvestatakse magnetlindile orekstrisaade koos lauljaga, kes esitab vajalikust neljast vokaalpartiist ühe. Seejärel võivad orkestrandid lahkuda ja stuudiosse jääb ainult solist. Vahepeal on helirežissöör asetanud äsjast salvestust kandva helilindi teisele magnetofonile, millelt tehakse ümbervõtte uuele lindile. Samaaegselt ümbervõttega kuuleb laulja studio kontrollvaljuhääldis senist võtet ja lisab sellele mikrofoni kaudu nüüd juba teise häälepartii, lauldes n.-ö. iseenesega duetti. Mikrofon on stuudios paigutatud nii viisi, et sellesse langeks eeskätt laulja hääl, mitte aga valjuhääldist kostev «poolik» heliülesvõtte, mis võetakse ümber uuele lindile vahetult, juhtmeid kaudu. Mõnikord tuleb sel puhul isegi loobuda valjuhääldist ja anda solistile peatelefonid.

Helirežissöör reguleerib mõlemad komponendid — eelmise heliülesvõtte ja uue laulupartii — parajasse vahekorda. Uuele lindile ilmub juba täielikum salvestus, orekstrisaade koos kahe häälega neljast.

Sama protsessi korratakse veel kaks korda ja lõpuks saadakse viimasel lindil «kihiliselt» valmistatud heliülesvõte, milles solist laulabki koos oma kolme teisikuga kvartetti.

On üldiselt teada, et mitmed meie aegade suurimad instrumentaalsolistid esinevad sageli ka orkestridirigendina. Sellegipoolest viis ühe lindikarbi etikett hiljuti Raadiomaja fonoteegitöötajad segadusse. Karbile oli pala nimetuse juurde kirjutatud: «Solist: Leonard Bernstein». Ja edasi, pisut allpool: «Dirigent: Leonard Bernstein».

Solist ja dirigent ühes isikus? Siinpuhul võis kahtlustada mingit eksitust või vähemalt trükiviga. Kuid kaasaja Ameerika nimekamaid pianiste, dirigente ja heliloojaid, meilgi mängitava *musical*'i «West Side'i lugu» autor, võis kasutada ka mitmekordse helisalvestuse meetodit. See võimaldanuks tal esitatavat muusikapala kujundada täiuslikult, viimsegi pisidetailini oma tõekspidamiste ja kunstnikutemperamendi kohaselt. Esmasel helilindistamisel võis ta asuda dirigendipuldil, juhatades solistita mängivat orkestrit. Seejärel, kasutades saadud heliülesvõtet, polnud tal raske juurde lisada puuduvat soolopartiid, mis koos eelmisel etapil valminud orkestrisaatega jäädvustati teisele magnetlindile.

Lähemal järelepärimisel selgus, et nii see oligi. George Gershwin kuulsa «Rapsoodia» selles esituses, mis nüüd ka heliplaadina on muusikasõprade kätte jõudnud, täidab Leonard Bernstein tõepoolest kahekordset ülesannet.

Samast seisukohast pakub huvi veel üks heliplaat. Tuntud ungari tšellokunstnik János Liebner mängib seekord mitte tšellol, vaid vanal, ammu muusikapraktikast kadunud pillil *viola di bordone*'l, «baritonviulil». Ja mitte ühel, vaid «korraga» kahel sellisel.

Tuntud viulikunstnik ja -pedagoog Leopold Mozart, kuulsa helilooja isa, kirjutas rohkem kui kakssada aastat tagasi ilmunud viulimänguõpetuses: «Keelpillide pere kümnes liige on *bordone*, mida labaselt ka baritoniks hüütakse, tema itaaliakeelse nime järgi *viola di bordone*. Õigupoolest tähistab see tenori häält, sügavakõlalist keelt, metsmesilast ja mesilindude pehmet suminat. Igaüks, kes on tutvunud selle instrumendiga, võib veenduda, kuivõrd suurepäraselt kirjeldab selle heli sõna *bordone*. Sel instrumendil on kuus või seitse keelt, väga lai kael ja õõnes ava tagaküljel. Üheksa kuni kümme vaskset või terasest keelt sirutuvad üle pilli ning neid saab näppida vasaku pöidlaga sel viisil, et kui meloodiat mängitakse poognaga üle-

*mistel keeltel, võib samaaegselt tõmmata alumistelt keeltelt bassinoote.»*

Helilooja Joseph Haydn tegutses tervelt kolmkümmend aastat Ungaris ning kirjutas seal tublisti kakssada pala vürst Miklós Esterházy jaoks, kes oli heatasemeline amatöörmuusik ning eriti vaimustatud duettide mängimisest koos Haydniga kahel bordonviulil. Kuigi need kaunid palad on nootidena säilinud, olid need siiski kaasaja muusikale kaduma läinud. Töökorras pille Ungari Rahvamuuseumis veel oli, kuid ei õnnestunud leida meie päevil korraga kaht kunstnikku, kes sellel haruldasel pillil mängida oskaksid. Nii tehtigi kahekordne heliülesvõte: helilindile mängiti esimese baritonviuli partii ja hiljem lisati sellele teine. Ääremärkusena võiks mainida, et János Liebner kasutas selleks pilli, mis kunagi kuulus vürst Esterházyle ning millelt peaaegu kahe aastasaja eest kõlasid needsamad palad. Korduv helisalvestamine leiab üha suuremat ja avaramat kasutamist.

Heli mitmekordse salvestamise meetodil on lindistatud palu kitarride ansamblile, kellena esineb meie tuntud kitarrist Emil Laansoo ühes isikus. Ka vokaalansambli kõla muutub märgatavalt kompaktsemaks, kui ansambel laulab omaenese häälele veel üks kord peale. Võib reeta, et seda tänuväärset moodust viljeleb mõnikord näiteks väikesekoosseisuline Eesti Raadio meesansambel, kui helilindile lauldava pala iseloom nõuab avaramat, koorilikumat kõla.

Omamoodi «rekordi» mitmekordse helisalvestamise meetodi rakendamisel tegi hiljuti Riia Heliplaadivabriku Tallinna studio, kui seal valmistati heliülesvõtteid meie ühe tuntuma ja mitmekülgsema estraadikunstniku Vladimir Sapožnini esinemisloomingu jäädvustamiseks. Vladimir Sapožninit ei tunta mitte ainult viulikunstnikuna, vaid ka virtuoosina paljudel teistel pillidel ja ületamatu imitaatorina. Tema orkestripillide imitatsioonid (selleks kasutab artist ainuüksi häält ja ei mingeid abivahendeid!) on kontsertidel alati väga menukad.

Helisalvestusbrigaad tuli mõttele paljukordse lindistamise teel valmistada efektne pala, milles V. Sapožnin järjekorras imiteeriks mitmeid pille, kuni lõpuks ilmuks lindile terve «puhkpilli-orkester».

Mõeldud-tehtud. Nootidesse kirjutati rahvaliku valsi «Saaremaa» omapärane «orkestratsioon» ja asuti seda helides teostama. Üks öö kulus tehnilisteks katseteks ning «orkestratsiooni» viimistlemiseks, seejärel kaks ööd lindistamist — ja lõpptule-

musena valmis pooleteiseminutiline kuuekordselt salvestatud pala, mille kuulamine peaks esile manama muige ka kõige tõsisemal kuulajal. Helilint toreda muusikalise paroodiaga anti heliplaadistamisele.

Kaalukas osa ringhäälingus helilindistatud kergemasse muusikažanrisse kuuluvatest soolopaladest on valminud mitme-, enamasti kahekordse heliülesvõttena. See tõstab salvestatava pala üldist tehnilist kvaliteeti, vähendab ajakulu valmistamisel ja alandab omahinda. Helirežissööri pingeline töö jaguneb nüüd kaheks (või isegi enamaks) etapiks: esimesel võttel peab ta oma tähelepanu koondama näiteks ainult orkestrile, et see valjuhääldis kõlama panna ja kõiki võimalikke ebatäpsusi märgata. Järgmiste «kihtide» salvestamisel pole eelnenuga enam pistmist ja nüüd võib helirežissöör süveneda ainult näiteks solisti jälgimisele ning reguleerida soolo ja saate kõlavahekorda jne.

Teise, kaugelt kaalukama hüvena tuleb märkida, et mitmekordses salvestuses saab hõlpsalt kokku viia järsult erinevaid akustilisi kõlarežiime, kasutada muutuva kaja efekti ja muidki vahendeid helirežissööri omapärase kunsti arsenalist.

Kindlasti olete radiokontserte ja heliplaate kuulates märganud, et solisti hääel omandab kohati erilise ümaruse ja lopsakuse, mille iseloomu on sõnades isegi raske väljendada, omamoodi «kaja», jättes mulje, nagu oleks hääel järsku hakanud kõlama suures ruumis, ehkki saatev orkester või instrumentaalansambel samal ajal kõlab hästi lähedasena, «konkreetsena».

Selle heliefekti loob reverberaator — aparaat, mis võimaldab mehhaanilis-elektriliselt imiteerida ruumikõla ja seda, nn. tehisklikku reverberatsiooni lisada mis tahes üksikkomponendile heliülesvõttes (mõnele pillile või pillirühmale, kuid kõige sagedamini siiski solistile).

Reverberaatoris ripub vertikaalasendis vedrudel õhuke ristkülikukujuline metallplaat. Plaadi mõõtmed on suhteliselt suured: mitte alla kahe ruutmeetri. Konstruktsioonilt ja talitluspõhimõttelt valjuhääldit meenutava seadme abil, mis sisaldab magnetsüsteemi ja plaadi külge kinnitatud võnkepooli, sunnitakse plaat helisageduslikult võnkuma. Selleks juhitakse võnkepooli mikrofonist saadud ja eelnevalt võimendatud helisagedusvoolu.

Metallplaadi küljes on veel omapärane membraanita mikrofoni, mis plaadi mehhaanilise võnkumise taas vastavaks elektrivooluks muundab. Kui reverberaatori «mikrofonist» saadud signaali

pärast võimendamist sobivas vahekorras segustada stuudio mikrofonide «ehtsale» helile vastava signaaliga, ilmubki plaadi kestvama võnkumise tagajärjel kunstlik järelkõla-illusioon.

Järelkõla võib saada stuudios ka «loomulikult» teel — mikrofonide eemaldamisega solistist, sest siis hakkab mikrofonide kõrvuti otsese helilainega langema suhteliselt rohkem ruumi pindadelt peegeldunud hilinevaid helilaineid. Kuid niisugune moodus tõstab tavaliselt jälle esile omad raskesti kõrvaldatavad probleemid. Esiteks pole ruumi loomuliku järelkõla kestus ja ise-loom reguleeritavad. Teiseks hakkab solistist kaugele paigutatud mikrofon liiga palju «kuulma» saatetalle, andes orkestrilegi enamasti täiesti kohatu ruumilise kõla (rääkimata soolohääle ja orkestrisaate kõlajõu tasakaalu häirimisest).

Reverberaatorit võib kasutada mikrofoniga, mis asub solistile väga lähedal. Nii langeb ära võimalus, et sinna satuks helisid orkestrist. Reverberaatori mõju saab reguleerida heliülesvõtte käigus ja sel kombel hõlpsasti muuta üldist akustilist režiimi, luues huvitavaid kõla rikastavaid efekte.

Järelkõlaaja reguleerimiseks on kummalgi pool reverberaatori võnkeplaati heli summutavast materjalist kilbid. Kuigi need võnkuva metallplaadiga otseselt kokku ei puutu, mõjub kilpide lähedus siiski võnkumist summutavalt. Summutusplaatide nihutamiseks lähemale või kaugemale võnkeplaadist (seda teeb režiipuldil juhitud väike elektrimootor koos tiguajamiga) lüheneb või pikeneb reverberaatoriga saadav järelkõla.

Eespool kirjeldatud plaatreverberaator pole ainus seadis ruumikõla imiteerimiseks. Reverberaatoreid on ka lihtsamaid ja kergemaid ning mõningaid neist — terasvedrudega või magnetofoni printsiibil töötavaid — võivad ehitada koguni helilindistuse amatöörid ise.

Kolmekümnendatel aastatel tehti populaarse «raadioonu» Felix Moori lavastatud kuuldemängudes suurt kajavat ruumi järgmiselt. «Estonia» teatrihoonesse, kus tol ajal paiknes Riigi Ringhäälingu stuudio komplekt, paigutati mitmekümne meetri pikkuse keldrikoridori ühte otsa mikrofon, teise otsa valjuhääldi. Nendest kulgesid juhtmed ülakorrusel asuva stuudio režiipulti. Kui sooviti tekitada kajaefekti, suunati peamikrofoniga vastuvõtetu kahte harusse: üks läks otseselt saatesse, teine aga keldrivaljuhääldisse, sealt õhu kaudu helina teise mikrofonini ja sellest elektriliselt tagasi stuudiosse, kus see segustati algsaatesse. Keldris käinud heli hilines tublisti ja tekitas raadiokuulajates suurte mõõtmetega ruumi mulje.

Prahas 1923. aasta künnisel toimunud linnatöölise aktiivi suure koosoleku delegaadid olid rõõmsalt üllatunud, kui koosoleku juhataja teatas, et avakõnega esineb Vladimir Iljitš Lenin. Siis tõusis presiidiumilauast Antonín Zápotocký ning selgitas muheldes, et Iljitš saatis koosolekule vaid oma kõne, mida saab nüüd kuulata ilma kõneleja enese kohalolekuta. A. Zápotocký käivitas laual asuva grammofoni ja saalis kõlas Lenini hääl — ajaloolise tähtsusega kõne «Mis on Nõukogude võim?».

Vladimir Iljitš Lenin hakkas süstemaatiliselt kasutama helisalvestustehnikat rahva informeerimiseks ja massiliseks agitatsiooniks. Tänu sellele on heliplaatidel säilinud V. I. Lenini elavas esituses kolmteist kõnet, mis salvestati aastail 1919... 1921. Nende hulgas on «Mis on Nõukogude võim?», «Pöördumine Punaarmee poole», «J. M. Sverdlovi mälestuseks» ja rida teisi.

Muidugi on need heliplaadid, mis omal ajal levisid suurtes tiraažides üle kogu meie maa, salvestatud tänapäeva mõiste järgi väga puuduliku helitehnilise kvaliteediga. Pealegi on plaatide säilinud eksemplarid ja nende originaalmatriitsid rohkem kasutamisest kulunud.

Rühm nõukogude helitehnika ja helisalvestusala eriteadlasi võttis endale ülesande taastada sotsialistliku revolutsiooni suure juhi häält kandvad heliplaadid ning ühtlasi parendada nende kõlakvaliteeti.

V. I. Lenini kõnedega heliplaatide restaureerimine oli tehniliselt ülikeerukas ja palju tööd nõudev operatsioon. Omal ajal olid need salvestatud muidugi akustilisel meetodil: lehtrikujuline metallruupor «kogus» helilaineid ja suunas need membraanile, mille võnkumine kandus vahetult edasi vahast originaalplaadi pinnasse süvendit lõikavale terale. Mõõtmised näitasid, et plaadile oli salvestunud väga piiratud sagedusala, kusjuures üksikutes piirkondades ilmnevad salvestusaparatuuri ebatäiuslikkusest tingitud resonantsinähted. Viimased toovad teatava kõrgusega helisid teiste seast tugevamini esile, moonutades niiviisi üldist kõlapilti.

Vanade heliplaatide ümbervõtetel püüti neid endisaegse salvestuse iseloomulikke defekte kompenseerida, kasutades nn. elektrilisi korrektsioonifiltreid. Need vähendasid ümbervõtteaparatuuri võimendust sageduspiirkondades, milles eelneval

elektroakustilisel mõotmisel avastati resonantse, ja suurendasid võimendust nendel sagedustel, mis olid plaadile salvestunud normaalsest nõrgemini.

Omaette probleemiks kujunes plaatide kohalike mehhaaniliste defektide likvideerimine. Raginate kõrvaldamiseks tuli ükshaaval eemaldada või täita kõik kõrvalised pisikonarused ja lohud plaadi heliülesvõtet kandvas spiraalsüvendis. Iga plaadi spiraalsüvendi pikkus on suurusjärgus 200 meetrit. Selles ulatuses tuli mittevajalikke konarusi ja lohkusid likvideerida mikroskoobi abil ja millimeeterhaaval, määrata igal üksikjuhul, kas on tegemist defektiga või siiski vajaliku helivõnkumise jäljendiga.

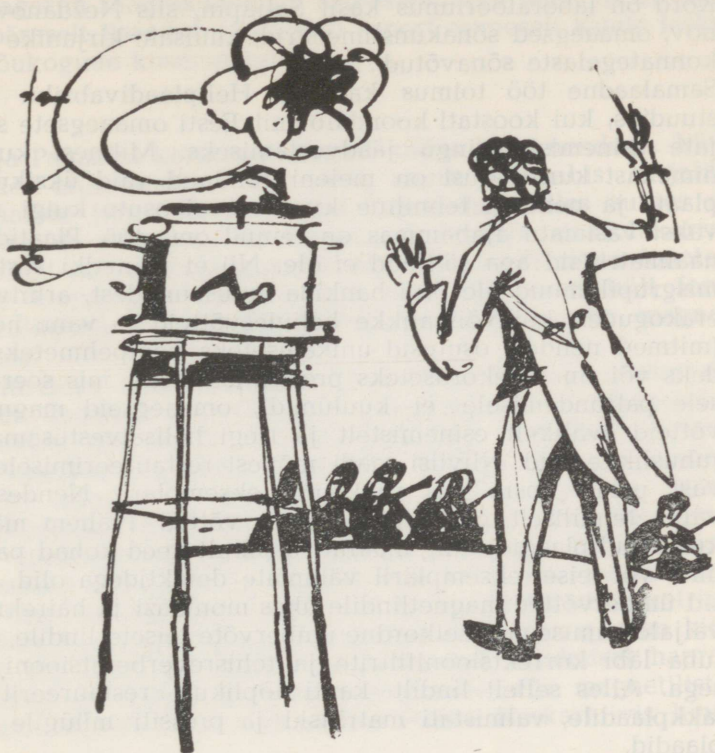
Taolisel moodusel «värskendatud» heliülesvõtted salvestati plaatidelt magnetlindile ning asuti nende kõla täpsemale korrigeerimisele. Töö lõppjärgus paluti appi ka vanu revolutsionääre, Lenini omaaegseid lähemaid kaastöölisi, kes hästi mäletasid Vladimir Iljitsi hääle tegelikku tämbrit.

Objektiivselt täpsustatud elektrilisi korrektsioone kasutati Vladimir Iljitsi Lenini kõnede heliplaatide uute tiraazide valmistamisel.

Samal teel parandatakse ka mineviku laulukuulsustest säilinud heliplaatide kõlaomadusi. Kui vanu heliülesvõtteid, näiteks Enrico Caruso lauldud plaate kuulata, siis võib tähele panna, et paljudel neist esitab isegi ooperiaariate saadet puhkpilli-ansambel. Nähtavasti valmistas normaalse sümfooniaorkestri kõla tasakaalustamine plaadile talletamisel grammofonitehnika algusaastatel ülepääsmatuid raskusi ja seepärast eelistati puhkpille.

Üldse oli vanasti heli salvestamine plaadile lihtne ainult seni, kui oli tegemist soolopaladega. Vähegi suuremad muusikakollektiivid olid helitehnikutele nuhtluseks: tuli kasutada hiiglaslikke kõlapüüdjaid ning keelpillidele monteerida ruupori-taolised plekist helisuunajad. Enamasti oli suuremate ansambelite jaoks kasutatav heliplaadistamisstudio juba ise ehitatud suure ruuporina, mis ühest küljest ahenes ülesvõtteaparaadi membraaniga lõppevaks toruks. Et niisugused vahendid salvestatud heli kvaliteeti just ei tõstnud, on muidugi pikemata selge.

Caruso heliplaatide kõla mõningaks kohendamiseks mängiti meile eelnenust juba tuntud mitmekordse salvestuse meetodil sellel leiduvale helile juurde uus orkestrisaade. Nii tekkiski kurioosum, et itaalia suurlaulja, kelle hiilgeajaks oli käesoleva



sajandi kaks esimest aastakümnet, «esineb» nüüd mitmel plaadil kaasaegse dirigendi juhataatava sümfooniaorkestri saatel!

Caruso häält «töödeldi» veel mitmeti: lisati kunstlikku reverberatsiooni (ruuporisse laulmisel see muidugi hoopis puudus), kasutati plaadikahinat summutavat filtrit ja muid elektroakustika vahendeid. Lõpptulemusena «noorenesid» Caruso plaadid tublisti ja võisid ülesvõtte tehniliselt kvaliteedilt hakata peaaegu võistlema oma järglase Benjamino Gigli plaatidega.

Moskvas Üleliidulises Heliülesvõttemajas on vanade heliülesvõtete restaureerimiseks loodud spetsiaalne, kõige täiuslikuma aparatuuriga varustatud laboratoorium. Üks staažikamaid helirežissööre, insener D. I. Gaklin on seal nagu võlur, kes päev päeva kõrval saadab korda imesid, luues «midagi eimillemiski».

Kord on laboratooriumis käsil Šaljapin, siis Neždanova, Sobinov, omaaegsed sõnakunstimeistrid, kuulsate kirjanike ja ühiskonnategelaste sõnavõttud...

Samalaadne töö toimus ka Riia Heliplaadivabriku Tallinna stuudios, kui koostati koondalbumit Eesti omaaegsete suurlauljate esinemisloomingu jäädvustamiseks. Mitmest kunagisest nimekast kunstnikust on meieni jõudnud vaid üksikuid heliplaate ja nende tehniline kvaliteet ei osutu kuigi rahuldavaks: väsimatu ajahammas on teinud oma töö. Plaatide originaalmatriitsid aga säilinud ei ole. Nii ei jäänudki restaureerimisgrupil muud üle kui hankida muuseumidest, arhiividest ja erakogudest kõikvõimalikke heliülesvõtteid — vanu heliplaate (mitmed nendest osutusid unikaalseteks poolpehmeteks plaatideks või nn. ühekordseteks prooviplaatideks, mis seeriaviisilisele paljundamisele ei kuulunud), omaaegseid magnetofoni-võtteid avalikelt esinemistelt ja isegi helisalvestusamatöörde juhuslikke töid. Niiviisi saadi mõnest restaureerimisele kuuluvast palast tosin või rohkemgi eksemplari. Nendest valiti välja tehniliselt paremini säilinud võtted (vähem mängitud-kulutatud plaadid) ning määrati üksikult need kohad palas, mis ühel või teisel eksemplaril vähimate defektidega olid. Järgnesid ümbervõtted magnetlindile ühes montaaži ja häirekrõbinat väljalõikamisega, veelkordne ümbervõtte teisele lindile, seekord juba läbi korrektsioonifiltrite ja tehisreverberatsiooni lisamisega. Alles sellelt lindilt kanti lõplikult restaureeritud pala lakkplaadile, valmistati matriitsid ja pressiti müügile tulevad plaadid.

Neljakümne laulu restaureerimiseks töötati läbi peaaegu kolmsada vana heliplaati! Tänu sellele on nüüd paratamatust hääbumisest päästetud elavad helimälestused meie kunagiste laulukuulsuste Olga Torokoff-Tiedebergi, Benno Hanseni, Karl Otsa, Jaan Haabjärve, Alfred Sälliku, Olga Mikk-Krulli, Ida Aav-Loo, Helmi Eineri, Aarne Viisimaa, Karl Viitoli ja mitmete teiste teedrajavatest saavutustest meie kutselise laulukunsti hälli juures.

Heliülesvõtete restaureerimine ja ulatuslikult korraldatud arhiveerimine nii Heliülesvõtte majas kui ka spetsiaalses Riiklikus Kino-Foto-Fonodokumentide Keskarhiivis ning teistes asutustes aitab säilitada mälestust mineviku suurtest inimestest, silmapaistvatest muusikutest, tähtsamatest sündmustest.

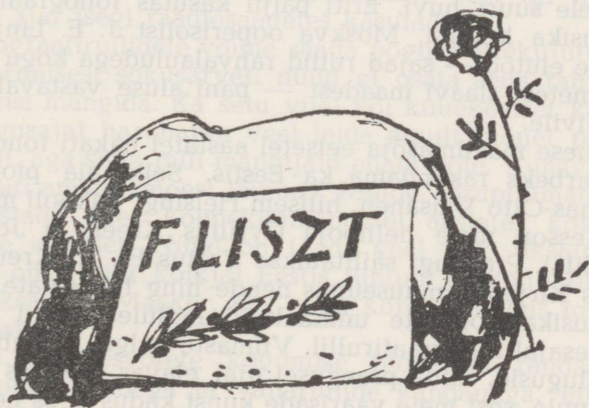
Kujutlege kas või seda, kuidas iga aastaga täieneb dokumentaalheliülesvõtete seeria kosmose vallutamisest, mida alustati

Juri Gagarini raadiokõneluste salvestamisega tema lennu ajal. Ootuspäraselt lisandub siia varsti raport esimeselt Kuule laskunud Nõukogude kosmonaudilt...

\*

Liszti ja Paganini kordumatu kunst kadus koos nendega. Meie päevade muusikasõpradele jääb ainult võimalus kirjalike memuaaride järgi nende mängu kujutleda. Selles suhtes on meie aegade muusikud võrreldamatult õnnelikumas olukorras. Möödunud sajandi lõpuaastatest tänaseni on maailma fonoteekidesse kogunenud loendamatud kunstiväärtused küll fonograafirullidena, heliplaatidena, helifilmidena kui ka magnetlintidena.

Heliarhiivides kestvamaks säilitamiseks määratud materjalid võetakse muudelt helikandjatelt reeglina ümber heliplaatidele ja hoitakse alal nende originaalmatriitsid ning galvanoplastilised tõmmised-negatiivid. Teatavasti tehakse heli salvestamisel plaadile, õigemini — plaatide paljundamisel, algfonogrammist metallkoopriad. Just see vahelüli plaatide tootmisprotsessis tagab mehhaaniliste heliülesvõtete säilivuse. Galvaaniliselt valmistatud tõmmised ei purune ega kulu, kui nendelt aegajalt taas galvaanilisel teel uusi koopiaid-pressimismatriitse võetakse. Metallipinnasse graveerituna säilib fonogramm kindlamini kui filmil ja lindil, mis kestvamal hoidmisel hapraks muutuvad ja kahjustavatele keemilistele või magnetilistele mõjudele alluvad. Nii säilitatakse Partei Keskarhiivis hinda-



matu väärtusega reliikviatena erilistes termostaatides rangelt püsivas temperatuuris ja keemiliselt inertses keskkonnas 11 vasest originaalmatriitsi V. I. Lenini heliplaadikõnedest.

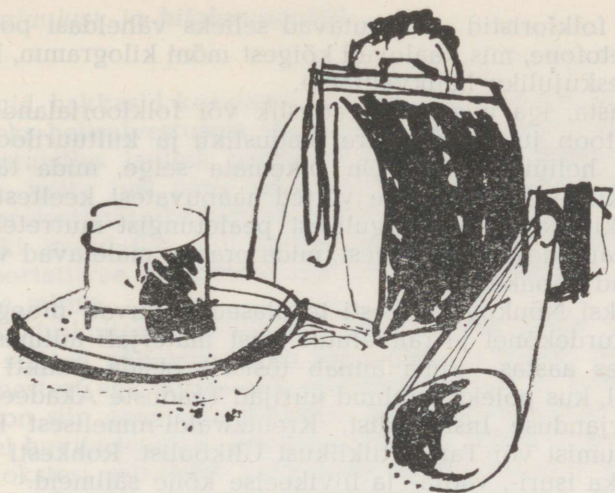
Hääli ei «konserveerita» arhiivides mitte ainult ajaloolistel või kultuuriloolistel kaalutlustel, vaid ka teaduse abistamiseks.

Pikkade sajandite vältel on inimeste mällu kogunenud tohutu repertuaar rahvajutte, -muistendeid ja -laule, mis kollektiivse loomunguna suust suhu, põlvest põlve edasi kanduvad. Kuid uued suhted ühiskonnas, tõtlikum elutempo ja mitmed teisedki tegurid soodustavad suulise rahvaloomingu unustusselangemist. Rahva vanavara päästmiseks hakati seda juba möödunud sajandil vahetu kirjapanemise teel koguma ja säilitama. Niiviisi tekkisid enamikul rahvastel oma rahvaluulearhiivid. Eestis pani sellele tööle ulatuslikuma aluse teatavasti dr. Jakob Hurt.

Muidugi võttis rahvaloomingu üleskirjutamine rohkesti aega ja põhjustas ebatäpsusi. Ei suuda ju ükski ülestähendus, olgu see siis varustatud mis tahes lisamärkidega hääldamisnüansside fikseerimiseks, anda tõetruud informatsiooni tegelikust hääldamisest. (Seesama esineb ka muusikas, kus noodistik ei saa edasi anda kuigi terviklikku pilti autori soovidest interpretatsiooni kõigi peensuste osas.)

Rahvaluule- ja keeleteadlased olid esimesed, kes rakendasid alles leiutatud ja levima hakkava fonograafi teaduse teenistusse. Juba 1882. aastal salvestas kuulus maadeuurija N. N. Mikluhho-Maklai fonograafirullidele Vaikse ookeani saarte elanike kõnet. Need ülesvõtted pakkusid hiljem Peterburi teadlastele suurt huvi. Eriti palju kasutas fonograafi vene rahva-muusika koguja, Moskva ooperisolist J. E. Linjova (Papritz), kelle elutöö — sajad rullid rahvalauludega kogu Venemaalt ja mitmetest slaavi maadest — pani aluse vastavale teaduslikule arhiivile.

Esimese maailmasõja eelsetel aastatel hakati fonograafi samaks otstarbeks rakendama ka Eestis. Selle ala pioneerideks olid Armas-Otto Väisänen, hilisem Helsingi ülikooli muusikateaduse professor, meie helilooja Cyrillus Kreek ja Johannes Muda (Helila). Praegugi säilitatakse Tartus Fr. R. Kreutzwaldi nimelises Kirjandusmuuseumis nende ning hilisemate rahvaluule ja -muusika kogujate unikaalseid heliülesvõtteid kokku umbes kuuesajal fonograafirullil. Viimaste hulgas leidub taolisi rahvapillilugusid, mida praegusel ajal elavas esituses enam kusagil ei kuule, sest meie vaarisade kunst kadus koos nendega.



Nagu jutustab üks juhtivamaid rahvaluuleteadlasi Herbert Tampere, on professor Väisänen rohkem kui poole sajandi eest fonograafirullidele talletanud muuhulgas ka Võrumaa kuulsat sokusarvemängija Jukk Akkermanni kogu repertuaari. Kuigi tollaegsete heliülesvõtete kvaliteet oli väga kõikumine, sest neid tegid üldiselt tehnikas vähekompetentsed filoloogid ja muusikud, on Jukk Akkermanni sokusarvelood jäädvustunud erakordselt kõlapuhtalt, nii et ümberlindistamise teel on neid saadud uuemal ajal isegi raadiosaadetes kasutada.

Tänu neile fonograafirullidele võime saada põgusa ettekujutuse õigest musitseerimisest sokusarvel: nüüd ei osata seda rahvapilli enam niiviisi mängida. Ka setu viie- või kuuekeelset kannelt võib praegusajal haruharva veel leida ainult mõnel pool aidaseina vahelt, aga selle pilli mängijaid enam pole. Kunagine torupill on samuti ammu «moest läinud». Muide, torupillimängu õnnestus salvestada veel kolmekümnendatel aastatel kolme osava pillimehe esituses. Nüüd on teada veel vaid üksainus rahvapillimees, omal ajal kõikjal Eestis tuntud Torupilli-Jussi vennapoeg Aleksander Maaker, kes nagu kord ja kohus torupilli mängida oskab.

Kui teaduslike heliülesvõtete kogumise pioneerid rändasid mööda maad fonograafidega ja vaharullide kandamiga, mida kokku tuli rohkem kui seljatäis, siis nende töö jätkajad — täna-

päeva folkloristid — kasutavad selleks väheldasi portatiivseid magnetofone, mis kaaluvad kõigest mõni kilogramm, kuid tagavad eeskujuliku helikvaliteedi.

Iga aasta, iga uus keeleteaduslik või folkloorialane ekspeditsioon toob juurde ülisuure teadusliku ja kultuuriloolise väärtusega heliülesvõtteid. On pikemata selge, mida tähendavad tuleviku teadlastele meie võtted hääbuvatest keeltest, normeeritud kirjakeele järkjärgulisest pealetungist murretele, samuti rahvalauludest ja -juttudest, mida praegu mäletavad veel ainult üksikud vanakesed.

Ainuüksi Nõukogude Eesti teadlased koguvad praegu helilindile murdekõnet ja rahvaluule-alast materjali mitmesaja tunni ulatuses aastas. Juba annab tõsiselt otsida punkti vabariigi kaardil, kus poleks viibinud uurijad Teaduste Akadeemia Keele ja Kirjanduse Instituudist, Kreutzwaldi-nimelisest Kirjandusmuuseumist või Tartu Riiklikust Ülikoolist. Rohkesti on lindistatud ka isuri-, vadja- ja liivikeelse kõne säilmeid.

Omapärast eesti keelele lähedast leivu murret on teadlased leidnud Läti NSV territooriumilt, Aluksne rajooni Paikna küla ümbrusest, kus see vanasti oli teravalt piiritletud «keeleasaarekesel» kõnekeelena käibel olnud. Kui Keele ja Kirjanduse Instituudi helisalvestusekspeditsioon lõpuks sinna jõudis, elas kahes naaberkülas kokku veel neli vanakest, kes oma kunagist keelt pisut mäletasid.

Peatselt selgus, et Jette Uķise ja Kārlis Būmansi lihtne usutlemine enam soovitud tulemusi anda ei võinud: lindile jäi ainult üksikuid sõnu ja lünklikke lauseid, mitte aga seotud kõnet. Siis tuli ekspeditsiooni juht, filoloogiakandidaat Salme Nigol mõttele viia kõik keeletundjad kokku: ainult see võis päästa neid soome-ugri keelte uurimise seisukohalt olulisi murde-materjale kindlast hävimisest.

Kollektiivselt meenus kõik hõlpsamini. Juba järgmisel päeval heietasid eided-taadid huvitavat jutulõnga ja lint lindi järel täitus leivu murdekõnega.

Ükski nendest vanakestest praegu enam meie keskel ei viibi, kuid nende hääled säilivad ja pakuvad kindlasti veel kauges tulevikuski rikkalikku materjali keeleuurijate teaduslikuks tööks.

Ornitoloogid hakkasid koostama lindude häälte kogu ja pöördusid selleks helisalvestusala spetsialistide poole. Kuid tiivulisi laulikuid studios laulma panna ei õnnestunud. Ehkki mõni nendest — mitte just päris omal soovil ilmus mikrofone ette, vaikis ta protestimärgiks kangekaelselt.

Ei jäänudki muud üle kui sulised laulikud taas lendu lasta ning ise portatiivse magnetofoniga neile metsadesse ja põldudele järele minna.

Matsalu looduskaitseala, Puhtulaiu ning Vaika saare kuulsa linnuriigi sulised põliskasukad on nii julged, et ennast heatahtlikest inimestest ega nende mikrofonidest häirida ei lase. Kuid laulikuid on siin enam kui külluses: igal puul vähemalt tosin. Muidugi ei huvita teadlasi antud juhul kinni püüda ühendkoori esinemist okstest estraadilt, vaid kõiki soliste ikkagi eraldi.

Kuidas toimida, et «koorist» eralduksid «solistid»? Mõttetu oleks kinnitada mikrofon mingi juhusliku puu latva ja jääda ootama juhust, millal vajalik lind satub küllalt lähedale laulma. Nii poleks vist kümne aastagagi suudetud täita uurijate poolt ettekirjutatud programmi. Pealegi on parem jätta mikrofon lauljatest aupaklikku kaugusse, et neid võimalikult vähe häirida.

Siin tekib kohe tehnilist laadi probleem. Tavaline mikrofon «kuuleks» sel puhul oma lähemast ümbruskonnast kõikide lindude hääli, tähendab, mikrofon tuleb muuta tundlikuks ainult ühest võimalikult teravalt piiritletud suunast saabuvale helile.

Mõnes mõttes saab mikrofonide suunamõju võrrelda fotoaparaatide objektiivide omadusega haarata vaatevälja kas laiemat või kitsamat sektorit. Esimesel juhul räägime lainurkobjektiivist, teisel juhul on tegemist teleobjektiiviga. Kui lainurkobjektiiv «joonistab» filmile ka lähedaselt distantsilt laia panooraami, siis teleobjektiivi kasutatakse fotograafias seevastu «pikksilmana», väikese ruumilise ulatusega kaugete objektide jäädvustamiseks suures mastaabis.

Astronoomid kasutavad taevaalaotuse uurimisel eriti kitsa vaatenurgaga peegelteleskoope ehk reflektoreid. Nende optiliste seadiste põhiliseks detailiks on suur paraboolpeegel, mis koondab kõik kaugusest saabuvad rööbitised valguskiired ühte punkti — fookusesse.



Kui valmistada samalaadne «peegel» helilainete jaoks ja selle fookusesse asetada mikrofoni, siis saamegi «teleobjektiiv» helide jaoks või «akustilise pikksilma» (kas ei peaks seda nime-tama hoopiski «pikk-kõrvaks»?).

Pisut lehitraolist ruuporit — kõnetoru meenutav abinõu annab tavalisele «lainurk»-mikrofonile (kui taas kasutada optikast üle-võetud terminit) küllaltki terava suunatuse. Lindude-solistide hääled salvestatigi helilindile paraboolse ruuporiga varustatud suundmikrofoni abil.

On olemas veelgi täiuslikumaid suundmikrofone. Need koos-nevad kinnisesse karpi suubuvate erineva pikkusega metall-torude paralleelsest kimbust (nendest lühim on kolme senti-meetri ja pikim kahe meetri pikkune) ning karpi monteeritud tavalisest mikrofonist. Selliste suundmikrofonidega saab mitme-kümnemeetriliselt distantsilt eraldada näiteks tihedast rahva-hulgast üksikisiku kõnet. Siiski pole head halvata: metalltorude kimbuga suundmikrofoni helikvaliteet jätab võrdlemisi palju soovida.

\*

Omamoodi hiiglaruuporit — hääle suunajat, millesse mahub terve laulupeo ühendkoor, kujutab Tallinna Laululava. Selle gigantne rippuv varikatus on konstrueeritud arvestusega, et ta suunaks kogu laval tekitatava hääle ühekordse peegeldumise järel pealtvaatajate poole.

Juhul kui käesoleva raamatukese lugejad näiteks ekskursantidena satuvad tühjale laululavale, võivad nad selle ehitise akustilistes omadustes veendumiseks teha järgmist.

Keegi mingi laululava «kurku» ning hakaku seal normaalse häälega kõnelema. Seda on valjult ning selgesti kuulda ka nii kaugel lava ees, kuhu tavalises olukorras hääli ootuspäraselt enam poleks küündinud. Muidugi õnnestub kirjeldatud katse siis, kui ümbrus on küllalt vaikne.

Laululava projekti väljatöötamisel lähtusid arhitektid ja ehitusakustikud helitehnilisest põhiülesandest — esinejate hääle koondamisest publikusse. Neid töid juhtis Tallinna Polütehnilise Instituudi dotsent, Nõukogude Eesti preemia laureaat, arhitektuuridoktor Helmut Oruvee. Nagu tavaliselt, tehti püstitatavast ehitisest ka sel puhul täpne vähendatud mõõtkavas mudel, et seda akustilisest seisukohast eelnevalt igakülgset katsetada.

Kuna heli peegeldumise ja valguse peegeldumise reeglid on samad (langev ning peegeldunud kiir ja langemispunktist peegeldavale pinnale tõmmatud ristsirge asuvad samal tasandil ning peegeldumisnurk on võrdne langemisnurgaga), siis võidi helikiire levimist lava mis tahes punktist uurida mudelitel optikameetodite abil — peene valguskiire ja peeglitega.

Lisaks sellele katsetati laululava mudeleid ulatuslikult heliga.

Et üks mudel oli valmistatud planeeritava originaaliga mõõtude vahekorras 1 : 100 ja teine 1 : 25, siis oleks tavalise, keskmise kõrgusega heliga katsetamine viinud väärtulemustele. Heli peegeldumine kulgeb ülalnimetatud reegli kohaselt vaid siis, kui helilaine pikkus õhus on väiksem peegeldava pinna mõõtmetest. Vastupidisel juhul niisugust peegeldumist esineda ei saa.

Madalaimad koori helis esineda võivad sagedused on suurusjärgus 60 hertsi. Nende puhul õhus tekkiva helilaine pikkus

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{340}{60} \approx 5,7 \text{ meetrit}$$

ongi laululava mudeli mõõtmatega samas suurusjärgus (valemis on  $c$  heli levimiskiirus õhus m/s. ja  $f$  — sagedus hertsides). Katsetel kasutati helisid, mille sageduspiirkonda oli koorilaulu sageduspiirkonnaga võrreldes tõstetud just samas vahekorras, nagu oli vähendatud maketi mõõtmeid võrreldes originaaliga.

Seega lühenesid lainepikkused, kooskõlastudes taas maketi mõõtmatega ja muutes akustilise olukorra selles samaks kui oli oodata laululaval.

Mõõtmistulemustele tuginedes tehti esialgses projektis mitmeid täiustusi ja täpsustusi, enne kui laululava hiiglakonstruksiooni tegelikult ehitama hakati. Siingi käidi vanarahva tarkussõna järgi, mis soovitab enne lõikamist üheksa korda mõõta.

Laululava koos lisaehitustega kujunes toredaks arhitektuuri-ansambliks ning selle eeskujulikud kõlaomadused tõid konstruktoritele õigustatud tunnustuse. Kuid sellesama laululavaga jäid raadio ja televisiooni helirezissöörid ja -insenerid 1960. aasta üldlaulupeol siiski lausa kimpu: äsjavalminud uus hiigelruupor oli arvestatud koori heli ühtlaseks paiskamiseks publikusse, aga hoopiski mitte laululavale paigutatud mikrofonidesse. Mida ka rohkete akustilistel eelproovidel ei katsetatud, kuidas ei proovitud muuta rohkete üksikmikrofonide asupaiku laululava astmetel — midagi eriti nimetamisväärset sellest välja ei tulnudki. Koori kõla ei omandanud heli-ülekanes ja -ülesvõttes seda massilisust ja kompaktsust, laulupeo miljöole omast kordumatut suurepärast hõngu, mida õigustatult oodati.

Järgmisel, 1965. aasta juubeli-üldlaulupeol oldi juba märksa kavalamad. Hiigelruuporist-laululavast sobivale kaugusele publiku keskele monteeriti kõrge post, mille otsa kinnitati teine, umbes poolteisemeetrise läbimõõduga paraboloidruupor. Selle fookuses asus mikrofon — täpselt samuti, nagu linnulaulu salvestamisel kasutati. Kogu see ehitis varjestati sissepuhuva tuule ebasoovitava mõju kõrvaldamiseks mitme kihi hõreda (ja seetõttu heli hästi läbilaskva) riidega. Nii vaatlesidki paljud külastajad seda riidesse mähitud vigurit kõrge posti otsas keset lauluväljakut ega osanud selle tegelikku ülesannet ära mõistatada.

Juba kõige esimesed katsed paraboloidpeegel-suundmikrofoniga andsid üllatuslikult häid tulemusi: koorid ning orkestrid kõlasid selles toredasti ja loomupäraselt tasakaalustatutena, kom-

paktselt ning mahlakalt. Kohati tuli küll sellesse üldmikrofoni «vangistatud» helile siit-sealt kaasa aidata vahetult laululavale paigutatud lisamikrofonide juurdelülitamisega, kuid üldise kõlapildi kujundamisel heliülekandes domineeris ikkagi ruupor-mikrofon.

### *Elektronidel on kaunis lauluhääli*

Vist iga koorilaulja-isetegevuslane on kogenud, millist efekti annab õige hääleseade. Ent ka elektronidele võib anda hääleseadet, neid «laulma õpetada». Esimesena tegi seda nõukogude insener.

1921. aasta oktoobris toimunud VIII ülevenemaalisel nõukogude konverentsil oli arutluse põhiobjektiks GOELRO plaan. Kuid selle kõrval tutvuti ka mitmete teiste elektrotehnika probleemidega. Ettekandega oma leiutisest ja ülevaatega elektri kasutamisest muusikas esines delegaatidele esimese nõukogude elektrimuusikainstrumenti konstruktor, raadioinsener L. S. Termen. Ta demonstreeris pilli, mille viulit või tšellot meenutava liugleva heli kõrgus ja valjus sõltusid mängija käte asendist instrumenti kaanele monteeritud kahe metallvarda, n.-ö. antenni suhtes, millega mõjustati varraste elektrimahtuvust. L. S. Termen esitas uudsel pillil mitu pala. Konverentsi delegaadid olid väga huvitatud andeka inseneri töödest ja ajaleht «Izvestija» nimetas tema instrumenti, mis hiljem sai laialdaselt tuntuks, «Termenvox'iks».

Ka V. I. Lenin huvitus elektrimuusikainstrumentidest. 1922. aasta algupäevil palutigi L. S. Termeni demonstreerida Kremli Vladimir Iljitšile juba detailsemalt oma töid. Leiduri mälestused sellest kohtumisest näitavad, millise huvi ja poolehoiuga V. I. Lenin suhtus kõigesse uudsesse tehnikas, teaduses ning kunstis.

L. S. Termen kirjutas: «Ettenähtud ajal sõitsin Kremli, et demonstreerida «Termenvox'i» kui muusikainstrumenti. Meid juhutati suurde kabinetti. Asetasin oma aparaadid lauale. Varsti toodi kabinetti klaver: mäng «Termenvox'il» meenutab sõnadata laulmist ja seetõttu oli soovitatav esineda klaveri saatel.

Tuli nooruke tütarlaps, kes osutus heaks pianistiks. Alles hiljem sain teada, et minu kontsertmeistriks oli Lenini sekretär Lidia Aleksandrovna Fotijeva. Tal oli konservatooriumiharidus klaveri erialal ja Vladimir Iljitš, kellele teatati, et vajan klaverimängijat, palus teda mind abistada.

Vladimir Iljitš Lenin viibis sel ajal Ülevenemaalise Kesktäitevkomitee istungil ja me ootasime kaua tema ilmumist. Äkki avanes uks ja sisenes Lenin koos mitme teise Kesktäitevkomitee liikmega. Pärast oma seadme talitluspõhimõtte selgitamist hakkasin «Termenvox'il» mängima. Esitasin, nagu mäletan, Saint-Saënsi pala «Luik», Skrjabini «Etüüdi» ja Glinka laulu «Lõoke».

Pärast «Lõokest» tuli Lenin minu juurde ja ütles: «Lubage, ma proovin ise,» ning astus instrumendi ette. Algul ma kartsin, kas ta suudab kohe saada puhtaid noote. Seepärast asusin Vladimir Iljitši taha ja hakkasin ta käsi juhtima. Juba teise muusikalise fraasi ajal veendusin, et Lenin suudab mängida ise, ilma minu abita, ja vabastasin vähehaaval ta käed. Ta lõpetas meloodia edukalt tormilise ovatsiooni saatel.

Pärast seda lausus V. I. Lenin kõigile kabinetis viibivatele Ülevenemaalise Kesktäitevkomitee liikmetele, kellest ma näo järgi tundsin vaid M. I. Kalininit: «Näete, ma ütlesin, et elekter võib luua imesid! Olen rõõmus, et just meil ilmus selline elektrimuusikariist.»»

Sellest on möödunud juba üle neljakümne aasta. Tehnika võidukäik on oma jälje jätnud ka muusikalisse interpreteerimiskunsti. Uue ajastu üha arenevad väljenduslik-esteetilised nõuded on lasknud klassikaliste, juba sajandeid tuntud ja mitmelgi puhul peaaegu muutumatutena püsinud pillide kõrvale ilmuda ka sootuks uue konstruktsiooni ning toimimispõhimõttega muusikainstrumente. Taoline arenguprotsess, uudsete väljendusvahendite otsimine — ja leidmine! — muusikas, nagu üldse kunstis, on täiesti seaduspärane nähtus.

On täiesti väär arvata, nagu oleks muusikainstrumentiehitus millegipärast just meie aegadeks saavutanud selle ülima täiuse, millest edasiminekut enam pole oodata. Ei ilmunud ju näiteks meie tänapäeva orkestri koosseisu kuuluvad instrumendidki ühekorraga, vaid läbisid pika arengutee, muutusid, täiustusid, langesid tihti ajaloo kolikambri tolmu, sündisid palju aastaid hiljem uuesti.

Uue otsingud muusikas, instrumentide uudsete helivärvingute loomisel, mängimistehnika lihtsustamisel ja kõlajõu suurenda-

misel on viinud meid elektronide abil tekitatavate sünteetiliste helide maailma.

Mida põhimõtteliselt uut on elektronpillid toonud muusikasse? Sellele vastamiseks peaksime põgusalt tutvuma nende talitlus-põhimõttega ja võrdlema seda «tavaliste» muusikainstrumentide omaga.

Eelnenust teame, et muusikariista heli iseloomustab kõrguse ja tugevuse kõrval igale pillile iseloomulik kõlavärving ehk tämber, mis on tingitud põhitooniga kaasnevatest ülemtoonidest. Heli kõrgus oleneb põhitooni sagedusest, tugevus — võnkeamplituudist.

Mainitule lisandub veel hulk füüsikalisi tegureid, mille koostõju loobki kuulajatele mulje iga konkreetse pilli helist.

Heli tekitamise ja kõlavärvingu kujunemise protsess «tavali-ses» muusikainstrumentis kulgeb üldjoontes järgmiselt. Mingil viisil (võnkuva keele, keeriselise või katkendliku õhuvooluse, membraanile mõjunud löögi vms. teel) esile kutsutud helisageduslik võnkumine satub mehhaaniliste ja akustiliste resonaa-torite ning filtrite süsteemi ning kiirgub seejärel õhuvõnku-mise, s. o. heli energiana laiali. Resonaatorid ja akustilised filtrid mitmesuguste kõlalaudade, tühikute, võnkumist kand-vate detailide jms. näol omavad mingis kitsamas sagedusribas avalduvat resonantsi ja filtreerivat mõju, mis toob mõningaid põhitooniga kaasnevatest harmoonilistest võnkumistest forman-tidena teistest rohkem esile, mõningaid aga summutab sootuks. Huvitava ja olulise tõigana võiks märkida, et sagedused, mille ümbruses formandid ilmuvad, on enamikul pillidel individuaal-selt muutumatud ega sõltu põhitooni kõrgusest. Seega säilib instrumendi iseloomulik formantstruktuurist tingitud kõlavär-ving ka põhitooni muutmisel, olles mingi pilli erinevatel eksemplaridel ühesugune.

Metallpuhkpillidel heliseb kaasa ka nende korpuse materjal: selle võnkumisel tekivad kaastoonid, mis on seda tugevamad, mida väiksem on materjali sisehõõrdumisest tingitud sumbuvus. Kuna metalltorude kaastoonid ei tarvitse üldse olla toru sise-muses tekitatava õhuvõnkumise harmoonilised (pillis tekitatava heli loomulikesse ülemtoonidesse reastuvad), siis muutub heli otsekohe «karedaks». Kui materjali sisesumbuvus on eriti väike, nagu omal ajal asjatundmatult oreliviledeks soovitatud alumiiniumil, siis pole see vilede ja puhkpillide ehitamiseks üldse kohane. Tsink ja vask on oma «iseloomult» tublisti roh-kem summutatud ja nende puhul pole heli nii kare, kuigi kaas-

toonid tähelepanelikumal kuulamisel siiski pisut segavateks võivad osutada. Orelehitajad on juba ammu leidnud viledeks sobivaima materjali teatavas inglistinasulamis, nn. orelimetalis. Selle sisesumbuvus on küllaldane, et mitteharmoonilised komponendid helis segavateks ei kujuneks, vaid hoopiski elustaksid seda soodsalt mõjuva, täpselt doseeritud lisandiga, oma-moodi «vürtsiga». Oreli mõnede registrite puhul on aga vilede materjalina leidnud kasutamist inglis- ja seatina sulam, milles igasugune sisevõnkumine praktiliselt otsekohe tekkemomendil sumbub. Sel puhul puuduvad vile helis mitteharmoonilised komponendid täielikult (kui mitte arvestada õhuvooluga kaasnevat kahinat) ja üldine kõlapilt kujuneb erakordselt tasakaalustatuks ning rahulikuks.

Veel üheks asjaoluks, mis kujundab muusikariista heli iseloomu, tuleb pidada nähtust, et ükski heli ei teki kunagi ajaliselt muutumatu võnkumisena. Mitmetel instrumentidel (löökpillid, klaver) hakkab heli pärast tekkimist ühtlaselt vaibuma. Lisaks sellele jaguneb võnkumisenergia pilli mitmest resonatorist moodustavas keerulises mehhaanilis-akustilises süsteemis perioodiliselt ümber: kandub ühest resonatorist teise ning tagasi jne. Tulemusena hakkab ka muusikariista pidev heli «elama» — tema formantstruktuur allub omapärasele muutumisele, «pulseerib».

Katsed näitavad, et ainuüksi kõlavärvingu kaudu, kuulmata pideva heli tekkimist ja vaibumist (mis samuti on iga pilliliigi ja sageli ka mängimistehnika puhul erinevad), pole mõnel puhul üldse võimalik määrata, millise muusikariista heli kuuleme. Kui magnetlindile tehtud heliülesvõttel näiteks viiuli või flöödi pika heli algusmoment ja vaibumine ära lõigata, siis kaotavad järelejäänud osad, vaatamata küllaltki suurele objektiivsele erinevusele heli formantstruktuuris, iseloomuliku viiuli- või flöödikarakteri. Kõrv seostab nii formantidest tingitud tämbri kui ka mitmesugused heli tekkimist ja vaibumist saatvad akustilised nähtused ühiseks mõisteks mingi konkreetse pilli helist. Üheks määravaks asjaoluks on siin heli tekkimise ja vaibumise kiirus.

Elektronmuusikainstrumentides imiteeritakse puhtelektriliselt enamikku tavalistes pillides esinevatest mehhaanilis-akustilistest protsessidest. Võnkuvat pillikeelt asendab generaatorlülituses töötav raadiolamp või transistor, mis toodab vajalikule muusikalisele toonile vastava sagedusega elektrivõnkumist. Resonantspindu ja -õõsi asendavad elektrifiltrid, mis annavad

generaatori ülemtooniderikkale vahelduvvoolule formantstruktuuri. Heli tekkimise ja vaibumise kiiruse (näiteks klahvi vajutamisel ja vabastamisel) määravad erilised takistust ja mahtuvust sisaldavad vooluringid. Elektronpilli tegelik heli muutub aga kuuldavaks siis, kui allavajutatud klahvidele vastavates generaatorites tekkinud ja vajalikud filtrid läbinud vahelduvvoolud pärast võimendamist valjuhääldisse juhitakse.

Tänapäeva elektronmuusikainstrumentid jagunevad ühe- ja paljuhäälsseteks, seega soolo- ja akordpillideks. Esimestel saab korraga tekitada ühtainust heli, näiteks mängida ühehäälsset meloodiat, kuna teised sobivad mängimiseks ka akordides ja mitmehäälselt.

Ühehäälssete pillide enamik imiteerib olemasolevate muusikaariistade helisid. Üht ja sedasama elektriinstrumenti saab — enamasti mängutehnikat muutmata — kasutada sageli mis tahes orkestri pilli asendajana, kuid ka uute kõlavärvingute allikana. Nendega pole raske luua kõlalisi kompromisse — anda helile näiteks täpselt klarneti tämber, kuid mängida seda «klarnetit» sootuks viulitehnikas, sõrmevibratsiooniga ja glissandodega (heli liuglemistega toonist tooni).

Ühehäälssetest paljutämbriolistest elektronpillidest on õnnestunud näokogude konstruktorite A. Rimski-Korsakovi, A. Ivanovi ja A. Volodini tööd. Esimesed mainitutest on loonud mitmed «Emiritoni» mudelid, viimane ehitas elektronmuusikainstrumentid «V-1» kuni «V-9», mis võimaldavad hämmastavalt tõetruult imiteerida iga pilli sümfooniaorkestri koosseisust, alates pikoloflöödist ja lõpetades suurte kateltrummide — timpanitega.

Paljuhäälsed elektronmuusikainstrumentid on kõlalt sageli lähedased orelile ja neid valmistatakse isegi kontsertorelite täisväärtuslike asendajatena. Õigeks suunaks paljuhäälssete «elektronorelite» loomisel ei ole mitte niivõrd olemasolevate pillide imiteerimine, kui just täiesti uute efektsete kõlavärvingute paleti loomine, mida vajab tänase ja homse muusika.

Võrdlemisi levinud on Saksa Demokraatlikus Vabariigis seeria viisiliselt toodetav portatiivne elektronpill «Ionika». Kompaktusest hoolimata on see üsna mitmekülgne instrument, mis väikeste estraadiansamblite koosseisus avardab tunduvalt nende muidu võrdlemisi piiratud kõlavärvingute skaalat.

Eesti NSV-s ehitatud elektronmuusikainstrumentidest mainigem 1961. aastal Tallinna Raadiomaja suurde stuudiosse püstitatud universaalset elektronorelit «Varioola». Selles paljukasutatavas

kontsertpillis on üle saja raadiolambi ja ligi kolmsada pooljuhtseadist. Mängida võib kolmel manuaalil (kahel klaviatuuril ja ühel «keelel»; viimast saab kasutada viiulimängutehnikas). «Varioola» kõlab peaaegu tõelise orelina, nn. kinoorelina, kellamänguna, isegi klavessiinina; küllaldase täpsusega saab imiteerida mitmete orkestriinstrumentide tämbreid ja anda rohkesti täiesti originaalseid kõlavärvinguid. Sujuvalt saab üle minna ühelt tämbriolt teisele, kasutada vibraato- ja tremoloefekte ning soovi kohaselt valida heli tekkimise ja vaibumise iseloomu.

Seni kasutatud elektronmuusikainstrumentide peamiseks puuduseks ongi olnud tooni tekkimise ja vaibumise iseloomu vähene allumine mängija soovile. Heli tekib kas järsult, kohe kui klahvile vajutame, ja katkeb niisama äkitselt selle vabastamismomendil, või mingi konstantse, reguleerimisele mittealluva viivitusega. Esimesel juhul sobib pill üksnes kiireiseloomuliste džässipalade mängimiseks, kuna aga aeglaste, meloodiliste helitööde, samuti klassikaliste teoste esitamist segab see tunduvalt. Teisel juhul seevastu ei taha vähegi kiiremad palad enam välja tulla.

«Varioola» konstruktoritel õnnestus muuta heli tekkimine ja vaibumine paindlikult reguleeritavaks ja seega alluvaks pala iseloomule.

Selle raamatukese kirjutamise ajal on «Varioola» tunnistatud suurimaks ja täiuslikemaks kõigist Nõukogude Liidus ehitatud samalaadsetest pillidest ning mitmed tema lülitustehnilised iseärasused on äratanud õigustatud huvi ka välismaa spetsialistide hulgas.

Kui «Varioola» on suuruse tõttu unikaalne paikkindel kontsertinstrument, siis raadiotehase «Punane Ret» talendika konstruktori Heino Kalmo portatiivsed elektripillid «Retakord» on mõeldud just seeriatootmiseks ja laiatarbeliseks kasutamiseks.

### *Milleks kaks kõrva?*

Peatuge korraks teeveerel, sulgege silmad ja oodake, kuni möödub mõni sõiduk. Te võite ainuüksi kuulmismulje kaudu absoluutse kindlusega määrata, kustpoolt see tuli ja kuhu läks.

Edasi sulgege tihedalt üks kõrv ning pöörduge just selle küljega tee poole. Nüüd on liiklusvahendite sõidusuuna määramine muutunud palju raskemaks: ligi pooled katsed annavad ebaõige tagajärje.

Veel üks näide. Avage tänavale suubuv aken ja asetuge ise toa sügavusse, aknast võimalikult kaugele. Isegi kahe kõrvaga kuulates (nägemist abiks võtmata) ei saa kindlaks teha, millises suunas üks või teine helitekitaja tänaval liigub, vasakult paremale või vastupidi. Aknast läbi tulles kaotab heli oma esialgse suuna ja saabub kuulajani ainult ühest kindlast suunast — aknast.

Võib-olla istute kontserdisaali esimestes ridades. Proovige koraks: te saate ka kinnisilmi hõlpsasti otsustada, kuidas orkester laval paikneb. Viiulid kostavad sellest suunast, vaskpuhkpillid on teiste taha laiali laotatud, kontrabassid kõlavad siit servast, harf asub seal... Ja kava juhtiv teadustaja tuleb lavale keskele vasakult, teadustab ning lahkub samale poole.

Spetsialistid ütlevad selle kohta, et heliallikaid saab binauraalse kuulmise teel lokaliseerida. Sõna «binauraalne» võib tõlkida kui «kahe kõrva kaudu», «lokaliseerima» — asukohti kindlaks määrama.

Samuti nagu kaks silma võimaldavad meil ümbrust näha stereoskoopiliselt (plastiliselt, ruumiliselt) ja orienteeruda kaugustes, nii laseb ka heli üheaegne tajumine kahe kõrva kaudu küllaltki täpselt määrata heliallika asukohta ja liikumist, või õigemini — heli saabumise suunda.

Kui heli jõuab kuulajani otse eest, siis langeb ta kummassegi kõrva täpselt üheaegselt ja võrdse tugevusega. Teised suunad määratakse kindlaks kõrvadesse langeva heli intensiivsuste ja kõlapildi erinevuste ning ajalise nihke alateadliku analüüsimise teel. See kõrv, mis on suunatud rohkem heliallika poole, võtab vastu intensiivsemat heli kui teine, mis jääb pea varju. Veelgi olulisem on siin ajaline nihe, mis on põhjustatud heliallika kauguse tühiselt väikesest erinevusest kummagi kõrva

suhtes. Tekkivad vahed ei ületa 0,5 millisekundit ( $\frac{1}{2000}$  sekundit;

see tuleneb heli levimiskiirusest ja kõrvade keskmisest vahekaugusest, milleks loetakse 17 sentimeetrit:

$$\frac{0,17}{340} = 0,0005 \text{ sekundit}).$$

Tänu sellele kuulmistaju iseärasusele saab igal sammul ümbritsevast helideküllusest selektiivselt «välja kuulata» just huvitavaid või vajalikku heli. Näiteks viibite paigas, kus paljud läbisegi kõnelevad. Teile ei tekita aga peaaegu mingit raskust kontsentreerida oma kuuldelist tähelepanu konkreetsele keskustelule, ehkki mitmed naabritest võib-olla isegi teie vestluskaaslasest märksa valjemini kõnelevad. Teil tarvitseb niisugusel puhul katseks sulgeda üks kõrv... ja keskustelu jätkamine muutub palju tülikamaks: suunataju halvenemise tõttu hakkavad teised kõnelejad nüüd märksa rohkem segama.

Samalaadne olukord esineb ka siis, kui ühe kõrva abil püüate määrata sõiduki möödumissuunda või kui kuulate muusikat tavalise heliülekande kaudu. Paljude orkestriinstrumentide üheaegsele koosmängule vaatamata võib kontserdisaalis viibides raskusteta jälgida iga pilli või pillide rühma mängu; ka siis, kui see momendil ei kannu mingit olulist meloodilist joont või karakterset rütmikujundit. Muusika tundub selgena, läbipaistvana. Aga juhul kui kuulete sama kontserdi raadioülekanne? Kõigi pillide kogukõla näib väljuvat ühest ja sellest samast punktist — vastuvõtja valjuhääldist. (Teataval viisil on tekkiv akustiline olukord lähedane eelmistel lehekülgedel toodud näitega tänavaliikluse mürade kuulamisest avatud akna kaudu.) Palju ei aita ka mitme ruumis laiali paigutatud valjuhääldi kasutamine, sest igaüks nendest hakkab ikkagi kiirgama sedasama orkestri kogukõla. Niiviisi hävib igasugune suunataju. Jääb vaid mulje, nagu väljuks kogu helidevoog valjuhääldist kui mingist «august, mille taga on kontserdisaal», kuid on kadunud võimalus pillide suvaliseks jälgimiseks. Selles ongi põhjus, miks heli reprodutseerimine ühes (või mitmes rööbiti töötavas) valjuhääldis, olgu kuitahes kvaliteetse aparatuuri puhul, ei saa nõudlikumat kuulajat täielikult rahuldada. Muusika reprodutsioon jääb ikkagi häguseks, kaotab suurema osa oma loomulikust läbipaistvusest ja annab aset mingile mitte-diferentseeritavale summaarsele «orkestrikõlale». Niisugusena oleme harjunud kuulma tavalist, nn. monofoonilist heliülekanne raadiosaadetes ja heliplaatidel ning seda võiks võrrelda olukorraga, kus muusikat kuulatakse kontserdisaali ukse taga — läbi lukuauku.

Seda monofoonilisele heliülekandele omast puudust aitab tublisti leevendada helirežissööri oskus tuua vähemalt kõige olulisemaid jooni muusika üldfooni seest õigel ajal ja parajas kõlavahekorras esile. Just seepärast ongi tarvis helisalvestuse

või -ülekande käigus pidevalt muuta orkestripillide kõlatasakaalu, dirigendi tegevust omamoodi «rõhutada».

Viimane aastakümme on helitehnikasse juurutanud uue mõiste — stereofoonia. See meetod on juba alustanud ilmset võidukäiku ja praegu toodetakse kõikjal maailmas rohkesti stereofoonilisi heliplaate, elektrigrammofone, magnetofone ning raadiovastuvõtjaid. Ilmsete eeliste tõttu helikvaliteedis, mis eelkõige avalduvad just muusika ülekandel, on nii stereofoonilisel ultralühilaine-ringhäälingul kui ka grammofoniplaadil suur tulevik. On vaid aja küsimus, millal kõiki kauamängivaid heliplaate ja ultralühilaine ringhäälinguprogramme hakatakse väljastama üksnes stereofoonilistena.

Kuigi tavaline, seni kasutusel olnud monofooniline (ühekanaliline) heliülekanne on kõrge täiuslikkuse saavutanud ning võimaldab heli salvestada, säilitada, üle kanda ja reprodutseerida praktiliselt moonutusvabalt, hävib selle süsteemi puhul paratamatult heli loomulik ruumilisus, panoraamsus, ehk nagu seda tabavalt on nimetama hakatud — akustiline perspektiiv.

Tänu ruumilise helipildi küllaltki täpsele säilimisele stereoülekande reprodutseerimiskohas saab kasutada selektiivset kuulmist, eristada üksikute heliallikate näilist paiknemist ruumis ja tajuda kõike seda originaalile lähedases akustilises perspektiivis.

Eksiarvamise vältimiseks võiks siiski lisada, et stereofoonilise ülekande eeliseks ei tule pidada mitte niivõrd üksikute heliallikate (näiteks orkestripillide) täpse paiknemise määratavust, kui just kogu ülekande suuremat terviklikku esteetilist nauditavust. Stereoülekande või -helisalvestuse kuulaja nagu «sukelduks» ümbritsevate helide tulva, saades sellest peaaegu samaväärse muusikalise elamuse nagu vahetult kontserdil viibides.

Tavalise, monofoonilise ja stereoheliülekande tajumuslikku erinevust võib üsnagi kujukalt iseloomustada järgmine, kuigi väga kaudne võrdlus. Kui põleb tavaline elektrihõõglamp, siis annab ta küll valgust (ja soojustki), kuid tema puhul ei saa tunnetada elava tuleleegi hõngu, selle kordumatut võlu. Seda sama võib lausuda ka muusika reprodutseerimise kohta monofoonilises heliülekanDES, kus rida tarvilikke mõjukomponente ei saa maksvusele pääseda. Seevastu stereoheliülekanne on midagi — muidugi ülekantud tähenduses — elava leegi taolist.

Kuidas teostatakse stereofoonilist ülekannet ja salvestust?

Ringhäälingu- ja heliplaaditehnikas kasutatakse kahekanalilist stereofoonilist süsteemi, mille puhul heli salvestamine ja ülekandmine toimub kahe täiesti iseseisva, kuid identse monofoonilise seadmestiku — ülekandekanalid kaudu. Mõlemal kanalil on needsamad elemendid, millega toimub ka monofooniline ülekande või salvestus — mikrofon, võimendi, valjuhääldi. Üksnes saatja ja vastuvõtja (ringhäälinguülekande puhul) või helikandja — magnetlint, heliplaat (helisalvestuse puhul) on kanalitel ühine, ehkki kummagi kanali osas sõltumatult kasutatav.

Põhimõtteliselt lihtsaimal juhul toimub stereofooniline heliülekande järgmiselt. Studios asetatakse ühe ülekandekanalid mikrofon esinejast (näiteks orkestrist) vasakule ja teise kanali mikrofon paremale. Heli reprodutseerimiskohas tuleb kaks valjuhääldit samal viisil paigutada — üks kuulaja suhtes ette diagonaalselt vasakule ja teine paremale.

Studios tabab iga üksiku pilli heli kumbagi mikrofonid ja osutub vastavalt kuuldavaks ka kummaski valjuhääldis, kuid üldiselt erineva tugevuse ja teatava ajalise nihkega. Kõrv muundab need pisierinevused suunatajaks.

Heli tugevus kummagi kanali valjuhääldis osutub võrdseks ja ajaline nihe puudub nende heliallikate puhul, mis studios asuvad mikrofonide keskjoonel. Kuulajale jääb sel puhul illusioon heliallikast, mis paikneb näiliselt reprodutseerimisruumis (või isegi sellest väljas) kummagi valjuhääldi vahel.

Nende heliallikate puhul, mis ei asu studios mikrofonide keskjoonel, on akustiline olukord muidugi sootuks teine. Mikrofonile lähemal asuvas valjuhääldis tekib valjem heli; samuti lähtub heli sellest pisut varem kui kaugemale mikrofonile vastavast valjuhääldist. Kuulamisel jääb mulje, nagu asuks heliallikas küll suunaga kummagi valjuhääldi vahel, kuid siiski rohkem ühes servas.

Ringhäälingus kantakse kummagi stereokanalid signaalid üle üheainsa saatja abil. Leningradi teadlase L. M. Kononovitši juhtimisel väljatöötatud stereofoonilise ringhäälingu süsteem annab võimaluse neid saateid tavalistes vastuvõtjates ka monofoonilistena kuulata. Stereofoonia juurutamise perioodil, mil paljudel pole veel spetsiaalseid vastuvõtjaid, on see suur hüve.

Siin on paras juhused märkida, et stereofoonilist ringhäälingu-ülekannet katsetati meie vabariigis juba võrdlemisi varakult. Laskem sellest kõnelda ühel lõigul A. Kaskneeme artiklist

«Ruumiline heli», mis ilmus ajakirjas «Tehnika ja Tootmine» (nr. 11, 1958. a.):

«Ruumilise heli katsetest Eestis. Käesolevale allakirjutanu meenutab siinkohal ühte — kui mitte maailmas esimest, siis ometi meie kandis esimest — stereofoonilise raadiosaate proovi, millest äsja möödus kakskümmend aastat. Tolleaegne kodanliku Eesti Riigi Ringhääling omas Türi ja Tallinnas ringhäälingusaatjaid ja stuudiot ning tehnilist talitust «Estonia» teatrihoones. Suuremõõtmelised muusikaülekanDED toimusid suurest stuudiost, «Estonia» saalist. Käesoleva autori ettepanekul sooritati novembris 1938. a. alljärgnev mitteametlik katse. Saalis poodiumil mängiva tantsuorkestri ette paigutati kaks mikrofoni, kummagi mikrofoni vastuvõtt ei suunatud üle elektronsegustusastme ühisesse võimendajate-süsteemi nagu tavaliselt, vaid võimendati eraldi võimendajais ja juhiti üks Tallinna, teine Türi raadiosaatjasse. «Estonia» viiendal korrusel asetsevas Ringhäälingu laboratooriumis häälestati kaks võrdsete omadustega raadioaparaati, üks Türi, teine Tallinna saatjale. Kogu katset juhiti laboratoorium-stuudio vahelise telefoniühenduse abil. Mikrofonid orkestri ees paigutati teineteisest umbes poolemeetrise vahemaa kaugusele ja laboratooriumis tehti samuti raadiovastuvõtjatega. Saade suunati kummagi saatja kaudu «eetrisse», vastuvõtjate helitugevus reguleeriti võimalikult võrdseks ning asuti stereofoonilist heli vastu võtma. Millist efekti saavutati? Algul mitte mingisugust, ja nii katse sooritajad kui ka ettepaneku tegija olid sellest väga pettunud. Viimaks meenus laboratooriumi juhatajale Stürmerile, et — kas vastuvõtjate valjuhääldajate membraanid töötavad ka faasis, s. t. kas neil on ühel ja samal helilaine harjal ühesuunaline liikumine. Selgus, et valjuhääldajad olidki «erifaasilised». Viga kõrvaldati ühe valjuhääldaja otste ümberjootmisega. Tulemus siiski ühtegi laboratooriumis olijat ei rahuldanud, tekkisid isegi vaidlused. Üks arvas kuulvat stereofooniliselt, teine mitte ja kolmas jäi erapooletuks. Lõpuks — kui raadioaparaadid ümber häälestati, seni paremal asetsev aparaat Türi asemel Tallinnale ja vasakpoolne Tallinna asemel Türi saatjale, oli efekt täielik (sama oleks võidud saavutada ka raadiovastuvõtjate ümbertõstmisega — tähtis oli, et vasakpoolse mikrofoni vastuvõtt väljuks vasakpoolsest raadioaparaadist, parempoolse mikrofoni oma — parempoolsest). Stereoefekt oli üle ootuste ja üllatavalt täielik. Silmi kinni pigistades võidi otse oma kõrvaga «näha», et viiul mängis siinpool, saksofon

seal ja klaver teal. Isegi seda võidi kuulda, millal viulimängija mängis püsti seistes, millal istudes. Orkestri saateaja lõpuni prooviti veel mikrofone ja raadiovastuvõtja asendeid, viidi mikrofonid kuni viis meetrit teineteisest eemale (sama tehti ka vastuvõtjatega), kuid selline «ülestereofoonitüd» saade varem täheldatule midagi juurde ei andnud.»

Ent stereofoonilisest radioülekandest üksi on muidugi vähe: stereoheli on tarvis ka salvestada. Küsimus taandub probleemile, kuidas üheaegselt mingile helikandjale (plaadile, lindile) üles kirjutada mitmest iseseisvast ülekandekanalist saabuvasid signaale.

Stereofoonilisel salvestamisel magnetlindile jaotatakse lindi pind kaheks paralleelselt kulgevaks iseseisvaks rajaks, millest kumbki hõivab poole lindi laiusest. Ühele helirajale kantakse vasaku ja teisele — parema ülekandekanali signaalid. Muidugi peab stereomagnetofon sisaldama kahte iseseisvat võimendit ja erilist kahekordset helipead.

Stereofoonilise heliplaadi valmistamiseks on põhimõtteliselt mitu võimalust. Algul katsetati eraldi helipeadega kummaski kanalid ja kahe omaette spiraalsüvendiga, millest üks oli plaadi serva ja teine tsentri läheduses. Kuid sellest süsteemist loobuti peatselt: kui nõelad ei satu algul täpselt õigetesse süvendiringidesse, võis taasesitamisel liiga kergesti tekkida lahkumine kummastki kanalist kuuldava heli vahel.

Alles pärast seda, kui kummagi kanali signaali õpiti üheaegselt samasse süvendisse «lõikama», algas stereofoonilise heliplaadi võidukäik kogu maailmas.

Esimesel pilgul näib see võõrastavana: kuidas saab ühte süvendisse kokku viia kaks erinevat lainejoont, ilma et need teineteist «segama», s. t. vastastikku kuju moonutama hakkaksid? Probleem lahendati põhimõtteliselt juba 1930. aastal, mil soovitati — tehnilises keeles väljendatult — anda nõelale kaks vabadusastet.

Eelnenust mäletame, et helivõnkumine graveeriti fonograafirullile sügavkirjas (lõiketera ja pärast ka kompiv nõel võnguvad risti rulli pinnaga). Grammofonis kasutati teist moodust: põikkirja (võnkumine toimub plaadi raadiuse sihis). Kui lõiketerale anda korruga kaks võnkumist — üks sügavkirja ning teine põikkirja jaoks —, siis saabki plaadi ainsasse süvendisse salvestada helisignaali korruga kummastki stereoülekandekanalist.

Heli taasesitamisel niisuguselt fonogrammilt hakkab süvendit

kompiv teravik teostama keerukat kahemõõtmelist võnkumist püsttasapinnal, liikudes üles-alla ja samaaegselt ka külgsihis. Stereogrammofoni helipeasse on erilisel viisil monteeritud kaks tajurit (elektromagnetilist või piesoelektrilist süsteemi), nii et nõela põikvõnkumine tekitaks vastava helisageduspinge ainult ühes elemendis ja püstvõnkumine — ainult teises elemendis. Kumbagi nendest võimendatakse kahes sõltumatus võimendis ja juhitakse eraldi stereokanalite valjuhäälditesse.

Praegu on kogu maailmas võetud kasutusele ühtne stereoplaatide tootmise moodus, mis tegelikult on mõningaid puhttehnilisi eeliseid pakkuv teisend eelkirjeldatud kombineeritud põik- ja sügavkirjast. Selle, nn. 45/45°-stereokirja puhul jäädvustatakse ühe kanali helivõnkumine plaadi spiraalsüvendi ühele külgpinnale ja teise kanali helivõnkumine teisele külgpinnale, kusjuures kumbki võnkumine toimub plaadi tasapinnaga 45-kraadise nurga all.

Väliselt ei erine stereofooniline heliplaat «kauamängivast» mikrokiriplaadist. Neid saab eristada ainult etiketi järgi. Kumbagi tüüpi plaatide läbisegi kasutamisel tuleb silmas pidada, et monofoonilisi heliplaate saab edukalt mängida igal stereoseadmel (heli jääb muidugi siis monofooniliseks, ehkki tuleb kahest valjuhääldist!), kuid stereoplaatide reprodutseerimine monofoonilisel seadmel rikub plaadi. Monofoonilises helipeas on nõel kinnitatud enamasti selliselt, et ta püstsuunas võnkuda ei saa. Kuid plaadi stereofonogramm püüab nõela võngutada teatavasti ka selles suunas. Lubamatult suured mehhaanilised jõud nõela ja plaadi puutekohas rikuvadki süvendi reljeefi peene struktuuri ja väärtuslik heliplaat muutub pärast niisugust vägivallaakti kõlbmatuks.

### *Laiekraaniline, stereofooniline*

Veel 1950-ndate aastate alguses kuulis kinokülastaja filmi jälgimisel saateheli ekraani lähedusse või taha asetatud valjuhääldist alati ühtviisi. Kõneleva näitleja või mõne muu helitekitaja kujutise liikumine ekraanil ei muutnud saalis reprodutseeritavat

heli, mis väljus ikka ühest ja samast kohast — valjuhääldist. Filmid olid siis eranditult varustatud ainult ühekanalilise monofooniliselt salvestatud heliga. Normaalfilmi juures ei tekitanud see ekraani väikeste mõõtmete tõttu erilist vastuolu.

Filmitehnika pidev arenemine laotas kinokülastaja vaatevälja ette uued, märksa suuremad ekraanid. Filmikunst leidis vahendi, mis haarab vaatajat senisest rohkem ja avaldab talle sügavamuljet.

Kuid — pole head halvata. Laiema ekraani kasutamisel tekkis kohe häiriv ebakõla ekraanile projitseeritava kujutise ning juurdekuuluvate helide vahel. Sündmustik hakkab nüüd vaataja ees hargnema juba niivõrd avaral ekraanil, et nende jälgimiseks tuleb mõnel puhul peadki pöörata. Kuid monofooniliselt taasesitatavad helid lähtuvad siiski «kangekaelselt» ainult valjuhäälditest: ekraani keskel või siis korraga kummastki servast, rikkudes üldmuljet esitatavast.

Oletame, et filmi üks episood hargneb järgmiselt. Kaadris viibib kaks vaheldumisi kõnelevat tegelast, üks vasakus ja teine paremas servas. Varsti sammub parempoolne — ise pidevalt kõneldes — oma kaaslase juurde ning vestlus jätkub juba ainult vasakul. Samal ajal sõidab nendest taamal mööda traktor.

Kui film on monofooniline, siis jõuavad kõik fonogrammile talletatud helid kuulajani täpselt ühtviisi, ilma et nende saabumissuunad oleksid vähimaski kooskõlas ekraanil toimuva liikumisega. Vasakpoolse, samuti ka parempoolse tegelase kõne kostab kogu aja võrdselt hästi nii vasakult kui ka paremalt (s. o. sealt, kuhu on asetatud valjuhääldid) ega muutu ka kõneleja liikumisel. Samuti ei «liigu» traktori müra kaasa kujutisega ekraanil.

Tõeliselt loomutruu mulje ekraanil esitatavast võib tekkida ainult kujutise liikumise ja heli suuna taju kooskõla puhul. Selle saavutamiseks tuleb muidugi kasutada mitmekanalilist stereofoonilist ülekandesüsteemi.

Laiokraanifilmid on varustatud neljakanalilise stereoheliga. Nendest kolm kanalit ekraani taha vasakule, keskele ja paremale paigutatud valjuhäälditega kujundavad stereoefekti, «helipanoraami», neljas aga loob saali sügavuses täiendavaid heliefekte. Selles kanalis töötab terve rühm saalis laiali asetatud väiksemaid valjuhääldeid. Kui ekraanil toimuv tegevustik seda tingib, lülitub efektide kanal automaatselt sisse ja «täidab» saali heliga, mis näib tulevat igast suunast: vastavalt olu-

korrale lainete kohinaga, lahingumüraga või linnulauluga. Nii süveneb filmi jälgijas illusioon vahetust sündmustikust osavõtust.

Stereokanalite kolm valjuhääldit «katavad» akustiliselt terve ekraani laiuse. Nüüd kulgeks eespool kirjeldatud filmistseen helitehniliselt järgmisel kujul. Algul, millal vestluspartnerite kujutised asuvad ekraanil üks vasakul ja teine paremal, kostab kummagi häääl vastava ülekandekanali valjuhääldist eraldi. Niipea kui parempoolne näitleja hakkab vasakule liikuma, nõrgeneb tema häääl parempoolses valjuhääldis ja tugevneb samavõrra keskmises. Vasakul asuva tegelase repliigid kostavad muidugi sellest sõltumatult ikkagi tugevasti vaid vasakust valjuhääldist.

Kui liikuva näitleja kujutis on jõudnud ekraani keskossa, reprodutseerib tema kõnet peamiselt keskmine valjuhääldi ja edasisel liikumisel kandub hääle «raskuspunkt» jällegi sujuvalt vasakusse valjuhääldisse. Samalaadselt panorameerub täpses vastavuses kujutise liikumisega ka mööduva traktori müra, lähtudes alguses näiliselt vasakult ja kandudes lõpuks paremale.

Et panoraamkinos on ekraan veelgi avaram kui laiekraamkinos, siis rakendatakse selles koguni üheksakanalilist heliaparatuuri: viis ekraanitaguste valjuhääldite kanalit ja neli heliefektide jaoks.

## JÄRELSÕNA

Käesoleva lühikese, kaugeltki mitte täiuslikkusele pretendee-riva ülevaatega helitehnika ja selle mõnedele ääremaadele kuuluvate haruteaduste arenguloost, tähtsamatest saavutustest ning olulisematest kasutusaladest tegime põgusa retke kuulda-vate helide huvitavasse maailma. Kuivõrd mitmekülgselt see raamatu üsnagi piiratud mahu juures õnnestus, jäägu lugeja otsustada. Püüdsime näidata, kuidas arenes akustika ja süvenes selle aluseks oleva füüsikanähtuse erikujude praktiline rakendamine. Puudutasime ka helikunsti — muusikariistade teooriat ja keerdkäike praegu kasutatava heliredeli väljakujunemise katakombides. Vaatlesime huvitavamaid külgi helirezissuuri «telgitagustest» ringhäälingus. Kõige selle kõrval on jõudumööda selgitatud enamiku raamatus ettetulevate akustikanähtuste füüsikalist olemust — mõnel juhul sügavamalt, teisel jälle pinnapealsemalt.

Esitatud materjali, isegi vist selle iga üksikut lõiku oleks saanud avardada kuitahes ulatuslikuks teoseks; pealegi toob iga järgnev päev tehnikasse ja teadusesse midagi uut ja olulist. Ka helitehnika pole selles pidurdamata arengus kõrvaltvaatajaks jäänud. Esialgne kuuldavate helide maailm on avardunud: poole sajandi jooksul on õpetlased ja insenerid kandnud visalt selle kõrvale kokku uue, veelgi avarama ja veelgi hämmastavamaid võimalusi pakkuva vaikivate, mittekuuldavate helide maailma.

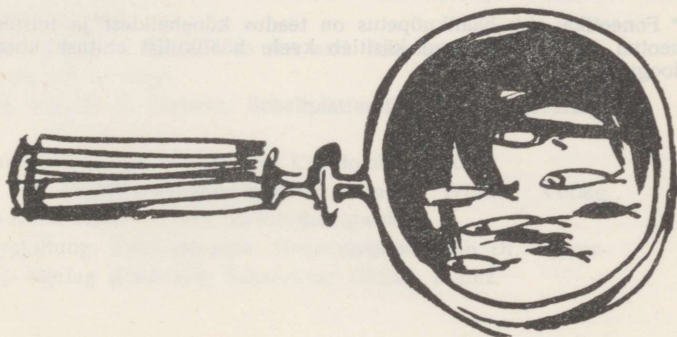
Juba suhteliselt ammu loodi suurepäraseid akustikaseadmed — ultraheli-hüdrolokaatorid, kaja- ja kalaloodid (nn. «kalaluubid»), hüdrofonid, mis tublisti soodustavad laevaliikluse ohutust. Teistlaadi aparaadid — tundlikud, väga madalatel sagedustel toimuva helivõnkumise detektorid — abistavad meteorolooge, seismolooge, geolooge, glatsiolooge... Lausa asendamatuks relvaks konstruktorite ja tehnoloogide käes on saanud ultra-

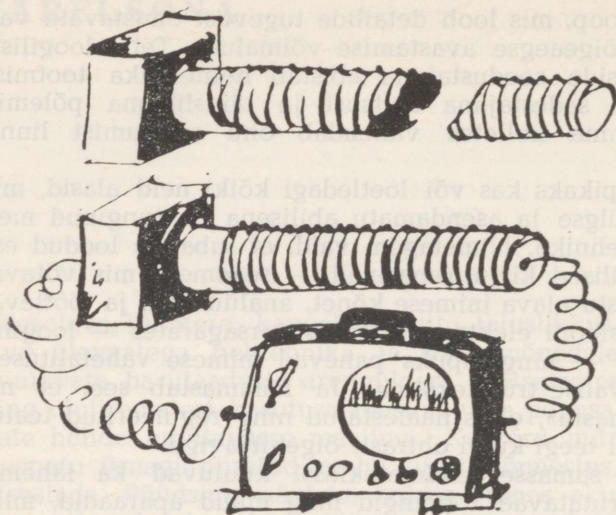
heli-defektoskoop, mis loob detailide tugevust ohustavate varjatud vigade õigeaegse avastamise võimaluse. Tehnoloogiliste keemiaprotsesside soodustajana abistab helitehnika tootmist, tahmaosakeste sadestajana suitsust ja täiuslikuma põlemisprotsessi loojana kolletes vähendab õhu saastumist linnades...

Läheks väga pikaks kas või loetledagi kõiki neid alasid, millesse mitmekülgse ja asendamatu abilisena on tunginud meie päevade helitehnika. Nimetagem vaid, et juba on loodud esimesed foneetilised kirjutusmasinad — seadmed, mis võtavad mikrofonis vastu elava inimese kõnet, analüüsivad ja töötlevad seda informatsiooni elektronaju transistorsagarates — loogilistes skeemides — ning lõpuks panevad inimese vahetalitusega kirja juba tavalise trükitekstina. Ja hämmastab see, et niisugune «imemasin», olles häälestatud ning reguleeritud teatud keele jaoks, ei teegi kuigi ohtrasti õigekirjavigu.

Ligilähedaselt samasse seadmeteklassi kuuluvad ka lähemas tulevikus juurutatavad tööpingid ning muud aparaadid, mille tööd saab tüürida suusõnaliste käskluste varal. Lausu näiteks tõstukile: «Kõrgemale!», ja ta kergitabki kuulekalt tonnideraskust koormat; järgnev käsklus: «Stopp!» peatab tõstuki sobivas asendis.

Elektronarvutid-tõlkimismasinad on juba olemas. Need suudavad üsna edukalt panna tehnikaalast ja muud mitteilukirjanduslikku teksti ühest keelest teise. Kuid esialgu on need masinad veel kurdid ja tummad: «suhtlemine» nendega peab toimuma kirjalikult, erilise koodi ja perfolindi vahendusel. Siiski võib juba nüüd avaldada veendumust, et pole kaugel aeg, mil





elektrontõlkimisautomaadid kuulevad kõneteksti ühes keeles ja seda kohe, võib-olla vaid üheainsa lause võrra hilinedes, «kõneldes» või kirjutades teise keelde ümber panevad.

Need on mõned eksperimentaalfoneetika\* saavutuste kasutusviisidest. Kuid elektroakustika üllatab meid alatasa üha uute ja uute rakendusala-dega ning perspektiivikate võimalustega. Iseseisva teadusena on olemas geoakustika, tekkima hakkab ka molekulaarakustika... Sest helide maailm on erakordselt avar, tunduvalt haardekam, kui seda oleme harjunud ette kujutama.

\* Foneetika ehk häälikuõpetus on teadus kõnehelidest ja teistest inimehene seotud protsessidest; see käsitleb keele häälikulist ehitust koos kõne füsioloogia ja akustikaga.

Е. М. *Голдовский*, От немого кино к панорамному. Издательство Академии Наук СССР. Москва, 1961.

А. Н. *Качерович*, А. И. *Парфентьев*, А. А. *Хрущев*. Звукотехника в кинематографии. Госкиноиздат. Москва, 1950.

Л. М. *Лямшев*. Звук. Издательство «Знание». Москва, 1961.

А. И. *Парфентьев*. Звукозапись и ее применение. Издательство «Знание». Москва, 1953.

М. А. *Прохоров*. Звук и слух. Пензенское книжное издательство, 1959.

F. *Bergtold*. Moderne Schallplattentechnik. Franzis-Verlag, München.

A. C. *Clarke*. Voice across the sea. Frederick Muller Ltd., London, 1958—1960.

W. *Conrad*. «Liebe Hörerinnen und Hörer...». Urania-Verlag, Leipzig/Jena.

D. R. *Griffin*. Echoes of bats and men. Anchor Books Doubleday & Company, Inc. New York, 1959.

H. *Hille*. Nützliche Wellen. VEB Fachbuchverlag. Leipzig, 1962.

G. *Jäckel*. «... bitte schneiden!», Urania-Verlag, Leipzig/Jena/Berlin.

H. *Kunitz*, Die Instrumentation. Teil I. Akustik. VEB Breitkopf & Härtel Musikverlag. Leipzig, 1960.

E. G. *Richardson*. Physical Science in Art and Industry. The English Universities Press Ltd, London.

E. *Sieber*, D.-G. *Worm*, H. *Sutaner*. Schallplattenfibel. Fachbuchverlag. Leipzig, 1958.

J. *Tyndall*. Sound. Longmans, Green and Co. Bombay, 1902.

Klangstruktur der Musik. Zusammengestellt von F. Winkel. Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik GmbH, Berlin-Borsigwalde.

Musik, Raumgestaltung, Elektroakustik. Herausgegeben von Dr. Meyer-Eppler. Arsviva Verlag (Hermann Scherchen) GmbH, Mainz.

# SISUKORD

## MEID ÜMBRITSEVAD LAINED

Helide maailmas .....	5
«Lained, kuhu te tõttate?» .....	7
Matemaatika ja mõõdupulgaga .....	12
Vasar, alasi ja «arvutat» koer .....	15
Kellalöögid vees .....	22
Vedurivile ja reaktiivlennuk .....	30
Igal helil on oma käekiri .....	33
Muusika ja füüsika .....	37

## TRUMMIPÖRINAST TELEFONINI (JA KAUGEMALEGI)

Kui Maratonist saabus võiduteade .....	50
Hää! traadis .....	57
Elektrikõrv .....	67
Mehhaaniline hää! .....	71
Elektronide dresseerimine .....	74
Arvudest, mis hämmastavad astronoomigi .....	81

## TARDUNUD HELIDEST MÜNCHHAUSENI POSTISARVES

Konserveeritud hää! .....	85
Peatatud aeg ja perfolint klaverimuusikaga .....	85
«Mary'l oli väike tall...» .....	98
Rull või plaat? .....	101
...Hoopiski lint! .....	106
Kõnelev valguskiir .....	111

## VAIKUST! HELISALVESTUS!

Helide tehas .....	117
Põgus pilk kulisside taha .....	124
Aaretena säilitatavad hääled .....	129
Linnulaulust ja hiiglaruuporist .....	137
Elektronidel on kaunis lauluhää! .....	141
Milleks kaks kõrva? .....	146
Laiekraaniline, stereofooniline .....	153
Järelsõna .....	156
Kasutatud kirjandus .....	159







A-27952



TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00410351 3