

## **Részletes zárójelentés a „Termikus effektusok vizsgálata akusztóoptikai eszközökben” című OTKA pályázathoz**

A 2006. decemberében lezárult T 468855 számú OTKA projektünk keretében elméletileg és kísérletileg megvizsgáltuk az akusztóoptikai kristályokban működés közben fellépő termikus jelenségeket. A kérdés aktualitását az akusztóoptikai eszközök technológiájának folyamatos fejlesztése és a műszaki paraméterek javításának igénye adja, az új alkalmazások műszaki feltételeinek kielégítésére.

Egy jelentős, új eszközcsalád az Atomfizika Tanszéken is fejlesztett, széles alkalmazási perspektívával rendelkező akusztóoptikai impulzusalak - formáló - femtoszekundumos impulzusok egyidejű fázis-, amplitúdó és frekvenciamodulációjára. Ebben az eszközben a lefedett optikai sáv szélességtől függően egyszerre 10-50 akusztikus csatorna működik, és mindegyik teljesítményigényét a többi csatornától függetlenül, az adott csatornán belül elérendő diffrakciós hatások határozza meg. Az akusztikus teljesítmény-igény itt legalább egy nagyságrenddel nagyobb, mint a hagyományos egycsatornás eszközök esetében, amelyet csak nagyon jól beállított, optimalizált ultrahangkeltő-technológiával és jó hőelvezetési módszerekkel, valamint aktív hűtéssel lehet kielégíteni,

Számos új eszköz fejlesztése folyik továbbá femtoszekundumos impulzusok ritkítására, móduscsatolására, eltérítésére, modulációjára. A hasonló alkalmazásokban az eszközök anyagi diszperziója is korlátozott, ezért a legjobb akusztóoptikai hatásfokú anyagok ( $\text{TeO}_2$ ,  $\text{LiNbO}_3$ ,  $\text{PbMnO}_4$ ) nagy diszperziójuk miatt csak korlátozottan alkalmazhatók, míg az itt használatos kvarc nagyságrenddel kisebb akusztóoptikai jósági tényezőjét szintén akusztikus teljesítmény-növeléssel kell kompenzálni.

A megnövekedett akusztikus és elektromos teljesítmény egyértelműen az ultrahangkeltő és az akusztóoptikai kristály melegeedéséhez vezet, mert a nagyobb elektromos teljesítmény egy része és az akusztikus teljesítmény egésze az eszközben nyelődik el és hővé alakul át. Az akusztikus elnyelődés és a melegeedés modellezése, valamint kísérleti vizsgálata itt elsősorban az eszközök tervezését, a technológia fejlesztését valamint a hőelvezetési módszerek - hűtés, hőszabályozás- optimális bevezetését segíti elő.

Egy új eszközcsaládot képeznek a nagy pontosságú eltérítők és pásztázók, amelyek új alkalmazási területei - elektronfolyamatok kontrollált gerjesztése kis térfogatban (Bose-Einstein kondenzátumok), kétfotonos mikroszkópia, 3D megjelenítők - olyan eltérítési szög pontosságot, stabilitást és nyalábminőséget követelnek meg, amelyek csak a termikus folyamatok teljes mértékű kézbe tartásával érhetők el. Itt nagy a jelentősége az eszközön és az optikai apertúrán belül kialakuló hőmérséklet-eloszlásnak, a hő hatására bekövetkező törésmutató-változás következtében kialakuló termikus lencsének, és egyáltalán a kialakuló hőmérséklet-gradiens stabilitásának és reprodukálhatóságának.

Mindezek alapján célul tűztük ki az akusztóoptikai eszközök termikus modelljének megalkotását és pontosítását mérések segítségével. A modellben a felszabaduló hőmennyiség és a kialakuló hőmérsékleteloszlás számítása mellett a hő hatására megváltozó akusztóoptikai és optikai paraméterekre is koncentráltunk. A hőmérsékletemelkedés hatására megváltoznak az akusztóoptikai közeg elasztikus, fotoelasztikus paraméterei és a törésmutatók, ezáltal eltolódik a fény-hang kölcsönhatás hatásfoka, frekvenciája és megváltoznak az optikai nyaláb paraméterei.

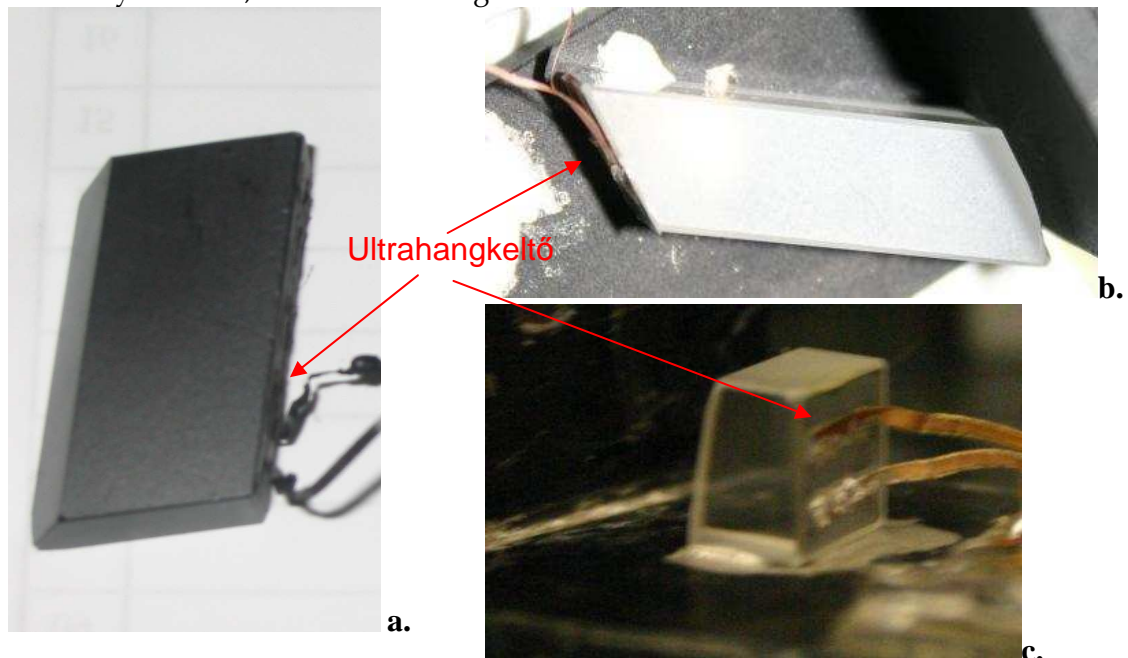
A termikus effektusokat akusztóoptikai eszközökben leíró modellt a BME Elektronikus Eszközök és Atomfizika Tanszékek együttműködésében fejlesztettük felhasználva az egyéb

termikus effektusok korábban fejlesztett modelljeit meg a rendelkezésre álló mérési lehetőségeket.

Az alábbiakban a munkatervben bemutatott feladatcsoportokra lebontva mutatjuk be munkánk eredményeit.

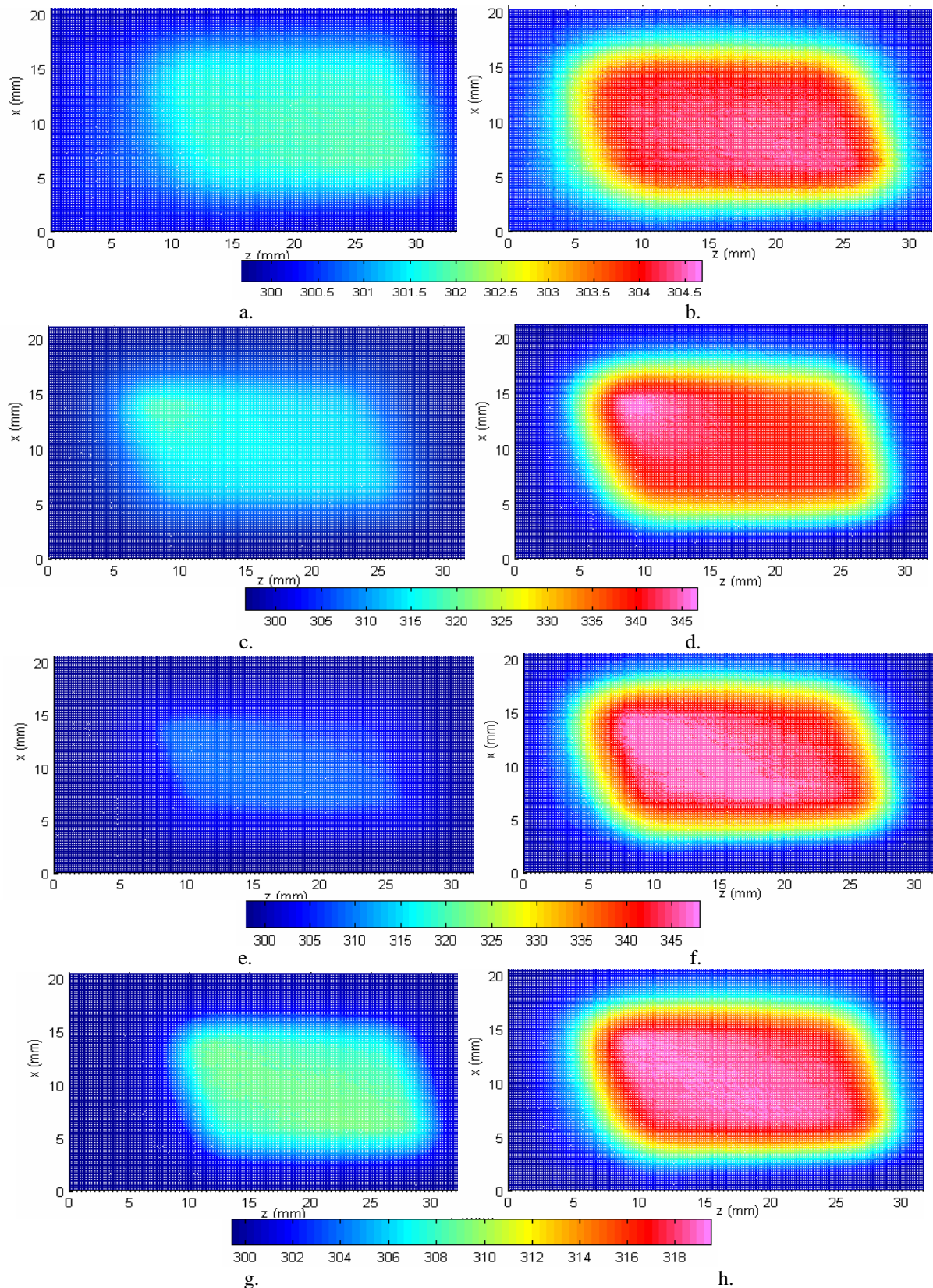
### 1. Az akusztóoptikai eszközökben jelentkező hőmérsékleti effektusok kísérleti vizsgálata

Az akusztóoptikai effektus során fellépő termikus folyamatokat kísérletileg az akusztóoptikai hatásfok teljesítményfüggésén keresztül, valamint közvetlenül a cella falain és környezetében kialakuló hőmérséklet-eloszlás regisztrációjával vizsgálhatjuk. Az első módszerrel egy adott eszköz esetén meghatározzuk azt a bemenő teljesítményszintet, amelynél a diffraktált nyaláb a hőmérséklet-emelkedés hatására instabillá válik. A közvetlen mérés során egy AGA Vision típusú infra-kamera segítségével felvesszük az akusztóoptikai cella oldalain működés közben mérhető hőmérséklet-eloszlást. A módszer segítségével pontosan megmérhetjük a legmelegebb pont helyének és a hőmérséklet-emelkedés mértékének frekvencia és teljesítményfüggését, valamint az ultrahangkeltő veszteségének és az eszköz környezetének, mechanikai befoglalásának hatását.



1. ábra Példák kísérletileg vizsgált akusztóoptikai eszközökre - különböző orientációjú és frekvenciatartományban működő szűrők

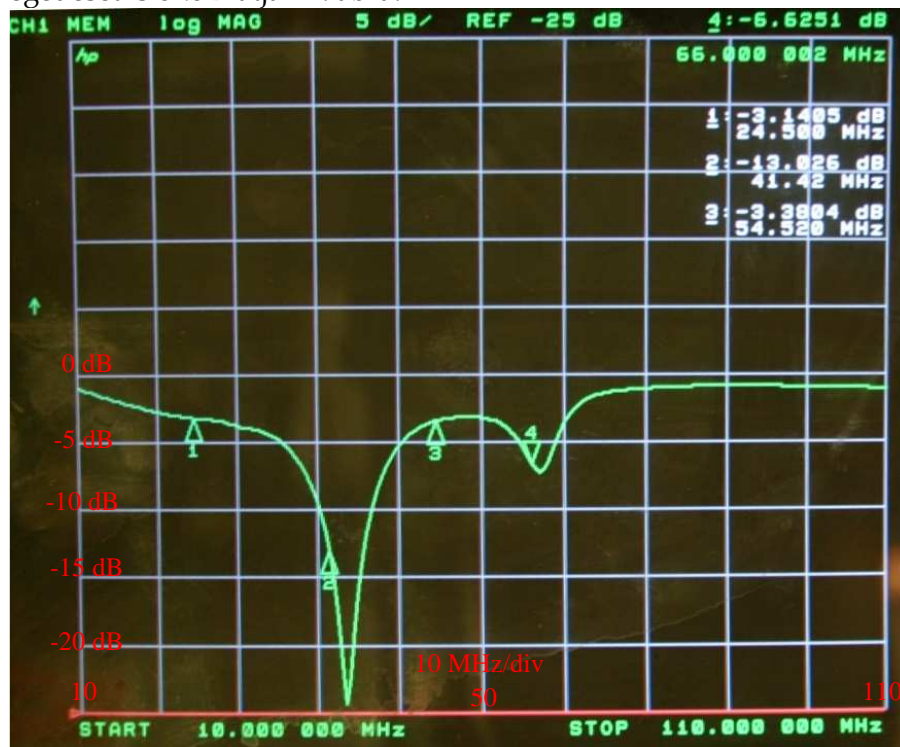
Kísérleteink során a modellben alkalmazott hővezetési és hőátadási paraméterek pontosabb meghatározására és az ultrahangkeltő frekvenciafüggő veszteség-hatásfok arányának kimérésére koncentráltunk. Méréseket végeztünk különböző próbakristályokon, különböző orientációjú, méretű, valamint különböző ultrahangkeltővel ellátott kísérleti eszközökön (1. a, b, c ábra).



2. ábra Nyíró akusztikus módust használó szűrőkristály felületén mért hőmérséklet-eloszlás különböző frekvenciákon és elektromos teljesítményszinteken  
 A bal oldali ábrákhoz (a.,c.,e.,g.,)a: belépő elektromos teljesítményszint: 250 mW  
 A jobb oldali ábrákon (b.,d.,f.,h.,) az elektromos teljesítményszint. 1.2 W  
 Az akusztikus frekvencia értékei: a-b 26 MHz, c-d: 40 MHz. e-f.: 55 MHz, g-h: 66 MHz  
 Az ugyanazon frekvencián mért hőmérséklet-eloszlások hőmérsékletértékeit közös skálán adtuk meg

A mérések eredményeit kiértékelve kimutattuk a következőket:

- A hőmérséklet-eloszlás az akusztóoptikai eszközben jelentősen függ az akusztikus frekvenciától, adott frekvencián és teljesítményszinten viszont hasonló képet kapunk. Ez jól követhető a 2. ábrán.
- Kimutattuk, hogy az adott frekvencián kialakuló hőmérséklet-eloszlás és a legmelegebb pont elhelyezkedése közvetlenül az ultrahangkeltő adott frekvencián érvényes konverziós hatásfokától azaz az akusztikus teljesítmény - betáplált elektromos teljesítmény aránytól függ. Az ultrahangkeltőből reflektálódó elektromos teljesítmény jelentősen függ a frekvenciától, amint a 3. ábrán látható reflexió-görbén jól látható.
- Megállapítottuk, hogy ha az ultrahangkeltő vesztesége, azaz a közvetlenül az ultrahangkeltőben hővé alakuló teljesítmény számottevő, akkor ez jelentősen dominálhatja a kialakult hőmérséklet-eloszlást, és extrém esetben az eszköz jelentős felmelegedését is okozhatja - 4. ábra.



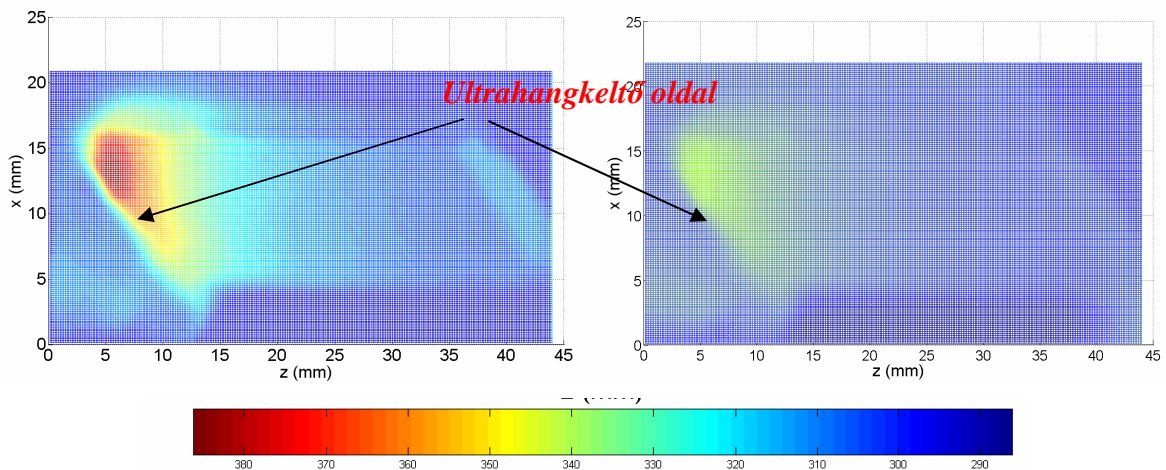
3. ábra A 2. ábrán bemutatott hőmérséklet-eloszlásokhoz tartozó szűrőkristály elektromos reflexiójának mért frekvenciafüggése. A reflexió mértékegysége dB, a frekvenciaskála 10-110 MHz között értelmezett, egy vízszintes osztás 10 MHz

Az ultrahangkeltő technológiájának és struktúrájának szisztematikus vizsgálatával megállapítottuk a következőket:

- a frekvencia-sávszélesség növelésére alkalmazott akusztikus illesztő-réteg nem a vártak megfelelően működik, és az elektromos teljesítményt a nagyobb frekvenciákon nagyobb arányban alakítja közvetlenül hővé mint hanggá.
- az elektróda-rétegek elektromos ellenállása (a párologtatott fémrétegek tisztasága és vastagsága) kritikus a veszteségek szempontjából, nagy ellenállású elektródák vagy elektromos kontaktus esetén 1 cm<sup>3</sup> kristályt már 700 mW elektromos teljesítménnyel is, 200 °C hőmérsékletűre lehet melegíteni, amely az akusztóoptikai kölcsönhatás hatásfokát nagymértékben csökkenti.
- elektronikusan, impedancia-transzformátorral illesztett és illesztetlen eszközök méréseinek összehasonlításával kimutattuk, hogy a transzformátor is elsősorban ott

hatásos, ahol eleve nagy a hangkeltés hatásfoka, ugyanakkor növeli a hőveszteséget azokon a frekvenciákon, ahol az ultrahangkeltő disszipációja és hang-keltési hatásfoka összemérhető.

Megvizsgáltuk az akusztóoptikai eszközök környezetének, az eszköz házának és az esetlegesen alkalmazott aktív hőszabályozás hatását - 5. ábra. Megállapítottuk, hogy a hőmérséklet-eloszlás szempontjából kulcsfontosságúak a kristály optikailag nem aktív felületeivel érintkező fémből készült részek, amelyek az ultrahangkeltőben és a kristály falain reflektálódó hang elnyelődése következtében felszabaduló hőt közvetlenül elvezetik. Jelentős eredmény annak kimutatása, hogy megfelelő passzív hőelvezetés, és nagyobb teljesítményszinteken aktív hőszabályozás segítségével a kialakuló hőmérséklet-eloszlás stabilizálható és ugyanazon akusztikus frekvencián reprodukálható.



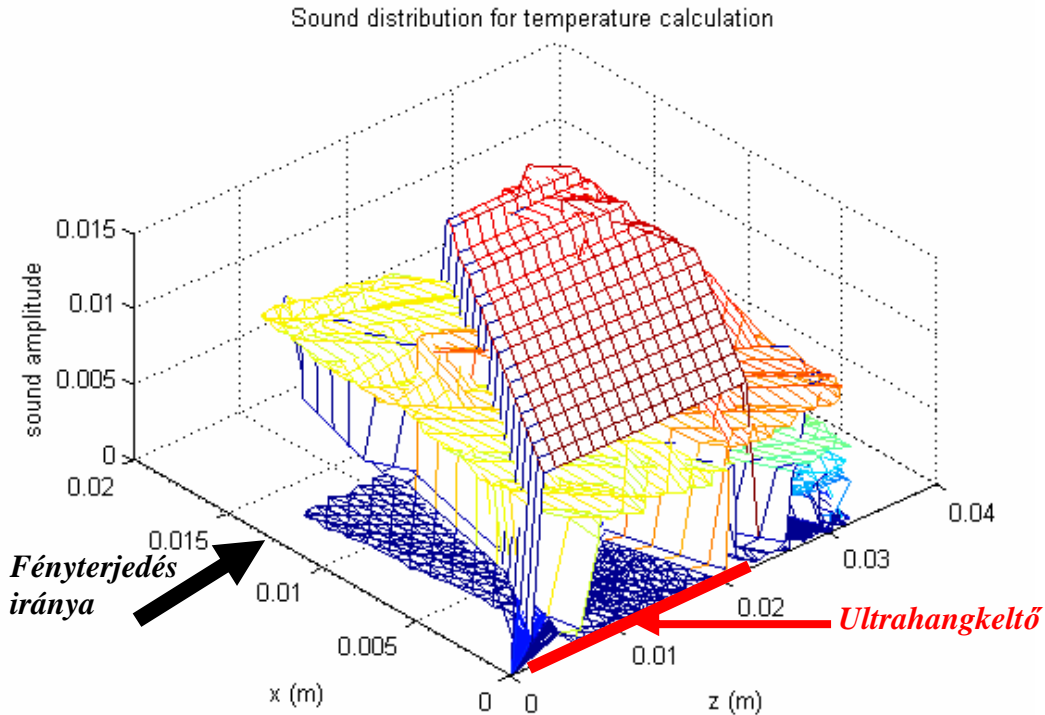
5. ábra Többsatornás akusztóoptikai szűrőn mért hőmérséklet-eloszlások.

A jelentős veszteségű ultrahangkeltő hatása **a.** és a kialakuló hőmérsékleti gradiens csökkentése és stabilizálása aktív hűtéssel **b.** - 4 W elektromos teljesítményen, 80 MHz frekvencián mérve

2. Az akusztikus elnyelődés által előidézett hőtani effektusok és a keletkező hőmérséklet-eloszlás modellezése.

A modellezés során az a Atomfizika Tanszéken korábban kifejlesztett akusztóoptikai és az Elektronikus Eszközök Tanszéken kifejlesztett hőterjedési modelltől indultunk ki. A modellfejlesztés fő irányai a hangterjedés számítás optimalizálása, a hőterjedést meghatározó együtthatók és peremfeltételek valósághoz illesztése és a termikus effektus optikai hatásának pontos leírása (a kialakuló termikus lencse optikai leírása és diffraktáló hatásának modellezése).

Megvalósítottuk egy BPM módszeren alapuló hangterjedést számoló modellt, amely megfelelő felbontással számolja a hangteret és a hang kristályfalakon történő reflexióját is figyelembe veszi. Meghatároztuk az optimális, a számítógép által még elviselt felbontást a hangterjedés modellezése során, és optimalizáltuk az algoritmust úgy, hogy a Fourier transzformációs tartomány határait a kristály fizikai határain túlra is kiterjesztettük, kihasználva a hangreflexióra alkalmazott módszerünk lehetőségeit. Egy számolt hangtérképet mutat az 5. ábra.

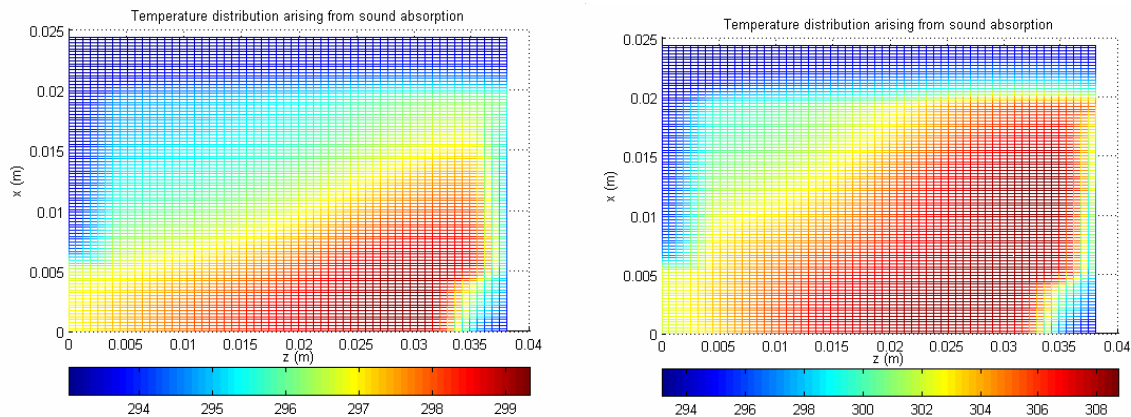


5. ábra BPM módszerrel számolt hangeloszlás egy  $20 \times 5 \text{ mm}^2$  területű ultrahangkeltővel ellátott akusztóoptikai szűrő belsejében, egy a kölcsönhatási síkban felvett metszetben

A számolt hőmérsékleti térkép pontosításához a hőterjedést a kristályban, a csatlakozó fémrészekben és levegőben szabályozó hőterjedési együtthatók pontosítására, és az ultrahangkeltő termikus hatásának modellbe illesztésére volt szükség. Az optimalizált módszerrel számolt hangeloszlásból származó disszipált hőmennyiség-eloszlással, mint kiinduló adattal, kiszámoljuk a hőmérséklet eloszlását az akusztóoptikai kristályban különböző orientációk, kristályméretek, kristálytani irányok és akusztikus módusok esetén.

A mérési eredményekkel összevetve a legnagyobb nehézséget a hőmérséklet-eloszlás frekvencia-függésének szimulálása okozta. Ennek megoldásához ki kellett dolgoznunk a veszteséges ultrahangkeltő elektromos analóg modelljét, amely az irodalomban nem található meg. A veszteségeket elsősorban az ultrahangkeltő elektromos veszteségei, nagyellenállású kontaktusai, elektródái okozzák, amelyek első feltételezésünk szerint nem frekvencia-függőek. Ugyanakkor az ultrahangkeltő egyes rétegeinek, elsősorban a ragasztóréteg akusztikus elnyelése jelentős, amely frekvenciafüggő veszteséget okoz. A veszteséges ultrahangkeltő modellbe integrálásával sikerült a hőmérséklet-eloszlás kísérletileg kapott erős frekvenciafüggését megközelíteni - 6. ábra.

Befolyásolja még a felszabaduló hőmennyiség frekvenciafüggését a hang reflexiójának anizotrópiája, amely elsősorban a kristály belsejében kialakuló melegpont helyzetét befolyásolja, ha a kristályban elnyelődő hang hatása dominál a hőmérséklet-eloszlás kialakulásában. Teljes pontossággal az anizotrop reflexiót nem tudjuk számolni, de a terjedési irány korrekciójával sikerült a melegpont helyzetét a kísérleti eredményekhez közelíteni. Jelentős korrekciót jelentett a hangterjedés irányának számításában hőmérsékletfüggő elasztikus paraméterek figyelembevétele.



a.

b.

6. ábra A 2. ábrán megadott mért hőmérséklet-eloszlásokhoz tartozó szűrőben számolt hőmérséklet-eloszlások 1.2 W akusztikus teljesítmény mellett a. 26 MHz b. 55 MHz akusztikus frekvencián

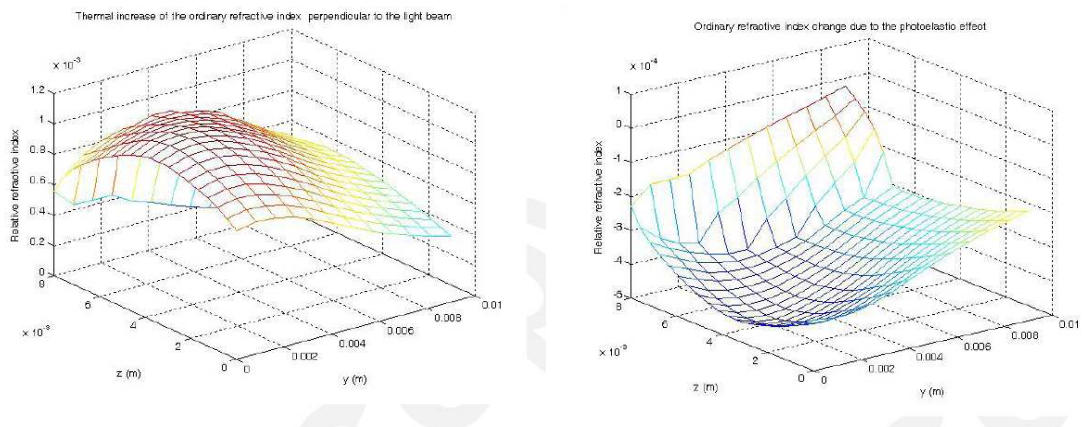
A modell fejlesztésének következő lépése az anizotróp akusztikus reflexiók pontos számolása. Erre nézve nagyon kevés irodalmi adat áll rendelkezésre, és a műveletek nagyon számításgényesek. A számítás nehézségét az okozza, hogy mind az akusztikus energia-terjedés, mind a fázisterjedés iránya kötött a kristályrácsban, ezért minden egyes reflexió pontban a kettő közötti összefüggést leíró tenzoriális egyenleteket kell végigszámolni.

3. A hőhatások optikai és elasztikus valamint fotoelasztikus paraméterekre gyakorolt hatásának matematikai modellezése.

Az akusztioptikai kölcsönhatást és az optikai terjedést befolyásoló kristályparaméterek hőmérsékletfüggő eloszlását a kristályterfogatban érvényes számolt hőmérséklet-eloszlás alapján modelleztük. A fotoelasztikus tenzor-együtthatók hőmérsékletfüggésére egyik kristályfajta esetén sem találtunk irodalmi adatot, így becslését  $\text{TeO}_2$  esetében a hőmérsékletemelkedés hatására bekövetkező akusztioptikai hatáscsökkenés mérése alapján végeztük el. Nyíró akusztikus módus esetén átlagosan  $10\text{ C}^\circ$  hőmérsékletnövekedés hatására bekövetkező 10% hatáscsökkenést mértek. Ez alapján a  $p_{11}$ - $p_{12} = p_{66}$  tenzor-elem becslött hőmérsékletfüggése  $0.012\text{ 1/C}^\circ$ . Ez a becslés csak éppen a kérdéses kölcsönhatásban leginkább szerepet játszó fotoelasztikus tenzor-elemre tehető meg

Sikeresen modelleztük a hőmérséklet-gradiens hatására kialakuló törésmutató-gradiens, azaz termikus lencse kialakulását. Az effektus modellezésénél figyelembe vettük mind az ordinárius és extraordinárius törésmutató közvetlen - intrinsic - hőmérsékleti változását, mind a fotoelasztikus hatás eredményeképpen a hőtágulás következtében fellépő változást is. Az így kiszámított termikus lencse jelentős fókuszáló és nyalábtorzító hatást fejt ki, ráadásul a hőmérséklet frekvenciafüggése miatt a diffraktált optikai nyaláb paraméterei is frekvenciafüggők.

Kimutattuk, hogy a hőtágulás következtében a fotoelasztikus hatás útján fellépő törésmutató-változás ellentétes irányú a közvetlenül a hőmérséklet-változás hatására bekövetkező törésmutató-változással, és a két hatás eredőjeképpen a törésmutató csak feleannyit változik adott hőmérsékletváltozás hatására, mintha nem lenne hőtágulás (elméletileg ez lenne a mechanikailag rögzített - beszorított - kristály esete). A csak a hőtágulás következtében kialakuló és az eredő számolt törésmutató-eloszlás látható a 7. b. illetve a. ábrán. A kialakuló termikus lencsét és a számolt törésmutató-gardienst inetgráltuk az akusztioptikai kölcsönhatást leíró bővített modellbe, a kristályon áthaladó optikai nyaláb és a diffraktált nyaláb terjedésének számításakor.



7. ábra Az ordinárius törésmutató-eloszlás hőmérséklet-emelkedés hatására bekövetkező változása  $\text{TeO}_2$  kristályban a teljes termikus törésmutató-változás  $50^\circ\text{C}$  maximális hőmérséklet-különbséggel rendelkező hőmérséklet-eloszlás hatására, amely  $250\text{ mW}$  akusztikus teljesítmény hatására jött létre egy  $10*9*8\text{ mm}^3$  térfogatú deflektor-kristályban b. a fenti körülmények között csak a hőtágulás következtében a fotoelasztikus hatás útján kialakuló törésmutató-változás

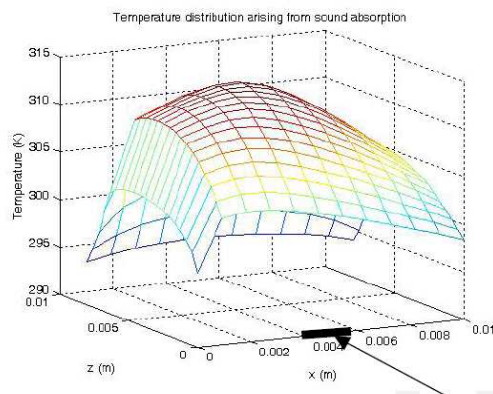
4. A modell kísérleti ellenőrzése speciálisan megtervezett és előállított akusztóoptikai mintákon, folyamatosan a modellezés során és utólag a kész modell különböző körülmények között való tesztelése

A modellt számos különböző kristálytani orientációjú akusztóoptikai minta és különböző frekvenciatartományban működő ultrahangkeltő kombinációján teszteltük. A modell alapvetően jól működik transzverzális és longitudinális módusra egyaránt, amelyekre az ultrahangkeltő átvitele és vesztesége, valamint az akusztikus terjedési irányok a kristályokban nagyon különbözők. A kialakuló hőmérséklet-eloszlás a számos befolyásoló tényező eredőjeként áll elő, ezért egy adott akusztikus módot felhasználó, adott méretű eszköz esetén pusztán a mért és számolt hőmérséklet-eloszlás egyezése nem biztos, hogy a modell minden elemének helyes működését jelenti.

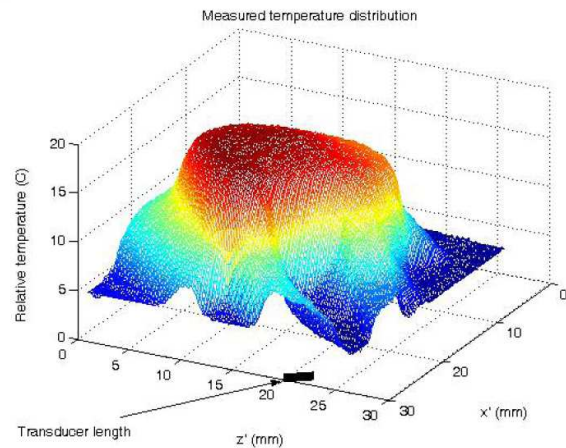
Ugyanakkor a longitudinális és nyíró akusztikus módot használó akusztóoptikai eszközök olyannyira különböznek, hogy gyakorlatilag a hangterjedést és az ultrahangkeltőt számoló programelemeket külön-külön kell megírni és kezelni. A közös elem az elnyelődött hőt és a hőmérséklet-eloszlást kiszámító modell-rész.

A modellezést és az ellenőrző akusztóoptikai valamint termovíziós méréseket mind nyíró akusztikus módot használó, különböző orientációjú szűrő és eltérítő-eszközökre, mind longitudinális módot használó modulátorokra kiterjesztettük. A longitudinális akusztikus módot használó modulátor esetén a hőmérséklet-eloszlás frekvenciafüggése kicsi, mert itt az ultrahangkeltő veszteségei dominálnak (a modulátor a  $100\text{-}200\text{ MHz}$  frekvenciatartományban működik, ahol a ragasztásos ultrahangkeltő technológia nem működik jól, és a veszteségek a puha rétegekben a frekvencia négyzetével növekednek). Egy tipikus mért és számolt hőmérséklet-eloszlást mutatunk be longitudinális módusú eszköze a 8. ábrán.





a.



b.

8. ábra Longitudinális módot használó modulátorban kialakuló hőmérséklet-eloszlás 200 mW akusztikus teljesítmény hatására a. számított b. mért

A termovíziós mérésekhez az eszközök egy részét feketére festettük, hogy a reflexiókat elkerüljük, és hogy a hőmérséklet-kiértékelő szoftver számítási pontosságát növeljük. A hőkamera hőmérsékletmérési elve az általa felvett infravörös sugárzási spektrum kiértékelésén alapul, amelyben a kiindulópont az, hogy a vizsgált test fekete testként viselkedik. Hőmérővel ellenőriztük a kamera által mért értékeket, és a vizsgált hőmérséklettartományban  $< 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  eltérést találtunk a feketére festett és  $< 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  eltérést az eredeti színű és felületű (szürke) kristályokra. A feketére festett mintadarabok optikailag már nem használhatók.

5. A modellezés eredményeként javaslatok kidolgozása a technológia ill. a tervezés kibővítésére a hőhatások minimalizálását elősegítő elemekkel, módszerekkel, ezek kísérleti tesztelése

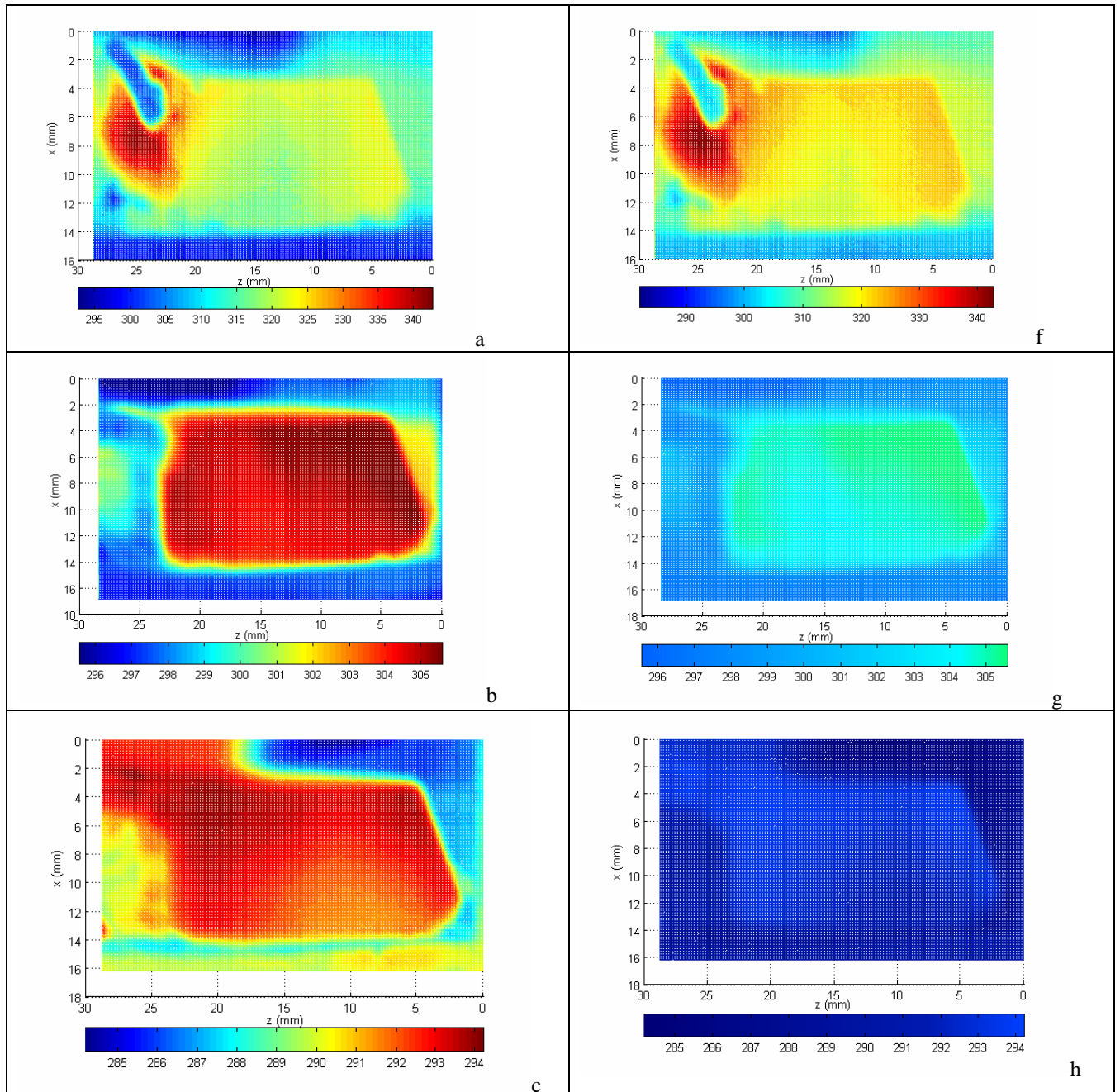
A modellezés és mérések eredményeképpen megállapítottuk a legfontosabb hőforrásokat az eszközökön belül és megállapítottuk, hogy a legmelegebb pont általában az ultrahangkeltőn, illetve az eszközök ultrahangkeltővel szemközti oldalán alakul ki. A mérések alapján egyértelművé vált, hogy az egyik legjelentősebb hőforrás az ultrahangkeltő, és a hasznos teljesítmény jelentős része ittvész el, ha a technológia javításával ezt nem küszöböljük ki.

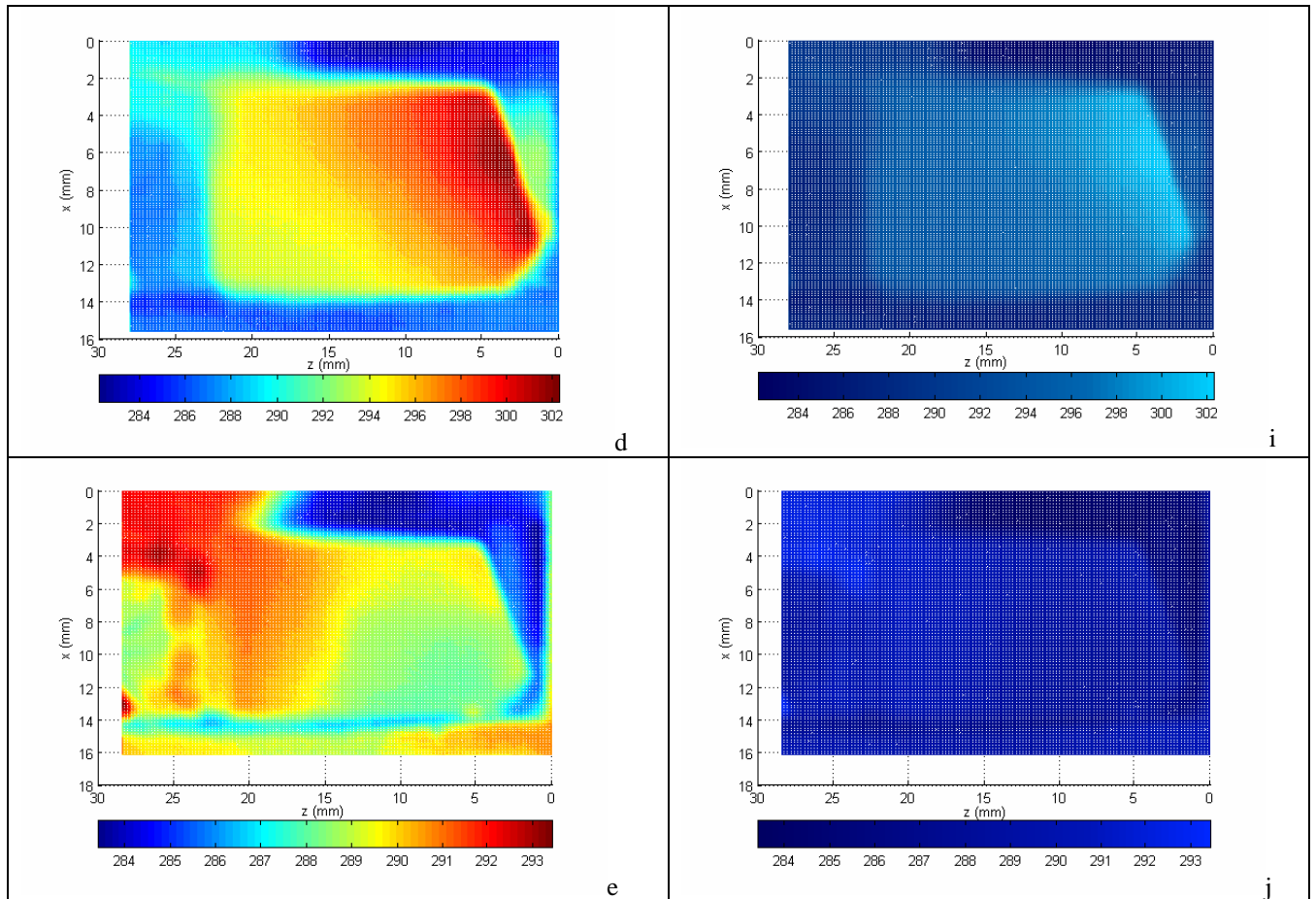
Az ultrahangkeltő-vesztésének csökkentésére bevezettük a következő technológiai lépéseket:

- az újonnan készülő eszközökön a vezető réteget elektron-sugaras technológiával legalább  $1\text{ }\mu\text{m}$  vastagságúra készítjük, és egy Cr réteget viszünk fel a kristály felületére, az elektróda alá, hogy a vastagabb elektróda tapadását elősegítsük. Az új rétegek fajlagos ellenállása  $0.2\text{ }\Omega/\text{cm}$ , így ezek vesztesége már nem számottevő
- az ultrahangkeltő ragasztására külön ragasztószerszámot terveztünk, amellyel a ragasztóréteg vastagságát, és így az ultrahang elnyelődését csökkentettük
- kidolgoztunk egy vákuumban működő termokompressziós ultrahangkeltő-kötési eljárást, amely csak fémréteget tartalmaz, a célberendezés elkészítése folyamatban van
- az akusztikus impedancia-illesztőréteget porlasztással állítjuk elő- optimalizáltuk a porlasztási időt, hogy a réteg homogenitásának növekedésével csökkenjen az akusztikus abszorpció

A melegpontok helyének feltérképezésével kidolgoztuk az akusztóoptikai eszközök házának olyan konstrukcióját, amely az eszköz felületeiről maximális hatékonysággal vezeti el a hőt. Ehhez a leginkább érintett ultrahangkeltőről és a szemközti kristályoldaltól vezetjük el a hőt olyan fém alkatrészekkel, amelyek a kristály teljes lapjával érintkeznek. Ezeket az alkatrészeket, amelyek hőhidat képeznek a kristály és a fémház között, a kristály és az elektromos kontaktusok beszerelése után szereljük be a végleges házba. A hővezetést a fémfelületek és a kristály falai között hővezető pasztával javítjuk. Az ultrahangkeltőre szerelt fém-éket az ultrahangkeltőtől elektromosan jó hővezető teflonszalaggal szigeteljük el.

Kidolgoztunk egy kétlépcsős, szabályozható hőmérsékletstabilizáló rendszert, amely az akusztóoptikai eszköz háza alá szerelt Peltier elemből, valamint annak meleg oldalát hűtő vízhűtő körből áll.





9. ábra Az aktív és passzív hőelvezetési elemek hatását bemutató kísérletsorozat szemléltetése. A hőmérséklet-eloszlást egy  $\text{TeO}_2$  akusztóoptikai szűrő optikai apertúrájának síkján vettük fel, balra az ultrahangkeltő síkja látszik perspektívában. Az alkalmazott elektromos teljesítmény 4W.

a. és f.- gyakorlatilag csak a fém doboz- alaplappal érintkező, szabadon álló kristályban kialakuló hőmérséklet-eloszlás 26 MHz frekvencián

b. és g - Az ultrahangkeltőre szorított hőelvezető-ék hatására megváltozott hőmérséklet-eloszlás 26 MHz frekvencián

c. és h. - Peltier elem bekapcsolva - az aktív szabályozás bekapcsolása után kialakuló hőmérséklet-eloszlás 26 MHz frekvencián

d. és i. - aktív szabályozás továbbra is bekapcsolva de az eszközt áthangoljuk 41 MHz frekvenciára

e. és j. - az ultrahangkeltővel szemközti oldalon elhelyezett fém hő-elvezető elem hatása a hőmérséklet-eloszlásra 41 MHz frekvencián, az aktív hőszabályozás és hűtés bekapcsolva

A bal oldalon a hőmérséklet-eloszlások maximális szín-kontraszttal láthatók, a jobb oldalon a hőmérsékletértékek egy közös skálán érvényesek, mind az öt ábrán

Az eszköz hőmérsékletét a dobozába szerelt hőmérő (AD 592) segítségével stabilizáljuk, a hőmérő kimeneti jele egy visszacsatoló áramkörön keresztül szabályozza a Peltier elem áramát. A Peltier elem meleg oldalának hőmérsékletét vízhűtéssel stabilizáljuk, így az eszköz hőmérsékletét az akusztikus teljesítmény és frekvencia tág tartományában  $1\text{ }^\circ\text{C}$ -ra stabilan tarthatjuk.

A 9. ábrán mutatjuk be a hő-stabilizálási és hőelvezetési rendszer elemeinek működését. A 9 a. és f. ábrán látható egy akusztóoptikai szűrő optikai apertúrájának hőmérséklet-eloszlása természetes állapotban, amikor az eszköz csak egy fémlappal érintkezik az alapján. A bal

oldalon látható a felmelegedett ultrahangkeltő, és a némi hűtő-hatást kifejtő fém-elektroda. Az eszköz olyan frekvencián működik, amikor az ultrahangkeltő vesztesége dominál a hőmérséklet-eloszlás kialakulásában. A b. ábrán egy fém éket szorítottunk az ultrahangkeltőhöz teflon szalag és hővezető paszta közbeiktatásával. A hőmérséklet gradiense és a maximum-hőmérséklet ennek hatására jelentősen lecsökkent. Ezek után bekapcsolva a Peltier elem hűtését a c. ábrán látható hőmérséklet-eloszlást kapjuk, amelyben a hőmérséklet-tartomány lefele tolódott, és a gradiens is csökkent. De ha az eszközt egy olyan frekvenciára hangoljuk, amelyen a kristály hátsó oldala melegszik, a hőmérséklet-gradiens a Peltier -hűtés ellenére megnő - d. ábra. Ha viszont egy hozzászorított fém ékkel a hátsó falról is elvezetjük a hőt, gyakorlatilag minden frekvencián egyenletes hőmérséklet-eloszlást és kis hőmérséklet-gradienst kapunk - e. ábra.

A jobb oldali ábrákon az a-e. ábrákon (bal oldalon) látható hőmérséklet-eloszlásokat ábrázoltuk úgy, hogy egy közös színskálát alkalmaztunk minden eloszlásra. Így közvetlenül látható a hőmérséklet-különbség kiegyenlítődése a hőelvezetés hatására. Az így kialakított rendszer különösen nagyobb teljesítményigényű, több akusztikus csatornát felhasználó alkalmazások esetén kulcsfontosságú.

## Összefoglalás

Kutatási projektünk során különböző típusú és rendeltetésű akusztóoptikai eszközökben kialakuló termikus jelenségeket vizsgáltuk. Kidolgoztuk az akusztóoptikai effektus termikus modelljét, amelyben az akusztikus nyaláb elnyelődése, valamint az ultrahangkeltő elektromos és akusztikus veszteségei következtében felszabaduló hőmennyiség-eloszlást, az ennek megfelelő hőmérséklet-eloszlást szimuláltuk. A modellt akusztóoptikai határfok és kölcsönhatási frekvencia-mérésekkel, valamint működő akusztóoptikai cellán végzett termovíziós mérésekkel fejlesztettük és ellenőriztük. A hőterjedés során felhasznált hővezetési és hőátadási paramétereket az infra-kamerával mért hőmérséklet-eloszlások alapján illesztettük a modellbe.

A számolt és mért hőmérséklet-eloszlás és hőmérséklet-növekedés segítségével kiszámoltuk az akusztóoptikai kristályok optikai paramétereinek (törésmutatók) és akusztóoptikai paramétereinek (fotoelasztikus tenzor-elemek) változását, és ezeket integráltuk az akusztóoptikai kölcsönhatást, azaz a fény hangoszlopon bekövetkező diffrakcióját és terjedését leíró modellünkbe. Megállapítottuk, hogy az üzemi hőmérsékleten kialakuló termikus lencse jelentősen befolyásolhatja a fénynyaláb terjedési irányát és intenzitás-eloszlását.

Eljárásokat dolgoztunk ki az ultrahangkeltő veszteségeink csökkentésére a technológia javításával, valamint optimalizáltuk az akusztóoptikai eszközök befoglalását. A nagyobb akusztikus teljesítményen működő eszközöket kiegészítettük egy kétkörös aktív hő-elvezető és hűtőrendszerrel, amely az eszköz hőmérsékletének aktív szabályozására is képes. A bevezetett módszerekkel sikerült az eszközök hőmérsékletnövekedését nagyobb elektromos teljesítmény esetén is korlátozni, valamint a hőmérséklet-eloszlás frekvenciafüggését és gradiensét a kristályban csökkenteni.

Eredményeinket egyelőre két referált folyóiratban megjelenő cikkben és két konferenciakiadványban publikáltuk. A projekt eredményeiből eddig egy TDK dolgozat és egy diplomamunka született. A modellezés és a kísérleti vizsgálatok a lehetőségekhez mérten tovább folynak, így a közeljövőben várhatóan újabb publikációk születnek.

