

Avtorica: Irena Porekar Kacafura

1. Zvok

Fizikalno gledano je zvok valovanje, ki se po vzbuditvi motnje širi po snovi (plinu, tekočini ali trdni snovi). Zvok je longitudinalno valovanje, pri katerem se periodično spreminja gostota snovi. V elastičnih trdnih snoveh (na primer kristalih) se lahko širijo tudi transverzalni valovi. Skozi brezračni prostor pa zvok ne more potovati.

Območje slišnosti človekovega ušesa je v frekvenčnem pasu od 16 Hz do 20.000 Hz (tabela 1). Zvok s frekvenco, manjšo od 16 Hz, je **infrazvok**, z večjo od 20.000 Hz pa **ultrazvok**.

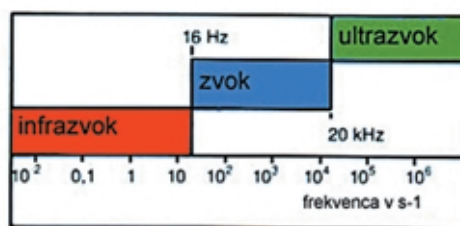


Tabela 1: Slišni in neslišni zvok

Mera za intenziteto zvoka je zvočna jakost (enota je watt/m^2).

Najmanjša zvočna jakost (meja slišnosti), ki jo zazna človeško uho, je odvisna od frekvence. Pri ultrazvoku lahko dosežejo zvočne jakosti do $10^5 \text{ W}/\text{cm}^2$. Fiziološko merilo za zaznavanje zvoka je glasnost (enota je decibel ali fon).

Zvok se širi z zvočno hitrostjo, ki je

odvisna od vrste, gostote in temperature snovi, včasih tudi od smeri in vrste ter valovne dolžine valovanja.

Po odboju zvoka na mejah med različnimi deli telesa lahko sklepamo o notranji zgradbi teles (razpoke, nezaliti deli ...) ali denimo merimo globino morij (globinski sonar). Zvok dobro prenašajo elastične kovine, voda, gosti plini, dobro pa ga dušijo porozni neelastični materiali (na primer stiropor). Hitrost prenašanja zvoka je večja pri snoveh z urejeno kristalno strukturo in obratno.

2. Ultrazvok

Ultrazvok kot visokofrekvenčno mehansko nihanje s frekvencami nad okoli 20 kHz je del ropota, ki ga povzročajo veliki raketni motorji, hitro se vrteči rotorji ter težki vrtalni in drugi stroji.

Zgornja frekvenčna meja širjenja ultrazvočnih valov so termične vibracije kristalne mreže, nad katerimi material ne more več slediti vhodnemu zvoku. Zato je najmanjša še uporabna valovna dolžina zvoka dvojna medatomska razdalja; pri kovinah je približno enaka $2 \times 10^{-10} \text{ m}$. To se zgodi pri frekvenci $1,25 \times 10^{13} \text{ Hz}$. Ultrazvočne valove z velikimi amplitudami včasih imenujemo sonične, hiperzvok pa se nanaša na frekvence nad 10^{13} Hz .

Ultrazvočni pretvorniki

Najbolj znani in najpogosteje uporabljeni ultrazvočni pretvorniki so:

- piezoelektrični,
- magnetostrikijski,
- elektrostatični in elektrodinamični,
- mehanski in toplotni.

V aparaturnah, ki jih uporabljamo za čiščenje v konservatorstvu-restavratorstvu, so v glavnem piezoelektrični, včasih tudi magnetostrikijski in mehanski ultrazvočni pretvorniki.

Piezoelektrični pretvorniki

Francoski fizik P. Curie je leta 1880 odkril, da nekatere snovi ustvarjajo električni potencial, če jih izpostavimo mehničnemu pritisku. Razlog za to je deformacija njihove značilne strukture in takšen razpored med atomi, da na nasprotnih površinah nastajajo različni električni potenciali. Leto po tem odkritju je G. Lippmann (francoski fizik) odkril povratnost te lastnosti in jo poimenoval piezoelektrični pojav: če ploskvi, ki imata piezoelektrične lastnosti, postavimo v električno polje (priključimo na električno napetost), se geometrijsko deformirata zaradi električne sile. Priključena izmenična napetost denimo zato povzroči, da se debelina ploščice izmenično spreminja (kristal »diha«) z enako frekvenco kot napetost. Nihajoči kristal pa (podobno kot nihajoča opna) oddaja zvok. Če je frekvenca priklučene napetosti večja od 20 kHz, oddaja nihajoča kristalna ploščica ultrazvok.

Poznamo dve vrsti piezoelektričnih snovi. V prvi skupini so naravne snovi, ki so piezoelektrične zaradi svoje asimetrične kristalne strukture. Značilen predstavnik te skupine je kremen, ki je bil dolgo edini material, iz katerega so izdelovali pretvornike (drugi so še turmalin, barijev titanat, amonijev

dihidrogen fosfat). V drugi skupini so snovi, pri katerih piezoelektrične lastnosti dobimo s polarizacijo feroelektričnih materialov. Prednost piezoelektričnih pretvornikov je v tem, da omogočajo nastanek mehanskih valov v širokem razponu frekvenc. Tudi danes so med najštevilnejšimi pretvorniki ultrazvočnih naprav.

Magnetostrikijski pretvorniki

Magnetostrikijska je sprememba mer magnetnega materiala v magnetnem polju. Odvisna je od vrste in oblike takšnega materiala, od možnosti njegove obdelave in poprejšnje magnetizacije ter od temperature. Z dvigom temperature se zmanjšuje in popolnoma izgine pri tako imenovani Curiejevi temperaturi (nad to temperaturo postane feromagnetna snov paramagnetna).

Če magnetostrikijski kristal (na primer nikelj, vanadij), katerega debelina je odvisna od stopnje magnetizacije, izmenično namagnetimo in razmagnetimo, se njegova debelina izmenično spreminja; kristal »diha«. Z vzbujanjem magnetostrikijskega pretvornika z zunanjim izmeničnim magnetnim poljem dosežemo izmenično spremembo dolžine v ritmu vzbujanja, z vzbujanjem v resonančni frekvenci pa dosežemo maksimalno valovanje. Magnetostrikijski pretvornik ustvarja ultrazvok večjih moči, a nižjih frekvenc.

Mehanski pretvorniki

Udarec po trdnem (čvrstem) predmetu povzroči valovanje širokega frekvenčnega spektra, ki je lahko na slišnem ali ultrazvočnem območju. Frekvenčni spekter je odvisen od materiala, velikosti in oblike predmeta ter načina vzbujanja.

Za mehansko generiranje ultrazvoka se najpogosteje izrablja pojav, ko okoli ozke odprtine, skozi katero izteka plin ali tekočina,

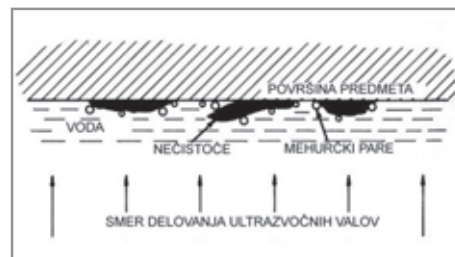
nastajajo nestabilen tlak in vrtinci. To je metoda delovanja ultrazvočnih piščalk in siren, ki proizvajajo ultrazvok nižjih frekvenc v zraku in vodi. Takšne pretvornike imenujemo tudi pretvorniki na plin.

Vpliv ultrazvoka na snov

Že zaradi vpliva frekvence in energije ultrazvočnega valovanja pri prehajanju tega skozi snov v tej nastajajo različni pojavi, ki jih lahko s pridom izkoristimo. Ultrazvočni valovi lahko povzročijo občasne spremembe gostote snovi. Energija ultrazvočnih valov lahko na snov deluje toplotno in povzroča na primer kavitacijo.

Toplotno delovanje ultrazvoka je posledica velike absorpcije ultrazvočne energije v snovi. Uporablja se v tehniki, medicini, biologiji in na drugih področjih. S to tehniko lahko temperaturo v tekočinah in plinih znatno povišamo.

Kavitacija lahko nastane v tekočinah zaradi prehoda ultrazvočnih valov skozi (skica 1). Pri tem nastajajo vrtinci, tekočina se segreva in nastanejo makro- in mikrotokovi. Ultrazvok povzroči, da se deli kapljevine gibljejo z znatnimi pospeški. Nastanejo mehurčki pare (tlak pri nespremenjeni temperaturi okolice pade pod kritično vrednost), ki se nato sesedejo (implodirajo). Pri tem kapljevina odda absorbirani plin, s čimer odnaša nečistoče s površine predmeta.

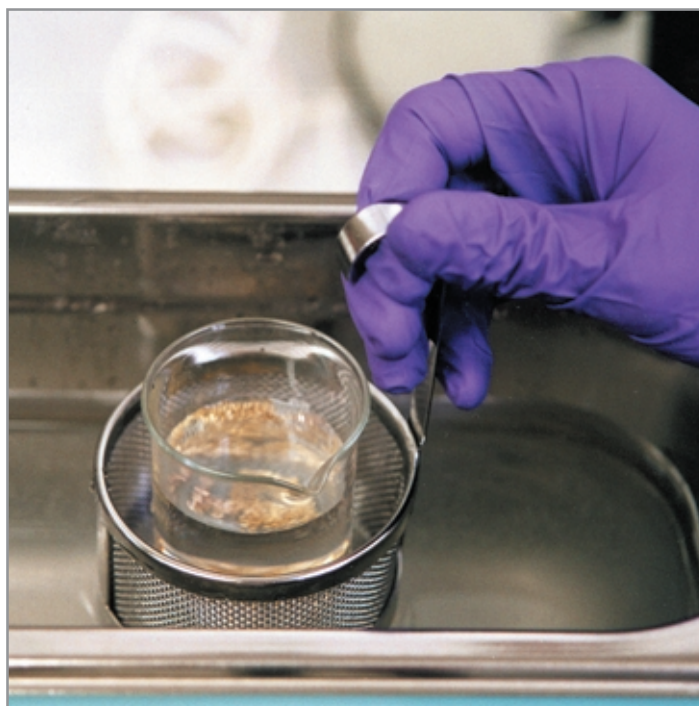


Skica 1: Mehanizem delovanja kavitacije

Koagulacija prav tako nastane zaradi vzbujanja z ultrazvokom. Manjši delci laže in pravilneje



Slika 1: Čiščenje zlata v ultrazvočni kadi



Slika 2: Čiščenje zlata v ultrazvočni kadi

sledijo valovanju, povzročenemu z ultrazvokom. Čim večja je razlika v amplitudi valovanja posameznih delcev, pogostejši so trki manjših in večjih delcev in zato je koagulacija hitrejša.

Vpliv ultrazvoka na kemizem je znan že dalj časa, čeprav je težko ločiti sam kemični vpliv od hkratnega toplotnega delovanja (oksidacijsko delovanje ultrazvoka in pospeševanje kemičnih reakcij).

Fiziološko delovanje ultrazvoka (fizikalno in kemično delovanje na snovi) se uporablja v medicinski terapiji.

Ultrazvočna energija določene moči, frekvence in določenega časa (trajanja) je lahko smrtonosna za mikroorganizme, a koristno uporabna za večje živali in ljudi.

Uporaba ultrazvoka

Pri uporabi ločimo ultrazvok majhnih moči (do 1 W/cm^2) in ultrazvok velikih moči (do 1000 W/cm^2).

Uporaba ultrazvoka majhnih moči

Ultrazvok majhnih moči se uporablja

v številnih vejah znanosti, tehnike in medicine za neporušitveno defektoskopijo oziroma diagnostiko. Ultrazvok lahko uporabljamo pri večini materialov zaradi njegove izrazito velike občutljivosti; z njim odkrivamo napake v materialu, določamo njegove značilnosti in nadzorujemo procese. Odboj ultrazvoka je zelo praktičen način pridobivanja informacij pri neporušitvenih meritvah. Informacijo dobimo z analizo nepravilnosti v materialu odbitega ultrazvočnega snopa.

Uporaba ultrazvoka velikih moči

Ultrazvok velikih moči se uporablja za doseganje stalnih sprememb fizikalnega stanja materiala, najpogosteje v industriji za čiščenje in varjenje.

Mnoge proizvode in tudi predmete, ki jih konserviramo-restavriramo, čistimo z ultrazvokom, na primer dele strojev in instrumentov, nakit, predmete iz stekla, kamna, keramike pa tudi elektronske elemente, delovni pribor. Čiščenje je tem boljše, kolikor bolj predmet odbija in manj absorbira

ultrazvok. Posebno je ta tehnika uporabna za čiščenje sestavljenih predmetov nepravilnih geometrijskih oblik s pretežno nedostopnimi površinami.

Način čiščenja je odvisen od predmeta in vrste nečistoč, ki jih je treba očistiti, ter od načina vezave nečistoč na površino. Kadar imamo v posodi (kadi), v katero se predmeti potaplajo, še sredstvo za čiščenje in je ultrazvočni pretvornik prislonjen ob posodo, se čiščenje pospešuje z nastankom kavitacije sredstva, kar odstrani tudi najčvrsteje vezane nečistoče.

Ultrazvok lahko koristno uporabljamo tudi na drugih področjih, na primer pri emulgiranju, atomizaciji, barvanju tekstila, filtraciji in kristalizaciji. Uporaba ultrazvoka je zelo pomembna tudi za varjenje plastomerov.

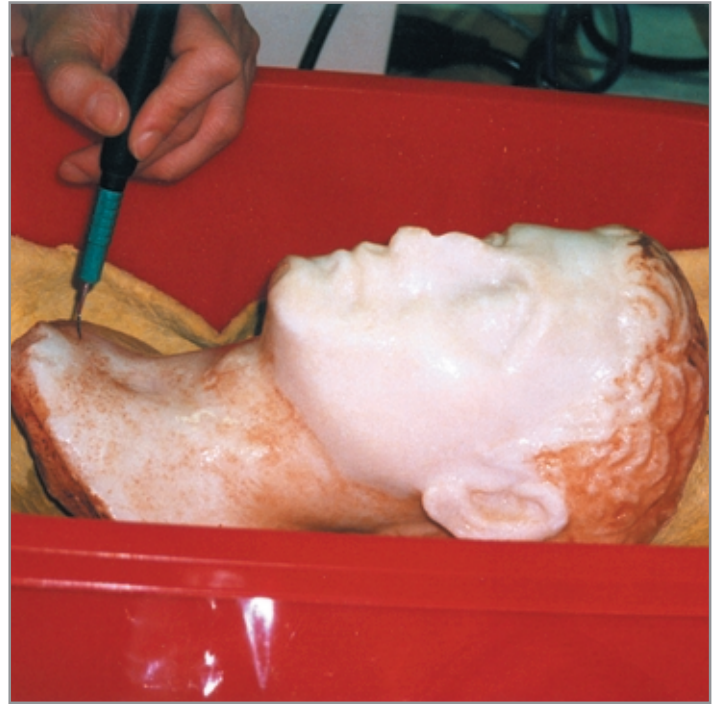
Ultrazvočni čistilniki

Ultrazvočne kadi

Ultrazvočne kadi (sliki 1 in 2) so sestavljene iz posod različnih volumnov (običajno iz nerjavečega jekla), ki imajo na dnu pritrjene



Slika 3: Čiščenje naslag na glavi iz marmorja z mokrim ultrazvočnim kladiščem



Slika 4: Čiščenje naslag na glavi iz marmorja z mokrim ultrazvočnim kladiščem

ultrazvočne pretvornike (piezokeramične). Opremljene so lahko tudi z električnim grelnikom (termostatsko uravnavanim) in časovno-preklopnim stikalom ter z izpustom za tekočino. Kot dodatno opremo običajno dobimo tudi nosilne košarice in steklene čaše različnih velikosti, v katerih predmete čistimo v osnovnem čistilnem mediju (košarice, potopljene v vodo) ali s pomočjo dodatka posameznih kemikalij (čiščenje v steklenih čašah).

Piezopretvorniki, ki so nameščeni pod kadjo, generirajo intenzivne zvočne valove, ki se prenašajo v čistilni medij (običajno voda) in delujejo v resonančni frekvenci 30 kHz oziroma 40 kHz.

Visokointenzivni valovi v mediju povzročajo kavitacijo, torej ustvarjajo vakuumske mehurčke, ki implodirajo v nekaj mikrosekundah. Srk in tlačni impulz tega mehurčka učinkujeta na površino predmeta povsod tam, kjer je prisotna tekočina.

Z zvišanjem temperature se zmanjšata površinska napetost in

viskoznost, poveča se parni tlak, s čimer se zmanjša učinek ultrazvočnega čiščenja. Hkrati zvišanje temperature ugodno vpliva na povečanje kemične aktivnosti kemikalije. Za vodne raztopine velja, da lahko dosežemo maksimalno kavitacijsko učinkovitost pri 45 do 55 °C. Vedno moramo torej iskati optimalno temperaturo glede na kemično sestavo tekočine.

Takšno čiščenje ima posebne prednosti, saj prodorno očisti razne pore in luknjice na čiščenih predmetih v zelo kratkem času ter odstrani najbolj trdovratno umazanijo s težko dostopnih mest.

V konservatorstvu-restavraciji lahko ultrazvočne kadi uporabljamo za čiščenje kristalov, kamenin, keramike, kovine, stekla in drugih predmetov. Za vsak predmet moramo eksperimentalno določiti čas trajanja čiščenja v ultrazvočni kopeli in možnost uporabe dodatnih čistil v osnovnem mediju. Običajno za uspešno čiščenje zadostuje 2- do 10-minutno

delovanje ultrazvoka (pri trdovratni umazaniji čiščenje večkrat ponovimo). **Pomembno je, da predmet v ultrazvočni kopeli čistimo večkrat krajši čas (na primer le po 10 do 30 sekund) in po vsakem čiščenju preverimo stanje površine predmeta pod lupo.** Dolgotrajno delovanje ultrazvoka na predmet v kopeli lahko krhek predmet poškoduje (pojavile bi se lahko razpoke na originalni površini). Prav tako med delovanjem ultrazvočne kadi ne segamo z roko v čistilni medij ali ne jemljemo predmeta iz nje. Kopel vedno izklopimo po kratkem času delovanja in šele nato vzamemo predmet iz čistilnega medija. Kot dodatna čistilna sredstva v vodi (osnovnem mediju) lahko v ultrazvočnih kopelih uporabljamo tudi kemikalije, ki jih uporabljamo za čiščenje predmetov iz posameznih materialov brez uporabe ultrazvoka. Delovanje ultrazvoka v kopeli bo njihovo učinkovitost le povečalo. Kot dodatna čistilna sredstva lahko torej uporabljamo že pripravljene

(uporaba v zlatarstvu in zobotehnikih) alkalne emulzije v nizkih koncentracijah (1% do 5% raztopina) ali pa sami pripravimo čistilne raztopine, na primer z dodatkom acetona, alkohola, etolata (odvisno od materiala, ki ga čistimo), ki pomagajo odstranjevati ostanke polirnih past, zastarano umazanijo, odstranjujejo tanke sloje oksidov in sulfidov, povečujejo lesk površine. Po čiščenju predmete vedno speremo pod tekočo vodo, oplaknemo z destilirano vodo in dobro posušimo.

Aparatura z mokrim ultrazvočnim kladivcem

Aparature (sliki 3 in 4), ki jih uporabljamo pri našem delu, so večinoma izdelane za uporabo v stomatologiji. Sestavljene so iz ohišja, v katero je vgrajen piezoelektrični pretvornik, ki običajno proizvaja ultrazvok med 25 kHz in 30 kHz, in iz ročnika z nastavkom za čiščenje (kladivce z dvojnimi ali enojnimi jezičkom). Aparaturo priključimo na električno in vodovodno omrežje. Površino predmeta čistimo kontaktno s konico kladivca, voda, ki doteka iz konice v obliki drobnih razpršenih kapljic (slika 5), pa konico hladi in odnaša odstranjene naslage s predmeta. Postopek čiščenja poteka po sistemu kavitacije.



Slika 5: Razpršene kapljice vode iz konice kladivca



Slika 6: Odstranjevanje korozijskih produktov s suhim ultrazvočnim kladivcem

V konservatorstvu-restavratorstvu lahko omenjeno aparaturo s pridom uporabljamo za čiščenje površinsko (fizikalno) vezanih nečistoč na kamnu (marmor, peščenjak), keramiki, steklu. Prednost površinskega čiščenja z mokrim ultrazvočnim kladivcem je v tem, da lahko postopek čiščenja natančno kontroliramo, saj razpršena voda sproti odnaša odstranjene nečistoče, hkrati pa čistimo le majhno površino predmeta ob stiku s konico (možnost točkovnega čiščenja), pri čemer originalne površine seveda ne poškodujemo.

Kladivca oziroma konice, ki jih namestimo v ročnik, so lahko različnih oblik in dolžin. Večinoma pa lahko od dobaviteljev v Sloveniji kupimo le dve vrsti kladivc, ki se uporabljata v stomatologiji za čiščenje zobnega kamna. Kladivca so tako največkrat zapognjena (slika 5), izdelana iz nerjavečega jekla, njihova debelina pri vrhu pa znaša približno 1 mm. Ker se za hlajenje kladivca in seveda odnašanje odstranjenih naslag s predmeta uporablja voda, so lahko konice kladivc kombinirane (ena votla konica, skozi katero prši tudi voda) ali pa dvojezične (skozi eno prši voda, druga konica pa je enaka



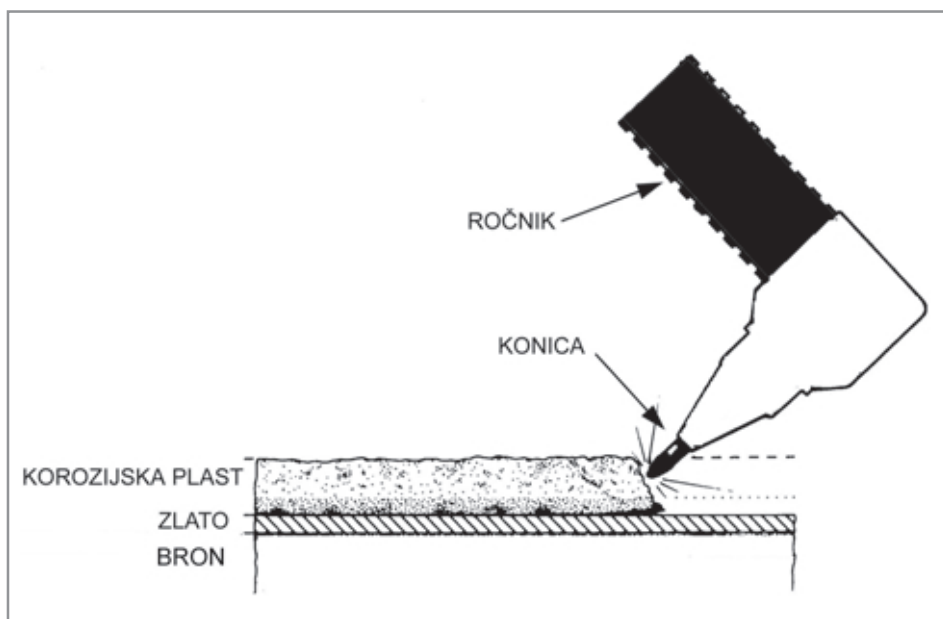
Slika 7: Odstranjevanje korozijskih produktov s suhim ultrazvočnim kladivcem

kot pri suhem ultrazvočnem kladivcu). Včasih pri našem delu potrebujemo različne oblike konic, le-te pa se tudi hitro izrabijo, kadar čistimo naslage na trdih predmetih (na primer odstranjemo sadraste naslage z marmorja). Ker so nova kladivca relativno draga oziroma kadar želimo posebno obliko konice, lahko z dovolj spretnosti in znanja konice kladivc izdelamo tudi sami (na primer iz bucik ali šivank) ter jih prilotamo na kladivce. To je mogoče le, kadar je kladivce dvojezično (samostojna konica za vodo).

Aparatura s suhim ultrazvočnim kladivcem

Aparatura (sliki 6 in 7) deluje podobno kot tista z mokrim ultrazvočnim kladivcem. V njej je turbina, ki deluje na komprimiran zrak (do 8 barov tlaka). Ta proizvaja vrteče se gibanje (pretvornik na plin) po sistemu piščalke oziroma sirene in proizvaja ultrazvok med 15 kHz in 25 kHz.

S suhim ultrazvočnim kladivcem lahko v konservatorstvu-restavratorstvu uspešno odstranjemo praškaste korozijske produkte s površine predmetov (na kovinskih predmetih) in naslage s keramike, predvsem na težko dostopnih mestih (slika 2).



Skica 2: Odstranjevanje korozijske plasti s pozlate s suhim ultrazvočnim kladivcem

Tudi suha ultrazvočna kladivca lahko kupimo v različnih izvedbah (različne oblike), prav tako pa jih lahko ob obrabi ali želji po posebni obliki nadomestimo z novimi, izdelanimi v domači delavnici.

Literatura:

1. Veliki splošni leksikon, 8. knjiga, DZS, Ljubljana 1997
2. Rudolf Kladnik, Fizika za srednješolce, Energija, toplota, zvok, svetloba, DZS, Ljubljana 1999
3. Anton Jeglič, Dušan Fefer, Elektroakustika in ultrazvok, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana 1984
4. Tehnička enciklopedija, 13. knjiga, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb 1997
5. Heinrich Kuttruff, Ultrasonics, Fundamentals and Applications, Elsevier Applied Science, London 1991
6. Atlas klasične in moderne fizike, DZS, Ljubljana 1993
7. Ultrazvočni čistilniki za laboratorije in tehniko, Iskra PIO d.o.o. Šentjernej