

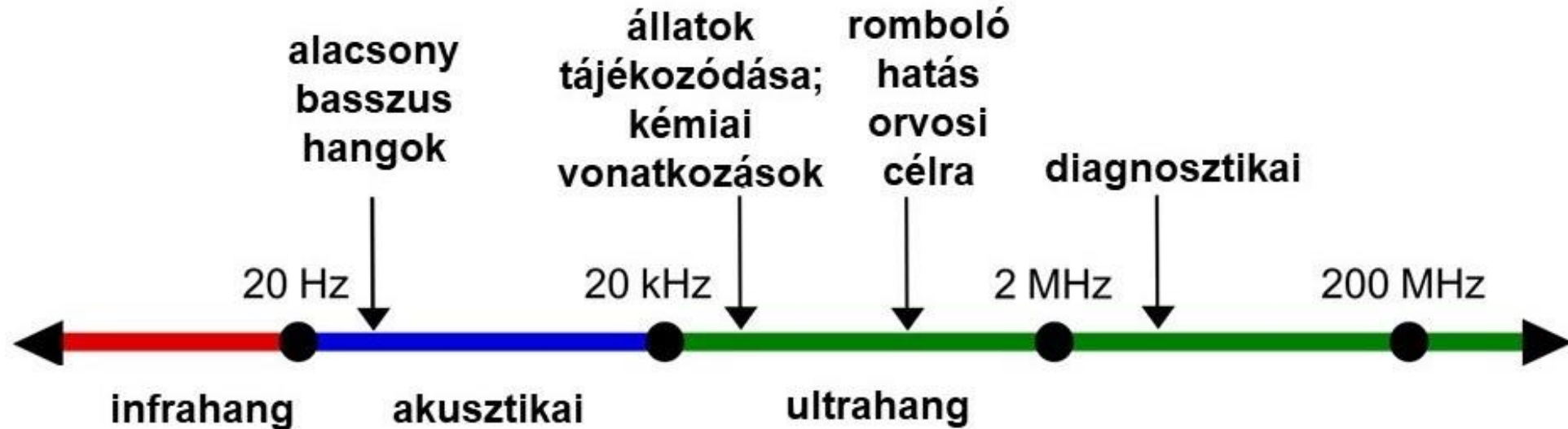
Az ultrahang és alkalmazása a textil- és ruhaiparban

2024. június

Kutasi Csaba

Az ultrahang jellemzői

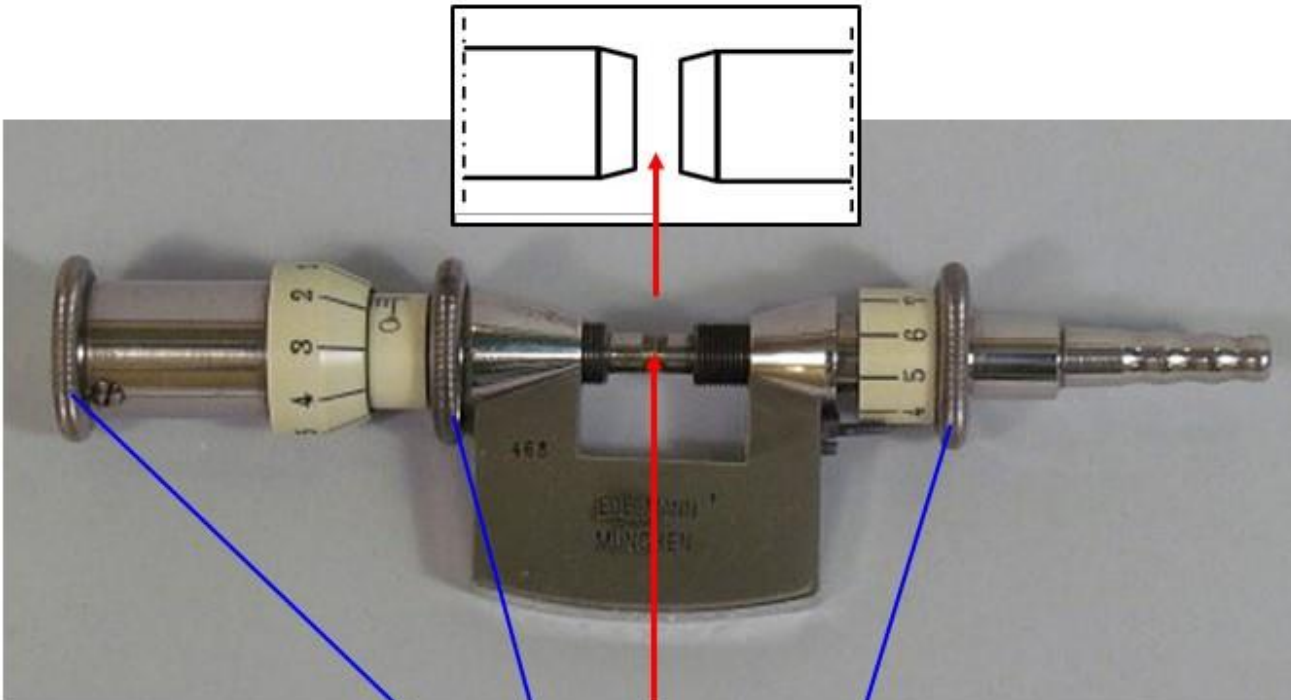
- az ultrahang **nagyobb frekvenciájú hanghullám**, az ezt felhasználó készülékek **20 kHz-től több GHz-ig** (gigahertz: 10^9 Hz) terjedő frekvenciákkal működnek
- a **Hz** (hertz) a **frekvencia mértékegysége**, amelyet **Heinrich Hertz német fizikusról** neveztek el, az ismétlődő jeleknél a **periódusidő két azonos állapota között eltelt időt** fejezi ki [1 hertz az 1 másodperc alatt lezajló 1 rezgés (hullámperiódus)]
- kb. 20 kHz-ig terjed az **emberi hallás** felső hallási határa az egészséges fiatal felnőtteknél
- érdekesség, hogy pl. a **denevérek** és a **barnadelfinek ultrahang** segítségével kutatják fel a zsákmányt és kerülik el az akadályokat
- a **légköri nyomású levegőben** az ultrahanghullámok hullámhossza **1,9 cm**, vagy **annál kisebb**
- az **akusztikus hullámok fizikai elvei** minden **frekvenciatartományra** érvényesek, így az **ultrahangra** is



Az ultrahang felfedezése

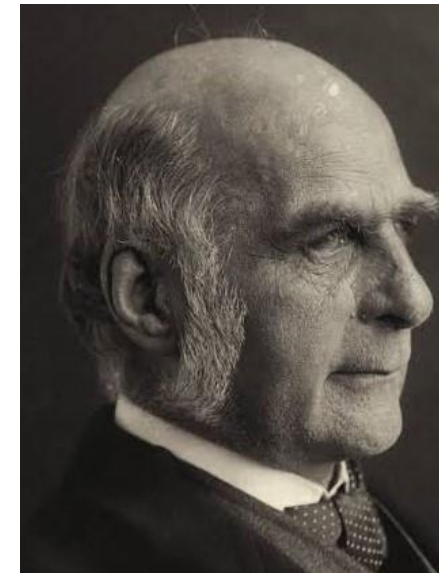
- az akusztika, a hangok tudományának kezdete a **Pythagorasra** vezethető vissza, aki **Kr.e. 6. században** a **vonós hangszerek** matematikai vonatkozásaival foglalkozott, **Lazzaro Spallanzani 1794-ben** felfedezte, hogy a **denevérek nem látás**, hanem a „**hallhatatlan hang**” segítségével navigálnak és vadásznak
- **Francis Galton 1893-ban** találta fel a róla elnevezett **állítható sípot**, amely **ultrahangot hoz létre**, ezzel az **emberek** és további **állatok hallási tartományát** tudta **mérni** és bizonyította, miszerint sok állat az ember hallási tartományán kívüli hangokat is észlel
- az **ultrahangot 1917-ben** alkalmazták először az ún. **visszhangtechnikaként**, ez teremtette meg alapját az **ultrahang visszaverődésén** alapuló **távolságmérési módszernek**
- az ultrahanggal kapcsolatos **első publikáció 1948-ban** jelent meg, eszerint az I. világháború idején egy **Chilowski nevű orosz mérnök tengeralattjáró-felderítési találmánnyal** jelentkezett be a francia kormánynál; ennek alapján felkérésre **Paul Langevin** - a párizsi Fizikai és Kémiai Iskola akkori igazgatója - értékelte Chilowski javaslatát ennek lényege, hogy egy **hengeres csillámkondenzátort nagyfrekvenciás Poulsen-ívvel** (elektromos ív az egyenáramú elektromosság átalakítására rádiófrekvenciás váltakozó árammá a vezeték nélküli szikratávadóknál) **gerjesztenek kb. 100 kHz-en**, az előállított **ultrahangsugár** alkalmas a **víz alá merült tárgyak észlelésére**
- a víz alatti akadályok felkutatását korábban **L. F. Richardson** javasolta a Titanic katasztrófája után, hogy helyezzenek el egy **nagyfrekvenciás hidraulikus sípot** a **tükör fókuszába** és a sugarat a **víz alatti navigációs veszélyek** helymeghatározására használják (nem vált be)
- **Langevin** készüléke a **piezoelektromos effektust** használta fel, majd megépített egy **ultrahang-átalakítót** (vékony kvarclemez két acéllemez között), ő volt az **első**, aki az **ultrahang kavitációval kapcsolatos biohatásairól** beszámolt

A Galton-féle síp



számozott tárcsák
a hengervégek közötti
távolság beállítására

a hengereken keresztül áramló levegő által keltett hang
frekvenciája változtatható



**Francis Galton
(1822-1911)**

Az ultrahang hasznosítása a gyakorlatban (1)

- az **ultrahang** alkalmazása számos területen hasznosul a **MHz-es** (10^6 Hz) **frekvenciák** alkalmazásával
- az alkatrészek és **szerkezetek roncsolásmentes vizsgálata** - a láthatatlan hibák kimutatására - ultrahanggal történik az ipari folyamatokban **tisztításra, keverésre** (homogenizálásra), ill. **kémiai folyamatok** (ún. szonokémia több száz kHz-es frekvencián) **gyorsítására** használják a megfelelő frekvenciájú hanghullámokat
- az **érintésmentes érzékelő** az **orvosi** (nagy frekvenciás ultrahang), **gyógyszerészeti, katonai** és az **ipar** számos **folyamatában** előnyt jelent, az **ultrahangos szint-** vagy **egyéb érzékelő rendszer** nem igényel érintkezést a célponttal
- az **ultrahangos távolságmérés** egy **kamerával** indult az **automatikus fókuszálás** megteremtésével, a **mozgásérzékelőknél** elterjedt az **ultrahang alkalmazása**, pl. az **automatikus ajtónyitásnál**, ill. a **behatolók észlelése** érdekében
- a **csövekben** a **folyadékszállítás** mértéke **ultrahangos áramlásmérőkkel** határozható meg
- az **ultrahangos hibafelismerés roncsolásmentes** vizsgálat, amellyel a legtöbb **fém**, a **műanyagok** és pl. a **repülőgép-kompozitok** ellenőrizhetők
- a **hegesztett kötések roncsolásmentes** ultrahangos vizsgálata a **röntgensugarakkal** végzett **radiográfias meghatározás alternatívája**
- a **víz alatti ultrahangos feltáró** eszközt **szonárnak** is nevezik, az impulzus egy része ill. egésze **visszhangként visszaverődik** az adóra, és a vevő útvonalán keresztül észlelhető
- az **akusztikus mikroszkóp** a **hanghullámok visszaverődése** és **diffrakciója** (elhajlása) a mikroszkopikus struktúrákból **olyan információkat** biztosít, amelyek **fénnyel nem elérhetők**

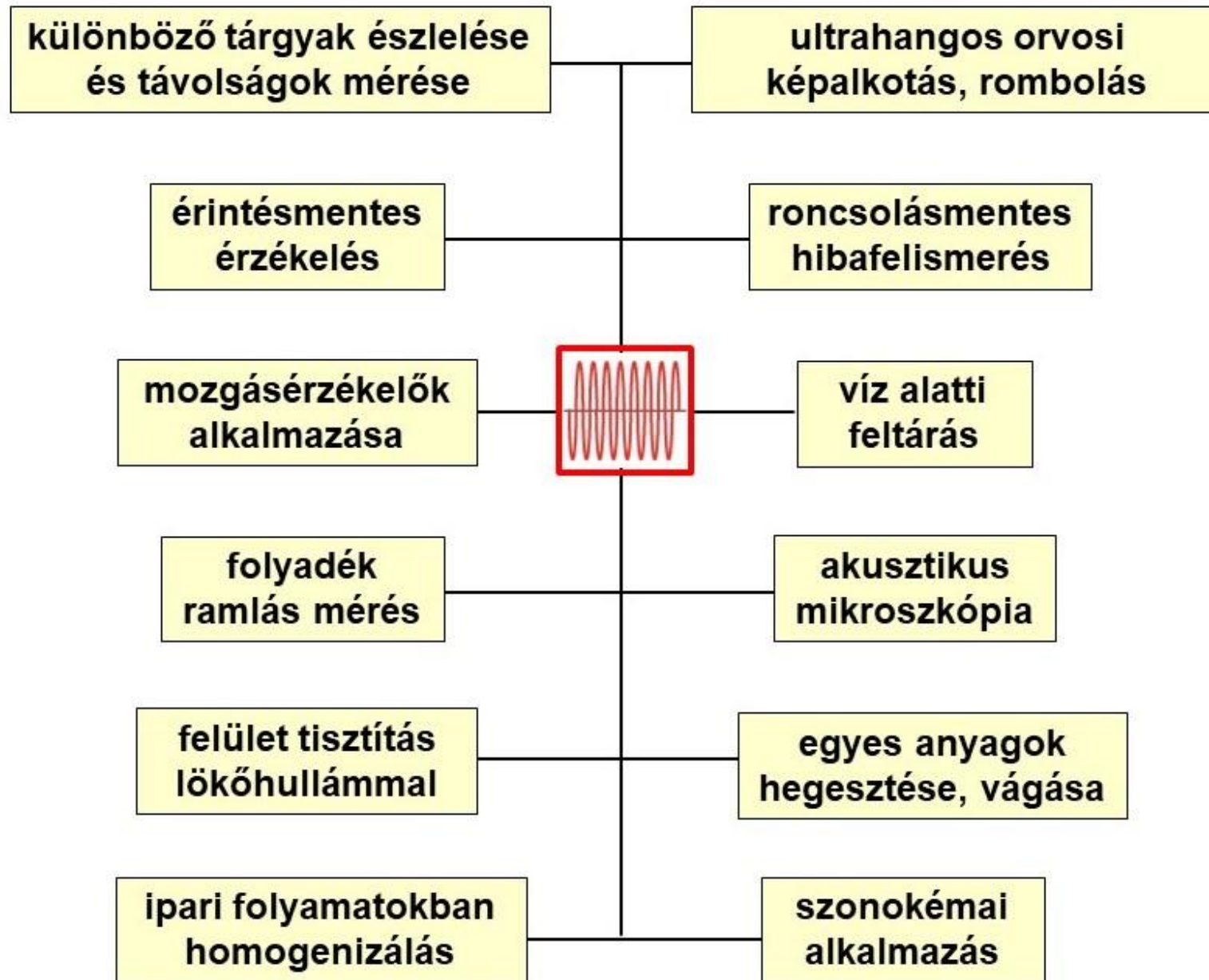
Az ultrahang hasznosítása a gyakorlatban (2)

- az ultrahangos **tárgytisztító-szereket 20 és 40 kHz közötti frekvencián** használják, a szennyezett felület közelében fellépő **mikroszkopikus méretű kavitációs buborékok sokaságának összeomlásából** keletkező **lökéshullám hatásával** működnek
- a **műanyagok** - ide tartoznak a **szintetikus szálakból felépülő textilanyagok is** - **ultrahangos hegesztésénél nagyfrekvenciás (15-40 kHz-ig)** és alacsony **amplitúdójú vibrációt** alkalmaznak, **anyagok közötti súrlódás útján hő létrehozására**
- a **120 dB-t** (a decibel egy elterjedt mértékegység az akusztikában a hangszintek mérésére, valamilyen 0 dB-hez képest) meghaladó **munkahelyi ultrahang-expozíció halláskárosodáshoz** vezethet
- a **155 dB-nél nagyobb** kitettség az emberi szervezetre **káros melegítő hatásokat** válthat ki, a **180 dB feletti hatás halálhoz** vezethet
- az **ionizációra nem képes**, azaz egészségre **kevésbé veszélyes sugárzások** körébe tartoznak többek között az **elektromágneses sugárzások**, a **lézerek** és az **ultrahang**



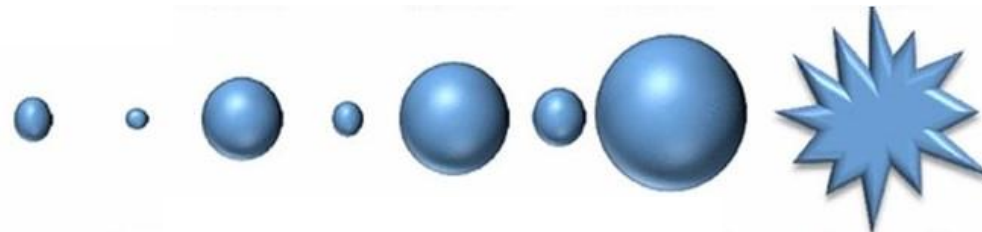
**NEM IONIZÁLÓ
SUGÁRZÁS**

Az ultrahang hasznosítása a gyakorlatban (3)

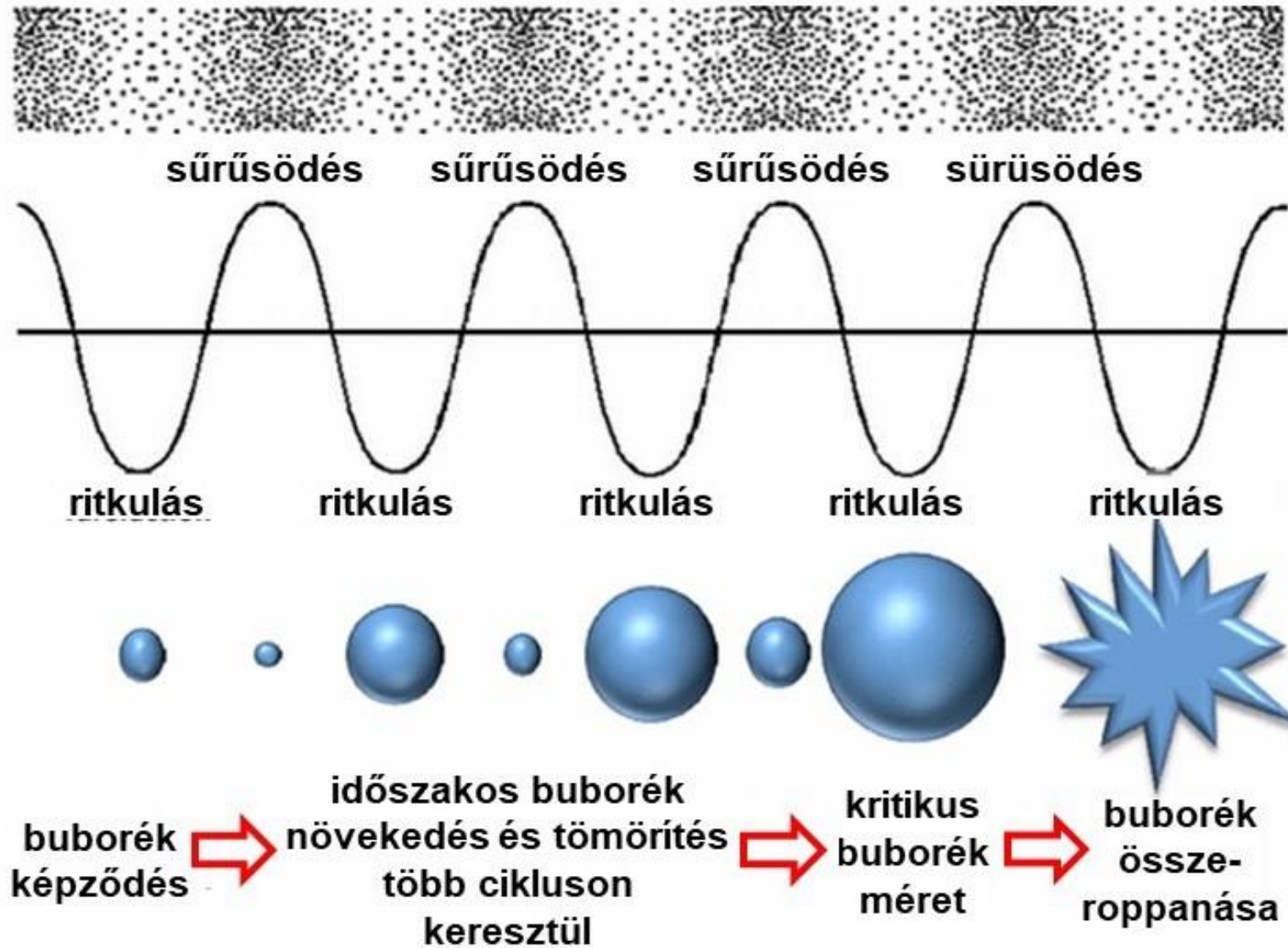


Az ultrahang hasznosítása a gyakorlatban (4)

- az ultrahangot piezoelektromos elven működő készülékekkel állítják elő, melyekben az átalakító az elektromos energiát hanghullámmá alakítja, ami egy rugalmas közegben előforduló tömegrészek mechanikai rezgése a hullámmozgás a közeg részecskéit kimozdítja nyugalmi állapotukból, így lokális sűrűsödések és ritkulások alakulnak ki a ritkulási fázisban, a vákuum miatt mikroméretű buborékok képződnek a közegben (kavitáció)
- ezek a több hullámciklust követő a sűrűsödési fázisban összeroppannak, a szilárd fázis határán a buborékok szétesésük során folyadékkal telítődnek és a szilárd fázisra nagy sebességű mikroáramlások irányulnak
- a kialakuló mikrojetek stimulálással hatékonyabbá teszik az anyagszállítást
- minden sűrűsödési állapot után lokális ritkulás következik, mert a molekulák nagymértékben eltávolodnak egymástól
- amennyiben a ritkulások elég erősek, akkor vákuum alakul ki, amely leküzdi a folyadékot összetartó intramolekuláris erőket
- a molekulák elválása miatt kialakuló buborékok keletkezése majd összeroppanása a kis frekvenciás ultrahang alkalmazásakor áll fenn
- ezt a folyamatot fokozott energiafelszabadulás kíséri, az ultrahanggal kezelt 25 °C-os vízben összeroppanó buborékoknál kb. 4.700 °C hőmérséklet és kb. 1.000 bar nyomás alakul ki



Az ultrahang hatására bekövetkező kavitáció jelképesen

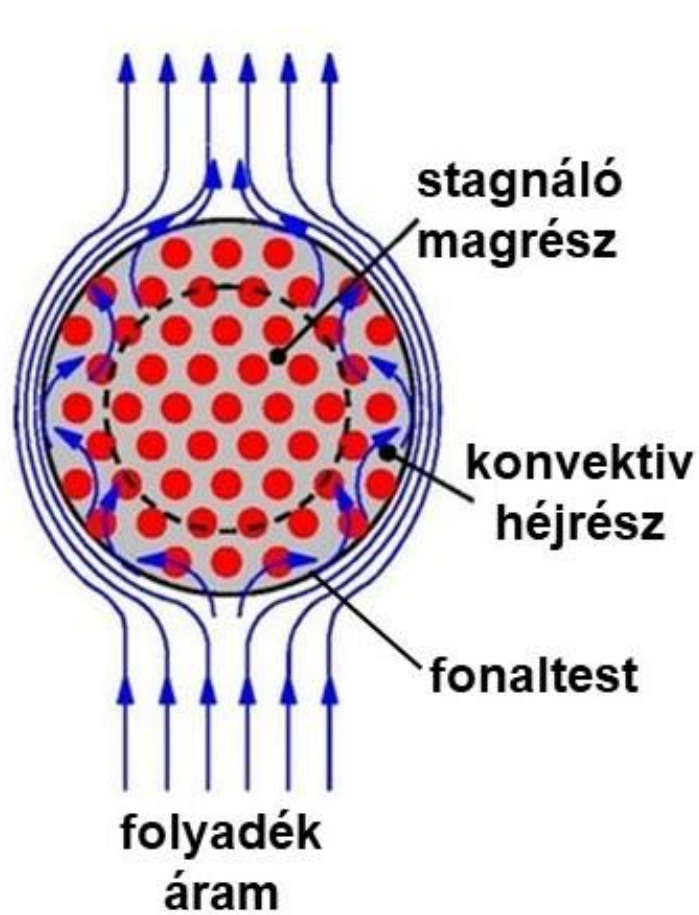


Az ultrahang előnyei a heterogén fázisú textilkémiai folyamatoknál

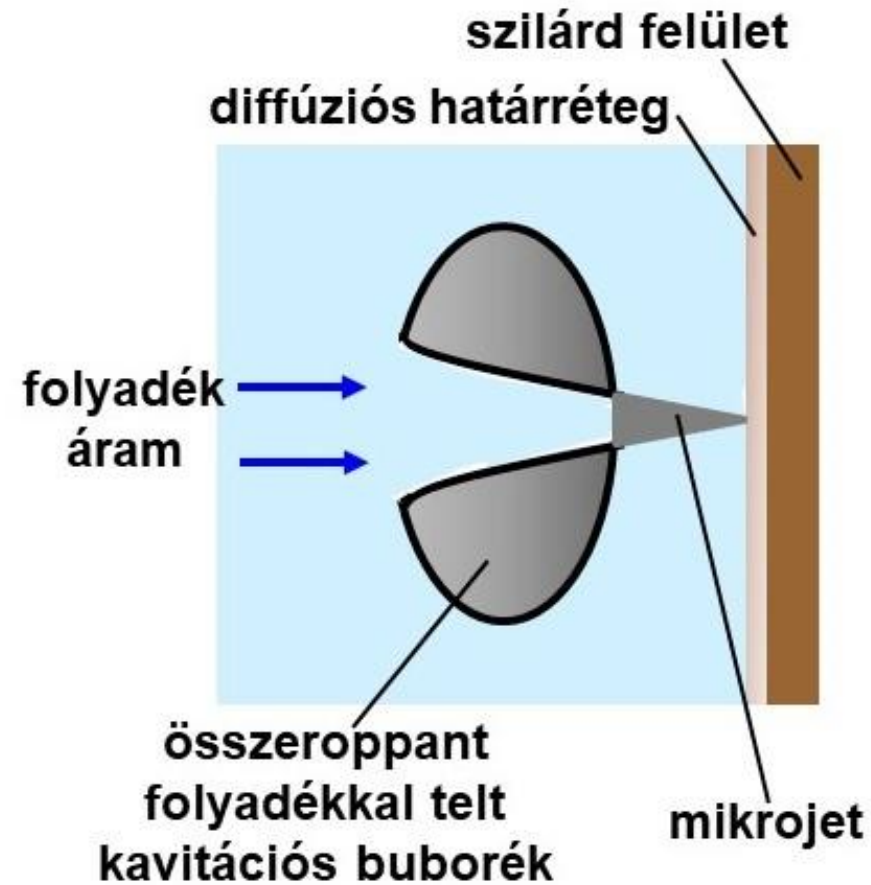
- a **kavitáció** a **heterogén rendszerekben százszoros mértékű**, mint a homogén folyadékban (heterogén: az alkotók fizikai tulajdonságai intenzív változást mutatnak és makroszkópikus határfelület jellemző; a homogén rendszerben nincsenek makroszkópikus határfelületek, a rendszer tulajdonságai megegyeznek)
- **tömegtranszport-gyorsító hatás** a **mosás**, a **színezés** területen **nagyobb**, mint a homogén folyadékban
- a **kis frekvenciás ultrahang alkalmazásával** a heterogén fázisú **textilkémiai folyamatok** hatásossága jelentősen **javítható**
- a **vizes kezelő fürdőkben** a **fonalakat nehezen átjárható határréteg** veszi körül, a **fonaltesten belül a szálak közötti gyengébb áramlási viszonyok** lassítják az anyag szállítást, emiatt a **folyamatok időigényesebbek**
- a **megszokott módszerek** - a **hőmérséklet emelése**, a **fürdő áramoltatásának fokozása** - a folyamatokat ugyan **valamennyire gyorsítják**, azonban **nem kívánt mellékhatások** léphetnek fel, ill. a **fonalak geometriája** következtében **nincs mód az elvárt hatékonyság megnövelésére**



A kezelőfürdőkben jellemző áramlások, a mikrojet kialakulása

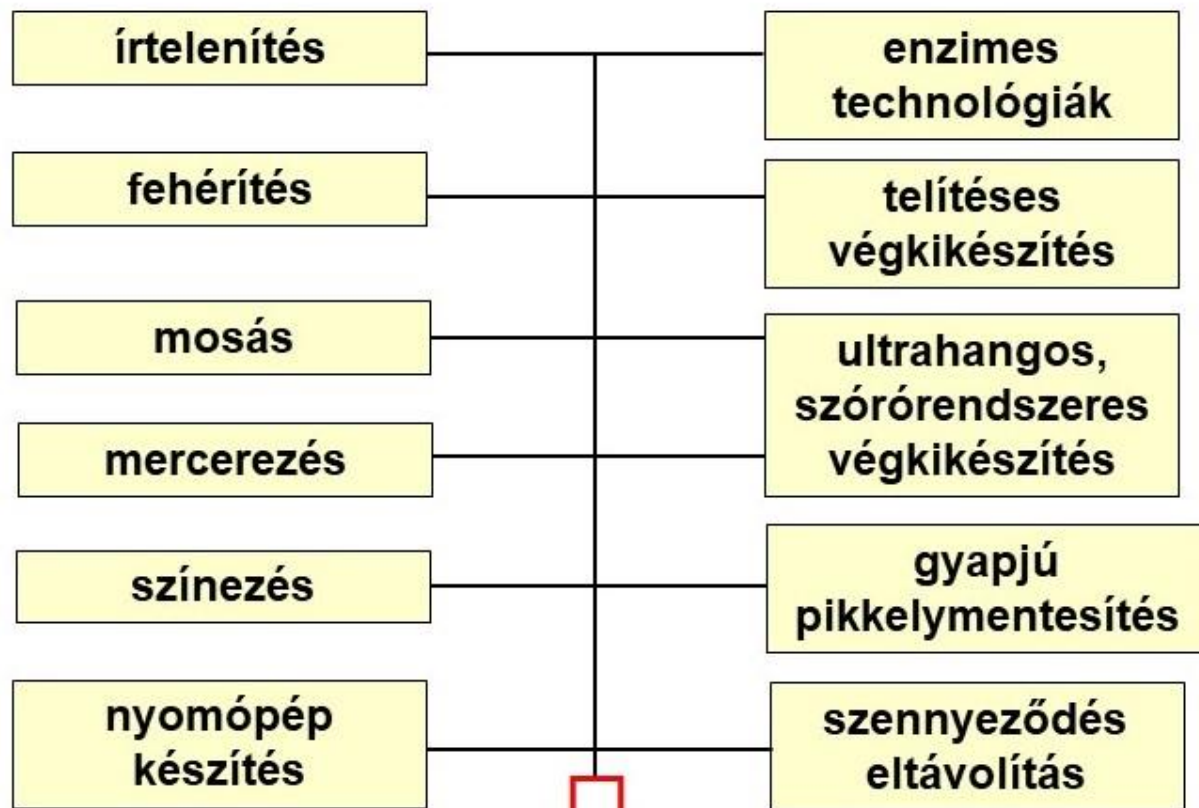


áramlási profil a fonal körül



ultrahang hatására kialakuló mikrojet

Az ultrahang szerepe a kikészítés során



kevesebb energia

kiseb vízfelhasználás

kevesebb vegyszer/segédanyag

kiseb környezetterhelés

Az ultrahang alkalmazása a kikészítésnél (1)

- az ultrahang alkalmazása (szonikáció) a **textilkémiai folyamatokban** számos előnyt jelent, pl. az **energiamegtakarítást**, **mérsékeltebb** vegyszer- és segédanyag felhasználást, **rövidebb kezelési időt**, ill. **környezeti terhelés csökkenést** és a **termékminőség javítását** támogatja
- a **szálasanyag előkezelések** során kialakuló **kavitáció** részt vesz a lazán **kötött szennyeződések eltávolításában**, valamint pl. a **gyapjúszálak pikkelyeinek** igényelt **morfológiai átalakításában** is közreműködik
- a **láncfonalakra** szövés előtt **felvitt írezőszerek** (átmeneti védőréteg kialakítása a szövés közbeni igénybevételek mérséklésére) **mechanikus eltávolítását** szintén segíti az **ultrahangos behatás** (az alkalmazott polimertől függően szükséges kémiai lebontás mellett)
- az ultrahang által **képződött buborékok** és **összeomlásuk** biztosítják a szilárd/folyékony ill. **folyékony/folyékony** rendszerekben fellépő **fizikai-kémiai hatások** fokozottabb **hatékonyságát**



íreztlen pamutfonal
keresztmetszete

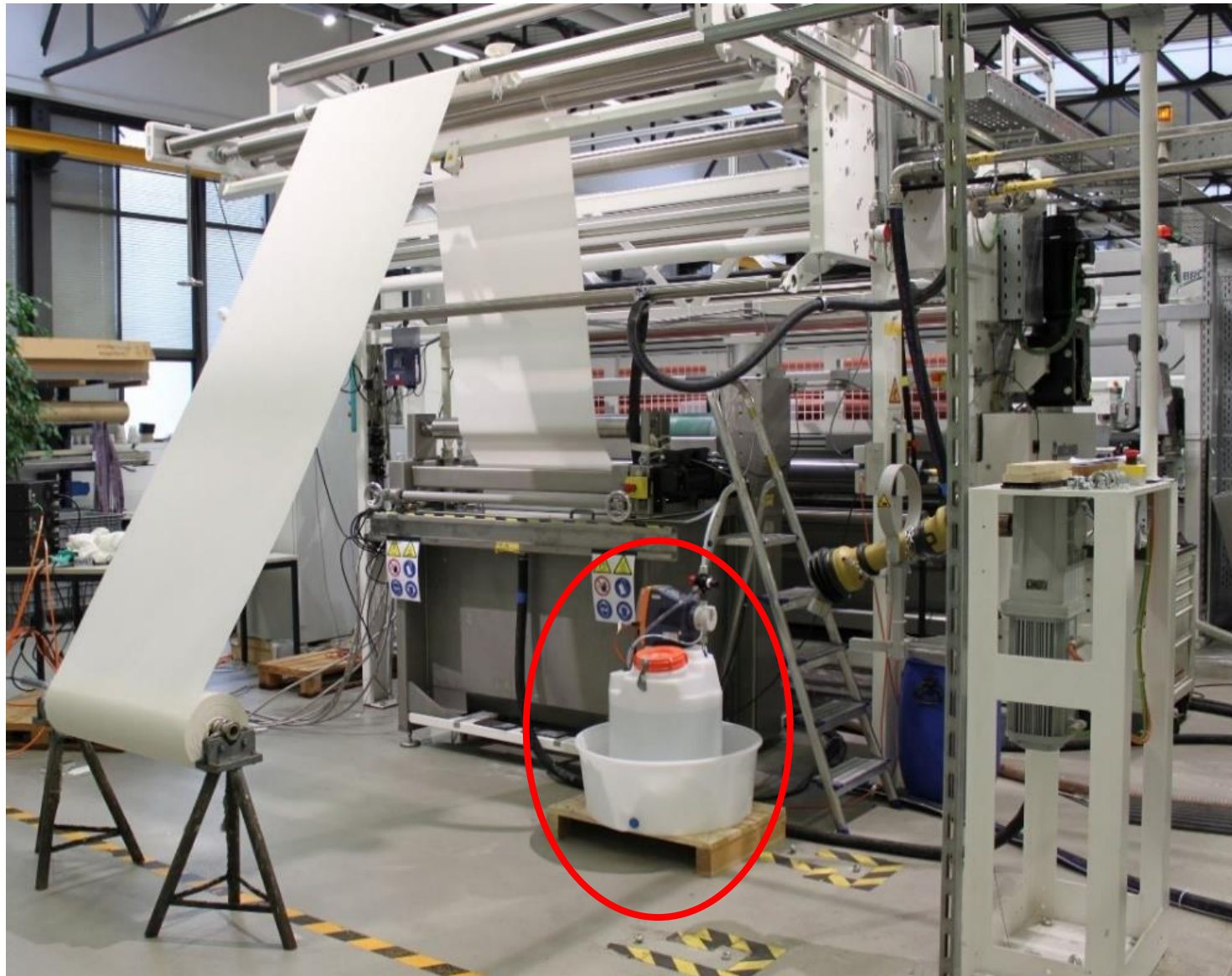


írezt pamutfonal
keresztmetszete

Az ultrahang alkalmazása a kikészítésnél (2)

- a **fehérítés** során a **víz ultrahangos** kezelése nagyon kis mennyiségű hidrogén-peroxidot is termel, azonban ez elhanyagolható a
- **glükóz-oxidáz enzim**mel történő **biológiai fehérítésnél** a **fehérségi index** fokozódása kimutatható
- a **hagyományos technológiájú előkezelésekhez**, pl. a **fehérítéshez, mercerezéshez, mosáshoz** és a **színezés** során használt **vegyszerek csaknem 90 %-a szennyvízbe** kerül, ezek közül több **biológiailag nehezen lebontható**; az **ultrahanggal kombinált eljárásoknál** ez a **terhelés kisebb mértékű**
- az **enzimes eljárások** esetén az **ultrahang** segíti a **nagyméretű molekulák szál felületre kerülését**, valamint a **fonaltest belsejébe juttatást**, tekintettel arra, hogy a **bomlás termékeknek a szál felületről történő eltávolítását is fokozza** az ultrahang, hozzájárul az **enzim katalizált reakciók sebességének növeléséhez**, ezzel a **kezelési idők mérsékléséhez**
- vannak olyan **szonikációs rendszerek** (pl. SonoPower Textile System), amelyek **utólag is beépíthetők** a meglévő **textilkikészítő gépsorokba** az oszcilláló rendszert általában már meglévő **tartályba** telepítik, amely ultrahang generátorral működik
- az **ultrahang aktiválódásakor** a generátor **elektromos energiával** látja el az **átalakítót**, a **jelátalakító az elektromos energiát hanghullámokká** alakítja, amelyek **mechanikai energiaként működnek** a különböző **kezelőfürdőkben**

Szonikációs rendszerrel kiegészített telítés



a Brückner és a Weber cég szonikációs kiegészítő rendszere antimikrobális végkikészítésnél

A szonikációs hatások további kihasználása

- ismert olyan **szonokémiai eljárás**, amely minden típusú **textíliára** alkalmas **végkikészítést** tesz lehetővé
- az **egylépcsős technológia** használható **természetes** és **mesterséges eredetű szálanyagok** alkotta, ill. **szálkeverék tartalmú textiltermékek** esetében
- az eljárásban **cink-oxid nanorészecskék** képezik az **aktív közeget**, az ultrahang hatására a kevert fürdőben folyamatosan **kis buborékok** keletkeznek, amelyek **másodperc töredéke** alatt **kitágulnak** és **összeesnek**
- a **felszabaduló energia** hatására továbbított **részecskék szilárdan beágyazódnak** a **textíliába**, a **tartós rögzítés** következtében a kialakított **képesség hosszú ideig megmarad**
- a **végkikészítési folyamat** során **nincs szükség** környezetterhelő **kötőanyagokra**, továbbá a **vegyianyagok felhasználása akár 50 %-kal is csökkenthető**
- az **ultrahang sugárzással** (pl. 10-30 percig 60 °C-on) a **pigment-nyomópépek színekiesése fokozható**
- a kezelés javítja a **színerősséget** úgy, hogy felhasznált **pépfelvitel mennyiség csökkenthető**, a **színtartósági tulajdonságoknál is javulás tapasztalható**



Végkikészítés ultrahangos szórórendszerrel (spray eljárás)

- az ultrahangos szórórendszerekkel (spray végkikészítés) a textilák speciális képességeinek elérése hatékonyabban megoldható, mint a telítéssel vagy pl. kenési technológiákkal
- a vékonyrétegű ultrahangos textilbevonatokkal többek között a víz- és olajtaszítás, a szennyleperesztő tulajdonság, ill. antimikrobiális hatás eredményesen és nagy tartóssággal kivitelezhető
- a nanoszuszpenziókat vagy oldatokat a teljes felületre permetezik, amellyel jól kötődő nano filmréteg alakul ki



- a módszerrel jelentősen csökkenthető a víz-, vegyszer/segédanyag- és az energiafelhasználás, továbbá a környezeti terhelés (légszennyezés, szennyvízterhelés stb.) is számottevően mérséklődik
- a gyártósorba beépített rendszer kellően reprodukálható és szabályozott mértékű bevonat állítható elő, mert a nagyon kicsi, egyenletes részecskeméretű porlasztott cseppek ezt garantálják
- az eltömődésmentes, ún. ultrahangos nyomófúvókák jelentősen csökkentik a tisztítás miatti állásidőt

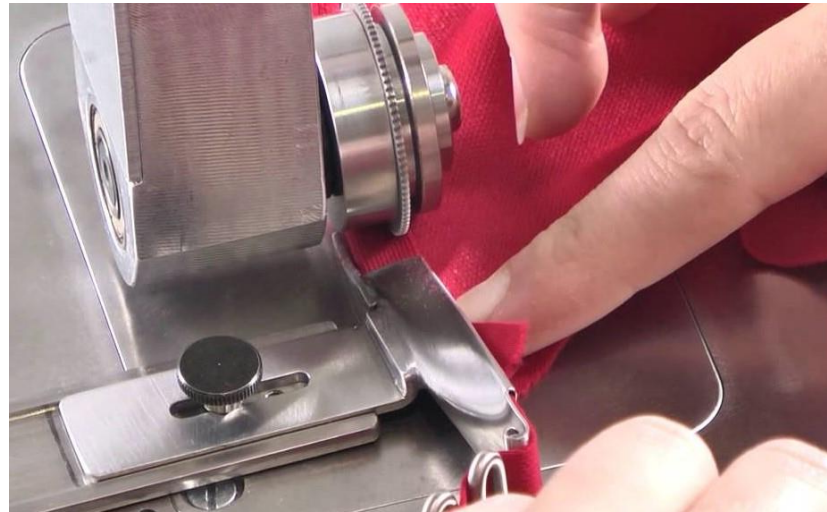
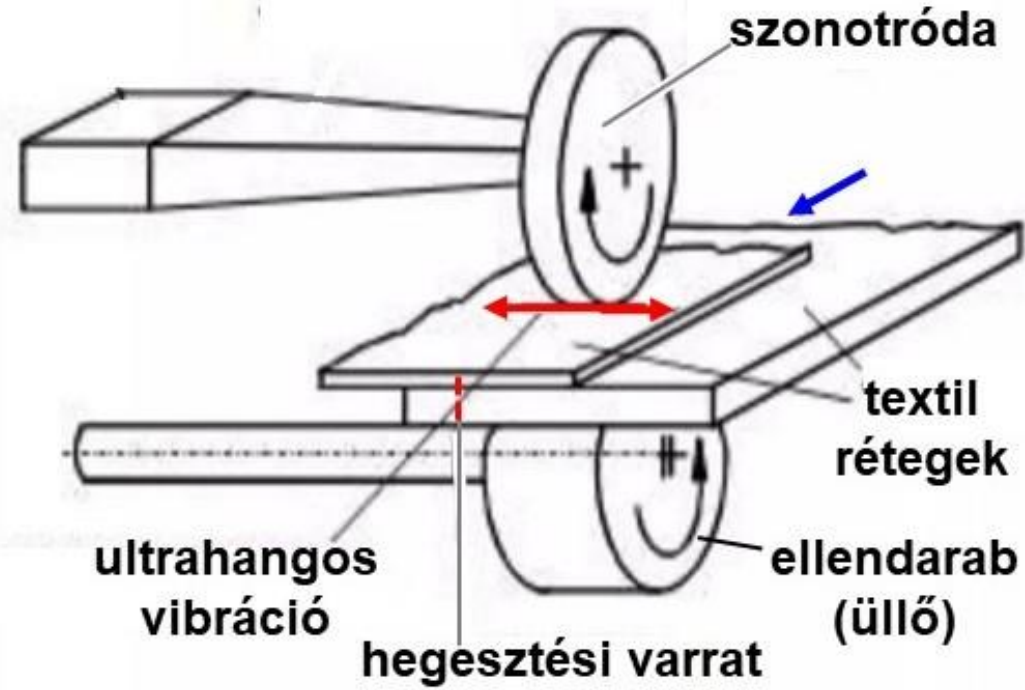
Textilanyagok hegesztése (1)

- a hegesztés **különálló anyagrészek oldhatatlan kötással történő összeerősítése**, amit számos szakterület hasznosít
- a **termoplasztikus textilanyagokat is hegesztik**, amikor a **hagyományos varrással** végzett egyesítésnél bekövetkező **tűsérülés zavaró** lenne, amit a **varrócérna nem tud megfelelően tömíteni**
- a zárás az egyes textilfeületek **hegesztéses rögzítésével**, vagy a **varratot fedő műanyagfóliasávvval** érhető el
- a **hegesztési varrat** az arra **alkalmas szálanyagú textíliák** vékony rétegű **meglágyításával**, és egyidejűleg **nagy erővel történő összenyomásával** alakul ki, mert így az **anyagrészek egymásba hatolnak**
- a **műanyag bevonatos textilrészek egyesítéséhez** hasonló kémiai összetételű **töltőanyagot** (mintegy „hegesztőpálcát”) használnak, ennek **beolvasztása** biztosítja **oldhatatlan kapcsolatot**
- a **megfelelően felmelegített** (pl. perlon típusú poliamidnál 170-180 °C, nylon típusúnál 220-230 °C, poliészternél 220-240 °C) **kelmeidomok** részecskéi olyan mértékű mozgásba jönnek, hogy közöttük nyomás hatására **erős kohéziós kapcsolat** alakul ki; a **hőközlés ultrahanggal** elért rezgési energiával is megvalósítható
- az **ultrahangos hegesztésnél** döntően a **molekuláris súrlódás** következtében valósul meg a hőfejlődés
- a **polimerben** a behatoló **ultrahang intenzitása** egyre jobban **csökken**, így a **legmagasabb hőmérséklet nem a szonotróda és a polimer felület érintkezésénél**, hanem a **polimer anyagában** alakul ki
- a rezgési **energia elnyelésével** és az **ellendarabról visszaverődő** részecskék **felmelegszenek** ill. **megolvadnak**, ennek hatására gyorsan kialakul közöttük a **kötés**
- a **rezgésszám** és a **rezgés amplitúdója** határozza meg a hőmérsékletet; az eljárással jelenleg már **20 mm szélességű hegesztett varratot** lehet kialakítani

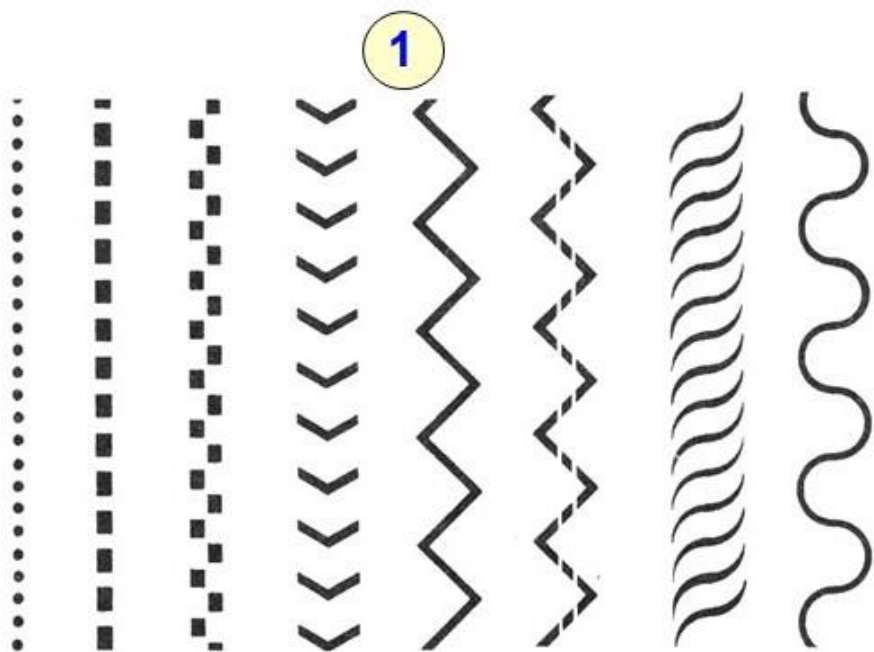
Textilanyagok hegesztése (2)

- az energiaátalakítást egy rezonátor végzi, az elektromechanikus rezgésátalakító lehet magnetosztrickiós (ferromágneses rudak párhuzamos erővonalú váltakozó mágneses térben hosszukat változtatják), piezoelektromos (pl. kvarckristály), ill. elektrosztrickiós (ferroelektromos anyagok elektromos térben kitágulnak-összehúzódnak), a rezgés átalakítón keresztül jut az energia a hegesztőszerszámhoz (szonotróda)
- az 50 Hz-es hálózati elektromágneses rezgés - a váltakozó áram - által bevitt energia mechanikai rezgéssé (ultrahanggá) alakul át
- a 20-40 kHz frekvenciájú – az erősítőtől érkező ultrahangos - rezgéseket a szonotróda - amelynek rezgési amplitúdója 0,05, 0,10 mm-es - továbbítja a hegesztőfejhez
- a ruhaipari folyamatos hegesztőgépeken az anyagtovábbító hengerpár alsó vagy a felső kereke a szonotróda ill. a forgó ellendarab [(üllő), amelynek felülete a folyamatos berendezéseknél titán, vagy titánötvözetű) tárcsa] közé - megfelelő nagyságú sztatikus nyomással - összeszorítva kerülnek a hegesztéssel egyesítendő anyagrétegek
- a rezgésienergia elnyelése és az ellendarabról való visszaverődése folytán molekuláris súrlódás hatására hő fejlődik
- a rezgés hatására háromféle hőképződés jön létre
- az abszorpciós hő a mechanikai rezgés hatására alakul ki az anyag belsejében
- a frikciós hőhatást a szonotróda idézi elő a felületi részecskék súrlódása révén
- az adiabatikus hőt a rezgésamplitúdó által bekövetkező nyomásingadozásból származó hőmérsékletváltozás váltja ki, ami főként a megolvadt anyagban jellemző

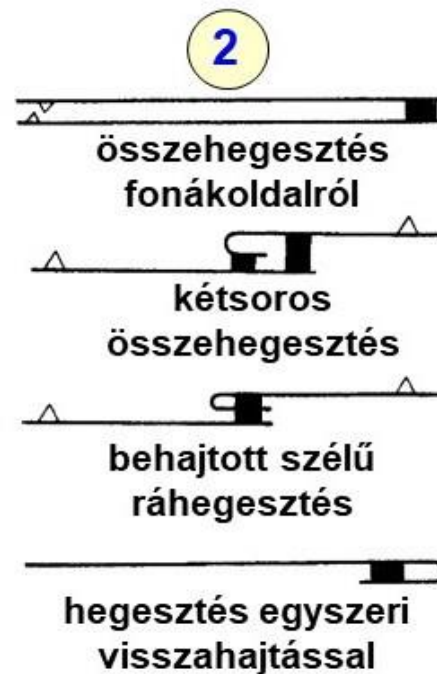
A textilhegesztő berendezés elvi felépítése



A hegesztés gyakorlata



hegesztési-varrat minták



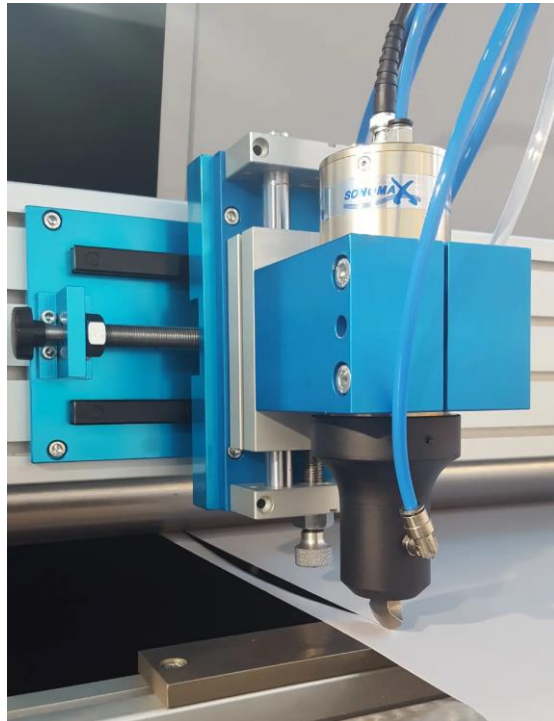
gyakori hegesztéstípusok

A hegesztéssel kialakított vízhatlan cipzárra példák

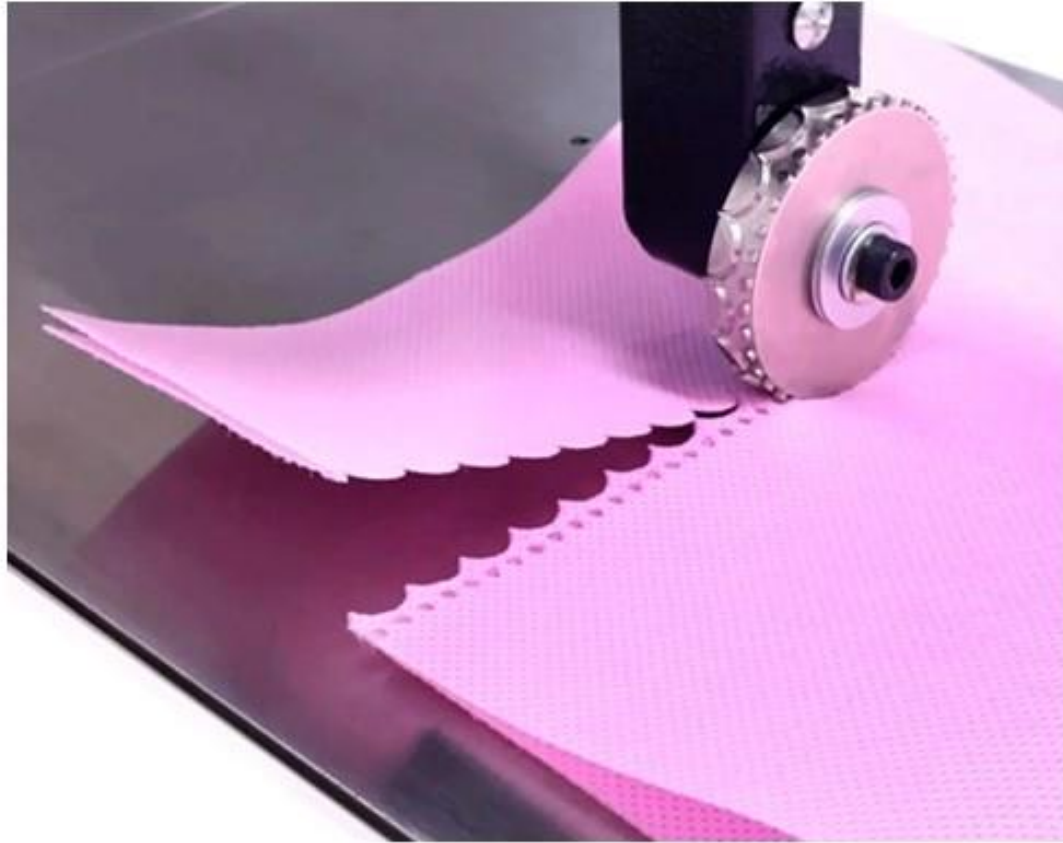


Az ultrahangos vágás lényege

- az ultrahangos vágással - megfelelő szerszám igénybevételével - a különböző textíliákból számos kialakítás érhető el az alkalmazástól függően a szonotródák - mint vágószerszámok függőlegesen, vízszintesen vagy folyamatosan képesek az anyagelválasztásra
- miután a beavatkozó részek hidegek maradnak, az ultrahangos hegesztésnél és lyukasztásnál/vágásnál, számos termoplasztikus anyag feldolgozható
- előnyös az egyenletes lyukasztási és vágási minőség, a tisztán lezárt vágott élek megvalósítása, nem következik be a vágott élek vastagodása, a vágás és lezárás többrétegű textíliák esetében alkalmazható, valamint egyszerű és gyors a szerszámcsere



Az ultrahangos hegesztésre-vágásra példák

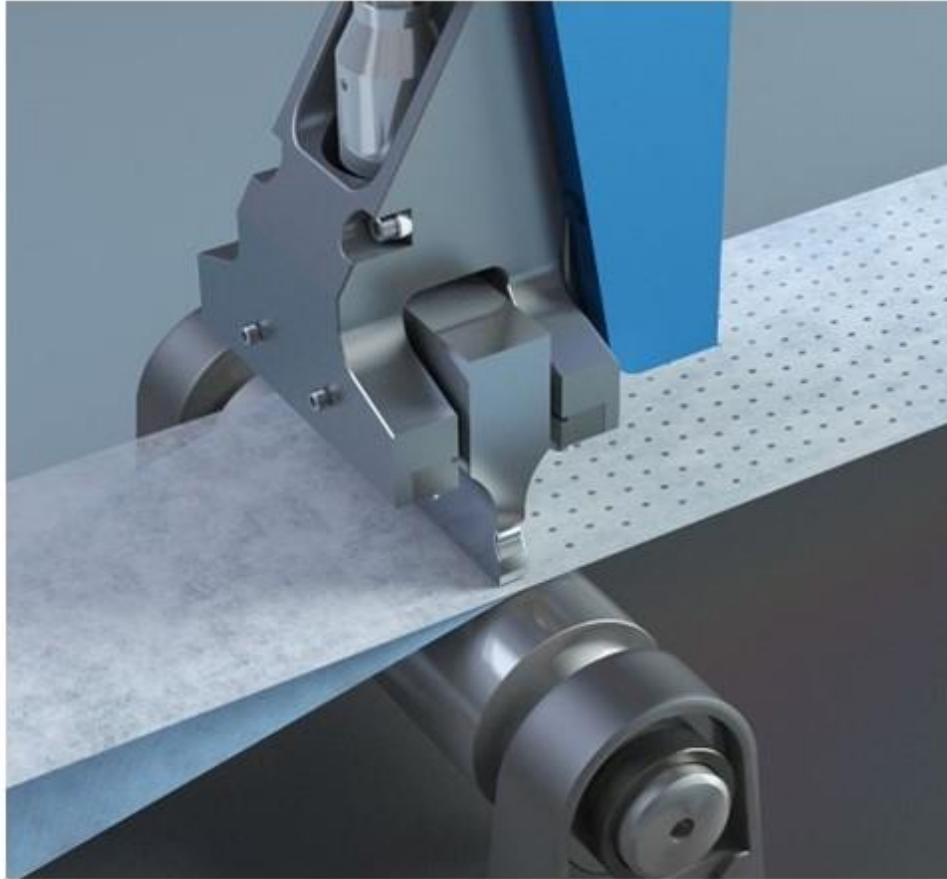


**ultrahangos csipkehegesztő-,
vágó gép**

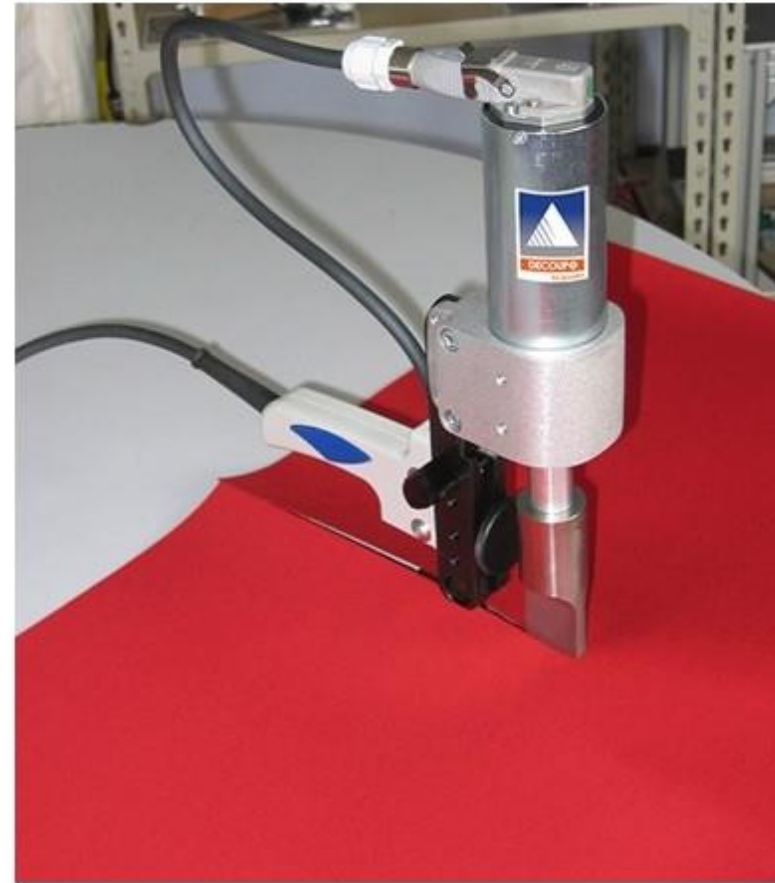


**sebészeti köpeny készítés
ultrahangos hegesztéssel**

Ultrahangos folyamatos lyukasztásra (1) és szakaszos vágásra (2) példák



1



2

Felhasznált források:

- <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=ultrasound++wiki>
- <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=sono+textil+industry>
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352554123001432>
- <https://blog.weber-ultrasonics.com/en/finishing-textiles-with-ultrasound>
- Szabó Orsolya Erzsébet - Csiszár Emília: Enzimes textiltechnológiai folyamatok hatékonyságának növelése kisméretű ultrahang alkalmazásával, Magyar Textiltechnika, 2011/3 és 2014/3
- <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=welding+textiles+with+ultrasound+wiki>
- <https://sonimat.com/en/fabrics/>
- Németh Endre – Tárkony Ferenc: Ruhaiipari Kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979
- Estu Klára – Molnárné Simon Éva – Zsédenyi Lászlóné: Ruhaiipari Technológia, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2003

Köszönöm szíves figyelmüket!

kutasicsa@gmail.com