



DEFINIČNÝ DOKUMENT

A METODICKÝ RÁMEC VÝSKUMU

NÓDA - N1



Definícia Triaurálneho akustického rezonátora,
taxonómia, kymatika, bezpečnosť a etika



Rozšírený výskumný návrh a technické
podmienky pracoviska



Rozbor financovania ako
otvorená príležitosť



www.triaural.com

TRIAURAL - 2026



info@triaural.com

03.09.2026

ÚVODNÉ SLOVO

TRIAURAL vznikol z jednoduchej otázky, ktorá nečakane otvorila široké polia ďalších. Čo sa zmení, ak sa známa dvojramenná ladička rozšíri o tretie rameno a jej geometria dostane priestorovú symetriu? Niekedy stačí malá zmena tvaru, aby sa známy predmet stal novou výskumnou otázkou.

Z tejto úvahy postupne vyrástol predmet neformálnych rozhovorov s jazykovými modelmi umelej inteligencie (AI) na rozhraní mechaniky, akustiky, geometrie, materiálov a štruktúry vlnového poľa. Táto práca zachytáva stav, v ktorom sa pôvodná myšlienka mení na presne definované výskumné zadanie.

Predchádzajúce dialógy a otázkové dokumenty tvoria exploratívnu vrstvu projektu. Ich úlohou bolo zmapovať možné smery, súvislosti a hranice témy bez nároku na experimentálne potvrdenie. Výskumné programy N1-N3 na túto exploratívu nadväzujú odlišným režimom: hypotézy, metódy, merateľné veličiny a kritériá vyvrátenia sú formulované tak, aby mohli byť nezávisle testované. Exploratíva zostáva zachovaná ako záznam vzniku otázok; výskumný status sa následne odvíja od metodického a experimentálneho postupu definovaného v týchto programoch.

Tento dokument vznikol mimo akademického prostredia. Nemá za sebou inštitúcie, katedry ani granty a v čase jeho vydania ani jedno systematické meranie, o ktoré by sa mohol oprieť. O to väčší dôraz preto kladie na jasné pomenovanie predmetu, jednotnú terminológiu, rozlíšenie váhy tvrdení a formulovanie otázok spôsobom, ktorý umožňuje ich experimentálne overenie.

V texte sú preto jasne oddelené doložené poznatky, pozorovania, hypotézy a vízie. Rozhodujúce tvrdenia sú spojené s merateľnými veličinami a hypotézy s podmienkami, podľa ktorých bude možné kvalitné posúdenie.

N1 je prvým metodickým rámcom trojdielneho výskumného kompendia. Má vytvoriť spoločný základ pre ďalšie merania, modelovanie, nezávislé overovanie a otvorenú diskusiu.

Nasledujúce stránky sú mapou otázok, ktoré čakajú na experimentálnu odpoveď.

- TRIAURAL -

OBSAH

01	<u>ABSTRAKT A POSTAVENIE DOKUMENTU</u>	9
1.1	<u>Cieľ dokumentu</u>	9
1.2	<u>Postavenie v dvanásťdielnom celku</u>	9
1.3	<u>Epistemický register a označovanie</u>	10
1.4	<u>Predregistrované a exploratívne nálezy</u>	11
1.5	<u>Čo dokument netvrdí</u>	12
02	<u>VZNIK POJMU TRIAURAL</u>	13
2.1	<u>Dvojramenná ladička a prečo sa stala normou</u>	15
2.2	<u>Čo prináša tretie rameno</u>	15
2.3	<u>Čo o príbuzných témach hovorí literatúra</u>	16
2.4	<u>Čo v literatúre chýba</u>	17
2.5	<u>Rešeršný protokol</u>	18
2.6	<u>Pôvod a význam pojmu</u>	22
2.7	<u>Prečo je dokument publikovaný otvorene</u>	23
03	<u>DEFINÍCIA SYSTÉMU</u>	24
3.1	<u>TRIAURÁLNY REZONÁTOR - monolitný člen</u>	24
3.2	<u>FORKER - elektromagnetický vibračný budič</u>	25
3.3	<u>EMT - Electro-Magnetic Triaural Transductor</u>	26
3.4	<u>Ohnisko a jeho teoretické vymedzenie</u>	28
3.5	<u>Čo systém zahŕňa a čo nie</u>	28
04	<u>REBRÍK ZLOŽITOSTI L0 - L7</u>	29
4.1	<u>Princíp rebríka</u>	29
4.2	<u>Prehľad stupňov</u>	29
4.3	<u>Akustická vetva: L0 až L5</u>	29
4.4	<u>Elektromagnetická a hybridná vetva: L6 a L7</u>	30
4.5	<u>L2 oproti L3 - kľúčová kontrola</u>	31
4.6	<u>Prečo sa poradie dodržiava</u>	31
05	<u>KLASIFIKÁCIA ZARIADENÍ</u>	33
5.1	<u>Akustické monolitné rezonátory</u>	33
5.2	<u>Multipolárne elektromagnetické zariadenia</u>	33
5.3	<u>Hybridné zariadenia</u>	33
06	<u>GEOMETRICKÁ DESKRIPCIA</u>	34
6.1	<u>Čo určuje konfiguráciu</u>	34
6.2	<u>Vzťah medzi vrcholovým uhlom nosných ramien a sklonom k osi</u>	35
6.3	<u>Šesť základných konfigurácií</u>	36

6.4	Zrkadlové konfigurácie a axiálna polarita	39
6.5	Orientácia hlavných radiálnych žiaričov	39
6.6	Konfigurácie s vyšším počtom ramien	41
6.7	Artikulárne varianty	41
6.8	Tolerancia geometrie	41
6.9	Otvorenosť taxonómie	42
07	NORMATÍVNA TERMINOLÓGIA	43
7.1	Typy polí	43
08	DEFINÍCIA UHLOVÝCH PARAMETROV	47
09	FYZIKÁLNY ZÁKLAD	49
9.1	Východisko: čo robí dvojramenná ladička	49
9.2	Čo sa zmení pri troch ramenách	49
9.3	Prečo môže vzniknúť rotácia	50
9.4	Podmienka, ktorá to celé drží	51
9.5	Fázová cirkulácia a akustické prúdenie	52
9.6	Meranie momentu hybnosti	54
9.7	Mierka a čo z nej vyplýva	56
9.8	Stav techniky: ako sa akustické víry vyrábajú dnes	57
9.9	Dvojfrekvenčné budenie a rozdielová dynamika	58
9.10	Doterajšie indície	59
9.11	Presahy do iných odborov	62
9.12	Mierková vetva: prechod do ultrazvuku	63
10	KYMATIKA A AKUSTICKÝ HOLOGRAM - POLE, KTORÉ VIDNO A POČUŤ	67
10.1	Od obrazu k metóde	67
10.2	Čo obrazec zobrazuje	68
10.3	Kvantifikácia obrazca	69
10.4	Kontroly a artefakty	69
10.5	Laserové zameranie uzlovej siete	70
10.6	Poloha amplitúdového minima	70
10.7	Väzba na činiteľ akosti	71
10.8	Zaslepený klasifikačný test	71
10.9	Vizualizácia v objeme	72
10.10	Kandidátske mechanizmy	73
10.11	Rozlišovací test frekvenciou	73
10.12	Kontrolné merania objemovej vizualizácie	73
10.13	Zásevové médium a snímanie	74
10.14	Kvantitatívne vyhodnotenie	74

10.15	Škálovanie komory	76
10.16	Akustický hologram - pole, ktoré počuť	76
10.17	Čo o tejto štruktúre hovorí akustika	76
10.18	Vrstevnatá štruktúra	77
10.19	Meracia zostava	77
10.20	Kontroly	78
10.21	Vnímanie polohy zdroja	79
10.22	Prenos cez konštrukcie	79
10.23	Nezávislosť od monolitu	79
11	VODA A KVAPALNÉ MÉDIÁ	80
11.1	Prečo voda	80
11.2	Východiskové pozorovanie a jeho status	80
11.3	Faradayova vlna	81
11.4	Rotačný test	82
11.5	Depozícia ako záznam poľa	82
11.6	Merateľné veličiny vody	83
11.7	Senzorické hodnotenie	83
11.8	Kryštalizácia v poli	84
11.9	Tepelný príkon do vzorky	84
11.10	Režim pôsobenia	85
11.11	Terminologické vymedzenie	85
12	SYNTÉZA POĽA VIACZDROJOVÝM BUDENÍM	87
12.1	Otázka, ktorú kapitola rieši	87
12.2	Trojuholníková zostava	87
12.3	Metrika zhody	88
12.4	Čo syntéza dokáže navyše	89
12.5	Priestorové zostavy	90
12.6	AURISONIC	90
12.7	Minimálny počet zdrojov	91
12.8	Fázové riadenie ako spoločný nástroj	92
12.9	Presnosť fázy a jej limity	92
13	BEZKONTAKTNÉ BUDENIE A SNÍMANIE	93
13.1	Prečo úder kladívkom nestačí	93
13.2	Elektrostatické budenie	93
13.3	Magnetostrikčné budenie	94
13.4	Trojkanálový magnetický odber	94
13.5	Budenie jedného ramena	97

13.6	<u>Spôsoby magnetizácie</u>	97
13.7	<u>Ladenie frekvencie magnetickým poľom</u>	98
13.8	<u>Vplyv magnetizácie na dozvuk</u>	98
13.9	<u>Kontrola magnetického zaťaženia a modálneho rozštiepenia</u>	98
13.10	<u>Sympatetická väzba dvoch rezonátorov</u>	99
13.11	<u>Merané veličiny väzby</u>	100
13.12	<u>Reciprocita - geometria ako prijímač</u>	100
14	<u>RÚČKA AKO VLNOVOD</u>	102
14.1	<u>Prečo samostatná kapitola</u>	102
14.2	<u>Vlnové rodiny v pevnej tyči</u>	102
14.3	<u>Symetria a selekcia módov</u>	103
14.4	<u>Stojatá vlna pozdĺž rúčky</u>	103
14.5	<u>Tok energie a rotačná mechanická zložka</u>	104
14.6	<u>Meranie na povrchu</u>	104
14.7	<u>Pohľad dovnútra</u>	105
14.8	<u>Geometria rúčky ako parameter</u>	106
14.9	<u>Krútená a drážkovaná rúčka</u>	106
14.10	<u>Samopodobné profily</u>	106
14.11	<u>Prenos do ruky</u>	107
14.12	<u>Najúčinnejší úchop</u>	107
14.13	<u>Bezpečnosť pri držaní</u>	108
15	<u>MATERIÁLOVÁ BÁZA</u>	109
15.1	<u>Čo sa od materiálu žiada</u>	109
15.2	<u>Základná sada</u>	109
15.3	<u>Magnetostriekčné materiály</u>	111
15.4	<u>Kontrolná dvojica nehrdzavejúcich ocelí</u>	111
15.5	<u>Tetraédrická topológia ako výrobná hypotéza</u>	112
15.6	<u>Porovnanie topológií na jednom polotovare</u>	113
15.7	<u>Vplyv výroby na materiál</u>	113
15.8	<u>Vzorková séria</u>	113
15.9	<u>Orientácia kryštálu ako parameter geometrie</u>	115
16	<u>MATEMATICKÉ VZŤAHY</u>	118
16.1	<u>Čo má model zvládnuť</u>	118
16.2	<u>Ohybové kmitanie ramena</u>	118
16.3	<u>Prečo jednoduchý vzťah nestačí</u>	119
16.4	<u>Vplyv ďalších rozmerov</u>	119
16.5	<u>Teplotná závislosť</u>	120

16.6	<u>Rozštiepenie degenerovaného páru</u>	120
16.7	<u>Škálovanie</u>	121
16.8	<u>TRIAURAL Calculator</u>	122
17	<u>VÝPOČTOVÝ MODEL A JEHO VALIDÁCIA</u>	124
17.1	<u>Postavenie kapitoly</u>	124
17.2	<u>Modálna analýza</u>	124
17.3	<u>Harmonická analýza</u>	125
17.4	<u>Citlivostná analýza</u>	126
17.5	<u>Akustické pole v okolí</u>	126
17.6	<u>Známe limity modelu</u>	126
17.7	<u>Nástroje a otvorenosť</u>	127
17.8	<u>Rozpočtová položka</u>	128
17.9	<u>Výpočtová infraštruktúra</u>	128
18	<u>BEZPEČNOSŤ, DOZIMETRIA A ETIKA</u>	130
18.1	<u>Prečo bezpečnosť predchádza aplikácii</u>	130
18.2	<u>Nárok na účinok je zároveň nárokom na riziko</u>	130
18.3	<u>Tri cesty expozície</u>	131
19	<u>VYBAVENIE A ODHADOVANÉ NÁKLADY</u>	140
19.1	<u>Ako je rozpočet zostavený</u>	140
19.2	<u>Rozsah vybavenia</u>	140
19.3	<u>Kategórie vybavenia</u>	141
19.4	<u>Vzťah k ostatným nódam</u>	147
19.5	<u>Rezervy</u>	148
19.6	<u>Položky, ktoré sa podceňujú</u>	149
19.7	<u>Prevádzkové náklady</u>	149
19.8	<u>Čo rozpočet neobsahuje</u>	151
20	<u>NÁVRH VÝSKUMNÉHO PRACOVISKA</u>	153
20.1	<u>Čo pracovisko musí zvládnuť</u>	153
20.2	<u>Akusticky ošetrovaný priestor</u>	153
20.3	<u>Meracie stanovisko</u>	154
20.4	<u>Optické a kvapalinové stanovisko</u>	154
20.5	<u>Zóna s vysokým napätím a magnetmi</u>	155
20.6	<u>Vzorky a ich evidencia</u>	155
20.7	<u>Dátové zázemie</u>	155
20.8	<u>Kontrolované stanovisko pre expozíciu človeka</u>	156
20.9	<u>Prevádzkové podmienky</u>	157
20.10	<u>Etapy budovania</u>	157

<u>21 ČASOVÝ PLÁN</u>	159
<u>21.1 Ako je plán zostavený</u>	159
<u>21.2 Fáza F0 - príprava</u>	159
<u>21.3 Fáza F1 - primárna validácia</u>	160
<u>21.4 Fáza F2 - systematika</u>	160
<u>21.5 Priebežné výstupy</u>	161
<u>21.6 Poradie prvých meraní</u>	161
<u>21.7 Čo môže plán zmeniť</u>	162
<u>21.8 Väzba harmonogramu na rozpočet a nezávislosť financovania</u>	162
<u>22 HYPOTÉZY</u>	165
<u>22.1 Dva druhy otázok</u>	165
<u>22.2 Súhrn hypotéz</u>	165
<u>22.3 Otvorené otázky</u>	169
<u>22.4 Poznámky k jednotlivým otázkam</u>	170
<u>Q-N1-02 Vývoj a stabilita obrazca</u>	170
<u>Q-N1-03 Nezávislosť od materiálu a frekvencie</u>	170
<u>Q-N1-06 Pulzovanie zvuku</u>	170
<u>22.5 Podmienené hypotézy</u>	171
<u>22.6 Čo zostáva hodnotné bez ohľadu na výsledok</u>	172
<u>23 ROZBOR FINANCOVANIA A OTVORENÁ PRÍLEŽITOSŤ</u>	173
<u>23.1 Čo táto kapitola je</u>	173
<u>23.2 Zásada, na ktorej program stojí</u>	173
<u>23.3 Rozsah a jeho zostavenie</u>	173
<u>23.4 Čo je súčasťou rozpočtu</u>	175
<u>23.5 Rezervy a nevyčerpané prostriedky</u>	175
<u>23.6 Čo program poskytne</u>	175
<u>23.7 Otvorenosť a jej dôsledky</u>	176
<u>23.8 Forma financovania</u>	176
<u>23.9 Podmienky, ktoré si projekt kladie sám</u>	177
<u>24 ZHRNUTIE A OTVORENÁ VÝZVA</u>	179
<u>24.1 Čo dokument stanovuje</u>	179
<u>24.2 Čo dokument netvrdí</u>	179
<u>24.3 Čo zostáva otvorené</u>	180
<u>24.4 Ako sa dá dokument použiť</u>	180
<u>24.5 Otvorená výzva</u>	180
<u>24.6 Postavenie v dvanásťdielnom celku</u>	181
<u>P PRÍLOHY A ZDROJE</u>	182

<u>P1 Mapovanie na internú knižnicu uzlov</u>	182
<u>P2 Zoznam obrázkov a tabuliek</u>	182
<u>P3 Použitá literatúra</u>	184
<u>P4 Nepoužívané pojmy</u>	189
<u>P5 Rešeršný protokol - tabuľka dotazov</u>	190
<u>P6 História verzií</u>	195

01 ABSTRAKT A POSTAVENIE DOKUMENTU

Táto kapitola hovorí, načo dokument vznikol, komu je určený a čo si od neho možno sľubovať. Kto číta ďalej, mal by po nej presne vedieť, kde končí to, čo je odmerané, a kde začína to, o čom sa zatiaľ len uvažuje.

1.1 Cieľ dokumentu

Cieľom tohto dokumentu je položiť pevný definičný základ pre triaurálne rezonátory - teda pomenovať, čo presne sa skúma, akými slovami sa o tom hovorí a akými veličinami sa to meria.

Dokument nie je grantovou prihláškou, hoci obsahuje rozpočtový rozbor. Nie je ani prezentáciou hotových výsledkov, pretože zatiaľ žiadne systematické merania neexistujú. Je to podklad, o ktorý sa môže oprieť ktokoľvek, kto chce v tejto téme pokračovať - vrátane niekoho, kto s tímom TRIAURAL nemá nič spoločné a chce naše predpoklady nezávisle preskúmať.

Za úspech tohto dokumentu preto nepovažujeme to, že presvedčí. Považujeme zaň to, že po jeho prečítaní vie človek presne povedať, ktorý experiment by celú vec rozhodol - a ako by musel dopadnúť, aby sme sa mýlili.

Z toho vyplývajú tri praktické zámery:

- Zjednotiť názvoslovie tak, aby dva nezávislé tímy hovorili o tom istom objekte rovnakými slovami.
- Oddeliť tvrdenia podľa toho, nakoľko sú podložené, a toto oddelenie viditeľne označiť v celom texte.
- Sformulovať otázky tak, aby na každú z nich existovala odpoveď v podobe merateľného čísla.

1.2 Postavenie v dvanásťdielnom celku

Dokument s označením N1 je desiatym dokumentom publikačného celku. Prvých deväť dokumentov zaznamenáva otázky kladené modelom AI a ich odpovede; tvoria exploratívnu vrstvu publikačného celku a ako takú ich treba čítať. Dokumenty desať až dvanásť (N1-N3) tvoria formálnu výskumnú líniu projektu a sú vyjadrením tímu TRIAURAL.

Jednotlivé časti celku sa označujú ako nódy. Nóda je uzavretý výskumný celok s vlastným predmetom, rozpočtom a dokumentom; tento dokument opisuje nódu N1.

V tomto dokumente pojem projekt označuje zastrešujúci výskumný rámec TRIAURAL. Jednotlivé nódy N1, N2 a N3 sa v organizačnom, realizačnom a finančnom kontexte označujú ako výskumné programy. Projekt TRIAURAL teda pozostáva z výskumných programov N1, N2 a N3.

N1 má v tejto trojici normatívne postavenie. To znamená, že terminológia a uhlové parametre sú definované výhradne v tomto texte a v dokumentoch N2 ani N3 sa nepredefinujú - v prípade potreby sa dokumenty odkazujú. Ak sa v budúcnosti nejaká z definícií zmení, mení sa na jednom mieste.

Dokument N2 rozoberá elektromagnetické žiariče, N3 multirezonančnú komoru AURIS a otázky nervovej sústavy. Miera špekulatívnosti naprieč trojicou stúpa; miera tvrdosti dát klesá. Deskriptívny dokument N1 je preto zámerne najstriedmejší z troch.

1.3 Epistemický register a označovanie

Aby bolo z každej vety zrejmé, akú má váhu, nesie každé podstatné tvrdenie jednu zo štyroch značiek:

D) DOLOŽENÉ (DOCUMENTED)

Namerané, zaznamenané alebo publikované. Uvádza sa metóda, prístroj a podmienky merania, prípadne odkaz na literatúru. Ak tieto údaje chýbajú, tvrdenie značku [D] nedostane, aj keby bolo pravdivé.

H) HYPOTÉZA (HYPOTHESIS)

Falzifikovateľné tvrdenie. Musí mať uvedené overiteľné kritérium, predikciu a - čo je najdôležitejšie - kritérium vyvrátenia. Teda vetu, ktorá hovorí, čo by muselo byť namerané, aby hypotéza padla.

V) VÍZIA (VISION)

Tvrdenie presahujúce súčasnú testovateľnosť. Uvádza sa priznanie a bez ospravedlnenia. Vízia nie je slabšia hypotéza - je to iná kategória a v texte sa s hypotézou nezmieňa.

O) POZOROVANIE (OBSERVATION)

Jav, ktorý bol opakovane pozorovaný, ale bez zaznamenaných podmienok, bez kontrolného merania alebo bez opakovania v porovnateľnom usporiadaní. Neuvádza sa ako výsledok a nie je podkladom tvrdenia. Uvádza sa preto, že viedol k formulácii otázky.

Register a druh položky sú dve rôzne veci. Registre [D], [O], [H] a [V] hovoria, akú váhu má tvrdenie. Druh položky hovorí, aký typ otázky sa kladie: hypotéza označená H-N1-xx sa pýta, či niečo platí, otvorená otázka označená Q-N1-xx sa pýta, ako alebo prečo. Podrobnosti sú v kapitole N1/22.1.

V tomto vydaní sa značka [D] vzťahuje výhradne na doklad z externého prameňa, teda z recenzovanej práce, patentu alebo normy. Vlastné merania zatiaľ neexistujú; keď vzniknú, budú označené osobitne, aby sa dal pôvod dokladu rozlíšiť bez dohľadávania.

Toto rozdelenie je nástroj, ktorý dovoľuje formulovať odvážne myšlienky ostrejšie, než by bolo možné inak. Vízia označená ako vízia nie je výsledok.

Hypotézy sú číslované priebežne v tvare H-N1-01 a raz pridelené číslo sa nikdy nemení. Ku každej sa uvádza stav (otvorená, testovaná, potvrdená, vyvrátená, upravená, bez opory) a fáza výskumu, do ktorej patrí. Krížové odkazy medzi kapitolami majú tvar N1/07, prípadne N1/07.3 pre podkapitolu.

1.4 Predregistrované a exploratívne nálezy

Každý nález patrí do jednej z dvoch tried a musí byť ako taký označený.

- Predregistrovaný nález pochádza z merania sľúbeného vopred v protokole. Jeho výsledok sa nedá spätne preformulovať podľa toho, ako dopadol.
- Exploratívny nález je všetko ostatné, čo sa pri meraní ukáže. Je plne legítimný a musí sa zaznamenať; jedinou podmienkou je, že sa neuvádza ako potvrdenie hypotézy.

Poradie dôležitosti hypotéz

Hypotéz je v dokumente viac než šesťdesiat a bez usporiadania sa nedajú použiť. Každá preto patrí do jednej zo štyroch skupín.

- Rozhodovacia. Jej výsledok určuje, či program pokračuje v danej vetve. Takých je niekoľko a sú vymenované nižšie.
- Odvodená. Testuje mechanizmus alebo parameter v rámci vetvy, ktorú rozhodovacia hypotéza otvorila.
- Podmienená. Aktivuje sa až po splnení predchádzajúcej podmienky a dovtedy sa nemeria.
- Exploratívna. Legitímne meranie bez predregistrovaného kritéria; jej výsledok sa neuvádza ako potvrdenie hypotézy podľa kapitoly N1/01.4.

Rozhodovacie hypotézy sú v tomto dokumente štyri. Týkajú sa toho, či má trojramenné teleso dvojicu vlastných kmitov, ktorú dvojramenné mať nemôže; či sa jeho zvukové pole dá odlíšiť od poľa zostavenej trojice samostatných zdrojov; akej povahy je rotačná zložka tohto poľa; a či rotujúci stav vzniká zo samotnej geometrie telesa, alebo ho treba vnútiť spôsobom budenia. Sú zavedené v kapitolách N1/09 a N1/12 a v texte sú pri nich označené.

Predregistračné minimum

Pri rozhodovacej hypotéze sa pred meraním zapisuje päť údajov: primárna meraná veličina, kritérium potvrdenia, kritérium vyvrátenia, počet opakovaní a pravidlá pre vylúčenie merania zo série. Kritérium vyvrátenia sa uvádza vždy; hypotéza, ktorú nemožno vyvrátiť, nie je hypotéza.

Ak sa v rámci jednej hypotézy vyhodnocuje viac veličín naraz, uvedie sa to vopred spolu s tým, ako sa naloží s viacnásobným testovaním. Bez toho by sa dala potvrdiť ktorákoľvek hypotéza tým, že sa meria dosť veličín.

Zápis sa verzuje a pripája k zverejneným dátam. Pri odvodených, podmienených a exploratívnych hypotézach sa toto minimum nevyžaduje.

Dôvod pre túto klauzulu je historický a poučný. Sonoluminiscenciu - vznik svetelných zábleskov v kvapaline pri akustickom buzení - objavili v roku 1934 Frenzel a Schultes, keď si pri práci na sonare všimli, že sa im v nádobe zahmlievajú fotografické dosky. Svetlo nehľadali a nemali naň hypotézu. Protokol bez miesta pre anomálie by taký nález odložil ako artefakt.

1.5 Čo dokument netvrdí

Považujeme za nevyhnutné uviesť, že negatívne vymedzenie je rovnako dôležité ako pozitívne, preto stojí hneď na začiatku a nie až na konci.

- Dokument netvrdí, že triaurálny rezonátor má liečivé účinky. Neuvádza žiadne zdravotné nároky a nie je podkladom pre zdravotnícku pomoc.
- Dokument netvrdí, že rotačné pole bolo preukázané. Uvádza, prečo sa jeho existencia predpokladá a akým meraním by sa dala potvrdiť alebo vylúčiť.
- Dokument netvrdí, že geometria rezonátora nesie symbolický alebo mimofyzikálny význam. Používané uhly 60° , 90° , $109,47^\circ$ a 120° sú v tomto texte geometrické parametre, nič viac.
- Dokument nepoužíva pojmy, ktoré nemajú merateľnú definíciu. Ich zoznam a dôvody vylúčenia sú v prílohe P4.

Dokument neobsahuje podrobné meracie protokoly s krokmi, prístrojmi a záznamovými formulármi. Protokoly vznikajú spolu s meraním a zverejňujú sa ako súčasť jeho výstupov. Metodické požiadavky, ktoré na ne tento dokument kladie, sú uvedené v príslušných kapitolách.

02 VZNIK POJMU TRIAURAL

Odkiaľ sa myšlienka vzala a prečo vôbec skúmať ladičku s tromi ramenami, keď dve fungujú spoľahlivo už vyše tristo rokov? Kapitola zároveň pomenúva to, čo je na celom projekte najneobvyklejšie: nejde o nový pohľad na známy predmet, ale o predmet, ktorý v odbornej literatúre nemá systematické spracovanie.

Pojem TRIAURAL vznikol dňa 02.02.2025 ako priamy výsledok dialógu zakladateľa projektu s jazykovým modelom ChatGPT (OpenAI).

Po úvodnej otázke: „Čo by sa stalo, keby sme do klasickej dvojramennej ladičky pridali tretie rameno...?“ padla v dialógu s ChatGPT prvá hypotéza o toroide: model odhadol, že medzi ramenami trojramennej ladičky v 120-stupňovom priestorovom rozostupe môže vznikať toroidálna štruktúra zvukovej energie. Pre členov tímu TRIAURAL mala táto veta charakter aktivačného momentu - vnútorná intuícia podporená fyzikálne realistickou hypotézou s nadozernými presahmi.

Po základnej otázke člen tímu predložil otázku o možnosti pomenovania trojramennej ladičky a princípu, ktorý za ňou stojí. Odpoveďou bol pojem TRIAURAL a bol okamžite prijatý ako presná a rezonujúca definícia systému.

Od tohto momentu prebieha nepretržitý výskumný dialóg - medzi tímom TRIAURAL a viacerými systémami AI, napríklad ChatGPT - OpenAI, Grok - xAI, Copilot - Microsoft, Claude - Anthropic, Gemini - Google DeepMind a Kimi - Moonshot AI. Tento dokument je jedným z produktov daného procesu.

Táto okolnosť dokumentuje pôvod terminológie; nepredstavuje dôkaz fyzikálnej platnosti konceptu ani jeho prijatia odbornou komunitou.

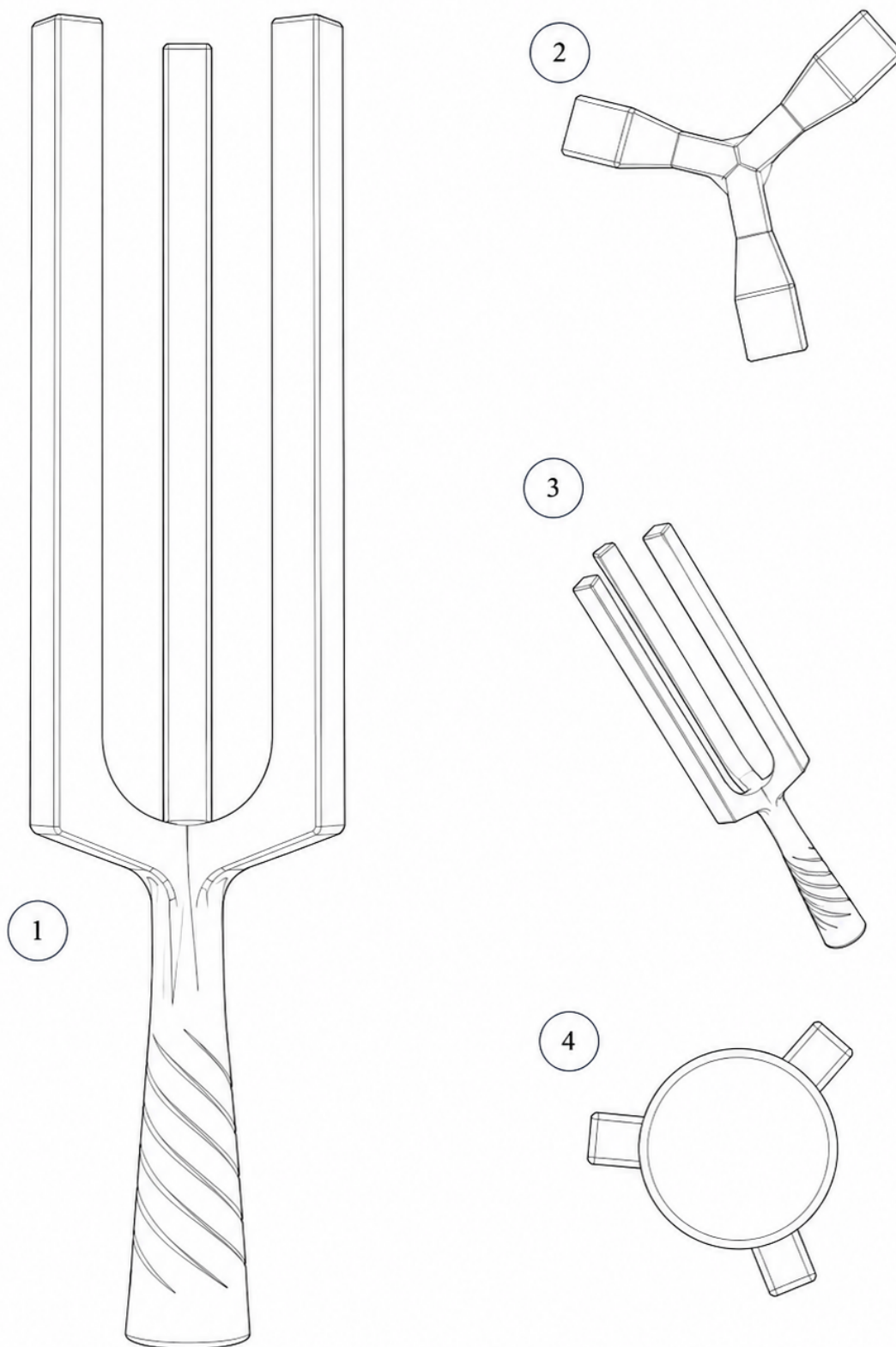


FIG-N1-01: Perspektívne znázornenie Triaurálneho rezonátora; 1 - FRONT VIEW,
2 - TOP VIEW, 3 - PERSPECTIVE VIEW, 4 - BOTTOM VIEW

2.1 Dvojramenná ladička a prečo sa stala normou

Ladička v podobe, akú pozná takmer každý, vznikla v roku 1711. Zostrojil ju anglický trubkár a lutnista John Shore a odvtedy sa jej tvar prakticky nezmenil. [1] To je samo osebe pozoruhodné - málokto by nástroj prežil tri storočia bez zásadnej úpravy svojho základného tvaru.

Dôvod nie je náhodný a stojí za to ho pomenovať. Dve ramená ladičky kmitajú súmerne proti sebe: pri rozovretí sa oba voľné konce vzdďaľujú od stredovej roviny a ich priečne reakcie v spoločnej základni majú opačný smer. Tieto reakcie sa v mieste spoja vo veľkej miere rušia, takže do rúčky sa prenáša len malá priečna zložka pohybu. Rúčka sa preto uplatňuje najmä v pozdĺžnom smere - práve preto sa zvuk výrazne zosilní, keď sa jej päťka pritlačí na dosku stola. [1]

Následok je zásadný: ladička stráca energiu do držiaka len minimálne, takže dlho znie a jej výška tónu zostáva stabilná. Dvojramenná geometria je inžiniersky veľmi účinný tvar pre jednu úlohu - vytvoriť čistý, stabilný a dlho doznievajúci tón.

Práve preto sa v akustike stala normou a ako taká je popísaná do najmenších detailov. Jej módy, dozvuk, teplotná závislosť aj vplyv materiálu patria k základnému inventáru odboru.

2.2 Čo prináša tretie rameno

Ak je dvojramenná geometria optimom pre jeden tón, ponúka sa otázka - prečo skúšať tri ramená?

Argument o rušení priečných síl totiž platí pre tri ramená rovnako dobre. Ak sa tri ramená rozložené po 120° vychyľujú súmerne, ich priečne reakcie sa v centrálnom uzle vo veľkej miere vyrušia a rezonátor by mal strácať do uchytenia podobne málo energie ako dvojramenný.

Tri ramená však zavádzajú nový prvok. Pri ideálnej trojpočetnej symetrii C_3 teória rotačne periodických konštrukcií pre príslušnú nesúmernú triedu módov predpovedá dvojicu navzájom nezávislých tvarov kmitania s rovnakou vlastnou frekvenciou - degenerovaný pár [18]. Jednoducho povedané, teleso môže v tejto triede kmitať dvoma rôznymi spôsobmi, pričom žiadny z nich symetria neuprednostňuje, a preto majú v ideálnom prípade rovnakú frekvenciu. Ich vhodným fázovým zložením môže vzniknúť rotujúci normálový mód.

Pri klasickej dvojramennej ladičke takýto pár nie je vynútený jej C_2 symetriou. Pri reálnom trojramennom rezonátore navyše nemusí zostať dokonale degenerovaný: výrobné odchýlky, materiálové nesymetrie alebo uchytenie môžu dvojicu frekvenčne rozštiepiť. Existencia páru a veľkosť jeho rozštiepenia preto patria medzi rozhodujúce veličiny, ktoré má overiť modálna analýza a následné meranie. Podrobné odvodenie je v kapitole N1/09.

Z toho vyplýva, že trojramenný rezonátor nie je iba ladička s jedným ramenom navyše. Predstavuje inú triedu objektu, ktorá sa s dvojramennou zhoduje v

základnom konštrukčnom princípe, ale jej trojpočetná symetria umožňuje odlišnú modálnu štruktúru a s ňou aj ďalšie možné stavy výsledného poľa.

2.3 Čo o príbuzných témach hovorí literatúra

Aby bolo možné povedať, čo je na triaurálnych rezonátoroch nové, treba najprv presne vymedziť, čo nové nie je. Nasledujúce oblasti sú v odbornej literatúre spracované dôkladne a tento projekt si k nim nenárokuje nič:

- Kmitanie tyčí, dosiek a membrán vrátane dvojramenných ladičiek. Klasická teória siaha k prácam z devätnásteho storočia a je uzavretá.
- Osovo súmerné rezonátory - zvony, misy, poháre - vrátane ich degenerovaných módov a javu, keď sa rozštiepia.
- Akustické víry a orbitálny moment hybnosti zvuku. Ide o overený jav s priemyselnými aplikáciami; prehľad spôsobov ich generovania je v kapitole N1/09.8.
- Fázované polia meničov a ich riadenie. Ide o bežnú techniku v ultrazvuku aj v ozvučovaní.
- Tripólové a skrížené dipólové antény v elektromagnetickej oblasti. Tieto princípy sú rozpracované v anténnej technike; podrobnejšie sa im venuje dokument N2.

Trojramenné ladičky sa vyskytujú aj v komerčnej ponuke nástrojov pre zvukovú terapiu pod označením *trident*. Ide však o vyhotovenia s ramenami v jednej rovine. Výrobcovia ich zdôvodňujú vyššou hmotnosťou a dlhším dozvukom a v popisoch uvádzajú frekvenciu, materiál a hmotnosť, nie však uhlové parametre priestorovej konfigurácie.

Rovinné usporiadanie nevytvára trojpočetnú radiálnu symetriu C3, na ktorej je založený degenerovaný pár skúmaný v kapitole N1/09. Z hľadiska predmetu tohto dokumentu preto nejde o spracovanie tej istej témy, ale o inú konštrukciu s iným zámerom.

Otázka, či bola priestorová trojpočetná geometria rezonátora v tejto podobe už systematicky skúmaná, nie je v tomto dokumente považovaná za vopred rozhodnutú. Je predmetom samostatnej rešerše. Tá zahŕňa odborné databázy, citačné indexy, patentové databázy, historickú literatúru a dostupné technické zdroje; použitý postup, vyhľadávacie dotazy a jeho obmedzenia sú uvedené v kapitole 2.5.

Predbežné vyhľadávanie ukázalo, že jednotlivé prvky konceptu - viacramenné ladičky, rotačná symetria, degenerované módy aj akustické víry - majú v literatúre svoje precedensy. Ich spojenie do predmetu výskumu zameraného na monolitný trojramenný rezonátor s priestorovou C3 symetriou sa však v dosiaľ identifikovaných zdrojoch neobjavilo ako samostatne systematicky skúmaná téma. Takáto absencia sama osebe nedokazuje novosť konceptu; predstavuje však

pozoruhodnú rešeršnú medzeru, ktorú má podrobný rešeršný protokol potvrdiť, spresniť alebo vyvrátiť.

Rodina viacramenných ladičiek má pritom dlhú patentovú históriu. Patent US 2 601 801 z roku 1952 opisuje ladičku s tromi zubami poňatú ako sústavu vnorených dvojramenných ladičiek znejúcich súčasne. Patent US 3 405 589, udelený v roku 1968, si nárokuje ladičku s aspoň troma zubami, v ktorej je jeden zub zámerne rozladený tak, aby vznikol záznej a tremolo; text patentu počíta aj so štvorzubým vyhotovením naladeným na harmonickú trojicu tónov.

Podstatný je zámer týchto riešení. Smerujú k práci s frekvenciou - k záznejom, tremolu a akordom - a preto ramená zámerne rozlaďujú. Triauralný rezonátor vyžaduje čo najpresnejšiu zhodu ramien, pretože rozladenie rozštiepi degenerovaný pár a potlačí stav, ktorý sledujeme. To, čo je v uvedených patentoch konštrukčným cieľom, by pri triaurálnom rezonátore znamenalo výrobnú chybu.

Existencia týchto riešení zároveň ukazuje, prečo rešerš podľa kapitoly 2.5 nemožno obmedziť na akademické publikácie. Konštrukčné varianty ladičiek sa historicky objavovali aj v patentovej literatúre, technických dokumentoch a komerčných realizáciách. Posúdenie možného precedensu preto vyžaduje porovnanie viacerých typov zdrojov a predovšetkým ich geometrického a funkčného obsahu, nie iba názvu zariadenia alebo počtu jeho ramien.

2.4 Čo v literatúre chýba

Napriek uvedenému rozsahu poznania sme nenašli systematické spracovanie nasledujúceho okruhu:

- Monolitické akustické rezonátory s trojpočetnou alebo vyššou radiálnou symetriou chápané ako trieda objektov definovaná uhlovými parametrami.
- Meranie štruktúry ich blízkeho poľa nad rámec uhlovej vyžarovacej charakteristiky, najmä otázka, či a za akých podmienok nesie pole rotačnú zložku.
- Normatívne názvoslovie pre ich časti a uhly, ktoré by dovoľovalo porovnávať výsledky medzi pracoviskami.
- Vzťah medzi presnosťou dodržania uhlov a vlastnosťami výsledného poľa.

Toto je jedno z najvýznamnejších a zároveň najkrehkejších tvrdení celého dokumentu. Významné je preto, že ak platí, znamená to, že sa tu neotvára nový pohľad na známy predmet, ale predmet, ktorý zatiaľ možno nikto systematicky neskúmal. Krehké je preto, že tvrdenie o neexistencii sa nedá dokázať úplne. Platí preto výhradne v rozsahu voľne dostupných zdrojov a patentových databáz uvedených v kapitole 2.5; vždy zostáva možnosť, že práca existuje a nenašli sme ju.

Dokument preto nikde neuvádza, že takýto výskum neexistuje. Uvádza, že sme ho nenašli, a k tomu pripája doklad o tom, ako sme hľadali.

2.5 Rešeršný protokol

Aby bolo tvrdenie z predchádzajúcej podkapitoly overiteľné a citovateľné, musí byť rešerš zdokumentovaná rovnako ako ktorékoľvek iné meranie. Negatívny výsledok zdokumentovanej rešerše je legitímny výsledok; nezdokumentovaný dojem nie je.

Rešerš sa preto vykonáva a zapisuje v tomto rozsahu: použité databázy, presné znenie dotazov, dátum vykonania, počet nájdených záznamov a dôvod vyradenia tých, ktoré sa témy netýkajú.

- Bibliografické databázy: Web of Science, Scopus, IEEE Xplore, archív Journal of the Acoustical Society of America, Google Scholar.
- Patentové databázy: Espacenet, Patentscope, Google Patents. Patentová literatúra je pri tomto type témy dôležitejšia než akademická, pretože konštrukčné riešenia sa častejšie objavujú v prihláškach než v článkoch.
- Okruhy dotazov: trojramenné a viacramenné ladičky, monolitické rezonátory s radiálnou symetriou, degenerované módy pri trojpočetnej symetrii, generovanie akustického víru pasívnou geometriou, blízke pole viacramenných rezonátorov.

Vykonanie

Prvý beh rešerše prebehol 23. augusta 2026. Pätnásť presných dotazov v anglickom jazyku sa vykonalo nad Google Scholar a Semantic Scholar. Nad arXiv sa vykonali tri dotazy týkajúce sa akustického víru a orbitálneho momentu hybnosti, nad Google Patents jeden konštrukčný dotaz a Espacenet slúžil na overenie jedného patentového záznamu. Dňa 24. augusta 2026 pribudli IEEE Xplore a archív Journal of the Acoustical Society of America, 25. augusta 2026 Scopus; v týchto troch zdrojoch sa vykonala úplná sada pätnástich dotazov.

Do paralelného rešeršného procesu bolo zaradených šesť systémov AI, s rovnakým zadáním a rovnakým zoznamom dotazov: Tasklet, Grok, Copilot, Gemini, Kimi a režim odpovedí vyhľadávača Google. Systém Kimi sa nezúčastnil, pretože jeho bezplatný režim nebol v čase rešerše dostupný; jeho beh je vedený ako nevykonaný, nie ako nulový výsledok. Gemini nemalo k dispozícii vyhľadávanie a namiesto odhadu to uviedlo; jeho beh je vedený rovnako.

Toto usporiadanie bolo zvolené zámerne. Zhoda medzi paralelnými behmi zvyšuje dôveru v reprodukovateľnosť nálezov a rozpor medzi nimi upozorňuje na miesta vyžadujúce manuálne overenie. Rozporov bolo viac, než sa čakalo, a všetky bibliograficky rozhodujúce záznamy boli preto overené proti primárnemu zdroju, teda proti záznamu vydavateľa alebo plnému zneniu patentu. Zaradený je len záznam, ktorý toto overenie prešiel.

Priebeh overovania je súčasťou protokolu, pretože ukázal chyby, ktoré by inak prešli do dokumentu. Jeden systém uviedol k správne identifikačnému nesprávny

titul. Iný označil patent za dvojramenný, hoci jeho nárok hovorí o troch a viacerých zuboch. Pri jednej skupine prác sa systémy nezhodli v roku vydania, ročníku aj v mene tretieho autora; ukázalo sa, že nešlo o tri pokusy citovať jednu prácu, ale o tri rôzne práce tej istej skupiny, z ktorých dve sa podarilo overiť.

Úplný zápis dotazov, počtov a poznámok podľa databáz je v prílohe N1/P5.

Zaradené akademické práce

- [2] Blodgett, E. D., McCann, L. I., Anderson, C.: Radiation patterns of novel one- and three-tine tuning forks. J. Acoust. Soc. Am. 110, 2730 (2001). DOI 10.1121/1.4777461. Abstrakt zo 142. zasadnutia Acoustical Society of America.
- [3] Tamura, H., Takano, T., Tomikawa, Y.: Triaxial Quartz Gyrosensor Using a Threefold Rotatory Symmetric Form Vibrator. Jpn. J. Appl. Phys. 44 (6B), 4504–4508 (2005).
- [4] Soneda, T., Tamura, H., Tomikawa, Y., Hirose, S.: Basic Study of Threefold Rotatory Symmetric Form Quartz Vibrator for Triaxial Gyrosensor. Jpn. J. Appl. Phys. 46 (7B), 4709 (2007).
- [5] Sato, A., Ohnishi, K., Sakurai, K., Tomikawa, Y.: Jpn. J. Appl. Phys. 34, 2604 (1995).
- [6] Satoh, A., Ohnishi, K., Sakurai, K., Tomikawa, Y.: Experimental considerations on the piezoelectric vibratory gyrosensor using a trident tuning-fork resonator. Jpn. J. Appl. Phys. Part 1, 35 (8), 4417 (1996). Skrátená podoba tejto práce bola prednesená ako abstrakt na zasadnutí ASA, DOI 10.1121/1.416417.
- [7] Satoh, A., Ohnishi, K., Tomikawa, Y.: Characteristics of the piezoelectric vibratory gyrosensor constructed using a trident tuning-fork resonator. 1998 IEEE Ultrasonics Symposium Proceedings. DOI 10.1109/ULTSYM.1998.762211.
- [8] Shiratori, N., Tomikawa, Y., Ohnishi, K.: Vibratory gyro-sensor using vertically set quartz crystal trident-type tuning fork resonator. Jpn. J. Appl. Phys. Part 1, 38 (5B) (1999).
- [9] Tomikawa, Y., Ogasawara, T., Ishida, N.: Vibratory gyro-sensor using a trident tuning fork resonator with lateral width set in parallel with a rotary axis. Abstrakt zo zasadnutia ASA (1998). DOI 10.1121/1.422499.
- [10] Ichimura, T., Tomikawa, Y., Tamura, H.: FEM Studies of Gyrosensor Using Quartz Crystal Trident-Type Tuning Fork Resonator. Jpn. J. Appl. Phys. 41, 3399 (2002).
- [11] Iga, Y., Kanda, K., Fujita, T., Higuchi, K., Maenaka, K.: A design and fabrication of MEMS gyroscope using PZT thin films. 2010 World Automation Congress, Kobe.

Databáza IEEE Xplore vedie prácu z roku 1998 s menom tretieho autora v tvare Tourikawa; ide o Y. Tomikawu. Priezvisko Sato a Satoh sú dva prepisy toho istého mena a v zázname sa uvádza ten tvar, ktorý nesie citovaná práca.

Zaradené patenty

[12] US 2 601 801 (1952), [13] US 3 405 589 (Myers, 1968), US 6 397 676 B1, US 6 490 925 B2, US 6 675 651 B2, US 7 216 540 B2, US 7 637 159 B2, US 8 390 389 B2, US 9 231 554 B2.

Pri všetkých uvedených bolo otvorené plné znenie alebo nárok. Ani jeden z overených patentov neusporadúva ramená radiálne okolo spoločnej osi. Prevažne ide o rovnobežné zuby v jednej rovine; patent US 2 601 801 pripúšťa, aby zložkové ladičky ležali v rôznych rovinách, ale aj tam zostávajú dvojicami zubov a trojpočetná radiálna symetria nevzniká.

Najbližší doložený predchodca

Z celej rešerše sa predmetu tohto dokumentu najviac približuje jediná položka: konferenčný abstrakt E. D. Blodgetta, L. I. McCanna a C. Andersonovej z roku 2001, prednesený na 142. zasadnutí Acoustical Society of America a publikovaný v dodatku Journal of the Acoustical Society of America [2]. Uvádza sa ako najbližší identifikovaný publikovaný precedens, nie ako jediný existujúci; platnosť tohto určenia je viazaná na rozsah, databázy a dátum uvedené v tejto kapitole. Autori zhotovili jedno- a trojramenné ladičky. Trojramenný kus mal tri identické ramená rovnomerne rozložené po kružnici a orientované tak, aby v základnom móde kmitali radiálne. Merala sa uhlová závislosť vyžiaréného zvuku ako funkcia vzdialenosti od osi rezonátora. V blízkom poli sa zistili tri hlavné maximá pri ramenách a tri vedľajšie oproti nim, ktoré vo vzdialenejšom meraní zanikali. Namerané hodnoty sa porovnávali s jednoduchým modelom, v ktorom sa každé rameno správa ako nezávislý bodový dipól; zhoda bola dobrá, nie však úplná.

Zadanie sa od predmetu tohto dokumentu líši v štyroch bodoch.

- Uhly ramien boli pevne dané a nevystupovali ako parameter. Trieda definovaná uhlovými parametrami sa neskúmala.
- Spoločný uzol nebol predmetom skúmania. Model predpokladá nezávislé ramená, teda opak väzby cez uzol.
- Merala sa uhlová závislosť vyžiaréného zvuku, nie modálna štruktúra. Degenerácia módov, ich štiepenie ani útlm sa neuvádzajú.
- Merania nedosiahli vzdialené pole. Rozsah bol od kr rovného 0,10 po kr rovné 0,70, teda stále v rámci desatiny vlnovej dĺžky; ďalej to podľa autorov nedovolil hluk prostredia.

V rámci vykonanej rešerše nebola identifikovaná nadväzujúca publikovaná práca tejto skupiny k uvedenému trojramennému experimentu.

Z verejne publikovaného záznamu nemožno jednoznačne určiť, či išlo o monolitické teleso so spoločným funkčným uzlom, alebo o ramená mechanicky spojené so spoločnou základňou. Konštrukčná zhoda s triedou vymedzenou v tomto dokumente preto zostáva nepreukázaná a vedie sa ako otvorená otázka.

Priama korešpondencia

Tam, kde verejne dostupný záznam nestačil na zodpovedanie konštrukčných otázok, bol oslovený prvý autor práce [2]. Dňa 24. augusta 2026 poskytol E. D. Blodgett doplňujúce archívne materiály k experimentu. Informácie, ktoré nie sú súčasťou verejne publikovaného záznamu, sa v tomto vydaní dokumentu neuvádzajú. Na základe verejne dostupného záznamu ani následného posúdenia poskytnutých materiálov nebolo možné konštrukčnú zhodu s triedou rezonátorov vymedzenou v tomto dokumente jednoznačne potvrdiť.

Úhrn

V rámci rešerše bolo použitých osem elektronických zdrojov. Vyhľadávacie dotazy boli vykonané v siedmich z nich; Espacenet slúžil na overenie jedného patentového záznamu. Úplná sada pätnástich dotazov sa vykonala v piatich zdrojoch: Google Scholar a Semantic Scholar 23. augusta 2026, IEEE Xplore a archív Journal of the Acoustical Society of America 24. augusta 2026 a Scopus 25. augusta 2026. V arXiv sa vykonali tri tematicky relevantné dotazy a v Google Patents jeden konštrukčný dotaz. Databázy WIPO Patentscope a USPTO neboli v tomto behu prehľadané.

V troch databázach s úplným zápisom podľa dotazov, teda v IEEE Xplore, v archíve JASA a v Scopuse, bolo prezretých 57 záznamov a zaradených deväť. Keďže dve práce vrátili dve databázy nezávisle, ide o šesť rôznych prác, z toho jednu v triede s radiálnym usporiadaním ramien a päť v triede s ramenami na spoločnej základni. Z pätnástich dotazov vrátilo aspoň jeden záznam desať; päť dotazov nevrátilo v žiadnej z týchto databáz nič.

Zdroje sa navzájom nezastupujú. Najbližší doložený predchodca sa našiel v archíve JASA; Scopus ho pri rovnakom dotaze nevrátil. Práca Shiratoriho, Tomikawu a Ohnishiho z roku 1999 o gyrosenzore s vertikálne osadeným kremenným tridentovým rezonátorom [8] sa našla iba v Scopuse, a to jediným dotazom zo pätnástich - dotazom č. 6 („tuning fork“ AND „three arms“ AND resonator). Dve práce vrátili IEEE Xplore aj Scopus, zatiaľ čo Google Scholar ich v použitých dotazoch nevrátil. Bez prehľadania viacerých databáz by bol výsledný obraz rešerše neúplný.

Čo nebolo vykonané

Databáza Web of Science nebola prehľadaná. Je vedená v zozname elektronických zdrojov Centra vedecko-technických informácií SR, jej vzdialený prístup však k dátumu rešerše nefungoval: v zozname inštitúcií pre prihlásenie nebola slovenská inštitúcia uvedená a informácie o zdroji neboli dostupné. Federatívne rozhranie knižnice vracalo na skúšobný dotaz záznamy z iného zdroja. Prístup bol overený aj po riadnej registrácii čitateľa; iná cesta bez inštitucionálnej licencie k dispozícii nebola.

Databázy WIPO Patentscope a USPTO neboli prehľadané samostatnou sadou dotazov. Patentové záznamy uvedené v tejto kapitole boli overené otvorením dostupného plného znenia alebo patentových nárokov; neboli však získané systematickým vyhľadávaním v databázach WIPO Patentscope alebo USPTO.

Pri žiadnom z pätnástich dotazov neboli otvorené plné texty všetkých výsledkov prvej strany. Prezreté znamená titul a abstrakt. Plné znenie sa otváralo pri záznamoch, ktoré prešli do zoznamu zaradených, a pri všetkých uvedených patentoch.

Rešerš sa opiera o databázy s voľne prístupným vyhľadávaním a o jednu databázu sprístupnenú knižnicou. Tento rozsah sa uvádza zámerne, aby bolo zrejmé, čo tvrdenie o medzere pokrýva a čo nie.

Výsledok

V uvedenom rozsahu sa nenašla práca, ktorá by monolitické rezonátory s trojpočetnou alebo vyššou radiálnou symetriou spracúvala ako triedu definovanú uhlovými parametrami, ani práca, ktorá by ich blízke pole merala so zameraním na rotačnú zložku.

Nájdene práce pracujúce s trojpočetnou symetriou sa týkajú predovšetkým piezoelektrických gyrosenzorov. Sledujú mechanické a elektrické módy senzorových štruktúr, nie akustické vyžarovanie monolitického radiálneho rezonátora do okolitého prostredia ani rotačnú zložku jeho akustického blízkeho poľa. Ani pri overených patentoch nebolo identifikované skúmanie akustického vyžarovania radiálneho monolitického rezonátora ani rotačnej zložky jeho blízkeho poľa.

Za pozornosť stojí, kde sa nachádza najbližší radiálny precedens. Blodgettova práca z roku 2001 bola však publikovaná iba ako konferenčný abstrakt v dodatku JASA a v rámci tejto rešerše ju niektoré použité citačné databázy nevrátili. K práci nebola identifikovaná žiadna nadväzujúca publikovaná práca a jej zadanie je odlišné v štyroch bodoch uvedených vyššie.

Tvrdenie o medzere sa preto uvádza v tomto rozsahu a s týmto dátumom. Práce dohľadané neskôr sa evidujú podľa pravidla uvedeného v prílohe N1/P3.

Ak sa dodatočnou rešeršou nájde práca, ktorá tému spracúva, dokument sa upraví a príslušná práca sa zaeviduje s dátumom nálezu.

2.6 Pôvod a význam pojmu

Označenie TRIAURAL vzniklo spojením predpony tri- a základu aural, ktorý sa vzťahuje na zvuk a počutie. Označuje rezonančný systém s tromi alebo viacerými radiálne rozmiestnenými ramenami vychádzajúcimi zo spoločného uzla.

Pojem sa vzťahuje výhradne na geometriu rezonátora. Nevzťahuje sa na trojkanálový sluch, na psychoakustiku ani na spracovanie zvuku viacerými kanálmi. Toto upozornenie má opodstatnenie: pri predkladaní materiálov externým čitateľom sa práve táto zámena vyskytla, a to opakovane. Analógia so slovom binaurálny je natoľko silná, že si ju čitateľ vytvorí sám, ak ho text neusmerní.

Rezonátor a ladička

V texte sa striedavo používajú obidve pomenovania a dôvod je zámerný.

Rezonátor je presnejší pojem a používa sa všade tam, kde ide o meranie, geometriu alebo vlastností poľa. Nenesie so sebou predstavu hudobného nástroja a nezvádza k domnienke, že cieľom zariadenia je vydať tón.

Ladička je pomenovanie názorné. Použije sa tam, kde je dôležité, aby si čitateľ vedel predmet predstaviť - najmä pri prvom uvedení témy alebo pri opise praktického postupu. Kto počuje „trojramenná ladička“, vidí pred sebou tvar; kto počuje „monolitický rezonátor s trojpočetnou radiálnou symetriou“, vidí pred sebou otázku.

Obidva pojmy označujú ten istý predmet. Tam, kde by mohlo dôjsť k nejasnosti, má prednosť rezonátor.

Súvisiace označenia geometrických konfigurácií - TETRATIP, TORAMID, TETRAMID - sú definované v kapitole N1/06. Názvoslovie častí a uhlov je v kapitolách N1/07 a N1/08.

2.7 Prečo je dokument publikovaný otvorene

Ak je téma skutočne nespracovaná, vzniká otázka, prečo ju tím zverejňuje namiesto toho, aby si ju chránil.

Dôvod je praktický aj zásadový. Verejné a datované zverejnenie môže vo vzťahu k dostatočne opísaným riešeniam tvoriť súčasť stavu techniky a obmedziť možnosť ich neskoršieho patentového nárokovania. Otvorená publikácia je teda silnejšou ochranou pred privlastnením než mlčanie - a zároveň jediným spôsobom, ako umožniť nezávislé zopakovanie meraní, bez ktorého by výsledky nemali hodnotu.

Zásadový dôvod je uvedený v dokumentoch projektu samostatne a týka sa rozhodnutia nekomercializovať výsledky výskumu.

03 DEFINÍCIA SYSTÉMU

Tu sa pomenúvajú tri veci: samotný rezonátor, budič, ktorý ho rozozvučí, a celok, ktorý z nich vznikne. Bez týchto troch pojmov by nebola možná stabilná referenčná koherencia.

3.1 TRIAURÁLNY REZONÁTOR - monolitný člen

Triaurálny rezonátor je monolitické alebo modulárne teleso zložené z centrálného vlnovodu a sústavy rezonančných ramien v priestorovom geometrickom usporiadaní, ktoré je opísané v kapitole N1/06. Na rozdiel od klasickej dvojramennej ladičky, ktorá kmitá v jednej rovine, má triaurálny rezonátor tri alebo viac ramien rozložených radiálne okolo spoločnej osi.

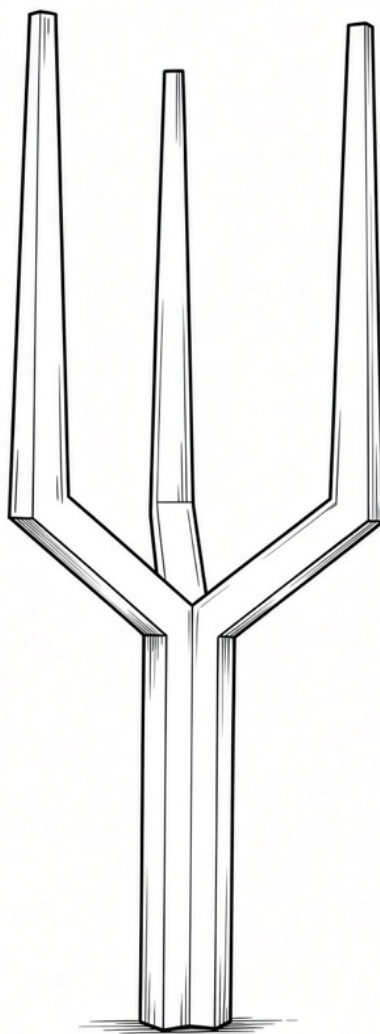


FIG-N1-02: Triaurálny rezonátor - monolitný člen

Rezonátor sa vybudí mechanicky - úderom do hlavného radiálneho žiariča - alebo bezkontaktné postupmi opísanými v kapitole N1/13. Monolitická štruktúra pritom zabezpečuje, že prenos kmitania medzi ramenami a vlnovodom nie je prerušený rozhraním.

Materiálovo sa uplatňujú kovy a zliatiny s nízkym vnútorným útlmom, predovšetkým letecké hliníkové zliatiny, titán, zvonovina a kremenné sklo. Rezonátory z dreva, medi, kryštálu alebo polymérov sú takisto vyhotoviteľné a majú odlišné akustické správanie; ich zaradenie do materiálovej mapy je predmetom kapitoly N1/15.

Rezonátory je možné vyhotovovať odlievaním, frézovaním alebo aditívnou výrobou. Voľba technológie ovplyvňuje dosiahnuteľnú toleranciu uhlov a kvalitu rezonancie, ktorá je sama osebe predmetom skúmania (viď N1/06.5). Podrobný popis častí rezonátora je uvedený v kapitole N1/07 - Normatívna terminológia.

3.2 FORKER - elektromagnetický vibračný budič

FORKER je projektové označenie elektromechanického vibračného budiča mechanicky pripojeného na rúčku rezonátora, ktorý prenáša kmitanie do celého monolitu.

Referenčné vyhotovenie vzniklo z kmitacej cievky reproduktora zbavenej membrány a ozvučnice; rúčka rezonátora je vsunutá do nosiča cievky cez pružnú spojku. Funkčne ide o prevod elektrického signálu na mechanické kmitanie rúčky, ktorá ďalej pôsobí ako vlnovod do centrálného uzla a odtiaľ do ramien.

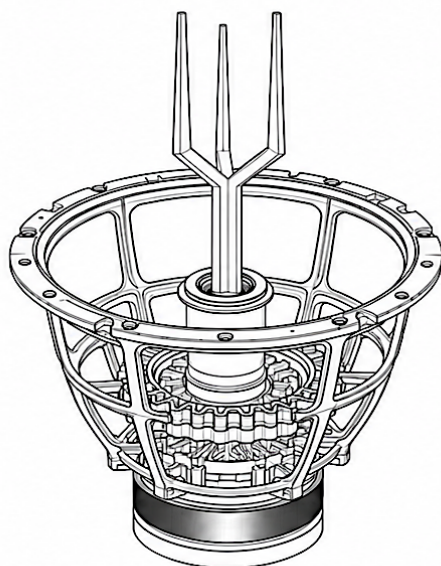


FIG-N1-03

FIG-N1-03: rez z zostavou FORKER - magnet, úchop, pružná spojka, rúčka rezonátora.

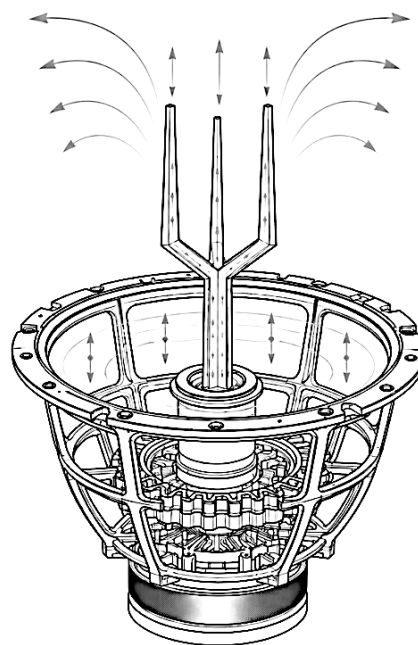


FIG-N1-04

FIG-N1-04: schéma toku energie od z FORKERA cez rúčku do centrálného uzla a ramien.

Praktický dôsledok je zásadný. Do rezonátora možno priviesť ľubovoľnú frekvenciu v počuteľnom pásme s definovanou amplitúdou z audio zosilňovača alebo oscilátora - namiesto jednorazového a nereprodukovateľného úderu kladivkom. Práve nereprodukovateľnosť úderu je jednou z hlavných metodických slabín klasického prístupu: mení sa amplitúda, miesto vstupu energie aj tlmenie spôsobené kontaktom.

Aby bol FORKER opísateľný a replikovateľný, musia byť špecifikované tieto parametre: tuhosť a tlmenie pružnej spojky, hmotnosť pripojenej zostavy, prenosová charakteristika v pracovnom pásme a maximálna amplitúda pred nástupom skreslenia. Fázová strata pri prenose sa neuvádza ako nulová - kvantifikuje sa meraním.

3.3 EMT - Electro-Magnetic Triaural Transductor

EMT je kompletne zariadenie zložené z triaurálneho rezonátora, FORKERA a budiacej elektroniky. Je to najnižšia úroveň, na ktorej je pole riadené: frekvencia, amplitúda, priebeh a trvanie sú nastaviteľné a zaznamenateľné veličiny.

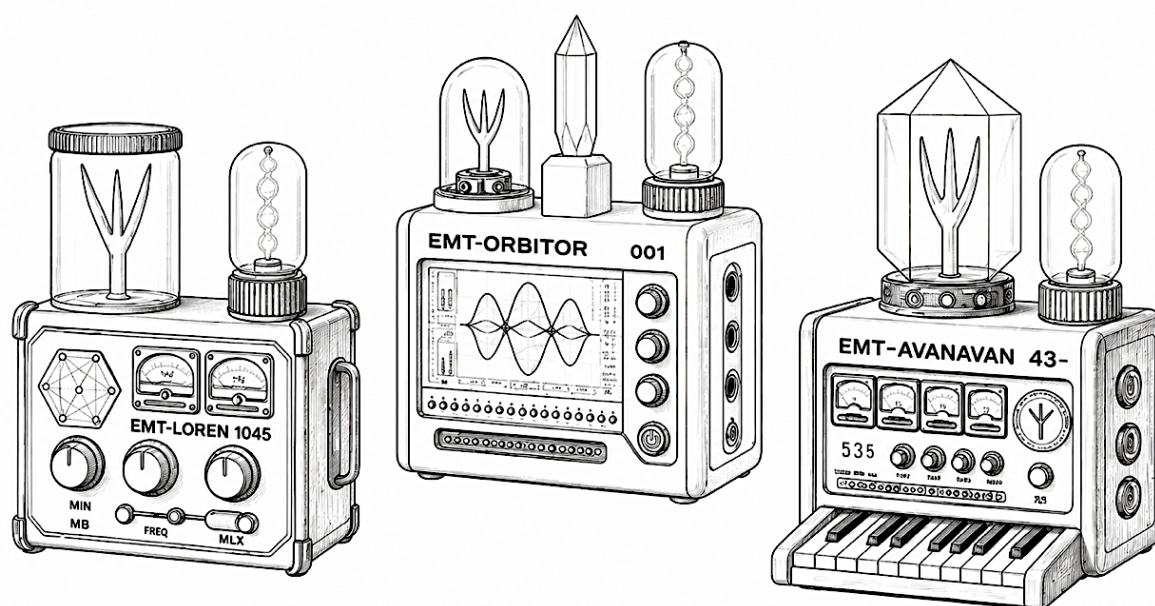


FIG-N1-05: Koncepty EMT (Electro-Magnetic Triaural Transductor)

Rozdiel oproti pasívnemu rezonátoru sa dá zhrnúť jednou vetou. Pasívny monolit odpovedá na impulz vlastnou rezonanciou a potom dozneje; EMT drží vynútený stav ľubovoľne dlho. Natívna frekvencia rezonátora sa pritom prejavuje charakteristicky dlhším dozvukom než ostatné frekvencie.

Z toho plynie metodický dôsledok, ktorý sa premieta do celého korpusu: dávkové aj kontinuálne pôsobenie je možné až na úrovni EMT. Bez neho sa nedá skúmať nič, čo si vyžaduje expozíciu dlhšiu než dozvuk.

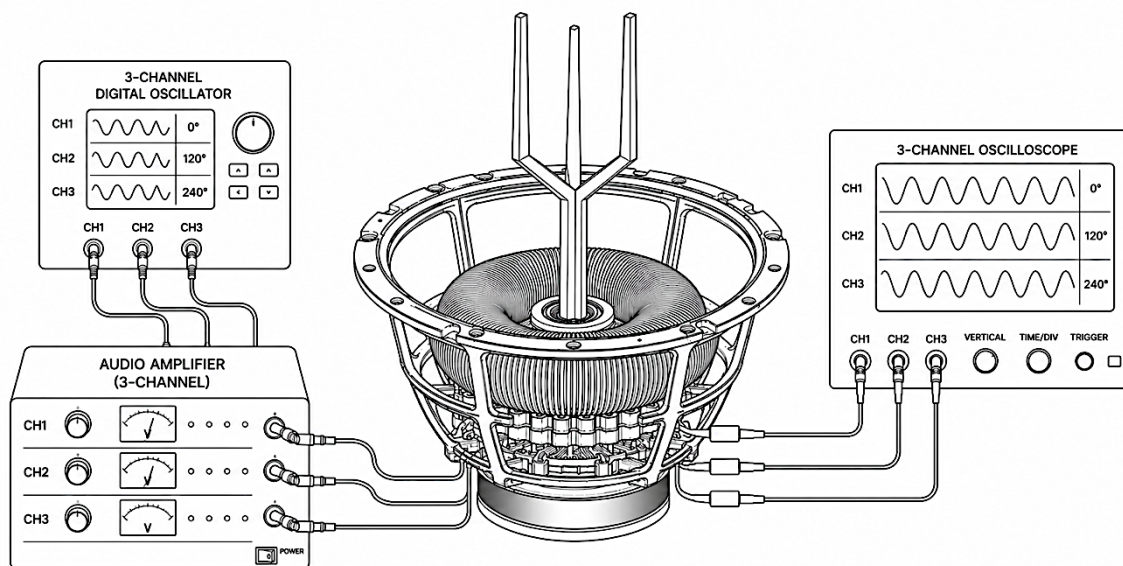


FIG-N1-06: Bloková schéma zapojenia EMT - Oscilátor, audio zosilňovač, FORKER, cievka, rezonátor, kontrolný osciloskop.

Zariadenie pracuje v troch režimoch budenia. V audio-rezonančnom režime sa privádza zosilnený zvukový signál a rezonátor sa rozozvučí mechanicky. V oscilačnom režime sa privádza signál z generátora, čo umožňuje prácu aj pod hranicou počuteľnosti, v rámci technických možností FORKERA. Pri anténovom vyhotovení sa rezonátor napája priamo z elektromagnetického generátora pre pasívne budenie prostredníctvom cievky a aktívne budenie priamym kontaktom na telo rezonátora; tento režim je predmetom dokumentu N2.

Referenčnou realizáciou je zariadenie EMT - LOREN 1045, kde označenie 1045 zodpovedá natívnej frekvencii triaurálneho rezonátora o hodnote 1045 Hz.

3.4 Ohnisko a jeho teoretické vymedzenie

Ohniskom sa v tomto dokumente rozumie oblasť nad centrálnym uzlom, ohraničená polohou hlavných radiálnych žiaričov, v ktorej sa vlnenie z jednotlivých ramien prekrýva. Nie je to bod, ale objem, a jeho rozmer závisí od geometrie a frekvencie.

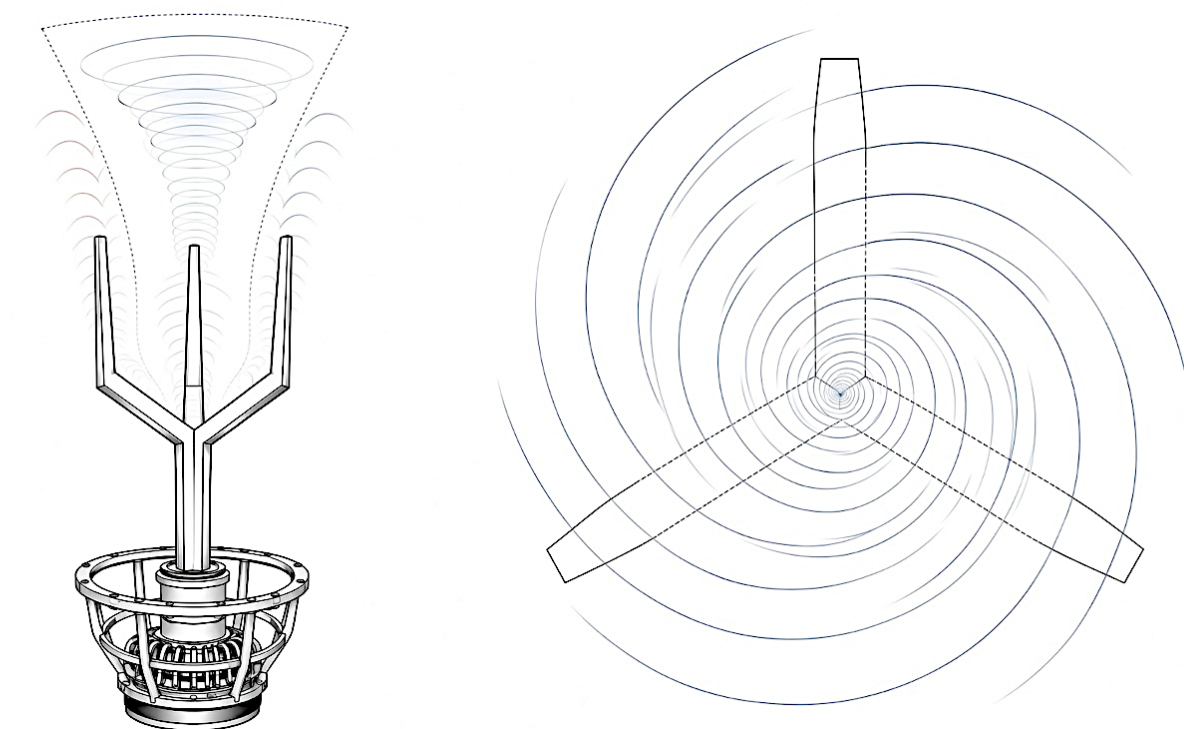


FIG-N1-07: Geometrické vymedzenie ohniska

3.5 Čo systém zahŕňa a čo nie

Pod pojem triaurálny systém patrí rezonátor, budiaci člen, budiaca elektronika a meracia zostava. Nepatria sem výsledné aplikácie ani prostredie, v ktorom sa zariadenie používa - tie sú predmetom dokumentu N3.

04 REBRÍK ZLOŽITOSTI L0 - L7

Osem stupňov, ktorými sa postupuje od jednej ladičky až po priestorovú komoru. Poradie nie je ľubovoľné: každý stupeň slúži ako kontrola pre ten nasledujúci, a keby sa niektorý preskočil, výsledok vyššieho stupňa by sa nedal vysvetliť.

4.1 Princíp rebríka

Rebrík zložitosti je referenčnou osou celého publikačného celku. Rozdeľuje cestu od jedného rezonátora až po priestorovú multirezonančnú komoru a určuje, v akom poradí sa nimi postupuje.

Zmyslom nie je usporiadať prácu podľa náročnosti, hoci náročnosť rastie. Zmyslom je, aby každý stupeň slúžil ako kontrola pre ten nasledujúci. Ak sa niektorý preskočí, výsledok vyššieho stupňa sa nedá vysvetliť - nebude totiž s čím ho porovnať.

Rebrík zároveň určuje, kde v korpuse sa ktorá otázka rieši. Dolná polovica je akustická a patrí do tohto dokumentu, horná prechádza do dokumentov N2 a N3.

4.2 Prehľad stupňov

Stupeň	Zostava	Doména	Dokument
L0	Pasívny monolit, mechanický impulz	akustika	N1
L1	EMT - monolit s riadeným budením cez FORKER	akustika	N1
L2	Trojuholníková zostava EMT do spoločného ohniska	akustika	N1
L3	Reproduktory v trojuholníku do spoločného ohniska	akustika	N1
L4	AURISONIC mini - priestorová zostava do 30 cm	akustika	N1 → N3
L5	AURISONIC v ľudskej mierke	akustika	N3
L6	Antény a cievkové polia v tej istej geometrii	elektromagnetizmus	N2 → N3
L7	Hybridné pole - akustika a elektromagnetizmus súčasne	hybrid	N3

4.3 Akustická vetva: L0 až L5

L0 - pasívny monolit

Rezonátor bez akéhokoľvek budiaceho zariadenia, vybudený mechanickým impulzom. Meria sa vlastná frekvencia, tvar módov, dozvuk a činiteľ akosti, teda mieru toho, ako dlho teleso znie. Je to východiskový stav, voči ktorému sa porovnáva všetko ostatné, a jediný stupeň, na ktorom sa dá určiť, čo robí samotné teleso bez vplyvu pripojenej hmoty.

L1 - EMT

Jeden monolit s riadeným buđením cez FORKER. Od tohto stupňa je frekvencia, amplitúda a trvanie nastaviteľnou veličinou, takže sa dá merať odozva na definovaný vstup a opakovať ju. Pripojenie budiča však mení hmotnosť a tlmenie sústavy, preto sa porovnanie s L0 vykonáva vždy a rozdiel sa zaznamenáva.

L2 - trojuholníková zostava EMT

Tri monolity mierené do spoločného ohniska, buденé s riadenými fázami. Prvý stupeň, na ktorom vzniká pole zo súčinnosti viacerých telies, a zároveň prvý, kde sa dá overiť, či sa fázové riadenie prejaví na tvare poľa tak, ako predpovedá výpočet.

L3 - reproduktory v trojuholníku

Tá istá geometria rozmiestnenia, ale namiesto monolitov bežné reproduktory. Tento stupeň nie je zjednodušením predchádzajúceho - je jeho kontrolou, a v celom dokumente má osobitné postavenie. Rozoberá ho podkapitola 4.5.

L4 - AURISONIC mini

Priestorová zostava zdrojov do rozmeru približne tridsať centimetrov, s kostrou v tvare rombikuboktaédra. Prvý stupeň, na ktorom sa pole tvorí v troch rozmeroch a nie v rovine. Slúži na overenie metrík a postupov skôr, než sa pristúpi k stavbe v ľudskej mierke.

L5 - AURISONIC v ľudskej mierke

Rovnaké usporiadanie zväčšené natoľko, aby doň bolo možné umiestniť človeka. Tento stupeň už patrí do dokumentu N3 spolu so všetkými etickými a bezpečnostnými požiadavkami, ktoré z prítomnosti človeka vyplývajú.

4.4 Elektromagnetická a hybridná vetva: L6 a L7

L6 - elektromagnetický upgrade

Tá istá geometria vyhotovená ako anténna sústava, prípadne ako pole cievok. Rieši ju dokument N2. Do rebríka je zaradená až za akustickú vetvu, pretože akustické merania sú lacnejšie, rýchlejšie a bezpečnejšie, a poskytujú predstavu o tom, čo od geometrie očakávať.

L7 - hybridné pole

Akustické a elektromagnetické budenie pôsobiace súčasne na tej istej zostave. Najvyšší stupeň rebríka. Jeho skúmaniu predchádza samostatné overenie oboch domén, pretože inak by sa nedalo určiť, ktorá z nich sa na výsledku podieľa.

4.5 L2 oproti L3 - kľúčová kontrola

Porovnanie druhého a tretieho stupňa je najdôležitejším jediným meraním celého programu N1 a stojí za to povedať prečo.

Tri monolity a tri reproduktory sa umiestnia do totožnej geometrie, budia sa na rovnakej frekvencii a nastavujú sa tak, aby v ohnisku vytvárali rovnaký akustický tlak. Potom sa porovná štruktúra poľa.

Ak sa polia nedajú od seba odlišiť, znamená to, že sledované vlastnosti poľa vyplývajú už z rozmiestnenia a fázového vzťahu zdrojov. Triaaurálne pole by sa tým dalo realizovať aj tromi fázovo riadenými zdrojmi, čo je bežná akustika fázovaných polí.

Ak sa polia reprodukovateľne odlišia, bude to dôkaz, že nahradenie monolitických rezonátorov bežnými zdrojmi mení sledovanú štruktúru poľa. Ďalšou otázkou potom bude, ktorá vlastnosť monolitov tento rozdiel spôsobuje a či súvisí s degenerovaným párom podľa kapitoly N1/09.

Výsledok porovnania L2 a L3 určí, akú úlohu možno v ďalšom výskume pripísať samotným monolitickým rezonátorom. Ak sa medzi zostavami nepreukáže merateľný rozdiel v sledovaných vlastnostiach poľa, bude potrebné tieto vlastnosti v danom experimentálnom usporiadaní vysvetľovať prednostne geometriou rozmiestnenia a fázovým vzťahom zdrojov. Ak sa rozdiel preukáže, otvorí sa otázka jeho pôvodu a vzťahu k modálnej štruktúre monolitov. Výsledok tejto kontroly preto ovplyvní interpretáciu hypotéz, ktoré sa na osobitný prínos monolitického rezonátora odvolávajú; ich konkrétne väzby na jednotlivé stupne rebríka sú uvedené v kapitole N1/22.

Rozhodovacia brána sa pritom viaže na konkrétnu hypotézu, nie na smer výskumu. Negatívny výsledok uzatvára to tvrdenie, ktoré sa meralo, a nie je sám osebe dôvodom na uzavretie nadväzujúcej vetvy, ak tá stojí na inom mechanizme. Rozhodnutie pokračovať alebo zastaviť sa zapisuje s odôvodnením a nevyplýva z výsledku automaticky. Dokument sa takto bráni dvom opačným chybám naraz: pokračovaniu napriek vyvrátenému tvrdeniu a uzavretiu vetvy na základe predpokladu bez plného kontextu.

4.6 Prečo sa poradie dodržiava

Preskočenie stupňa nešetrí čas, iba presúva neistotu dopredu. Ak sa napríklad postaví komora v ľudskej mierke bez toho, aby prebehlo porovnanie L2 a L3, každý nameraný účinok bude mať dve rovnako pravdepodobné vysvetlenia a nebude sa dať rozhodnúť medzi nimi inak než dodatočným zostúpením o štyri stupne nižšie.

Poradie zároveň chráni rozpočet. Každý stupeň je rádovo drahší než predchádzajúci a rozhodnutie pokračovať sa robí až na základe výsledku toho predošlého. Rebrík je teda okrem metodického nástroja aj postupnosťou rozhodovacích bodov.

Zaradenie stupňov do fáz časového plánu:

Stupeň	Fáza	Poznámka k nákladom
L0 - L1	F0	výroba vzoriek a základné meranie; najnižšia položka rebríka
L2 - L3	F0 a F1	kľúčové porovnanie podľa kapitoly N1/04.5; vyžaduje trojicu zdrojov a polohovanie
L4 - L5	F1 a F2	vizualizácia, kvapalinové médiá, optika a vysokorýchlostný záznam
L6 - L7	mimo rozsahu N1	elektromagnetická vetva; predmet dokumentov N2 a N3

Náklady sa v tomto dokumente nečlenia podľa stupňov rebríka, ale podľa položiek vybavenia v kapitole N1/19.3. Dvojité členenie by sa pri prvej zmene rozišlo a jedno z nich by prestalo platiť. Väzba stupňa na náklady je preto vedená cez fázu: každá fáza má v kapitole N1/21.8 uvedené, ktoré položky sa v nej obstarávajú.

05 KLASIFIKÁCIA ZARIADENÍ

Triaurálna geometria sa dá použiť dvoma spôsobmi: na prácu so zvukom a na prácu s elektromagnetickým poľom. Táto kapitola ich oddeľuje a hovorí, čím sa navzájom líšia.

5.1 Akustické monolitné rezonátory

Ide o monolitické telesá pozostávajúce z vlnovodu a sústavy rezonančných ramien. Budia sa mechanicky alebo cez FORKER a vytvárajú akustické pole v okolí ohniska.

Predpokladaným výsledkom budenia je vznik rotačnej zložky poľa v ohnisku, teda štruktúry, ktorá sa v priestore neopakuje len ako stojaté vlnenie, ale nesie aj obežnú fázovú štruktúru. Toto tvrdenie je hypotézou H-N1-01 a v tomto dokumente sa nikde neuvádza ako doložené. Fyzikálne zdôvodnenie a kritérium vyvrátenia sú v kapitole N1/09.

Rezonátor odovzdáva akustickú energiu dvoma cestami: vzduchom do okolia a mechanicky cez rúčku do toho, čoho sa dotýka. Obe cesty sa merajú oddelene, pretože ich zámena je zdrojom nesprávnych záverov (viď N1/14 a N1/18).

5.2 Multipolárne elektromagnetické zariadenia

Rovnaká geometria sa dá vyhotoviť z vodivého materiálu a napájať elektromagnetickým signálom. Vtedy ide o anténu s tromi alebo viacerými ramenami vychádzajúcimi z centrálného uzla.

Materiálovo prichádzajú do úvahy vysokovodivé kovy, polovodiče, piezoelektrické kryštály a kompozity na báze uhlíka. Konštrukčne sa uplatňuje odlievanie, frézovanie, aditívna výroba alebo vodivé spájanie jednotlivých segmentov v predpísanej priestorovej geometrii.

Otázky vyžarovacej charakteristiky, blízkeho poľa a väzby medzi topológiami sú predmetom dokumentu N2 a v tomto dokumente sa nerozoberajú. Dokument N1 stanovuje predovšetkým geometriu a názvoslovie, ktoré dokument N2 preberá.

5.3 Hybridné zariadenia

Hybridným zariadením sa rozumie zostava, v ktorej sa akustické a elektromagnetické budenie uplatňuje súčasne na tom istom telese. Takéto usporiadanie je zaradené ako stupeň L7 rebríka zložitosti a jeho skúmaniu predchádza samostatné overenie oboch domén.

06 GEOMETRICKÁ DESKRIPCIA

Táto kapitola hovorí, aké tvary rezonátorov rozlišujeme a podľa čoho. Kľúčovým parametrom je uhol a ukáže sa, že práve uhol je aj tým, čo treba odmerať najpresnejšie.

Geometrický opis rezonátora sa v tomto dokumente člení do niekoľkých úrovní. Počet ramien n určuje základnú topológiu. Vrcholový uhol φ a z neho odvodený sklon θ určujú priestorové usporiadanie nosných ramien. Samostatný uhol β určuje orientáciu hlavných radiálnych žiaričov voči stredovej telesnej osi.

Ďalšiu úroveň tvoria artikulácie, dĺžky segmentov, prierezy a ostatné rozmery. Tieto parametre sa opisujú oddelene, aby zmena jednej geometrickej vlastnosti nebola zamieňaná so zmenou inej.

6.1 Čo určuje konfiguráciu

Priestorové usporiadanie rezonátora určujú dva základné údaje: počet hlavných radiálnych žiaričov a vrcholový uhol, ktorý medzi sebou zvierajú dve susediace nosné ramená. Označme ich n a φ .

Z počtu ramien vyplýva stredový uhol segmentu, teda uhlový rozostup ramien pri pohľade zhora, ako 360° delené n . Pre tri ramená je výsledný uhol 120° , pre štyri 90° a ďalej podľa tabuľky v kapitole N1/08, bod A.

Uhol φ je vrcholový uhol medzi osami dvoch susediacich nosných ramien. Pri zadanom počte ramien z neho vyplýva veľkosť sklonu nosných ramien voči stredovej telesnej osi, označovaného θ . Pre hodnoty φ menšie než 120° existujú dve zrkadlové orientácie tohto sklonu, opísané v kapitole 6.4.

Obidve veličiny sú geometricky previazané a základnú konfiguráciu možno pri známom n určiť pomocou φ aj pomocou θ . Tento dokument používa φ ako základný údaj z praktického dôvodu: vrcholový uhol medzi nosnými ramenami možno určiť priamo z geometrie rezonátora, zatiaľ čo θ sa vzťahuje k stredovej telesnej osi.

Dvojica hodnôt n a φ určuje základné rozovretie nosných ramien. Na jednoznačné určenie ich priestorovej orientácie je potrebné rozlíšiť aj základnú alebo zrkadlovú vetvu podľa kapitoly 6.4. Neurčujú však úplnú geometriu rezonátora. Hlavné radiálne žiariče môžu byť voči stredovej telesnej osi orientované rovnobežne, konvergentne alebo divergentne a tento vzťah sa opisuje samostatným uhlovým parametrom β podľa kapitoly 6.5. Ďalšie parametre - dĺžky segmentov, prierezy, artikulácie a ich uhly - sa k základnej konfigurácii pripájajú ako ďalšie geometrické stupne voľnosti.

6.2 Vzťah medzi vrcholovým uhlom nosných ramien a sklonom k osi

Nech θ označuje uhol medzi stredovou telesnou osou rezonátora a osou nosného ramena a φ vrcholový uhol medzi osami dvoch susediacich nosných ramien. Pri rovnomernom rozložení n ramien okolo telesnej osi platí vzťah:

$$\cos \varphi = \cos^2 \theta + \sin^2 \theta \cdot \cos (360^\circ / n)$$

Pre tri ramená sa výraz zjednoduší na tvar:

$$\cos \varphi = (3 \cos^2 \theta - 1) / 2$$

Opačným smerom, teda pri zadanom uhle medzi ramenami, sa sklon vypočíta ako:

$$\cos \theta = \sqrt{(2 \cos \varphi + 1) / 3}$$

Uhol θ zodpovedá hornému sklonu nosného ramena (HSNR). Pri konfiguráciách, v ktorých sú hlavné radiálne žiariče rovnobežné so stredovou telesnou osou, sa ich smer do výpočtu φ a θ nezapočítava; rozhodujúca je geometria nosných ramien.

Z dôvodu výskytu $\cos^2 \theta$ vo vzťahu existujú pre hodnoty φ menšie než 120° dve axiálne orientácie nosných ramien. Hodnoty θ a $180^\circ - \theta$ vytvárajú zrkadlové konfigurácie s rovnakým vrcholovým uhlom φ . Medzi oboma vetvami leží konfigurácia **EQUATOR**, pri ktorej $\theta = 90^\circ$ a nosné ramená ležia v rovine kolmej na stredovú telesnú os.

Privilegované konfigurácie uvedené ďalej predstavujú základnú vetvu od TETRATIP po EQUATOR. Ich zrkadlové ekvivalenty tvoria druhú vetvu tej istej geometrickej rodiny a môžu byť predmetom samostatných porovnávacích meraní.

Konfigurácia	Vrcholový Uhol φ	Sklon θ (HSNR)	Uhol k rúčke (DSNR)	Geometrická referencia
TETRATIP	60°	$35,264^\circ$	$144,736^\circ$	vrchol tetraédra
ICOSAMID	$63,435^\circ$	$37,377^\circ$	$142,623^\circ$	radiálne vektory k vrcholom steny ikosaédra
TORAMID	90°	$54,736^\circ$	$125,264^\circ$	roh kocky
DODECATIP	108°	$69,095^\circ$	$110,905^\circ$	vrchol dodekaédra
TETRAMID	$109,471^\circ$	$70,529^\circ$	$109,471^\circ$	pravidelný štvorsten
EQUATOR	120°	90°	90°	rovníková rovina

Tabuľka zachytáva šesť referenčných bodov spojitej C3 geometrickej rodiny. Prvých päť konfigurácií je odvodených od osobitných symetrických priestorových usporiadaní; EQUATOR predstavuje hraničný stav, v ktorom nosné ramená ležia v rovine kolmej na stredovú telesnú os. Pri konfigurácii TETRAMID sa navyše zhoduje vrcholový uhol medzi nosnými ramenami s uhlom medzi nosným ramenom a rúčkou. Smer centrálného vlnovodu a tri smery nosných ramien tak tvoria štyri geometricky rovnocenné smery pravidelného štvorstena.

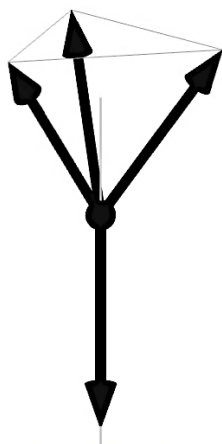
6.3 Šesť základných konfigurácií

Nasledujúcich šesť konfigurácií tvorí východiskovú sadu geometrického usporiadania nosných ramien, na ktorej sú založené prvé merania. Ich výber vychádza z geometricky privilegovaných smerov odvodených od pravidelných priestorových útvarov a z osobitného rovníkového stavu. Zobrazené telesá predstavujú geometrický pôvod príslušných smerov; nie sú súčasťou rezonátora.

TETRATIP

vrchol tetraédra

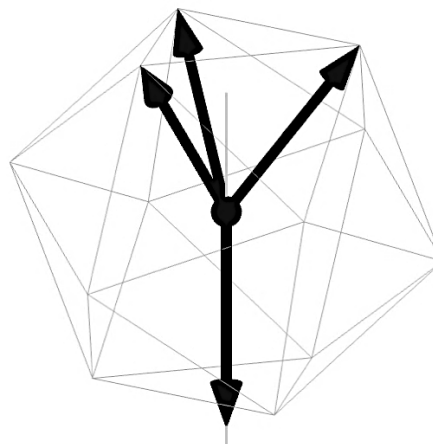
$\phi 60^\circ$ $\theta 35.264^\circ$ rúčka 144.736°



ICOSAMID

vektory k vrcholom steny ikosaédra

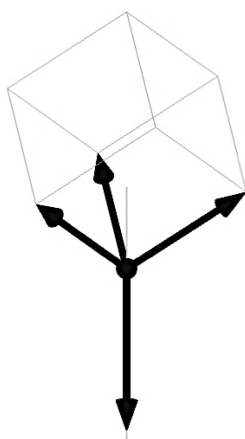
$\phi 63.435^\circ$ $\theta 37.377^\circ$ rúčka 142.623°



TORAMID

roh kocky

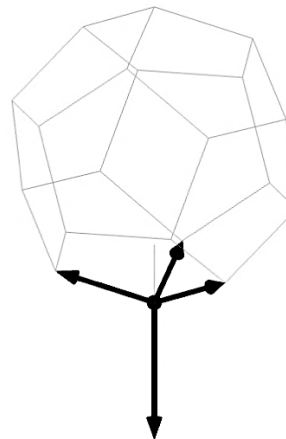
$\phi 90^\circ$ $\theta 54.736^\circ$ rúčka 125.264°



DODECATIP

vrchol dodekaédra

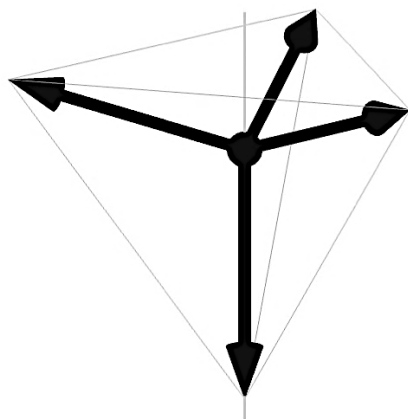
$\phi 108^\circ$ $\theta 69.095^\circ$ rúčka 110.905°



TETRAMID

osi tetraédra

$\phi 109.471^\circ$ $\theta 70.529^\circ$ rúčka 109.471°



EQUATOR

rovník

$\phi 120^\circ$ $\theta 90^\circ$ rúčka 90.000°

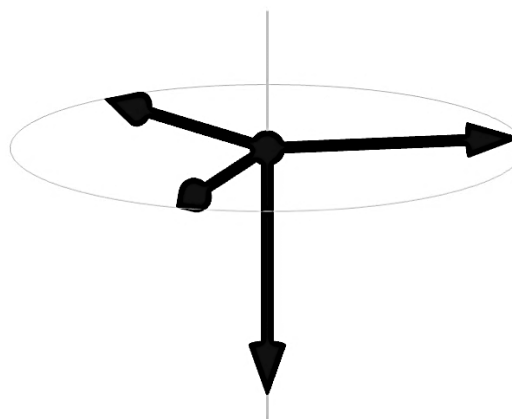


FIG-N1-08: Základné geometrické konfigurácie nosných ramien

TETRATIP - 60°

Nosné ramená zvierajú medzi sebou vrcholový uhol 60° a od stredovej telesnej osi sa odkláňajú o $35,264^\circ$. Ich smery zodpovedajú trom hranám vychádzajúcim z jedného vrcholu pravidelného tetraédra. Ide o najužšie rozovretú z privilegovaných konfigurácií základnej vetvy.

Pri použití hlavných radiálnych žiaričov rovnobežných s telesnou osou zostávajú tieto žiariče zo všetkých šiestich konfigurácií najbližšie k osi. Vplyv tejto geometrie na polohu, rozsah a štruktúru výsledného poľa je predmetom merania.

ICOSAMID - 63,435°

Nosné ramená zvierajú medzi sebou uhol približne $63,435^\circ$ a od stredovej telesnej osi sa odkláňajú o $37,377^\circ$. Konfigurácia je odvodená od troch radiálnych vektorov vedených zo stredu pravidelného ikosaédra k trom vrcholom jednej jeho trojuholníkovej steny.

ICOSAMID leží geometricky blízko konfigurácie TETRATIP, no jeho uhol má odlišný pôvod v ikosaédrickej symetrii. Práve táto blízkosť z neho robí vhodný porovnávací bod pri skúmaní citlivosti modálnej štruktúry a poľa na malé, geometricky motivované zmeny uhla.

TORAMID - 90°

Nosné ramená sú navzájom kolmé a od stredovej telesnej osi sa odkláňajú o $54,736^\circ$. Ich smery zodpovedajú trom hranám kocky vychádzajúcim z jedného vrcholu, pričom smer centrálného vlnovodu leží pozdĺž príslušnej telesovej uhlopriečky.

Tri navzájom kolmé smery poskytujú prirodzený ortogonálny geometrický rámec pre rozklad meraných veličín na priestorové zložky. Názov TORAMID je historické označenie konfigurácie a neodvodzuje sa od geometrie kocky; roh kocky predstavuje iba jej geometrickú referenciu.

DODECATIP - 108°

Nosné ramená zvierajú medzi sebou uhol 108° a od stredovej telesnej osi sa odkláňajú o $69,095^\circ$. Konfigurácia je odvodená od troch rovnocenných smerov vychádzajúcich z jedného vrcholu pravidelného dodekaédra.

Hodnota 108° leží veľmi blízko tetraédrickému uhlu konfigurácie TETRAMID, pričom obe konfigurácie majú odlišný geometrický pôvod. Táto dvojica preto vytvára ďalší prirodzený porovnávací bod: umožňuje skúmať, či malé rozdiely medzi dvoma privilegovanými uhlami vedú k merateľným rozdielom v modálnej štruktúre alebo výslednom poli.

TETRAMID - 109,47°

Nosné ramená zvierajú tetraédrický uhol, ktorého presná hodnota je $\arccos(-1/3)$, teda $109,4712^\circ$. Od stredovej telesnej osi sa odkláňajú o $70,529^\circ$.

Smer centrálného vlnovodu a smery troch nosných ramien tvoria štyri geometricky rovnocenné smery, pričom každý pár zvierá rovnaký uhol. Usporiadanie tak zodpovedá smerom od stredu pravidelného tetraédra k jeho štyrom vrcholom.

Rovnaký tetraédrický uhol sa vyskytuje aj v geometrii väzieb atómu uhlíka pri sp^3 usporiadaní a v kremíkovo-kyslíkových štvorstenoch. Možný význam tejto geometrickej zhody pre materiálové otázky je vedený ako hypotéza v kapitole N1/15.

EQUATOR - 120°

Nosné ramená zvierajú medzi sebou 120° a ich osi ležia v jednej rovine kolmej na stredovú telesnú os rezonátora. Sklon θ aj uhol medzi nosným ramenom a rúčkou majú hodnotu 90°.

EQUATOR predstavuje hraničný bod medzi dvoma zrkadlovými vetvami C3 geometrickej rodiny. Pri prechode cez túto konfiguráciu sa mení axiálna orientácia nosných ramien voči smeru centrálného vlnovodu.

Osobitné postavenie tejto konfigurácie vedie k samostatnej experimentálnej otázke: či kolmé napojenie nosných ramien na smer centrálného vlnovodu mení spôsob prenosu mechanickej energie cez centrálny uzol a mieru vibrácií prenášaných do rúčky. Tento predpoklad sa v dokumente nepovažuje za geometrický dôsledok a vyžaduje modálnu analýzu a experimentálne overenie.

6.4 Zrkadlové konfigurácie a axiálna polarita

Každá privilegovaná konfigurácia s $\varphi < 120^\circ$ má pri zachovaní rovnakého vrcholového uhla aj zrkadlový geometrický ekvivalent. Zodpovedá mu sklon $180^\circ - \theta$, pričom nosné ramená prechádzajú na opačnú stranu roviny kolmej na stredovú telesnú os.

Zrkadlová konfigurácia nie je z hľadiska priestorového usporiadania totožná s pôvodnou konfiguráciou, pretože centrálny vlnovod určuje orientovaný axiálny smer rezonátora. Obe konfigurácie preto môžu mať odlišné mechanické podmienky v centrálnom uzle, napriek rovnakému vrcholovému uhlu φ .

EQUATOR je spoločným hraničným bodom oboch vetiev. Systematické porovnanie pôvodných a zrkadlových konfigurácií je vedené ako samostatná výskumná otázka. Súvisiaca hypotéza je H-N1-59.

6.5 Orientácia hlavných radiálnych žiaričov

Geometria nosných ramien a geometria hlavných radiálnych žiaričov predstavujú dva odlišné stupne voľnosti. Hodnoty φ a θ určujú smer nosných ramien od centrálného rezonančného uzla k artikulárnym uzlom. Smer hlavného radiálneho žiariča od artikulárneho uzla k jeho voľnému koncu sa opisuje samostatne.

Tento dokument zavádza znamienkový parameter β , ktorý opisuje radiálny sklon osi hlavného radiálneho žiariča voči stredovej telesnej osi rezonátora. Smer žiariča sa posudzuje od artikulárneho uzla smerom k jeho voľnému koncu.

Pre β sa používa znamienková konvencia:

$\beta = 0^\circ$ - hlavný radiálny žiarič je rovnobežný so stredovou telesnou osou.

$\beta > 0^\circ$ - žiarič sa smerom k voľnému koncu od osi vzdďaľuje; ide o divergentnú konfiguráciu.

$\beta < 0^\circ$ - žiarič sa smerom k voľnému koncu k osi približuje; ide o konvergentnú konfiguráciu.

Znamienko β určuje radiálnu orientáciu žiariča, zatiaľ čo absolútna hodnota $|\beta|$ udáva veľkosť jeho odklonu od rovnobežného usporiadania.

Pri symetrickom triaurálnom rezonátore majú všetky tri hlavné radiálne žiariče rovnakú hodnotu β a ich smery sa opakujú rotačne po 120° . Hodnota β nemení vrcholový uhol φ ani sklon θ nosných ramien; mení geometriu až za artikulárnym uzlom. Dve telesá preto môžu mať rovnaké n , φ a θ , ale rozdielnú hodnotu β a predstavovať geometricky odlišné rezonátory.

Zmena β mení vzájomnú polohu voľných koncov hlavných radiálnych žiaričov, ich vzdialenosť od stredovej osi a geometrické vymedzenie oblasti nad centrálnym uzlom. Jej vplyv na modálnu štruktúru, väzbu medzi ramenami, polohu ohniska a priestorové rozloženie poľa nemožno určiť iba z geometrie a je predmetom samostatného výpočtového a experimentálneho porovnania.

Pre základný zápis sa rozlišujú tri triedy:

PARALLEL - $\beta = 0^\circ$

CONVERGENT - $\beta < 0^\circ$

DIVERGENT - $\beta > 0^\circ$

Ak je potrebná úplná geometrická špecifikácia, za názvom konfigurácie sa uvedie hodnota β , napríklad TORAMID $\beta+15^\circ$, TETRAMID $\beta0^\circ$ alebo EQUATOR $\beta-10^\circ$.

Úplný základný geometrický zápis triaurálneho rezonátora možno preto vyjadriť postupnosťou

$$n \rightarrow (\varphi, \theta) \rightarrow \beta \rightarrow \{a_i\} \rightarrow \{d_i, p_i\},$$

kde n určuje počet ramien, φ a θ geometriu nosných ramien, β základnú orientáciu hlavného radiálneho žiariča, $\{a_i\}$ jeho prípadné artikulárne uhly a $\{d_i, p_i\}$ dĺžky a prierezy jednotlivých segmentov.

6.6 Konfigurácie s vyšším počtom ramien

Uvedené vzťahy platia pre ľubovoľný počet ramien. Pri štyroch ramenách klesá stredový uhol na 90° a pre každú hodnotu φ existuje zodpovedajúci sklon θ podľa všeobecného vzťahu z kapitoly 6.2.

Štvorramenné usporiadanie umožňuje aj konfiguráciu, v ktorej ramená smerujú do vrcholov pravidelného štvorstena, zatiaľ čo rúčka vychádza zo stredu. Takéto vyhotovenie má odlišnú symetriu než trojramenné a v kapitole N1/09 sa uvádza ako samostatná otázka.

Pre počty ramien nad štyri zostáva postup rovnaký. Hranicu použiteľnosti určuje výroba a vzájomná vzdialenosť ramien pri danej hrúbke prierezu.

Parameter β opisuje celkový smer hlavného radiálneho žiariča bez ohľadu na jeho prípadné ďalšie zalomenia. Označenia -CUSP a -FLARE sa používajú až pre artikulárnu zmenu smeru pozdĺž žiariča a nenahrádzajú údaj β .

6.7 Artikulárne varianty

Hlavný radiálny žiarič môže byť zalomený v artikulárnych uzloch podľa kapitoly N1/07, bod G. Zalomenie je vlastnosťou konfigurácie a pripája sa k jej názvu ako prípona.

Prípona -CUSP označuje zalomenie smerom k telesnej osi, teda dovnútra. Vzniká tak TETRATIP-CUSP, TORAMID-CUSP alebo TETRAMID-CUSP. Zalomenie dovnútra približuje hroty ramien k osi a mení polohu aj tvar ohniska.

Prípona -FLARE označuje zalomenie smerom od osi, teda von. Hroty sa vzdďľujú a ohnisko sa rozširuje.

Základná konfigurácia zostáva pri tomto zápise jednoznačne určená a artikulácia je jej doplnkom. Pri viacnásobnom zalomení sa uvádza počet artikulár a artikulárne uhly podľa kapitoly N1/08, bod G.

6.8 Tolerancia geometrie

Presnosť, s akou musia byť uhly dodržané, zostáva otvorenou otázkou a jej zodpovedanie ovplyvní celý ďalší postup programu N1.

Dôvod plynie z kapitoly N1/09. Rotačný stav vzniká skladaním dvojice tvarov kmitania s rovnakou frekvenciou; odchýlka od symetrie tieto frekvencie rozdelí a rotácia sa ustáli do stojatého vzoru. Rozhodujúcou veličinou je preto rozštiepenie degenerovaného páru, označované Δf .

Tolerančná štúdia pracuje so sériou vzoriek s riadenou odchýlkou uhla v hodnotách 0° , $0,5^\circ$, 1° , 2° a 5° . Na každej vzorke sa meria Δf a súčasne amplitúda rotačnej zložky. Výsledkom je krivka závislosti Δf od odchýlky, ktorú možno porovnať s predikciou výpočtového modelu podľa kapitoly N1/17.

Odpoveď má priamy dopad na rozpočet a technológiu. Ak jav prežije odchýlku $\pm 5^\circ$, výroba je dostupná a nezávislá replikácia realistická. Ak vyžaduje $\pm 0,1^\circ$, ťažiskom programu N1 sa stáva presnosť obrábania a metrológia.

Krivka má oproti jedinému údaju ešte jednu prednosť: spojitá závislosť sa dá porovnať s modelom bod po bode, čo poskytuje silnejší doklad než jednorazové pozorovanie. Príslušné hypotézy sú H-N1-26 a H-N1-51.

6.9 Otvorenosť taxonómie

Uvedené konfigurácie predstavujú východiskovú sadu, zvolenú pre názornosť a pre väzbu na základné priestorové usporiadania. Sada zostáva otvorená a ďalšie geometricky zmysluplné triedy môžu pribudnúť.

Do rozsahu taxonómie patria najmä asymetrické konfigurácie s nerovnakými uhlami medzi ramenami, helikálne ramená s premenlivou geometriou pozdĺž dĺžky, viacvrstvé usporiadania s ramenami v niekoľkých úrovniach a vzájomne prepletené ramená v tvare skrutkovice alebo pletenca podľa kapitoly N1/07, bod F.

Šesť základných konfigurácií podľa kapitoly 6.3 predstavuje referenčné body spojitej C3 geometrickej rodiny. Otvorenou experimentálnou otázkou zostáva, či geometricky privilegované body tejto rodiny vykazujú aj osobitné alebo navzájom rozlíšiteľné fyzikálne vlastnosti; túto otázku zachytáva hypotéza H-N1-25.

Osobitnú otvorenú vetvu predstavuje úplná C3 geometrická taxonómia smerov odvodených od pravidelných a ďalších symetrických mnohostenov. Jej systematické spracovanie by svojím rozsahom presiahlo účel tejto kapitoly a je vhodným predmetom samostatnej teoretickej práce alebo nezávislého výskumného tímu.

07 NORMATÍVNA TERMINOLÓGIA

Nasledujúce názvoslovie je pre celý korpus záväzné. Bez neho nie je možné písať zmysluplné vety o meraní. Keď dvaja ľudia povedia „rameno“ a myslia tým každý niečo iné, výsledky sa nedajú porovnať.

Na presné zadefinovanie pojmu TRIAURAL ako celku a zosúladenie terminológie pre kooperatívny výskum je potrebné jednoznačné pomenovanie jednotlivých segmentov, súčastí a geometrických vzťahov. Nasledujúce pojmy sa v dokumentoch N1, N2 a N3 používajú výhradne vo význame uvedenom nižšie.

7.1 Typy polí

Skalárne pole priradzuje každému bodu priestoru a času jedno číslo bez smeru; typickými príkladmi sú teplota, tlak alebo elektrický potenciál. Vektorové pole priradzuje hodnotu aj smer, napríklad rýchlosť častíc alebo elektrickú intenzitu. Tenzorové pole priradzuje súbor vzájomne previazaných zložiek, čo je potrebné napríklad pri opise napätia v pevnom telese.

Akustický tlak je skalárne pole. Časticová rýchlosť je vektorové pole a v lineárnom potenciálovom opise ju možno vyjadriť ako gradient skalárneho rýchlostného potenciálu.

Z toho vyplýva podmienka, ktorá je pre program N1 určujúca: rotácia gradientu je identicky nulová, takže časticové rýchlostné pole je v tomto priblížení nevírivé. Dokument preto nepoužíva pojem akustický vír v zmysle lokálnej vírivosti časticovej rýchlosti. Týka sa fázovej štruktúry vlnového poľa, ktorá môže obsahovať fázovú singularitu a nieť orbitálny moment hybnosti, ako je doložené v recenzovanej literatúre o akustických víroch. Rozbor týchto javov je uvedený v kapitole N1/09.5.

Aby nedošlo k zámene, treba oddeliť päť veličín:

- Akustický tlak je skalárne pole; pojem rotácie sa naň priamo nevzťahuje.
- Časticová rýchlosť je v lineárnom potenciálovom priblížení gradientom skalárneho potenciálu, takže jej rotácia je nulová.
- Fázová singularita je miesto, kde komplexná amplitúda tlaku klesá k nule a fáza nie je definovaná; jej existencia nulovej rotácii časticového rýchlostného poľa neodporuje.
- Orbitálny moment hybnosti je vlastnosťou vlnového poľa viazanou na jeho priestorovú, najmä azimutálnu fázovú štruktúru; nemožno ho stotožniť s lokálnou vírivosťou časticovej rýchlosti [14].
- Akustické prúdenie je nelineárny jav druhého rádu. Jeho časovo priemerované rýchlostné pole môže nieť cirkuláciu a predstavuje mechanizmus odlišný od lineárnej oscilácie akustického poľa [15, 16].

Nulová rotácia časticového rýchlostného poľa v lineárnom potenciálovom opise teda nevylučuje fázovú singularitu ani orbitálny moment hybnosti. Tvrdenia dokumentu o „rotačnej zložke“ sa v tomto význame vzťahujú na tieto vlastnosti vlnového poľa; akustické prúdenie sa posudzuje samostatne ako možný nelineárny mechanizmus.

7.2 Segmenty a časti rezonátora

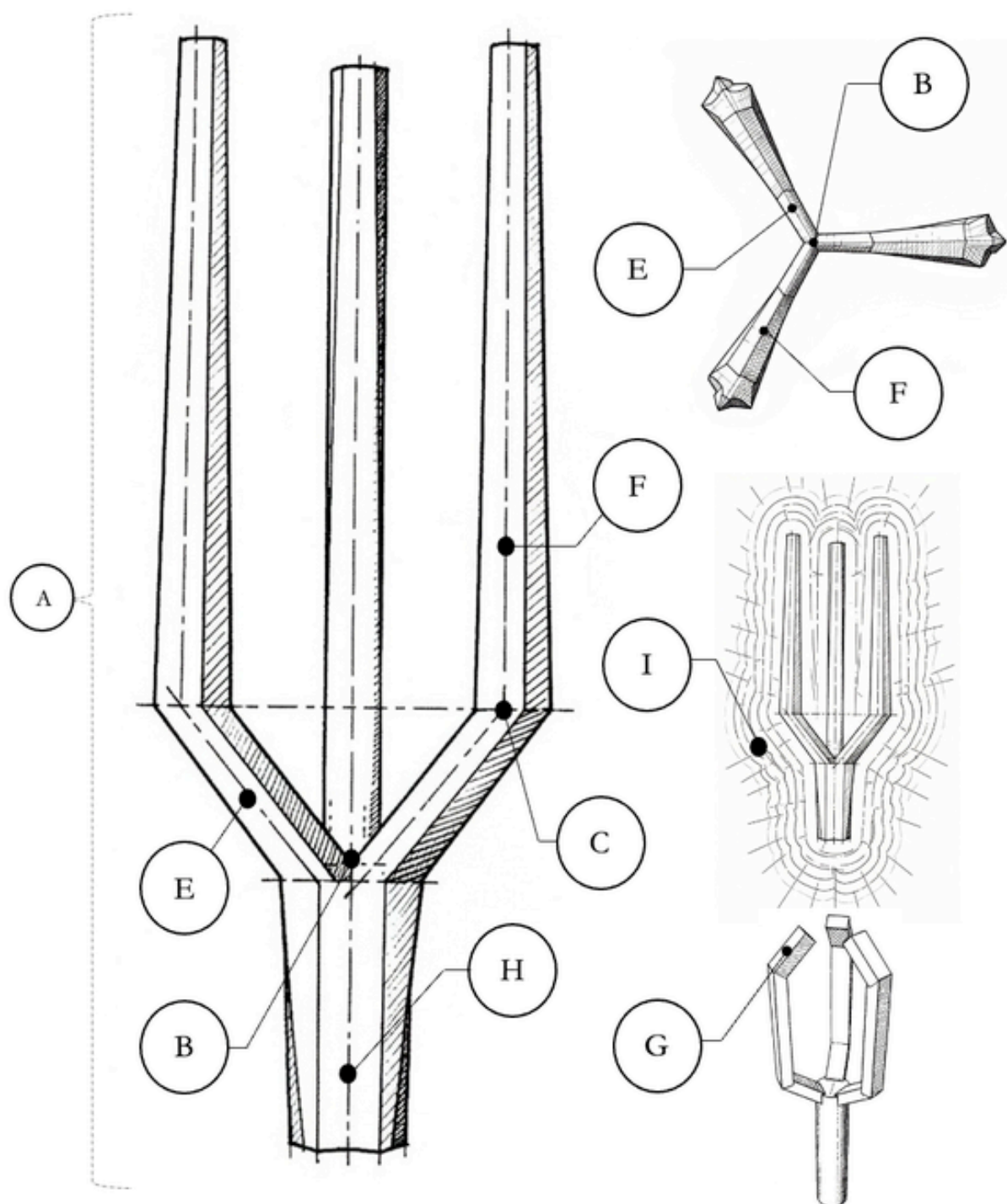


FIG-N1-09: Segmenty a časti rezonátora. Technická vizualizácia priestorovej geometrie a rozmiestnenia základných konštrukčných prvkov monolitickéj štruktúry.

A) TELO REZONÁTORA

Telom sa rozumie celý monolitický alebo modulárny objekt v špecifickej geometrii definovanej geometrickou deskripciou v kapitole N1/06.

B) CENTRÁLNY REZONANČNÝ UZOL

Miesto spoločného napojenia centrálného vlnovodu a nosných ramien rezonátora. V tomto uzle dochádza k mechanickej väzbe jednotlivých segmentov a k prenosu vibrácií medzi nimi. Jeho modálne správanie, amplitúdové a fázové vzťahy sú predmetom výpočtovej a experimentálnej analýzy.

C) ARTIKULÁRNY UZOL

Miesto spoja nosného ramena a hlavného radiálneho žiariča, prípadne spoja jednotlivých artikúlár hlavného radiálneho žiariča - napríklad ak je hlavný radiálny žiarič zalomený, teda rozdelený na viacero menších segmentov pod artikulačnými uhlami.

D) SEGMENT

Akákoľvek ucelená časť celku. Môže ísť o nosné rameno, hlavný radiálny žiarič alebo artikuláru.

E) NOSNÉ RAMENO

Segment spájajúci centrálny rezonančný uzol a hlavný radiálny žiarič, prípadne časť spájajúca centrálny uzol a nasledujúcu artikuláru hlavného radiálneho žiariča. Jeho prierez býva spravidla totožný s prierezom hlavného radiálneho žiariča, nie je to však podmienkou. Dĺžka a sklon nosného ramena určujú polohu artikulárneho uzla voči stredovej osi rezonátora. Následnú priestorovú orientáciu hlavného radiálneho žiariča určuje parameter β podľa kapitoly N1/06.5. Nosné rameno môže byť napojené na hlavný radiálny žiarič pod ostrým alebo tupým uhlom, prípadne môže mať oblúkový tvar.

F) HLAVNÝ RADIÁLNY ŽIARIČ

Hlavný kmitajúci segment ramena rezonátora. Pri mechanicky budených akustických rezonátoroch môže slúžiť ako miesto priameho úderu alebo iného budenia. Jeho dĺžka, prierez, materiál a geometria významne ovplyvňujú modálne vlastnosti rezonátora; výsledné vlastné frekvencie však závisia od mechanického správania celej spojenej štruktúry. Prierez býva štvorcový, okrúhly alebo trojuholníkový, môže však mať tvar ľubovoľného rovinného geometrického útvaru. Hlavný radiálny žiarič môže meniť svoju geometriu pozdĺž svojej dĺžky, napríklad ako helix alebo s premenlivým priemerom. Jednotlivé hlavné radiálne žiariče môžu byť navzájom rovnobežné alebo v priestore bezkontaktne prepletené, môžu sa k sebe približovať alebo rozchádzať; ich vzájomný geometrický vzťah môže byť vyjadrený lomenou skrutkovicou, prepleteným polygonálnym reťazcom, zig-zag helixom alebo

Pubovoľným pletencom a ich kombináciami. Jeho základná orientácia voči stredovej telesnej osi je definovaná parametrom β podľa kapitoly N1/06.5.

G) ARTIKULÁRY HLAVNÉHO RADIÁLNEHO ŽIARIČA

Časti, z ktorých sa hlavný radiálny žiarič môže, ale nemusí skladať. Ak je zalomený vo svojich častiach a tým rozdelený na samostatné segmenty - či už v rámci monolitu alebo modulárnej konštrukcie - takéto segmenty sa nazývajú artikuláry. Pri pravidelných artikulárnych variantoch môžu byť rozmiestnené v rovnomerných rozostupoch a používať rovnaký artikulárny uhol; nie je to však podmienkou definície. Počet artikulár nie je obmedzený a artikulárne uhly môžu byť ľubovoľné.

H) CENTRÁLNY VLNOVOD (RÚČKA)

Centrálna časť rezonátora slúži na úchop zariadenia v ruke operátora, na uchytenie v stojane alebo na mechanické pripojenie k budiču. Pri manuálnom použití zároveň tvorí mechanické rozhranie medzi telom rezonátora a telom operátora. Vo všetkých prípadoch predstavuje mechanickú cestu medzi centrálnym rezonančným uzlom a miestom úchopu, uchytenia alebo budenia. Charakter kmitania a prenos energie v tomto segmente je predmetom kapitoly N1/14.

I) TRIAURÁLNE POLE

Oblasť v okolí triaurálneho rezonátora, v ktorej sa pri jeho budení sleduje priestorové rozloženie meraných fyzikálnych veličín. Pri akustickom meraní ide najmä o výsledok superpozície vln súvisiacich s kmitaním jednotlivých ramien. Rozsah a štruktúra poľa sa určujú meraním podľa kapitol N1/09 a N1/10.

08 DEFINÍCIA UHLOVÝCH PARAMETROV

Uhly sú v programe N1 tým, čím sú v hodinárstve rozmery ozubených kolies. Nasledujúce definície hovoria, ktorý uhol sa kde meria - aby bolo možné dva rezonátory porovnať aj vtedy, keď ich vyrobili dvaja ľudia na dvoch kontinentoch.

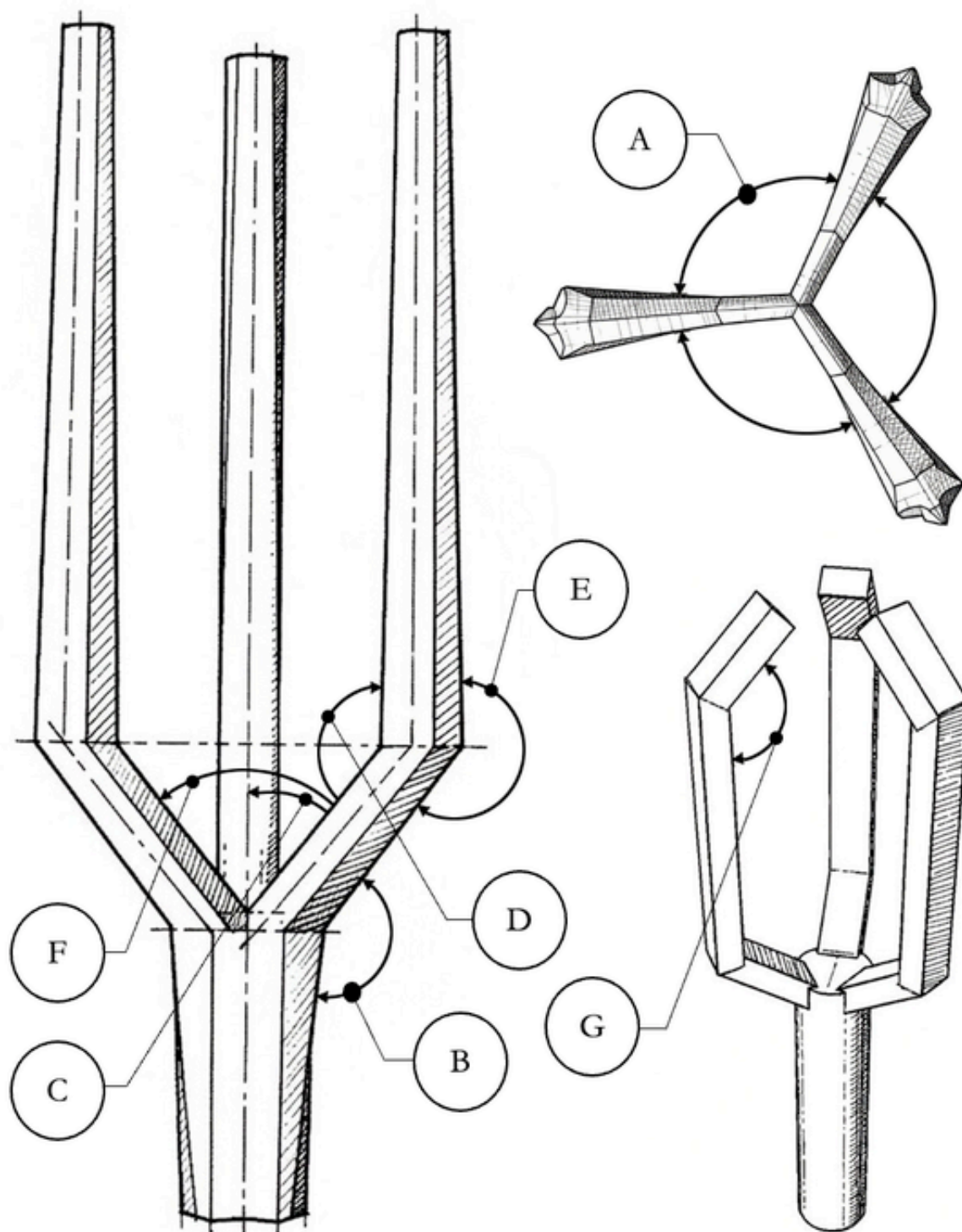


FIG-N1-10: Technická vizualizácia uhlov. Zobrazenie definuje typy a umiestnenie jednotlivých uhlov v rámci monolitckej štruktúry.

A) STREDOVÝ UHOL SEGMENTU

Uhlový rozostup ramien pri pohľade zhora, teda delenie obvodu rezonátora. Pri troch ramenách je to 120° , pri štyroch 90° , pri piatich 72° , pri šiestich 60° , pri siedmich $51,4286^\circ$, pri ôsmich 45° , pri deviatich 40° , pri desiatich 36° , pri jedenástich $32,7273^\circ$ a pri dvanástich 30° .

B) DOLNÝ SKLON NOSNÉHO RAMENA (DSNR)

Uhol otvorenia rezonátora medzi centrálnym vlnovodom a nosným ramenom.

C) HORNÝ SKLON NOSNÉHO RAMENA (HSNR)

Uhol otvorenia medzi stredovou telesnou osou rezonátora a nosným ramenom. Platí vzťah $HSNR = 180^\circ - DSNR$.

D) VNÚTORNÝ UHOL ARTIKULÁCIE NOSNÉHO RAMENA (VNUANR)

Vnútorňý uhol, ktorý zvierá nosné rameno a hlavný radiálny žiarič. Pri rezonátoroch, ktorých hlavné radiálne žiariče sú rovnobežné s telesnou osou určenou rúčkou, platí $VNUANR = DSNR$.

E) VONKAJŠÍ UHOL ARTIKULÁCIE NOSNÉHO RAMENA (VOUANR)

Vonkajší uhol, ktorý zvierá nosné rameno a hlavný radiálny žiarič. Pri rovnobežnom usporiadaní platí $VOUANR = HSNR + 180^\circ$.

F) VRCHOLOVÝ UHOL NOSNÝCH RAMIEN

Uhol, ktorý medzi sebou zvierajú dve susediace nosné ramená alebo ich prvé artikulácie. Ak by sme dve susediace nosné ramená z rezonátora vyňali, vznikol by objekt v tvare písmena V; tento uhol určuje rozovretie jeho ramien.

G) SKLON HLAVNÉHO RADIÁLNEHO ŽIARIČA (β)

Znamienkový parameter určujúci radiálny sklon osi hlavného radiálneho žiariča voči stredovej telesnej osi rezonátora. Hodnota $\beta = 0^\circ$ označuje rovnobežné usporiadanie, $\beta > 0^\circ$ divergentné a $\beta < 0^\circ$ konvergentné usporiadanie. Podrobná znamienková konvencia je definovaná v kapitole N1/06.5.

H) ARTIKULÁRNE UHLY

Uhly zalomenia hlavného radiálneho žiariča v miestach artikulár. Spôsobujú zakrivenie žiariča smerom k stredovej osi rezonátora alebo od nej. Počet artikulár nie je obmedzený a artikulárne uhly môžu byť ľubovoľné.

Presnosť, s akou musia byť tieto uhly dodržané, nie je zatiaľ známa. Ide o samostatnú výskumnú otázku, ktorá je rozpracovaná v kapitole N1/06.8 ako tolerančná štúdia; jej výsledok priamo určuje, akú výrobnú technológiu si program N1 vyžaduje.

09 FYZIKÁLNY ZÁKLAD

Prečo by mala trojramenná ladička robiť niečo iné než dvojramenná? Táto kapitola postupuje krok za krokom: čo je o zvuku známe, čo z toho vyplýva pre našu geometriu, a hlavne - akým meraním by sa dalo ukázať, že sa mýlime. Je to najdôležitejšia kapitola dokumentu, pretože na nej stojí všetko ostatné.

9.1 Východisko: čo robí dvojramenná ladička

Klasická ladička má dve ramená, ktoré v základnom ohybovom móde kmitajú súmerne proti sebe. Pri rozovretí sa oba voľné konce vzdďaľujú od stredovej roviny a ich priečne reakcie v spoločnej základni majú opačný smer. Tieto reakcie sa v mieste spoja vo veľkej miere rušia, takže do rúčky sa prenáša len malá priečna zložka pohybu. Rúčka sa preto uplatňuje najmä v pozdĺžnom smere [17].

Dôsledok sa dá ľahko pozorovať: pri pomalom otáčaní znejúcej ladičky okolo jej osi sa v pevnom bode mení nameraná alebo vnímaná amplitúda zvuku. Vyžarovanie oboch ramien sa v závislosti od smeru pozorovania skladá s rozdielnou fázou, takže v niektorých smeroch dochádza k zosilneniu a v iných k výraznému potlačeniu akustického tlaku.

Akustické vyžarovanie klasickej ladičky má v blízkom poli charakteristickú viac-lalokovú smerovosť s výraznými minimami. S rastúcou vzdialenosťou sa priestorový obraz mení a vo vzdialenom poli nadobúda jednoduchšiu smerovú štruktúru [17]. Toto správanie patrí k štandardne opísaným vlastnostiam dvojramennej ladičky [D].

9.2 Čo sa zmení pri troch ramenách

Teraz uvažujme teleso s tromi geometricky ekvivalentnými ramenami rozloženými po 120° . Ak sú ramená materiálovo a geometricky zhodné, prirodzenou otázkou je, aké modálne triedy umožňuje symetria takéhoto telesa.

Odpoveď poskytuje teória symetrie. Pri telesách s trojpočetnou rotačnou symetriou môže príslušná nesymetrická modálna trieda tvoriť dvojrozmerný degenerovaný pár: dva lineárne nezávislé tvary kmitania s rovnakou vlastnou frekvenciou, ktoré sa navzájom líšia priestorovou orientáciou [18].

Z hľadiska symetrie možno rozlíšiť plne symetrické módy, pri ktorých sa tri ramená správajú ekvivalentne, a nesymetrickú dvojrozmernú modálnu triedu, v ktorej sa objavuje degenerovaný pár. V najjednoduchšom symetrickom obraze sa všetky tri ramená vychyľujú súčasne rovnakým spôsobom, akoby teleso „dýchalo“. Nesymetrická trieda sa opisuje dvojicou navzájom nezávislých tvarov kmitania s rovnakou frekvenciou.

Táto dvojica sa označuje ako degenerovaný pár.

Označenie symetrie sa v odbornej literatúre zapisuje skratkou. Písmeno C označuje cyklickú rotačnú symetriu a číslo počet ekvivalentných otočení počas jednej celej otáčky. Symetria C3 teda znamená, že teleso sa po otočení o 120° stotožní samo so sebou. Príbuzným prípadom je C2 pri otočení o 180° a C4 pri otočení o 90° .

Symetria telesa obmedzuje, aké modálne triedy môžu existovať ešte pred výrobou konkrétneho kusu. Pri samotnej symetrii C2 nevzniká analogická dvojrozmerná modálna trieda, ktorá by degeneráciu vynucovala symetriou. Dvojramenná ladička preto nemá rovnakú symetricky chránenú dvojicu módov ako trojramenné teleso s C3 alebo C_{3v} symetriou.

Úplnejšie označenie pre ideálne symetrický triaurálny rezonátor je C_{3v}, kde malé písmeno označuje prítomnosť zrkadlových rovín prechádzajúcich ramenami. Pri chirálnej úprave telesa môžu tieto roviny zaniknúť a zostane iba rotačná symetria C3.

9.3 Prečo môže vzniknúť rotácia

Ak existujú dva lineárne nezávislé tvary kmitania s rovnakou vlastnou frekvenciou, možno ich lineárne kombinovať. Ak sú obe zložky vybudené s vhodným amplitúdovým pomerom a vzájomným fázovým posunom približne 90° , výsledná superpozícia môže vytvoriť priestorovo rotujúci vzor deformácie. Samotná existencia degenerovaného páru však neurčuje, aká konkrétna kombinácia módov sa pri danom spôsobe budenia skutočne vytvorí.

Užitočnú matematickú analógiu poskytuje trojfázový elektromotor. Tri cievky rozložené po 120° a budené signálmi s príslušným fázovým posunom vytvárajú točivé magnetické pole. V zdroji sa pritom mechanicky neotáča samotná sústava cievok; rotuje priestorový vzor poľa. Analógia slúži na ilustráciu fázovo postupujúcej superpozície, nie ako dôkaz rovnakého fyzikálneho mechanizmu v rezonátore.

Ak by sa pri kmitaní troch ramien vytvoril stabilný cyklický fázový postup približne 0° , 120° a 240° , možno očakávať priestorovo postupujúcu fázovú štruktúru okolo triaurálnej osi. Či takýto stav vznikne spontánne pri impulznom alebo súfázovom budení konkrétneho rezonátora, je experimentálna otázka zachytená hypotézou H-N1-01.

Dve čísla, ktoré opisujú ten istý stav

Na tomto mieste sa v texte objavujú dva rôzne fázové posuny a je potrebné ich rozlíšiť, pretože zámena by viedla k nesprávnemu záveru.

V ideálnom dvojrozmernom modálnom podpriestore možno ten istý fázovo postupujúci stav opísať buď pomocou troch priestorovo rozložených zložiek s cyklickým posunom 120° , alebo pomocou dvoch nezávislých modálnych súradníc v kvadratúre, teda s posunom 90° .

Dôvod, prečo sú módy dva a nie tri, vyplýva zo štruktúry príslušnej nesymetrickej modálnej triedy. Tri amplitúdové zložky ramien v nej nepredstavujú tri nezávislé stupne voľnosti; stav možno úplne opísať dvoma nezávislými modálnymi súradnicami.

Rotujúci stav možno v takomto dvojrozmernom priestore vytvoriť skladaním dvoch nezávislých zložiek v kvadrátúre, teda s fázovým posunom 90° . Ide o rovnakú matematiku ako pri parametrickom opise kružnice, kde jedna súradnica sleduje kosínus a druhá sínus.

Prevod medzi týmito dvoma spôsobmi zápisu má v elektrotechnike ustálenú podobu v Clarkeovej transformácii, známej aj ako $\alpha\beta$ transformácia [19]. Tá prevádza trojzložkovú sústavu abc na dve ortogonálne súradnice α a β . Pri vyváženej sínusovej trojfázovej sústave s posunom 120° tvoria výsledné α a β zložky kvadrátúrny pár a opisujú ten istý rotujúci vektor v dvojrozmernej rovine. V riadení elektromotorov ide o štandardne používaný matematický nástroj.

Clarkeova transformácia tu slúži ako matematická analógia prevodu medzi trojzložkovým a dvojzložkovým opisom; nejde o tvrdenie, že mechanické módy rezonátora sú totožné s elektrickou trojfázovou sústavou. Ide o dva matematicky ekvivalentné opisy toho istého ideálneho fázovo postupujúceho stavu.

Keďže príslušný modálny podpriestor má dva nezávislé stupne voľnosti, jeho stav možno v princípe rekonštruovať z dvoch nezávislých a vhodne umiestnených snímacích kanálov. Tretí kanál poskytuje nadbytočnú informáciu vhodnú na kontrolu konzistencie, symetrie a meracej chyby; preto je trojkanálový magnetický odber podľa kapitoly N1/13.3 navrhnutý práve takto.

Teória kmitania teda umožňuje existenciu rotujúcej superpozície v rámci degenerovaného páru. Experiment však musí samostatne overiť, či konkrétny rezonátor taký pár skutočne má, či ho zvolený spôsob budenia excituje v potrebnom amplitúdovom a fázovom vzťahu a či výsledný stav zostáva stabilný alebo sa mieša so symetrickými a ďalšími modálnymi zložkami.

9.4 Podmienka, ktorá to celé drží

Rotujúca superpozícia je najjednoduchšia a najstabilnejšia vtedy, keď majú oba členy degenerovaného páru rovnakú vlastnú frekvenciu. Ak sa degenerácia poruší a frekvencie módov sa rozídu o hodnotu Δf , ich vzájomný fázový vzťah sa začne v čase meniť. Čistý rotujúci stav preto nemusí zostať stacionárny a môže prechádzať do pulzujúcej, stojatej alebo hybridnej modálnej superpozície.

Miera tohto efektu závisí od veľkosti rozštiepenia Δf , činiteľov akosti jednotlivých módov, ich tlmenia, spôsobu budenia a času pozorovania. Neexistuje preto všeobecná hranica, pri ktorej by už ľubovoľne malé rozštiepenie automaticky znamenalo zánik rotačnej zložky; takú hranicu treba určiť experimentálne.

Degeneráciu môže narušiť každá zmena, ktorá zníži príslušnú symetriu alebo rozdielne ovplyvní jednotlivé ramená: nepresnosť uhla pri výrobe, nerovnomerný prierez alebo hmotnosť, vnútorné pnutie po obrábaní, nesymetrické uchytenie či dodatočné mechanické alebo magnetické zaťaženie.

Ak sa rozštiepenie Δf podarí zmerať a riadene meniť na tom istom kuse rezonátora, vznikne silný kontrolný experiment. Možno potom porovnať modálne a poľové správanie pri takmer degenerovanom stave s tým istým telesom po zámernom narušení symetrie. Sledovať sa nebude iba prítomnosť alebo neprítomnosť rotácie, ale aj zmena podielu symetrickej, nesymetrickej a prípadnej rotačnej zložky v závislosti od Δf .

Tolerančná štúdia podľa kapitoly N1/06.8 preto sleduje závislosť modálneho rozštiepenia a vybraných ukazovateľov rotačného alebo hybridného správania od riadenej geometrickej odchýlky. Súvisiace hypotézy sú H-N1-51 a H-N1-23.

Rozštiepenie degenerovaného páru sa označuje

$$\Delta f = |f_1 - f_2|,$$

kde f_1 a f_2 sú vlastné frekvencie oboch členov páru.

9.5 Fázová cirkulácia a akustické prúdenie

V kapitole N1/07.1 sa rozlišuje nevírivé časticové rýchlostné pole v lineárnom potenciálovom opise od fázovej cirkulácie vlnového poľa a od nelineárneho akustického prúdenia. Toto rozlíšenie je nevyhnutné aj pri interpretácii rotačných prejavov pozorovaných v okolí rezonátora. Dva mechanizmy môžu viesť k vizuálne podobným výsledkom, ich fyzikálny význam je však odlišný.

Cesta A - fázová singularita a orbitálny moment hybnosti

Pri akustickom víre má komplexná tlaková amplitúda okolo osi azimutálne sa meniacu fázu. V ideálnom prípade leží na osi fázová singularita, kde amplitúda klesá k nule a fáza nie je definovaná. Takáto fázová štruktúra môže byť spojená s cirkulujúcou akustickou intenzitou a s nenulovým orbitálnym momentom hybnosti [14]. Nejde pritom o vír časticovej rýchlosti v lineárnom potenciálovom zmysle podľa kapitoly N1/07.1. Akustické víry sú overeným javom a priemyselne sa využívajú, napríklad v akustických pinzetách na bezdotykové držanie častíc [D].

Cesta B - akustické prúdenie

Akustické prúdenie je časovo spriemerovaný pohyb média vznikajúci v dôsledku nelineárnych účinkov akustického poľa, tlmenia, viskozity a interakcie s hranicami. Na rozdiel od oscilujúcej časticovej rýchlosti prvého rádu ide o reálny transport média, ktorý môže vytvárať cirkulujúce alebo vírové rýchlostné pole.

Prejavuje sa napríklad systematickým unášaním stopovacích častíc vo vzduchu (napr. kvapôčok glycerolovej hmly) alebo kvapaline [15, 16].

Oba mechanizmy sa môžu v jednoduchom pozorovaní prejaviť rotačne a môžu sa vyskytovať súčasne. Fázová singularita sa testuje mapovaním komplexného akustického tlaku, najmä amplitúdového minima a obehu fázy okolo osi. Na zviditeľnenie časovo spriemerovaného prúdenia možno použiť laserový svetelný rez so stopovacími časticami; pri kvantitatívnom vyhodnotení možno zostavu rozšíriť o PIV. Krútiaci moment na vloženej telese nie je sám osebe postačujúcim rozlišovacím znakom, pretože ho môžu vytvárať oba mechanizmy.

Dokument preto oba javy dôsledne rozlišuje a hypotéza H-N1-39 je formulovaná tak, aby bolo možné určiť, ktorý mechanizmus sa na pozorovanom rotačnom prejave podieľa.

Ako môže fázová cirkulácia koexistovať so stabilným obrazcom

Fázová cirkulácia a priestorovo stabilný amplitúdový obrazec sa nevyklučujú automaticky. Fázová a amplitúdová štruktúra sú dve odlišné vlastnosti komplexného poľa a ich vzájomný vzťah závisí od superpozície prítomných módov. Stabilný obrazec pozorovaný na hladine preto nemožno zo samotného vzhľadu označiť ani za dôkaz, ani za vyvrátenie fázovej singularity.

Prvou možnosťou je superpozícia protibežných azimutálnych zložiek s opačným topologickým nábojom. Ich kombinácia môže vytvoriť priestorovo stojatú azimutálnu moduláciu aj v prípade, že jednotlivé zložky samostatne nesú fázovú cirkuláciu. Konkrétny počet a poloha amplitúdových miním závisia od prítomných módov a ich relatívnej amplitúdy a fázy.

Druhou možnosťou je rozštiepenie pôvodne degenerovaných módov. Rozdiel ich vlastných frekvencií mení časový vývoj relatívnej fázy a môže viesť k stojatému, pulzujúcemu alebo hybridnému priebehu namiesto stabilnej rotujúcej superpozície. Táto možnosť priamo nadväzuje na kapitolu N1/09.4.

Tretou možnosťou je, že pozorovaný obrazec na hladine vzniká prevažne hydrodynamickým mechanizmom, napríklad Faradayovou nestabilitou, a nemusí priamo kopírovať fázovú štruktúru akustického poľa. Rotácia alebo fázová cirkulácia v inom priestore zostavy a stabilný obrazec na hladine potom môžu predstavovať dva odlišné, hoci navzájom budené javy. Túto možnosť testuje hypotéza H-N1-28.

Rozhodujúce rozlíšenie nemožno vykonať zo samotnej fotografie obrazca. Fázová singularita musí byť overená meraním komplexného tlakového poľa: v okolí kandidátnej osi sa hľadá lokálne amplitúdové minimum a súčasne nenulový celočíselný obeh fázy po uzavretej dráhe. Stabilný kymatický obrazec môže byť doplnkovou indíciou, nie dôkazom tejto štruktúry.

Kvantitatívnou charakteristikou fázovej singularity je topologický náboj l . Je to celé číslo určené celkovou zmenou fázy pri jednom uzavretom obehu okolo

singularity [20]. Jeho určenie poskytuje jednoznačnejší test fázovej cirkulácie než samotná amplitúdová mapa.

9.6 Meranie momentu hybnosti

Ak akustické pole prenáša moment hybnosti na vložené teleso, musí sa tento prenos prejavíť merateľným krútiacim momentom. Jedným zo spôsobov jeho detekcie je torzný terč: malý absorpčný alebo čiastočne absorpčný disk zavesený na tenkom vlákne v sledovanej oblasti poľa [21, 22]. Natočenie terča sa sníma opticky alebo iným bezkontaktným spôsobom a z jeho uhlovej odozvy možno po kalibrácii určiť pôsobiaci krútiaci moment.

Samotné natočenie alebo rotácia terča však nepreukazuje, že zdrojom momentu je orbitálny moment hybnosti akustického poľa. Rovnaký mechanický prejav môže vzniknúť aj pôsobením akustického prúdenia, nesymetrickým tlakovým zaťažením, vibráciami závesu alebo inými experimentálnymi artefaktmi. Meranie preto musí obsahovať nezávislé kontroly týchto mechanizmov.

Nulová hypotéza tohto experimentu je dvojdielna: nameraný krútiaci moment je buď zlučiteľný s nulou v rámci meracej neistoty, alebo je vysvetliteľný známymi mechanizmami hmotného transportu a nesymetrického mechanického pôsobenia, najmä akustickým prúdením.

Pre interpretáciu v prospech prenosu akustického orbitálneho momentu hybnosti je preto potrebné preukázať súčasne viacero znakov: reprodukovateľný nenulový krútiaci moment, fázovú štruktúru kompatibilnú s cirkuláciou podľa kapitoly N1/09.5 a neprítomnosť takého prúdenia alebo iného mechanického vplyvu, ktorý by nameraný moment dokázal vysvetliť.

Akustické prúdenie sa kontroluje pomocou stopovacích častíc a merania časovo spriemerovaného rýchlostného poľa, napríklad zviditeľnením prúdenia v laserovom svetelnom reze. Fázová singularita sa overuje nezávislým mapovaním amplitúdy a fázy komplexného akustického tlaku. Tieto merania sa preto vyhodnocujú spoločne, nie ako vzájomne zastupiteľné dôkazy.

Motiváciou pre túto kontrolu je aj predbežné pozorovanie kovových pilín v okrúhlejšej nádobe upevnenej v oblasti koruny rezonátora. Pri niektorých budiacich frekvenciách bol na videozázname pozorovaný smerový pohyb pilín s výraznou obvodovou zložkou. Keďže frekvencie ani ostatné podmienky experimentu neboli systematicky zaznamenané, pozorovanie neumožňuje určiť mechanizmus pohybu. Môže byť kompatibilné s akustickým prúdením, mechanickým prenosom vibrácií nádoby, asymetrickým budením alebo ďalšími mechanizmami. Práve preto je pri opakovaní potrebné súčasne merať pohyb častíc, vibrácie nádoby a fázovú štruktúru akustického poľa.

Pohyb jednotlivých pilín možno pri opakovaní kvantifikovať obrazovým sledovaním trajektórií alebo PIV/PTV analýzou, zatiaľ čo vibrometrické meranie nádoby umožní oddeliť transport vyvolaný pohybom podložky od pohybu média.

Metodickým predchodcom pre mapovanie vektorovej intenzity v okolí ladičky je meranie na dvojramennom kuse [23].

Pri obrátení smeru fázovej cirkulácie sa má obrátiť aj znamienko nameraného krútiaceho momentu, ak je tento moment s danou fázovou štruktúrou kauzálny spojený.

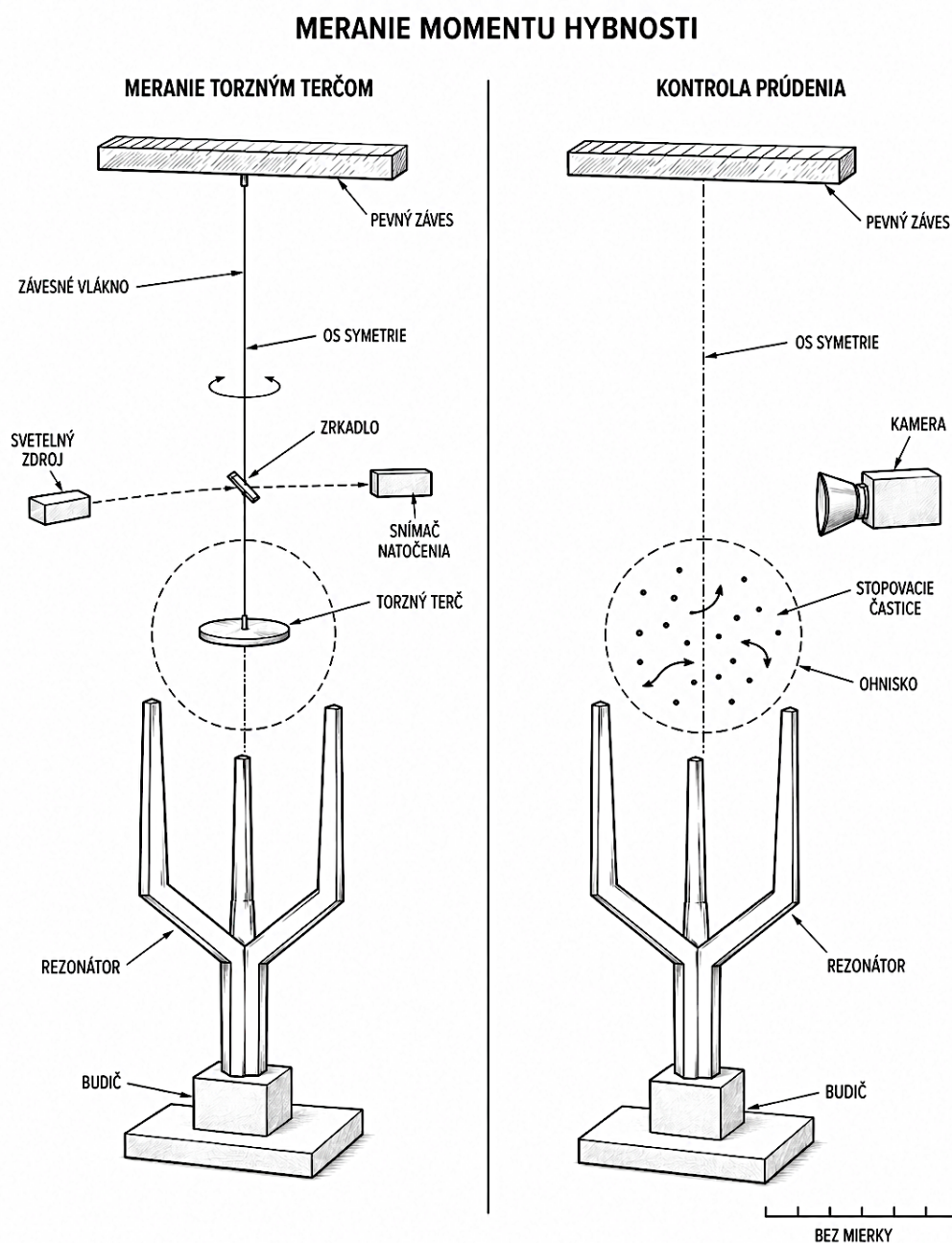


FIG-N1-11: Usporiadanie merania prenosu momentu hybnosti - torzný terč so snímaním natočenia a paralelná kontrola akustického prúdenia pomocou stopovacích častíc.

9.7 Mierka a čo z nej vyplýva

Táto podkapitola kalibruje predchádzajúce tvrdenia vzhľadom na pomer charakteristického rozmeru rezonátora k vlnovej dĺžke zvuku.

Pri základných frekvenciách v stovkách hertzov má zvuková vlna vo vzduchu dĺžku rádovo desiatky centimetrov až približne jeden meter, zatiaľ čo charakteristický rozmer rezonátora je podstatne menší. Rezonátor preto v tomto pásme pracuje v režime, kde je jeho rozmer voči vlnovej dĺžke malý.

Pri sub-vlnových zdrojoch je vytváranie výrazne štruktúrovaného a smerovo stabilného vzdialeného poľa čoraz náročnejšie. Vyššie priestorové zložky poľa sa vyžarujú menej účinne a významná časť štruktúry môže zostať viazaná na blízke pole zdroja. Nejde teda o ostrú hranicu typu „vznikne - nevznikne“, ale o postupnú zmenu účinnosti a priestorového charakteru poľa so zmenou pomeru rozmeru zdroja k vlnovej dĺžke.

Pre triaurálny rezonátor to znamená, že pri počuteľných frekvenciách sa rotačné alebo fázovo cirkulujúce štruktúry očakávané podľa H-N1-01 a H-N1-06 musia v prvom rade hľadať v blízkom poli, kde môže byť priestorová štruktúra výraznejšia než vo vzdialenom poli. Ak sa má testovať vyžiarovaný vírový zväzok alebo orbitálny moment hybnosti prenášaný do vzdialeného poľa, rozhodujúci je pomer charakteristického rozmeru rezonátora D k vlnovej dĺžke λ .

Preto sa pri každom meraní uvádza aspoň bezrozmerný pomer

$$\frac{D}{\lambda},$$

prípadne ekvivalentný vlnový parameter

$$kD = \frac{2\pi D}{\lambda},$$

kde D predstavuje zvolený charakteristický rozmer rezonátora a k je akustické vlnové číslo.

Pri interpretácii výsledkov sa bude rozlišovať blízke pole, prechodová oblasť a vzdialené pole. Rovnaká geometrická štruktúra môže v jednotlivých oblastiach vykazovať odlišnú amplitúdovú a fázovú organizáciu, preto sa závery z jednej oblasti nemajú automaticky prenášať do druhej.

Mierková otázka sa ďalej rozpracúva v kapitole N1/09.12, kde sa skúma prechod k menším rezonátormi a vyšším pracovným frekvenciám.

9.8 Stav techniky: ako sa akustické víry vyrábajú dnes

Aby bolo možné presne vymedziť predmet skúmania, je potrebné odlíšiť ho od spôsobov, ktorými sa akustické víry a iné polia s azimutálnym fázovým priebehom vytvárajú v existujúcich systémoch. Z hľadiska pôvodu priestorového fázového usporiadania možno pre potreby tohto dokumentu rozlíšiť tri pracovné triedy.

Trieda A - aktívne fázovaný zdroj

Do tejto triedy patria zostavy viacerých meničov, ktorých amplitúda a fáza sú elektronicky riadené. Patria sem fázované polia, holografické akustické pinzety [25], systémy s riaditeľným topologickým nábojom [26] a generovanie štruktúrovaných povrchových akustických vln pomocou inverzného riadenia [27].

Azimutálna fázová štruktúra je v tomto prípade zadaná budiacimi signálmi. Zmena elektronického fázovania môže preto meniť vlastnosti výsledného poľa bez mechanickej zmeny samotnej zostavy.

Trieda B - pasívny transformátor vlny

Druhú triedu tvoria štruktúry, ktoré priestorovo transformujú vlnu vytvorenú samostatným zdrojom. Patria sem špirálové fázové dosky [28], metapovrchy a metamateriálové apertúry [29, 30], akustické hologramy [31], špirálové difrakčné mriežky [32] a ďalšie pasívne prvky určené na vytvorenie požadovaného fázového priebehu.

Do tejto skupiny možno zaradiť aj systémy, v ktorých je samotná vyžarujúca štruktúra rezonančná alebo podporuje vedené mechanické vlny, pokiaľ je požadovaná azimutálna fázová štruktúra určená konštrukčným alebo budiacim prvkom, ktorý ju do systému zámerne vnáša. Príkladom je rezonátorová vrstva s azimutálne rozdelenými sektormi [34] alebo pružná štruktúra, v ktorej vedené ohybové vlny vytvárajú pri vyžarovaní do kvapaliny pole s orbitálnym momentom hybnosti [35].

Trieda C - vlastná modálna dynamika rezonátora

Pre potreby tohto dokumentu sa ako pracovná trieda C označuje prípad, v ktorom by priestorovo postupujúca fázová štruktúra vznikla z vlastnej modálnej dynamiky konečného rezonátora, bez elektronicky zadaného azimutálneho fázového gradientu a bez samostatného pasívneho prvku určeného na jeho vytvorenie.

Predmetom skúmania je najmä možnosť, že degenerovaný pár nesymetrickej modálnej triedy trojramenného telesa vytvorí za určitých podmienok rotujúcu superpozíciu podľa kapitoly N1/09.3. Samotná existencia degenerovaného páru taký stav nezaručuje. Experiment musí určiť, či sa potrebný amplitúdový a fázový vzťah vytvorí pri konkrétnom spôsobe budenia a či je výsledná priestorová štruktúra merateľná.

V rešeršnom korpuse preskúmanom podľa protokolu N1/02.5 nebola identifikovaná práca, ktorá by jednoznačne preukazovala zhodný prípad:

trojramenný monolitický rezonátor s príslušnou rotačnou symetriou, v ktorom by merateľná azimutálna fázová cirkulácia vznikla z vlastnej modálnej odozvy bez zámerne vloženého azimutálneho fázového gradientu. Tento záver platí iba pre rozsah vykonanej rešerše a nepredstavuje tvrdenie o absolútnej novosti.

Čo musí trieda C experimentálne preukázať

Rozhodujúcim testom nie je existencia akustického víru ako takého; tá je známa [14]. Rovnako nestačí preukázať, že mechanicky kmitajúce teleso môže vyžarovať pole s orbitálnym momentom hybnosti.

Pre zaradenie skúmaného rezonátora do pracovnej triedy C je potrebné preukázať súvis medzi jeho vlastnou modálnou štruktúrou a pozorovaným fázovým postupom. Meranie preto musí určiť:

- či rezonátor obsahuje predpokladaný degenerovaný alebo takmer degenerovaný pár;
- či sa pri zvolenom spôsobe budenia vytvorí medzi jeho zložkami časovo definovaný amplitúdový a fázový vzťah;
- či tomuto mechanickému stavu zodpovedá priestorovo postupujúca fáza akustického poľa;
- ako sa výsledok zmení pri riadenom porušení symetrie alebo pri zmene spôsobu budenia.

Osobitne silným testom je impulzné alebo súfázové budenie, pri ktorom nie je azimutálny fázový gradient zámerne vložený budiacim systémom. Ak sa aj za týchto podmienok preukáže reprodukovateľná fázová cirkulácia a jej väzba na vlastné módy rezonátora, pôjde o priamy test mechanizmu definovaného v tejto pracovnej triede.

Možné aplikácie akustických polí s orbitálnym momentom hybnosti zahŕňajú napríklad bezdotykovú manipuláciu s časticami, zobrazovanie a prenos informácie [36, 37]. V tomto dokumente sa uvádzajú iba ako technologický kontext a nepredstavujú tvrdenie o použiteľnosti konkrétneho triaurálneho rezonátora.

9.9 Dvojfrequenčné budenie a rozdielová dynamika

Ak sa rezonátor budí súčasne dvoma blízkymi frekvenciami f_1 a f_2 , ich lineárna superpozícia vytvára amplitúdovo a fázovo modulovaný priebeh s charakteristickou časovou mierkou danou rozdielom

$$\Delta f = |f_2 - f_1|.$$

Táto rozdielová frekvencia opisuje rýchlosť zmeny obálky alebo vzájomného fázového vzťahu oboch zložiek. V lineárnom systéme však sama osebe nepredstavuje novú samostatnú akustickú frekvenčnú zložku.

Ak má každá z budených frekvencií odlišnú priestorovú modálnu alebo fázovú štruktúru, ich superpozícia môže vytvoriť pole, ktorého amplitúdové maximá, minimá alebo fáza sa menia v čase s mierkou Δf . Takýto priebeh môže byť výrazne pomalší než samotné nosné kmity f_1 a f_2 , pričom priestorová štruktúra zostáva určená vyššími frekvenciami a príslušnými módmi rezonátora.

To umožňuje experimentálne oddeliť dve mierky deja: rýchle mechanické a akustické kmitanie pri f_1 a f_2 a pomalšiu časovú evolúciu ich superpozície pri Δf . Takýto režim môže byť vhodný na sledovanie precesie, pulzovania alebo periodického preskupovania modálneho obrazu, najmä ak sú budené dve blízke vlastné frekvencie alebo rozštiepený degenerovaný pár.

Rozdielová frekvencia vznikajúca nelineárnym miešaním

Od lineárneho beatingu je potrebné odlišiť skutočné frekvenčné miešanie. Ak systém obsahuje dostatočne silnú nelinearitu, môžu sa vo frekvenčnom spektre objaviť nové zložky, vrátane rozdielovej frekvencie:

$$f_{DF} = |f_2 - f_1|.$$

Takáto zložka už predstavuje samostatný výsledok nelineárnej interakcie a musí byť experimentálne preukázaná priamo v spektre. Jej vznik nemožno odvodiť iba z prítomnosti dvoch budených frekvencií.

Pre triaurálny rezonátor preto treba rozlišovať dve otázky: či dvojfrekvenčné budenie vytvára pomaly sa meniacu priestorovú superpozíciu v lineárnom režime a či sa pri vyššej amplitúde objaví aj merateľná nelineárna zložka na rozdielovej frekvencii. Ide o hypotézu H-N1-57.

9.10 Doterajšie indície

Nasledujúce pozorovania vznikli počas vývoja zariadení a nie sú výsledkami systematických meraní. Uvádzame ich preto, že práve ony viedli k formulácii hypotéz v tomto dokumente - a uvádzame ich so všetkými obmedzeniami, ktoré majú.

Sú to teda indície, nie dôkazy, a v tomto texte majú register [O] podľa kapitoly N1/01.3. Ich funkciou je ukázať, odkiaľ sa otázky vzali, nie na ne odpovedať.

Zámerne uvádzame aj tie, ktoré sa neskôr môžu ukázať ako artefakty. Vynechať pozorovanie preto, že sa nepotvrdilo, by bolo horšie než ho uviesť s poznámkou o jeho slabinách.

Prehľad pozorovaní:

- **Kymatika na vodnej hladine - porovnanie dvojramennej a trojramennej ladičky.** Fotografický a videozáznam z 11. júla 2025, pri ktorom boli ramená ponorené vo vode. Materiál rezonátora: hliník; hĺbka vody: 4 cm; nádoba: plastový valec s výškou 7,5 cm a priemerom 10 cm. Bez kontrolného merania.
- **Rotačný pohyb kovových pilín v okrúhlej nádobe umiestnenej v korune rezonátora.** Pri určitých budiacich frekvenciách bol opakovane pozorovaný smerový pohyb pilín po kruhovej alebo približne kruhovej trajektórii. Podmienky experimentu neboli systematicky zaznamenané a opakovateľnosť nebola kvantifikovaná. Pozorovanie preto neurčuje mechanizmus pohybu a môže zahŕňať viacero mechanických, akustických alebo prúdových vplyvov.
- **Depozícia rozpusteného minerálu v skúmavke s minerálnou vodou Fatra umiestnenej v ohnisku EMT.** Fotograficky zaznamenané. Vzor sa pri otvorení a manipulácii postupne rozpúšťal, čo naznačuje metastabilnú štruktúru. Frekvencia, čas expozície ani presné zloženie vody neboli zaznamenané; chýbala kontrolná vzorka. Metodické dôsledky sú rozpracované v kapitole N1/11.
- **Vlákná nad voľnými koncami ramien v sklenenej komore naplnenej glycerolovou hmlou.** Po ustálení prúdenia boli pozorované dve až tri vlákňité štruktúry smerujúce nahor a mierne do strán. Pozorovanie nebolo zaznamenané; frekvencia a výkon nie sú známe. Rozbor možných mechanizmov je uvedený v kapitole N1/10.10.
- **Charakteristicky dlhší dozvuk pri natívnej frekvencii rezonátora.** Pri práci s EMT bol opakovane subjektívne zaznamenaný dlhší dozvuk pri frekvencii približne 1045 Hz v porovnaní s inými budiacimi frekvenciami. Pozorovanie nebolo kvantifikované.
- **Subjektívne hlásená zmena chuti a pocitu hustoty vody po expozícii.** Pozorovanie nebolo kvantifikované ani zaslepené. Spôsob riadneho overenia je uvedený v kapitole N1/11.7.
- **Kinematika voľných koncov trojramenného rezonátora s obdĺžnikovým prierezom ramien v spomalenom videozázname.** Pri rámcovej analýze záznamu dominuje približne súmerný pohyb všetkých troch ramien smerom dovnútra a von, zodpovedajúci „dýchaciemu“ obrazu. Súčasne sa v jednotlivých časových úsekoch objavujú odchýlky od dokonalej súmernosti: projekcia výchyľky jedného ramena môže dočasne zoslabnúť voči ostatným a podobný jav sa objavuje pri rôznych ramenách. Záznam vznikol pod šikmým uhlom a bez priestorovej kalibrácie, preto z neho nemožno určiť skutočné trojrozmerné trajektórie ani fázové vzťahy medzi ramenami. Pozorovanie je kompatibilné so superpozíciou viacerých modálnych zložiek, ale samo osebe nerozlišuje medzi stojatým, rotujúcim a hybridným stavom. Systematické overenie vyžaduje synchrónne priestorové meranie pohybu jednotlivých ramien, napríklad vysokorýchlostnou kamerou s dostatočným rozlíšením alebo laserovou vibrometriou.

- **Zmena zvukového priebehu po mechanickom zaťažení jedného ramena.**

Pri voľnom trojramennom rezonátore bola subjektívne pozorovaná výrazná rýchla amplitúdová modulácia dozvuku. Po mechanickom zaťažení jedného ramena svorkou táto modulácia výrazne zoslabla alebo zanikla a dozvuk bol vnímaný ako stabilnejší tón. Zaťaženie súčasne mení hmotnosť, tuhosť, tlmenie a okrajové podmienky jedného ramena, preto pozorovanie nemožno jednoznačne interpretovať ako rozštiepenie degenerovaného páru. Predstavuje však vhodný podnet na kontrolovaný experiment s riadeným porušením symetrie.

- **Priestorové minimá a zmeny zvukového poľa v okolí kontinuálne budeného rezonátora v EMT.**

Pri pohybe meracieho bodu alebo poslucháča v okolí rezonátora boli opakovane pozorované výrazné priestorové rozdiely v amplitúde a charaktere zvuku; v niektorých polohách sa menila aj zdanlivá lokalizácia zdroja. Pri kontinuálnom tóne bolo v určitých miestach počuteľné aj amplitúdové pulzovanie. Pozorovanie nebolo systematicky mapované ani fázovo merané, preto zatiaľ nemožno rozlíšiť, či ide o interferenčné minimá, modálnu superpozíciu, pohybové efekty alebo ich kombináciu.

Pracovné scenáre modálneho správania

Predbežné pozorovania kinematiky ramien neumožňujú určiť jediný spôsob kmitania trojramenného rezonátora. Pre systematické meranie sa preto rozlišujú tri pracovné scenáre:

Scenár A - dominantne symetrický stav.

Pohyb rezonátora je tvorený prevažne symetrickou modálnou zložkou. Tri ramená sa vychyľujú približne súčasne smerom dovnútra a von a medzi ramenami sa nepreukáže stabilný smerový postup fázy.

Scenár B - dominantne rotujúci nesymetrický stav.

V pohybe sa preukáže nesymetrická modálna zložka so stabilným smerovým postupom fázy alebo maxima výchylky medzi ramenami. Priestorový vzor tak postupuje okolo stredovej osi rezonátora.

Scenár C - hybridný stav.

V pohybe sú súčasne prítomné merateľné symetrické aj nesymetrické modálne zložky. Ich relatívne zastúpenie môže byť rozdielne: dominantný môže byť symetrický „dýchací“ priebeh s pridanou nesymetrickou zložkou alebo naopak nesymetrický priebeh s merateľným symetrickým príspevkom. Zastúpenie jednotlivých zložiek sa môže meniť aj v priebehu doznievania.

Tieto scenáre nepredstavujú tri vzájomne výlučné vlastnosti rezonátora. Ten istý kus môže v závislosti od spôsobu budenia, frekvencie, uchytenia, geometrickej

symetrie a priebehu doznievania prechádzat' medzi rozdielnymi pomermi jednotlivých modálnych zložiek. Ich rozlíšenie preto vyžaduje časovo synchronizované meranie amplitúdy a fázy pohybu jednotlivých ramien.

Uvedené scenáre A-C predstavujú pracovnú klasifikáciu a nevyčerpávajú všetky možné formy modálneho správania. Experiment môže odhaliť aj priebehy, ktoré do tejto klasifikácie nemožno jednoznačne zaradiť; v takom prípade sa klasifikácia rozšíri podľa nameraných dát.

H-N1-64 - Pri vybraných podmienkach budenia môže kmitanie trojramenného rezonátora obsahovať súčasne merateľnú symetrickú aj nesymetrickú modálnu zložku.

- Potvrdenie: synchronizované meranie preukáže v tom istom časovom úseku príspevok symetrickej aj nesymetrickej modálnej zložky nad vopred stanovenou hranicou meracej neistoty.
- Vyvrátenie: v predregistrovanom súbore testovaných podmienok možno pohyb konzistentne opísať bez súčasnej prítomnosti oboch zložiek nad stanovenou hranicou meracej neistoty.

9.11 Presahy do iných odborov

Trojpočetná symetria, degenerácia módov a rotačne organizované polia sa objavujú aj v iných oblastiach fyziky. Nasledujúce príklady sa uvádzajú ako matematické alebo geometrické paralely. Neznamenajú, že jednotlivé systémy majú rovnaký fyzikálny mechanizmus ani že vlastnosti jedného systému možno automaticky preniesť na triaurálny rezonátor.

Geometrická frustrácia v magnetizme

Ak sú tri magnetické momenty usporiadané do trojuholníka a ich vzájomné väzby zvýhodňujú antiparalelné usporiadanie, nemožno súčasne uspokojiť všetky tri párové interakcie. V jednoduchom symetrickom prípade môže vzniknúť stav, v ktorom sú momenty orientované po 120° [38].

Paralela s triaurálnym rezonátorom spočíva v tom, že trojpočetná symetria obmedzuje množinu dovolených kolektívnych stavov systému. Fyzikálny mechanizmus je však odlišný: pri magnetickej frustrácii ide o energetickú súťaž medzi interakciami, zatiaľ čo pri rezonátore o modálnu štruktúru elastického telesa.

Toroidálne momenty v elektrodynamike

V elektrodynamike sa popri elektrických a magnetických multipóloch opisujú aj toroidálne momenty, ktoré vznikajú pri osobitnom priestorovom usporiadaní

prúdov. Takéto konfigurácie môžu mať výraznú vnútornú štruktúru poľa a zároveň odlišné vyžarovacie vlastnosti než jednoduché elektrické alebo magnetické dipóly.

Paralela s triaurálnym rezonátorom je výlučne štruktúrálna: v oboch prípadoch môže priestorová organizácia viacerých príspevkov vytvoriť výsledné pole, ktorého vlastnosti závisia od ich spoločnej geometrie a fázových vzťahov. Dokument z tejto podobnosti neodvodzuje existenciu toroidálneho elektromagnetického momentu v rezonátore.

Vírové štruktúry v hydrodynamike

Hydrodynamické systémy môžu vytvárať cirkulujúce rýchlostné polia a vírové štruktúry charakterizované cirkuláciou alebo vorticitu. Akustická fázová singularita podľa kapitoly N1/09.5 je odlišný jav: ide o singularitu fázy komplexného vlnového poľa, nie automaticky o vír časovo spriemerovanej rýchlosti média.

Paralela spočíva v existencii organizovanej cirkulácie okolo osobitnej oblasti alebo osi. Experimentálne je však potrebné tieto javy rozlišovať, pretože akustická fázová cirkulácia a hydrodynamické prúdenie môžu existovať samostatne aj súčasne.

Spoločný menovateľ

Spoločným menovateľom uvedených príkladov je úloha symetrie a kolektívneho usporiadania pri vzniku vlastností celého systému. Ide však o paralely na úrovni matematiky, geometrie alebo organizácie poľa; jednotlivé fyzikálne mechanizmy zostávajú rozdielne. Ich uvedenie preto slúži na zaradenie skúmaného problému do širšieho fyzikálneho kontextu, nie ako dôkaz hypotéz formulovaných v tomto dokumente.

9.12 Mierková vetva: prechod do ultrazvuku

Pomer charakteristického rozmeru rezonátora k vlnovej dĺžke výrazne ovplyvňuje spôsob, akým sa jeho priestorová štruktúra prenáša do okolitého akustického poľa. Pri počuteľných frekvenciách je skúmaný rezonátor spravidla sub-vlnovým zdrojom a významná časť komplexnej priestorovej štruktúry sa preto môže prejavovať najmä v blízkom poli podľa kapitoly N1/09.7.

Pri prechode k vyšším frekvenciám sa vlnová dĺžka skracuje a pri rovnakom alebo zmenšenom geometrickom tvare rastie pomer D/λ . Tým sa menia podmienky vyžarovania vyšších priestorových zložiek a otvára sa možnosť sledovať, či modálna štruktúra rezonátora vytvorí merateľnú azimutálnu fázovú organizáciu aj mimo bezprostredného blízkeho poľa.

Napríklad pri 440 Hz je vlnová dĺžka zvuku vo vzduchu približne 78 cm, zatiaľ čo pri 40 kHz približne 8,6 mm. Rezonátor s charakteristickým rozmerom rádovo desiatok milimetrov preto pri ultrazvukovej frekvencii pracuje v úplne inom pomere rozmeru k vlnovej dĺžke než geometricky podobný rezonátor v počuteľnom pásme.

Prechod do ultrazvuku preto nepredstavuje zmenu základnej výskumnej otázky. Umožňuje skúmať rovnakú väzbu medzi geometriou, modálnou štruktúrou a akustickým poľom v inom mierkovom režime.

Priame mapovanie fázovej štruktúry

Fázovú cirkuláciu možno experimentálne mapovať v počuteľnom aj ultrazvukovom pásme. Ultrazvuková mierka však umožňuje pracovať s kompaktnejšími zostavami a s pomerom rozmeru zdroja k vlnovej dĺžke porovnateľným s mnohými systémami používanými v existujúcom výskume akustických vírov.

Priestorovým skenovaním sa zaznamenáva komplexný akustický tlak, teda amplitúda aj fáza. Kandidátka fázová singularita sa identifikuje kombináciou lokálneho amplitúdového minima a nenulového celočíselného obehu fázy po uzavretej dráhe okolo príslušného bodu alebo osi.

Samotné amplitúdové minimum preto nestačí. Rovnako nestačí iba vizuálne pozorovanie rotačného pohybu častice. Rozhodujúca je kombinácia priestorovej amplitúdovej a fázovej mapy s nezávislým meraním mechanického stavu rezonátora.

Čo sa meria

- mapa amplitúdy a fázy akustického poľa v rovinách kolmých na triaurálnu os;
- poloha prípadných fázových singularít a ich vývoj so vzdialenosťou od rezonátora;
- topologický náboj vypočítaný z obehu fázy po uzavretej kontúre;
- amplitúda a fáza mechanického pohybu jednotlivých ramien;
- prenos krútiaceho momentu na torzný terč podľa kapitoly N1/09.6;
- prípadný pohyb alebo rotácia častíc pri súčasnej kontrole akustického prúdenia;
- závislosť uvedených veličín od spôsobu budenia, frekvencie, geometrickej odchýlky a pomeru D/λ .

Laserová vibrometria tu poskytuje dôležitú nezávislú kontrolu: ak má byť akustická fázová štruktúra pripísaná degenerovanému páru, je potrebné súčasne poznať amplitúdové a fázové správanie samotného rezonátora.

Hypotézy mierkovej vetvy

Súvisiaca hypotéza H-N1-06: Pri dostatočnom pomere charakteristického rozmeru rezonátora k vlnovej dĺžke vytvorí vybudenie degenerovaného páru v kvadrature akustické pole s merateľným nenulovým orbitálnym momentom hybnosti.

H-N1-60: Trojramenný rezonátor môže pri budení bez zámerne vloženého azimutálneho fázového gradientu vytvoriť reprodukovateľnú fázovú cirkuláciu akustického poľa, ktorá je previazaná s jeho vlastnou modálnou dynamikou.

- Potvrdenie: pri budení bez zámerne vloženého azimutálneho fázového gradientu sa reprodukovateľne preukáže nenulový obeh fázy a jeho časová väzba na zmeranú modálnu odozvu rezonátora.
- Vyvrátenie: v predregistrovaných podmienkach sa fázová cirkulácia objaví iba vtedy, keď je azimutálny fázový gradient vložený spôsobom budenia alebo samostatným tvarovacím prvkom, prípadne sa merateľná cirkulácia nepreukáže vôbec.

H-N1-61: Základný rotujúci stav súvisiaci s nesymetrickým degenerovaným párom trojramenného rezonátora vytvorí fázovú singularitu s topologickým nábojom $|l|=1$, pričom znamienko l sa obráti pri obrátení smeru fázovej cirkulácie.

- Potvrdenie: fázová mapa vykáže pri uzavretom obehú okolo singularity celkovú zmenu fázy približne $+2\pi$ alebo -2π pri riadenom obrátení smeru cirkulácie sa obráti znamienko náboja.
- Vyvrátenie: základný reprodukovateľný stav vykáže inú hodnotu topologického náboja, nulový obeh fázy alebo sa znamienko pri obrátení smeru cirkulácie nemení.

H-N1-62: Riadené porušenie trojpočetnej symetrie systematicky zmení polohu, stabilitu alebo topologickú štruktúru fázovej singularity spojennej s rotujúcim stavom.

- Potvrdenie: so zväčšujúcou sa definovanou odchýlkou od $C3$ symetrie sa reprodukovateľne mení aspoň jedna vopred stanovená charakteristika singularity - jej poloha, stabilita, počet, topologický náboj alebo existencia - v korelácii so zmenou modálneho rozštiepenia.
- Vyvrátenie: v skúmanom rozsahu geometrickej odchýlky sa uvedené charakteristiky nemenia nad úroveň meracej neistoty a nevykazujú systematickú väzbu na modálne rozštiepenie.

H-N1-63: Pri geometricky podobných trojramenných rezonátoroch sa charakter modálnej a akustickej rotačnej odozvy zachová medzi rozdielnymi mierkami, ak sú porovnateľné relevantné bezrozmerné parametre systému vrátane pomeru charakteristického rozmeru k vlnovej dĺžke.

- Potvrdenie: po normalizácii priestorových súradníc a relevantných frekvenčných a amplitúdových veličín vykážu geometricky podobné rezonátory v rozdielnych mierkach zhodnú alebo štatisticky porovnateľnú triedu modálnej a fázovej štruktúry.
- Vyvrátenie: pri porovnateľných relevantných bezrozmerných parametroch vzniknú medzi mierkami reprodukovateľné rozdiely, ktoré nemožno vysvetliť meracou neistotou ani známymi materiálovými alebo stratovými mechanizmami.

Hypotéza H-N1-60 predstavuje priamy test pracovnej triedy C podľa kapitoly N1/09.8. Jej rozhodujúcim znakom je budenie bez zámerne vloženého azimutálneho fázového gradientu a súčasné preukázanie väzby medzi prípadnou fázovou cirkuláciou akustického poľa a vlastnou modálnou dynamikou rezonátora. Tým sa experimentálne odlišuje od pracovných tried A a B, v ktorých je požadovaný priestorový fázový priebeh zámerne vytvorený riadením zdroja alebo tvarovacím prvkom.

Čo z toho vyplýva pre program

V ultrazvukovej vetve sa predpokladajú vzorky s charakteristickými rozmermi rádovo jednotiek až desiatok milimetrov. Ich výroba preto vyžaduje presnú kontrolu geometrie, prierezov a povrchového stavu. Vhodnosť konkrétnej výrobnéj technológie - obrábania, mikroobrábania, aditívnej výroby alebo odlievania - sa posudzuje podľa požadovanej tolerancie a materiálu.

Pri zmene mierky sa samostatne merajú vlastné frekvencie, činiteľ akosti, tlmenie a modálne rozštiepenie. Ich vývoj nemožno odvodiť iba zo zmeny geometrického rozmeru, pretože sa môžu meniť relatívne príspevky materiálových, povrchových, termoelastických a fluidných strát.

Bezpečnostné požiadavky pre vzdušný ultrazvuk sa vyhodnocujú samostatne podľa kapitoly N1/18 a príslušných expozičných limitov.

Záver:

Ultrazvuková vetva preto predstavuje test geometrickej a modálnej podobnosti, nie predpoklad jej automatickej platnosti. Ak sa rovnaký typ modálneho a fázového správania objaví v rozdielnych mierkach po zohľadnení relevantných bezrozmerných parametrov, podporí to hypotézu, že pozorovaný mechanizmus je vlastnosťou geometricko-modálnej organizácie rezonátora a nie osobitosťou jednej konkrétnej frekvencie alebo veľkosti.

10 KYMATIKA A AKUSTICKÝ HOLOGRAM - POLE, KTORÉ VIDNO A POČUŤ

Zvuk je neviditeľný, ale dá sa premietnuť do hmoty tak, aby ho bolo vidieť. Kapitola robí z peknej fotografie meráciu metódu.

Ľavá strana:

Bežná binaurálna (dvojramenná) ladička

Pravá strana:

Triaurálna(trojramenná) ladička



FIG-N1-12: Fotoreport - evidencia pôsobenia klasickej dvojramennej ladičky na vodu v porovnaní s trojramennou triaurálnou ladičkou.

Zdroj: triaural.com /1.) Fotoreport ZIP, 2.) Videoreport kymatika, 3.) Videoreport kymatika porovnanie 2vs3/download:

1.)

https://triaural.com/DOCS/001_CYMATICS/PHOTO_EVIDENCE/triaural_cymatics_photo_evidence_for_analyse_11-07-2025.zip

2.) https://triaural.com/DOCS/001_CYMATICS/VIDEO_EVIDENCE/ve-001_triaural_cymatics_video_evidence_11-07-2025.mov

3.) https://triaural.com/DOCS/001_CYMATICS/VIDEO_EVIDENCE/ve-002_triaural_comparison_cymatics_2arm_vs_3arm120dig_video_evidence_11-07-2025.mp4

10.1 Od obrazu k metóde

Kymatika sa zvyčajne ukazuje ako obraz. Jemný prášok na kmitajúcej doske alebo hladina kvapaliny vytvorí vzor a fotografia tohto vzoru pôsobí presvedčivo aj bez slov [40, 41].

Pre potreby merania je z obrazu potrebné urobiť veličinu. To znamená tri veci: obrazec vzniká za zaznamenaných podmienok, je snímaný kalibrovanou zostavou

a jeho tvar sa vyhodnocuje výpočtom. Až vtedy sa dá porovnať obrazec z dvoch rôznych zdrojov a povedať, čím sa líšia.

Táto kapitola preto opisuje kymatiku ako meraciu metódu. Zaoberá sa tým, čo obrazec zobrazuje, ako sa jeho tvar kvantifikuje, aké kontroly k nemu patria a kde sú hranice toho, čo sa z neho dá vyčítať.

10.2 Čo obrazec zobrazuje

Vzor na doske alebo na hladine je zobrazením priestorového rozloženia uzlov a kmitní v tenkej vrstve. Pri sypkom materiáli s dostatočnou hmotnosťou zrna sa častice hromadia v miestach s najmenšou výchylkou a vyprázdňujú miesta s najväčšou, takže vzniknutý obrazec preto predstavuje priestorovo selektívnu odozvu použitého média na lokálne rozloženie kmitania alebo akustického poľa. Pri klasickom Chladniho usporiadaní je jeho geometria úzko viazaná na uzly a kmitne vlastných módov dosky; pri vloženom médiu alebo voľnej hladine však treba vždy zohľadniť aj dynamiku samotného média a jeho okrajové podmienky.

Pri veľmi jemnom a ľahkom prášku platí opak. Zrná sú unášané prúdením vzduchu nad doskou a hromadia sa naopak v miestach najsilnejšieho rozkmitu; už Chladni to pozoroval na odrezkoch z vlásia sláčika [42]. Druh a zrnitosť sypkého materiálu preto určujú, či je obrazec mapou uzlov alebo kmitní, a v rámci porovnávacej série sa nesmú meniť.

Na voľnej hladine kvapaliny sa k tomu pridáva ďalší mechanizmus. Povrch kvapaliny pri vertikálnom budení nad prahovou amplitúdou tvorí vlastné pravidelné vzory - pruhy, štvorce alebo šesťuholníky - a ich symetria vychádza z hydrodynamiky kvapaliny. Ide o Faradayovu nestabilitu, ktorej sa podrobne venuje kapitola N1/11.

Z toho vyplýva podmienka pre interpretáciu. Obrazec môže obsahovať súčasný príspevok budiaceho poľa a vlastnej hydrodynamickej odozvy kvapaliny. Ich oddelenie je predmetom rotačného testu podľa kapitoly N1/11.4.

Pri radiálnom rezonátore z toho vyplýva poradie metód. Doska v klasickom Chladniho usporiadaní kmitá sama a obrazec je mapou jej vlastných módov; teleso vložené do poľa trojramenného rezonátora však vlastné módy má tiež a obrazec potom zobrazuje ich, nie budiace pole.

Primárnou metódou je preto voľná hladina kvapaliny, pri ktorej nevzniká diskretný elastický mód vlozenej dosky; stále však treba kontrolovať geometriu nádoby, hĺbku kvapaliny a hydrodynamické okrajové podmienky. Sekundárnou je doska alebo napnutá membrána vložená do poľa, vždy s poznámkou o vlastných módoch vloženého telesa a s rotačným testom podľa kapitoly N1/11.4. Tretiu vetvu tvorí granulárna vrstva, do ktorej sa hroty ponoria; jej výhodou oproti hladine je, že vzniknutý vzor zostáva zachovaný aj po vypnutí budenia a dá sa snímať bez stroboskopu a s odstupom.

10.3 Kvantifikácia obrazca

Tvar obrazca sa prevádza na čísla dvoma nezávislými postupmi, ktoré merajú odlišné vlastnosti.

Prvý postup analyzuje obrys oblasti, v ktorej sa materiál usadil. Vzdialenosť okraja od ťažiska sa vyjadrí ako funkcia uhla a rozloží sa na harmonické zložky. Amplitúda zložky rádu n hovorí, nakoľko je obrys n -početne symetrický, a porovnáva sa s úrovňou šumu tvorenou ostatnými rádmi.

Druhý postup analyzuje vnútornú textúru. Dvojmerná Fourierova transformácia snímky prevedie priestorové opakovanie na uhlové spektrum výkonu. Šesťpočetná mriežka sa v ňom prejaví ako zložka šiesteho rádu. Pri ideálne symetrickom obraze sa očakávajú dominantné harmonické zložky zodpovedajúce jeho rotačnej symetrii; pri reálnych snímkach sa však môžu objaviť aj ďalšie rády v dôsledku asymetrie, šumu, osvetlenia alebo nedokonalnej segmentácie.

Analýza sa opakuje pri viacerých úrovniach vyhladenia snímky. Veľkoškálová štruktúra sa na jemnej mierke prejavíť nemusí a naopak; prehľad cez mierky je preto súčasťou postupu.

Súhrnná veličina odvodená z týchto rozkladov sa v dokumente označuje ako index triaurality. Jej presná definícia sa stanoví po prvej sérii meraní, keď bude známy rozsah hodnôt na reálnych vzorkách.

Index triaurality sa v tomto dokumente uvádza ako pracovná súhrnná veličina. Jeho konečná definícia, normalizácia a referenčné rozsahy sa stanovia pred hlavnou porovnávacou sériou na nezávislom kalibračnom súbore dát a následne sa počas hodnotenia nemenia.

Vstupom sú dve čísla. Prvým je podiel amplitúdy zložky tretieho rádu na súčte amplitúd všetkých rádov v rozklade obrýsu. Druhým je ten istý podiel v uhlovom spektre výkonu z dvojrozmernej Fourierovej transformácie. Obe sú bezrozmerné a ležia medzi nulou a jednotkou už zo svojej konštrukcie.

Rozsah, v ktorom je index vôbec vypovedajúci, sa určí z rozptylu opakovaných meraní na tom istom kuse. Ak je rozdiel medzi dvomi kusmi menší než tento rozptyl, index ich nerozlišuje a uvádza sa ako nerozlíšiteľné, nie ako zhodné.

Definícia sa po prvej sérii zapíše aj s dátumom a s údajmi, z ktorých vznikla, a od tej chvíle sa nemení. Prepočítanie staršieho merania novou definíciou je prípustné len vtedy, ak sa uvedú obe hodnoty.

10.4 Kontroly a artefakty

Ku každej sérii patria tri kontroly, ktoré sa vykonávajú vždy.

Kontrolná vzorka bez budenia za rovnaký čas a pri rovnakej teplote ukáže, koľko z obrazca vzniklo odparovaním a usadzovaním. Rotačný test podľa kapitoly N1/11.4 rozlíši, či je vzor viazaný na zdroj alebo na nádobu. Kontrolný zdroj s

odlišnou geometriou sa meria pri zhodnej frekvencii, porovnateľnej amplitúde budenia alebo akustickom tlaku v definovanom referenčnom bode, rovnakej polohe a rovnakom čase expozície. Rozdiel medzi obrazcami potom možno testovať ako závislosť od geometrie zdroja.

Druh, zrnitosť a hmotnosť použitého sypkého materiálu sa zaznamenávajú a v rámci porovnávacej série sa nemenia. Snímanie prebieha kolmo na rovinu obrazca, so stopkou na mierku a pri nemennom osvetlení. Perspektívne skreslenie sa opravuje pred analýzou; kruhová oblasť snímaná pod uhlom sa javí ako ovál a v harmonickom rozklade prevládne zložka druhého rádu.

Vyhodnotenie je zaslepené. Snímky exponovaných a kontrolných vzoriek sa kódujú a vyhodnocujú spoločne bez znalosti priradenia.

10.5 Laserové zameranie uzlovej siete

Odraz úzkeho laserového zväzku od hladiny kvapaliny alebo od reflexného povrchu prevádza lokálny sklon povrchu na posun odrazenej stopy. Metóda tak umožňuje zachytiť aj malé zmeny sklonu, ktoré nemusia byť zreteľné v samotnom kymatickom obraze.

Postupným skenovaním po definovanej mriežke možno zostaviť mapu lokálnej odozvy povrchu. Pri periodickom kmitaní sa snímanie synchronizuje s buđením alebo sa vyhodnocuje časovo rozlíšene, aby sa od statického sklonu oddelila oscilačná zložka.

Priestorové rozlíšenie určuje kombinácia kroku skenovania, priemeru laserovej stopy, geometrie optickej dráhy, rozlíšenia snímača a pomeru signálu k šumu. Metóda preto predstavuje nezávislý doplnok k obrazovej analýze častíc alebo hladiny.

10.6 Poloha amplitúdového minima

Obrazec na hladine predstavuje dvojrozmerný rez odozvou média, zatiaľ čo skúmaná oblasť nad centrálnym uzlom je trojrozmerná. Z jediného obrazca preto nemožno určiť, v akej výške alebo polohe sa nachádza lokálne minimum sledovanej veličiny.

Priestorová poloha minima sa určuje meraním vo viacerých rovinách pri nezmenenej geometrii, polohe a spôsobe budenia rezonátora. Meracia rovina alebo snímač sa posúva pozdĺž triaurálnej osi a v každej polohe sa zaznamená amplitúdová a podľa použitej metódy aj fázová odozva.

Ak sa používajú série s rôznou hladinou kvapaliny alebo rozdielnou hĺbkou ponorenia ramien, vyhodnocujú sa ako samostatné experimentálne konfigurácie, pretože zmena ponorenia mení fluidné zaťaženie rezonátora a okrajové podmienky sústavy. Nemožno ich bez ďalšej kontroly interpretovať ako jednoduché rezy toho istého nezmeneného poľa.

Výsledkom je priestorová závislosť polohy a hĺbky amplitúdového minima pozdĺž osi; jej vzťah k centrálnemu uzlu a definovanému ohnisku sa následne testuje experimentálne.

10.7 Väzba na činiteľ akosti

Pri impulznom budení môže činiteľ akosti ovplyvniť čas, počas ktorého má médium k dispozícii dostatočnú amplitúdu na vytvorenie pozorovateľného obrazca. Pri rýchlom doznievaní sa preto môže výsledný obrazec vytvoriť menej výrazne alebo s väčším rozptylom, pričom konkrétna odozva závisí aj od dynamiky použitého média.

Meranie preto zahŕňa súčasný záznam dozvuku a vývoja obrazca v čase. Pri riadenom kontinuálnom budení cez FORKER možno amplitúdu udržiavať na definovanej úrovni, čím sa vplyv rozdielnej dĺžky dozvuku medzi vzorkami výrazne obmedzí. To je jeden z dôvodov, prečo sa porovnávacie série vykonávajú na príslušnej kontrolovanej úrovni rebríka.

10.8 Zaslepený klasifikačný test

Otázka, či obrazec nesie podpis geometrie zdroja, sa dá previesť na úlohu, ktorá má jednoznačné kritérium.

Klasifikátor dostane snímky obrazcov vytvorených dvojramenným, trojramenným a štvorramenným zdrojom pri zhodnej frekvencii a amplitúde a priraduje k nim topológiu zdroja. Trénovacia a testovacia sada sú oddelené, kódovanie zaslepené a perspektíva opravená.

Kritériom je klasifikačná úspešnosť nad úrovňou náhody pri vopred stanovenej hladine štatistickej významnosti a na nezávislej testovacej sade. Ak klasifikátor dosiahne reprodukovateľne nadnáhodnú úspešnosť, obrazce obsahujú informáciu umožňujúcu rozlíšiť topológiu zdroja. Ak túto úroveň nedosiahne, v danom experimente a pri použitej metóde sa takáto rozlíšiteľná informácia nepreukázala.

Negatívny výsledok sám osebe nedokazuje úplnú nezávislosť obrazca od geometrie zdroja; stanovuje hornú hranicu rozlíšiteľnosti pri danej kvalite dát a použitom analytickom postupe.

Úloha zostáva v oblasti akustiky a spracovania obrazu. Výsledok hovorí o rozlíšiteľnosti obrazcov a neurčuje mechanizmus ich vzniku. Ide o hypotézu H-N1-54.

Rozdelenie na trénovaciu a testovaciu sadu sa vykonáva na úrovni nezávislých experimentálnych behov alebo vzoriek, nie náhodným rozdelením jednotlivých snímok z toho istého záznamu.

Úloha zostáva v oblasti akustiky a spracovania obrazu. Výsledok hovorí o rozlíšiteľnosti obrazcov a k mechanizmu ich vzniku sa nevyjadruje.

10.9 Vizualizácia v objeme

Kymatika poskytuje dvojrozmernú odozvu média v jednej rovine. Aerosól v uzavretej komore umožňuje sledovať priestorový transport a koncentráciu stopovacích častíc v objeme a tým skúmať objemové prúdenie alebo ďalšie mechanizmy, ktoré sa v plošnom obraze nemusia prejaviť.

Východiskové pozorovanie: po naplnení sklenenej komory EMT glycerolovou hmlou a po ustálení prúdenia sa tesne nad voľnými koncami ramien vytvorili dve až tri tenké vlákna bez aerosólu, smerujúce nahor a mierne do strán. Pozorovanie prebehlo v provizórnych podmienkach, bez možnosti záznamu vzhľadom na náročnosť svetelných podmienok a bez známej frekvencie budenia; jeho status je uvedený v kapitole N1/09.10.

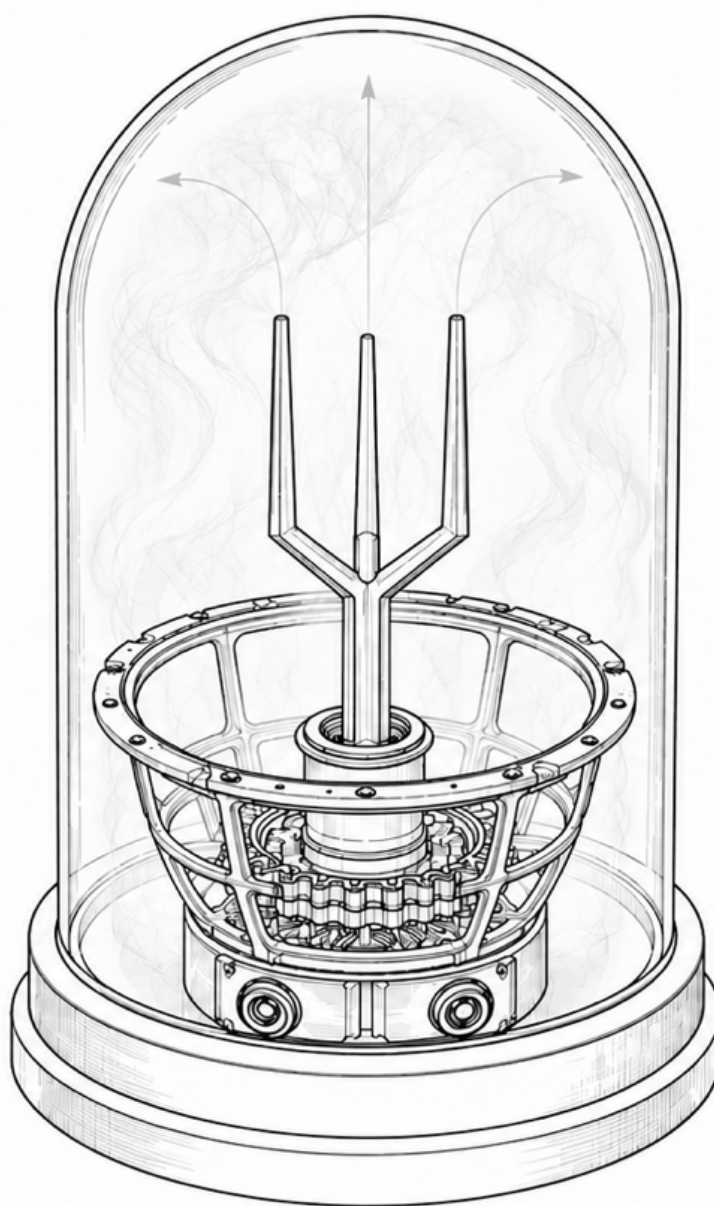


FIG-N1-13: Schematické znázornenie experimentu s filamentárnymi štruktúrami v glycerolovom aerosóle.

10.10 Kandidátske mechanizmy

Možné vysvetlenia sa uvádzajú pred meraním, aby výber medzi nimi prebehol podľa výsledku a nie naopak.

Prvým kandidátom je akustické prúdenie generované v okolí kmitajúcich hrotov. Jeho smer a tvar závisia od amplitúdy, geometrie, viskozity média a okrajových podmienok. Ak by filameny súviseli najmä s lokálnym prúdením pri jednotlivých ramenách, ich poloha by mala systematicky korelovať s polohou a pohybom hrotov.

Druhým kandidátom je akusticky vyvolaná redistribúcia kvapôčok v stojatom alebo priestorovo štruktúrovanom poli. Lokálne rozdiely akustického tlaku a rýchlosti môžu meniť koncentráciu aerosólu a vytvárať oblasti s vyššou alebo nižšou hustotou častíc.

Tretím kandidátom sú lokálne zmeny veľkosti alebo koncentrácie kvapôčok spôsobené tepelnými alebo tlakovo závislými procesmi.

Štvrtým je tepelná konvekcia od podstavca, cievky alebo ohriateho rezonátora. Tento mechanizmus so zvukom nesúvisí a je hlavným zdrojom možného omylu.

10.11 Rozlišovací test frekvenciou

Medzi uvedenými mechanizmami rozhoduje jedna merateľná závislosť. Ak je charakteristický rozostup filamentov priamo viazaný na akustickú vlnovú dĺžku, očakáva sa približná nepriamo úmerná závislosť od frekvencie pri nezmenených ostatných podmienkach. Zdvojnásobenie frekvencie by v ideálnom prípade viedlo k približne polovičnému charakteristickému rozostupu.

Odchýlka od tejto závislosti nemusí automaticky vylučovať akustický mechanizmus, pretože výsledok môžu ovplyvniť módová štruktúra rezonátora, geometria komory a prechod medzi rozdielnymi režimami prúdenia.

Tepelná konvekcia sa s frekvenciou nemení. Prúdenie z hrotov mení intenzitu a rozostup ponecháva.

Meria sa preto charakteristický rozostup filamentov pri sérii frekvencií a testuje sa, či vykazuje približnú nepriamo úmernú závislosť od frekvencie v rozsahu, v ktorom zostávajú ostatné podmienky experimentu porovnateľné. Odchýlky od tohto priebehu sa vyhodnocujú spolu so zmenami modálneho režimu, amplitúdy a geometrie prúdenia. Ide o hypotézu H-N1-41.

10.12 Kontrolné merania objemovej vizualizácie

Aerosól bez budenia za rovnaký čas ukáže, čo vzniká vztlakom a teplom. Rotačný test s otočením rezonátora voči komore rozlíši viazanosť vlákien na ramená od viazanosti na nádobu. Teplota sa zaznamenáva vnútri komory a na povrchu podstavca po celý čas. Osvetlenie podstavca sa vypína ako samostatná kontrola.

Séria sa opakuje pri rovnakom aerosóle a prúde s mechanicky prítomným, ale nebudeným rezonátorom, aby sa oddelil vplyv geometrie telesa na prirodzenú konvekciu.

Pred začiatkom merania sa zaznamená čas potrebný na ustálenie aerosólu po naplnení komory a experiment sa spúšťa až po dosiahnutí definovaného pokojového stavu.

10.13 Zásevové médium a snímanie

Glycerolový aerosól je vhodným kandidátnym stopovacím médium, pretože jeho kvapôčky majú pri vhodnej veľkostnej distribúcii relatívne dlhú životnosť a dobrú optickú viditeľnosť. Schopnosť sledovať prúdenie však závisí od veľkosti kvapôčok, ich zotrvačnosti a charakteristickej časovej mierky prúdenia; tieto parametre sa preto pri kvantitatívnom meraní kontrolujú alebo odhadujú. Vodný aerosól môže byť menej stabilný v čase v dôsledku rýchlejšieho odparovania a zmeny veľkosti kvapôčok, preto sa jeho vhodnosť posudzuje osobitne.

Chýbajúcim článkom predchádzajúceho pokusu bolo osvetlenie. V rozptýlenom svetle je jemná štruktúra pod rozlišovacou schopnosťou bežnej kamery.

Riešením je laserový svetelný rez. Tenká svetelná rovina prereže objem, kamera sníma kolmo na ňu a pozadie zostáva tmavé, takže namiesto zahmleného objemu vzniká ostrý rez. Ide o rovnakú zostavu, aká slúži na laserové zameranie podľa kapitoly 10.5.

10.14 Kvantitatívne vyhodnotenie

Snímanie osvetlenej roviny dvojicou záberov s krátkym odstupom umožňuje vypočítať rýchlostné pole metódou korelácie obrazu. Pri dostatočnej hustote stopovacích častíc možno dvojice po sebe idúcich snímok vyhodnocovať metódou PIV (Particle Image Velocimetry), ktorá poskytne dvojrozmerné rýchlostné pole v osvetlenej rovine. Pri redšom súbore dobre rozlíšených častíc možno použiť PTV (Particle Tracking Velocimetry) a sledovať jednotlivé trajektórie. Výstupom sú lokálne rýchlosti, smery prúdenia, oblasti recirkulácie a prípadné vírové jadrá.

H-N1-42: Pri režime dominantného akustického prúdenia rastie charakteristická časovo spriemerovaná rýchlosť prúdenia približne s druhou mocninou amplitúdy akustického alebo mechanického budenia v predregistrovanom rozsahu.

Pri použití PIV/PTV je objemová vizualizácia primárne metódou na sledovanie hmotného transportu média, teda cesty B podľa kapitoly N1/09.5. Fázová singularita komplexného tlakového poľa sa týmto meraním priamo neurčuje a musí sa mapovať samostatne.

Predbežné pozorovanie časticového transportu

Samostatným predbežným pozorovaním bol pohyb kovových pilín v okrúhlej nádobe upevnenej v oblasti koruny rezonátora. Pri niektorých budiacich

frekvenciách bol na videozázname zaznamenaný smerový pohyb častíc s výraznou obvodovou zložkou. Frekvencie ani ostatné podmienky experimentu neboli systematicky zaznamenané a opakovateľnosť nebola kvantifikovaná; pozorovanie má preto status [O] podľa kapitoly N1/09.10.

Záznam sám osebe neurčuje príčinu pohybu. Medzi kandidátske mechanizmy patria mechanický prenos vibrácií do nádoby a vrstvy častíc, pohyb média vyvolaný akustickým prúdením, nesymetrické budenie zostavy, tvar nádoby alebo ich kombinácia. Pozorovaný obvodový transport preto nemožno interpretovať ako dôkaz fázovej cirkulácie ani prenosu orbitálneho momentu hybnosti.

Pri opakovaní sa pohyb jednotlivých častíc zaznamená zhora pri kalibrovaní geometrii a vyhodnotí metódou PTV, prípadne obrazovou analýzou trajektórií. Súčasne sa vibrometricky zaznamená pohyb nádoby a podstavca a nezávisle sa zmapuje amplitúdová a fázová štruktúra akustického poľa. Takéto usporiadanie umožní testovať, či sa pozorovaný transport viaže na tvar podložky, pohyb podložky, prúdenie média alebo na inú zložku experimentu. Osobitne sa zaznamenáva smer obvodového pohybu a jeho stabilita medzi opakovaniami. Ak bude možné riadene obrátiť smer fázového postupu budenia, sleduje sa aj to, či sa spolu s ním reprodukovateľne obráti smer transportu častíc.

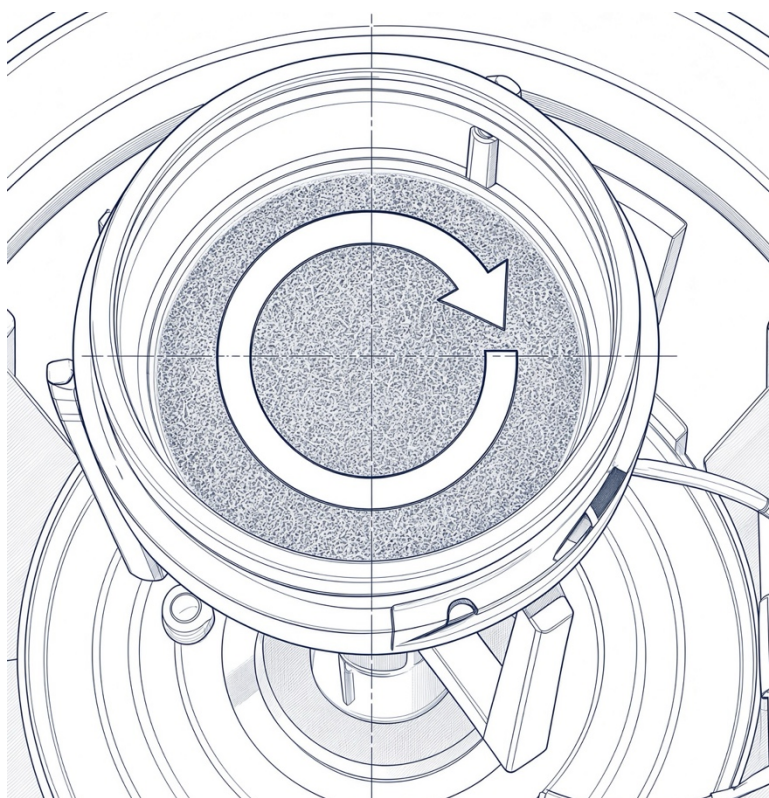


FIG-N1-14: Schematické prekreslenie predbežného pozorovania obvodového pohybu kovových pilín v okrúhlejšej nádobe upevnenej v oblasti koruny rezonátora. Šípka označuje pozorovaný smerový pohyb častíc; schéma neurčuje jeho fyzikálny mechanizmus.

Videozáznam: Predbežné pozorovanie rotácie železných pilín v miske:
https://triaural.com/MULTIMEDIA/TRIAURAL_SAWDUST_ROTATION.mp4

10.15 Škálovanie komory

V malej komore môžu steny výrazne ovplyvniť vznikajúce prúdenie ešte skôr, než sa rozvinie jeho prirodzená priestorová štruktúra. Objem, tvar komory a poloha rezonátora sa preto systematicky menia, aby sa určilo, či vznikajú otvorené prúdnice, lokálne recirkulačné oblasti alebo priestorovo uzavretá recirkulačná bunka. Hypotéza H-N1-43 testuje možnosť vzniku uzavretej recirkulácie pri dostatočnom objeme komory.

10.16 Akustický hologram - pole, ktoré počuť

Doterajšie kapitoly sa zaoberajú poľom v ohnisku a v jeho bezprostrednom okolí. Pri práci s kontinuálne budeným rezonátorom boli opakovane subjektívne zaznamenané výrazné priestorové rozdiely v hlasitosti a charaktere zvuku aj vo vzdialenosti niekoľkých metrov od zdroja. Ich fyzikálna štruktúra zatiaľ nebola systematicky zmapovaná.

Otázka, ktorá celý nasledujúci blok zjednocuje, znie: sú uzly v priestore tou istou štruktúrou, akú na hladine zviditeľňuje kymatika, teda jej rezmi v objeme? Formálne je vedená ako otvorená otázka Q-N1-07 podľa kapitoly N1/22.3.

Pri znejúcom rezonátore sa v priestore dajú posluchoom nájsť body, v ktorých má zvuk odlišnú hlasitosť aj farbu než v bodoch vzdialených od nich niekoľko centimetrov. Prechod medzi nimi je zreteľný a poloha týchto bodov sa pri nezmenenej frekvencii nemení. Ide o pozorovanie v registri [O].

Označenie akustický hologram sa v tomto dokumente používa ako pracovný názov pre priestorovo organizované rozloženie amplitúdy a fázy akustického poľa. Nejde o holografiu v optickom zmysle ani o pasívny holografický prvok podľa kapitoly N1/09.8.

10.17 Čo o tejto štruktúre hovorí akustika

Pri jednoduchej stojatej vlne vznikajú susedné uzlové plochy v odstupe približne $\lambda/2$. V zložitejšom trojrozmernom interferenčnom poli však rozostupy, tvar a orientácia amplitúdových miním závisia od geometrie zdrojov, ich fázových vzťahov, smerov šírenia a odrazov od prostredia.

Závislosť charakteristických rozmerov štruktúry od frekvencie preto predstavuje dôležitý test, nemožno však vopred predpokladať, že všetky susedné minimá budú oddelené presne o $\lambda/2$.

Ak je niektorý charakteristický priestorový rozmer meranej štruktúry priamo viazaný na akustickú vlnovú dĺžku, pri zmene frekvencie sa očakáva jeho systematická zmena. Konkrétny vzťah však závisí od geometrie zdroja, fázových vzťahov a prítomnosti odrazov; jednoduchá závislosť $\lambda/2$ sa preto testuje ako osobitný prípad, nie ako všeobecná podmienka interferenčného poľa.

Priestorové amplitúdové minimá vznikajú v uzavretej miestnosti aj pri bežnom zdroji v dôsledku interferencie priameho a odrazeného zvuku. Samotná existencia miním alebo vrstvenej štruktúry preto nepreukazuje osobitnú vlastnosť triaurálnej geometrie. Rozhodujúce je porovnanie ich amplitúdovej a fázovej organizácie, transformácie pri otočení zdroja a správania pri zmene miestnosti alebo frekvencie.

10.18 Vrstevnatá štruktúra

Podľa predbežných posluchovéch pozorovaní sa oblasti výraznej zmeny amplitúdy alebo charakteru zvuku nejavia ako jediná izolovaná plocha, ale môžu sa vyskytovať vo viacerých priestorových vrstvách so zvyšujúcou sa vzdialenosťou od zdroja. Tento obraz zatiaľ nebol objektívne zmapovaný a označenie „vrstevnatá štruktúra“ je preto pracovné. Názorne možno pracovnú predstavu prirovnať k sústave oddelených obalov okolo zdroja - napríklad ako vzájomne vzdialené šupky cibule; ich skutočný tvar, spojitosť a pravidelnosť musí určiť meranie.

Meranie preto nemôže prebiehať v jednej rovine ani na jednej guľovej ploche. Vyžaduje snímanie vo viacerých vrstvách v definovaných odstupoch, aby sa zachytilo, ako sa štruktúra so vzdialenosťou vyvíja.

Sledovanými veličinami sú odstup vrstiev, hĺbka miním, tvar uzlových plôch a to, či sa ich orientácia so vzdialenosťou, časom alebo frekvenciou mení a ak áno, ako.

10.19 Meracia zostava

Na zachytenie priestorovej štruktúry slúži mikrofónové pole so synchronným záznamom všetkých kanálov. Synchronizácia je podmienkou, pretože sa okrem hlasitosti zaznamenáva aj fáza.

Skenovanie prebieha po vrstvách. Pole sa umiestni do zvolenej vzdialenosti, zaznamená sa celá plocha, a potom sa posunie do ďalšej vrstvy. Odstup vrstiev sa volí ako zlomok vlnovej dĺžky, aby sa štruktúra nepremeškala.

Rozsah merania sa navrhuje od bezprostrednej blízkosti rezonátora do niekoľkých metrov, aby sa zachytil vývoj poľa od blízkej oblasti smerom k oblasti, kde už možno hodnotiť vzdialenejšie vyžarovanie. Presná hranica medzi blízkym, prechodovým a vzdialeným poľom sa určuje pre konkrétnu frekvenciu a rozmery zdroja.

Synchronné mikrofónové pole umožňuje v každom bode určiť amplitúdu aj relatívnu fázu, a preto je vhodné na rozlíšenie skutočných priestorových miním od zmien spôsobených iba lokálnou hlasitosťou alebo odrazmi miestnosti.

Podmienky miestnosti sa zaznamenávajú vrátane rozmerov, doby dozvuku a polohy zdroja voči stenám. Bez týchto údajov sa nedá oddeliť príspevok zdroja od príspevku priestoru.

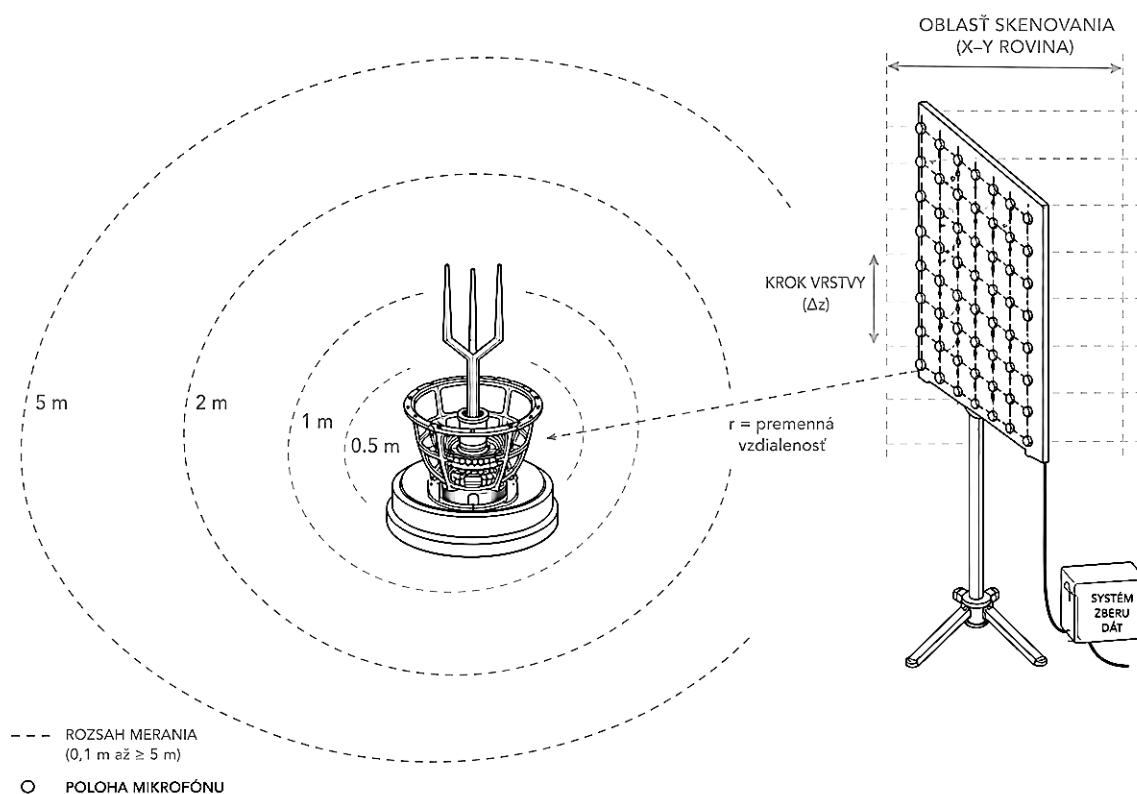


FIG-N1-15: Usporiadanie vrstevného skenovania - mikrofónové pole, vrstvy v odstupoch, poloha rezonátora a vyznačenie meraného objemu.

10.20 Kontroly

Rozlíšenie príspevku zdroja od príspevku miestnosti vyžaduje štyri kontroly.

- Rovnaké meranie s klasickým zdrojom pri zhodnej frekvencii a hlasitosti. Rozdiel medzi mapami je hľadanou veličinou.
- Otočenie rezonátora okolo osi. Otočenie rezonátora okolo osi umožní testovať, ktorá časť mapy sa transformuje spolu so zdrojom a ktorá zostáva viazaná na miestnosť. Pri súčasnom pôsobení oboch príspevkov sa môže výsledná mapa meniť kombinovaným spôsobom.
- Zmena polohy zdroja v miestnosti. Uzly viazané na priestor sa presunú inak než uzly viazané na zdroj.
- Zmena frekvencie a overenie, či sa odstup vrstiev mení nepriamo úmerne.

Merania sa opakujú aj v priestore s odlišnou dobou dozvuku, prípadne vo voľnom priestranstve, kde odrazy odpadajú.

10.21 Vnímanie polohy zdroja

V niektorých polohách sa podľa pozorovaní javí, že zvuk prichádza z iného miesta miestnosti, prípadne že vzniká vnútri hlavy poslucháča. Ide o pozorovanie v registri [O]. Určenie smeru zvuku vychádza z porovnania signálov v oboch ušiach, teda z rozdielu času príchodu a hlasitosti. Jednou z pracovných možností je, že v oblastiach s nízkou amplitúdou alebo prudkou priestorovou zmenou fázy sa menia binaurálne lokalizačné vodidlá, najmä interaurálne časové a úrovňové rozdiely. To môže znižovať stabilitu externalizácie alebo meniť vnímaný smer zdroja. Jav je v psychoakustike známy pri poruche externalizácie a dá sa merať. Postup spočíva v porovnaní mapy polôh, v ktorých sa jav vyskytuje, s nameranou mapou poľa; estuje sa, či sa výskyt javu priestorovo zhoduje s oblasťami amplitúdových miním alebo výrazných fázových gradientov. Táto interpretácia je hypotetická a musí sa overiť porovnaním psychoakustického mapovania s objektívnou amplitúdovou a fázovou mapou poľa.

10.22 Prenos cez konštrukcie

Podľa pozorovaní je zvuk rezonátora počuteľný cez steny a stropy výraznejšie, než by zodpovedalo jeho hlasitosti. Ide o pozorovanie v registri [O] a existujú preň dve vysvetlenia, ktoré treba oddeliť.

Prvým je útlm konštrukcie, ktorý s klesajúcou frekvenciou klesá. Vzduchová nepriezvučnosť stavebných konštrukcií je frekvenčne závislá a pri nízkych frekvenciách môže byť útlm výrazne menší než v časti vyššieho pásma. Konkrétny priebeh však závisí od skladby a mechanických vlastností konštrukcie.

Druhým je prenos konštrukciou. Ak rezonátor stojí na podložke spojenej so stavbou, časť energie neputuje vzduchom, ale hmotou, kde je útlm neporovnateľne menší.

Meranie oboch ciest sa oddeľuje jednoducho: rezonátor sa najprv umiestni na tlmiacu podložku a potom priamo na konštrukciu, pričom sa v susednom priestore meria hladina. Rozdiel medzi oboma konfiguráciami poskytne odhad príspevku mechanickej väzby na konštrukciu, nie priamu absolútnu mieru podielu prenosu hmotou.

10.23 Nezávislosť od monolitu

Predbežné pozorovania naznačujú, že priestorovo štruktúrované pole možno pozorovať aj pri zostavách viacerých zdrojov bez monolitického rezonátora, napríklad pri usporiadaní AURISONIC podľa kapitoly N1/12.6. Zhodnosť alebo rozdielnosť týchto polí však musí byť určená meraním.

Táto vetva preto nezávisí od výsledku L2/L3 v tom zmysle, že otázka existencie a geometrie priestorovej interferenčnej štruktúry zostáva merateľná aj v prípade, že sa špecifický prínos monolitického rezonátora nepotvrdí.

Súvisiace otvorené otázky sú Q-N1-04 a Q-N1-05 podľa kapitoly N1/22.3.

11 VODA A KVAPALNÉ MÉDIÁ

Voda je jedno z hlavných médií, v ktorých sa skúma odozva na akustické pôsobenie - a zároveň prostredie, v ktorom sa veľmi ľahko prijme nesprávny záver. Kapitola preto vedľa každého pozorovania kladie kontrolu.

11.1 Prečo voda

Voda je jedným z hlavných kvapalných médií skúmaných v tomto dokumente. Umožňuje súčasne sledovať mechanickú odozvu hladiny, transport rozpustených alebo suspendovaných látok, tepelné zmeny a ďalšie fyzikálne a chemické veličiny zavedenými meracími metódami.

Zároveň je významným referenčným médiom pre nadväzujúce experimenty s biologickými systémami, v ktorých voda tvorí podstatnú časť skúmaného prostredia. Táto súvislosť však sama osebe neznamená prenos výsledkov z vody na biologický systém.

Kvapalné vzorky sú zároveň citlivé na teplotu, odparovanie, rozpustené plyny, kontamináciu, geometriu nádoby a spôsob manipulácie. Pri malých zmenách môže interpretáciu ovplyvniť aj očakávanie pozorovateľa. Kapitola preto ku každej sledovanej veličine priraduje kontrolné podmienky a metódu merania.

11.2 Východiskové pozorovanie a jeho status

Skúmavka s minerálnou vodou umiestnená v ohnisku EMT: po pôsobení sa rozpustený materiál sústredil do ohraničenej zóny na hladine namiesto rovnomerného rozloženia.

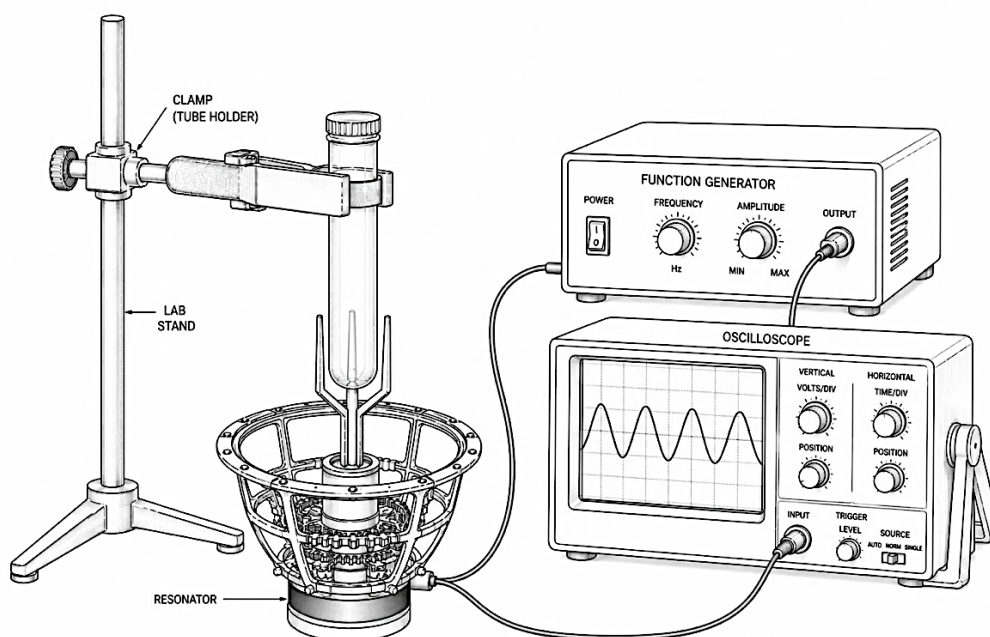


FIG-N1-16: Technické zapojenie merania.

Pozorovanie prebehlo v provizórnych podmienkach, bez kontrolnej vzorky, bez kalibrovaného snímania a bez opakovania. Neuvádza sa ako výsledok a nie je podkladom žiadneho tvrdenia.

Vzor sa pri otvorení nádoby a následnej manipulácii postupne rozrušil. Z pozorovania preto nemožno určiť, či išlo o metastabilnú štruktúru, zmenu vyvolanú pohybom vzorky, narušenie hladiny, zmenu odparovania alebo iný mechanizmus. Praktický dôsledok je však jednoznačný: pôvodný stav vzorky sa manipuláciou nezachoval.

Opakované meranie preto prebieha in situ cez uzavretú nádobu, s pevne definovanou polohou kamery a bez kontaktu so vzorkou počas expozície a následného snímania.

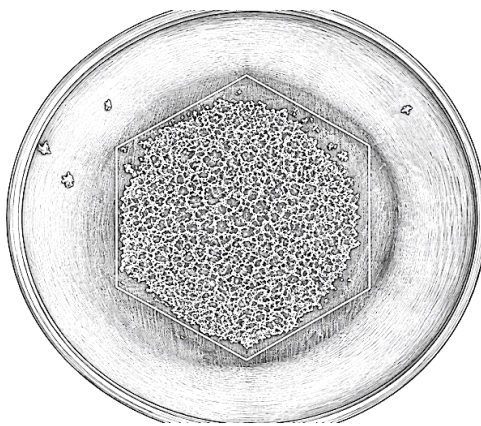


FIG-N1-17: Vzor usadeniny na hladine po excitácii minerálnej vody v ohnisku rezonátora.

Otázka, ktorú kapitola otvára, je položená bez predpokladu: má depozičný vzor merateľnú symetriu, a ak áno, akú?

11.3 Faradayova vlna

Povrch kvapaliny môže pri periodickom vertikálnom buzení nad prahovou amplitúdou prejsť do parametricky excitovaného režimu a vytvárať pravidelné povrchové obrazce. Tento jav, historicky spojený s Faradayovým experimentom, patrí k štandardne skúmaným hydrodynamickým nestabilitám [42].

Charakter obrazca a prah jeho vzniku závisia okrem iného od frekvencie a amplitúdy budenia, hĺbky kvapaliny, viskozity, hustoty, povrchového napätia a geometrie nádoby. Pri klasickom Faradayovom režime sa môže povrchová odozva objaviť subharmonicky voči budiacej frekvencii; frekvenčný vzťah medzi buzením a odozvou je preto jednou zo sledovaných veličín.

Frekvencia a amplitúda budenia sa pri riadenom experimente nastavujú, zatiaľ čo hĺbka, teplota a fyzikálne vlastnosti kvapaliny sa definujú alebo merajú.

Samostatným výstupom merania je prahová amplitúda a mapa vzorov v rovine frekvencia a amplitúda. Takáto mapa je porovnateľná s literatúrou a slúži ako kontrola, či sa zostava správa podľa známej fyziky.

Súčasne sa zaznamenáva dominantná frekvencia povrchovej odozvy, aby bolo možné rozlíšiť harmonický, subharmonický alebo iný režim.

11.4 Rotačný test

Jedným z hlavných rozlišovacích experimentov kapitoly je zmena vzájomnej uhlovej orientácie rezonátora a nádoby pri inak nezmenených podmienkach. Možnosťou je otočiť rezonátor, nádobu alebo vykonať obe varianty; rozhodujúca je známa zmena ich relatívnej orientácie.

Meranie sa vykonáva pri viacerých vopred definovaných uhloch, napríklad 0° , 30° , 60° a 90° , a poradie orientácií sa medzi opakovaniami randomizuje. Obrazce sa po korekcii perspektívy porovnávajú pomocou rovnakej harmonickej a obrazovej analýzy ako v kapitole N1/10.3.

Ak sa určitá zložka obrazca reprodukovateľne otáča spolu s rezonátorom, podporuje to jej väzbu na orientáciu zdroja. Ak zostáva pevná voči nádobe alebo laboratórnej súradnicovej sústave, podporuje to vplyv nádoby, menisku, gravitačnej orientácie, osvetlenia alebo ďalšieho stacionárneho faktora.

Oba príspevky môžu byť prítomné súčasne. Výsledný obrazec sa preto nemusí otočiť ako tuhé teleso; jeho jednotlivé harmonické alebo priestorové zložky môžu reagovať rozdielne. Rotačný test sa preto vyhodnocuje ako závislosť jednotlivých zložiek obrazca od relatívneho uhla medzi zdrojom a nádobou.

Ak sa pôvodný obrazec pri opakovaných meraniach neobjaví nad hranicou variability kontrolných behov, pôvodné pozorovanie sa považuje za nereprodukovateľné. Samotná nereprodukovateľnosť však neurčuje, ktorý konkrétny náhodný alebo nekontrolovaný faktor ho vytvoril.

Test je jednou z hlavných kontrol hypotézy H-N1-30.

11.5 Depozícia ako záznam poľa

Ak sa pri expozícii vytvorí reprodukovateľný depozičný obrazec, možno ho skúmať ako priestorový záznam procesov prebiehajúcich vo vzorke počas expozície. Samotná depozícia však neurčuje, či jej geometria vznikla pôsobením akustického poľa, hydrodynamikou kvapaliny, odparovaním, okrajovými podmienkami alebo ich kombináciou.

Pre interpretáciu ako odozvu viazanú na zdroj je preto potrebné preukázať reprodukovateľnosť, väzbu na orientáciu rezonátora podľa rotačného testu a rozdiel oproti nebudenej kontrole.

Povinnou kontrolou je vzorka s rovnakou vodou, nádobou, časom a teplotou bez budenia. Povinnou kontrolou je vzorka s rovnakou vodou, nádobou, časom a teplotou bez budenia. Ak porovnateľný obrazec vznikne aj v nebudenej kontrole, nepodporuje to jeho špecifickú väzbu na akustické budenie a treba prednostne preveriť odparovanie, meniskus, okrajovú depozíciu a ďalšie pasívne mechanizmy.

Kvantifikácia vzoru prebieha postupmi opísanými v kapitole N1/10.3, teda harmonickou analýzou obrysu a rozkladom vnútornej textúry, vrátane prehľadu cez mierky a korekcie perspektívy.

11.6 Merateľné veličiny vody

Nasledujúce veličiny sa merajú zavedenými metódami a pokrývajú mechanizmy, ktorými akustická expozícia môže vodu ovplyvniť.

- Rozpustené plyny, najmä kyslík a oxid uhličitý, sa merajú vhodnou sondou alebo analytickou metódou. Zmena ich koncentrácie patrí medzi kandidátske mechanizmy, ktoré by mohli ovplyvniť senzorické vlastnosti vzorky.
- Povrchové napätie sa meria tenziometricky pri kontrolovanej teplote. Môže sa meniť v závislosti od zloženia vzorky, rozpustených látok, plynov a kontaminácie rozhrania; jeho prípadná súvislosť so senzorickým hodnotením sa testuje korelačne.
- Viskozita kapilárnym alebo pádovým viskozimetrom, vždy pri riadenej teplote.
- Veľkostná distribúcia submikrometrových rozptyľujúcich objektov sa môže sledovať dynamickým rozptylom svetla. Samotné DLS však neurčuje chemickú alebo fázovú povahu objektu; prípadný signál preto nemožno bez doplnkovej kontroly interpretovať automaticky ako nanobubliny.
- pH, vodivosť a zákal ako nenáročná kontrolná trojica.
- Teplota kontinuálne počas expozície, so záznamom priebehu.

Pri sonikácii vody boli v experimentálnej literatúre pozorované dlho pretrvávajúce submikrometrové rozptyľujúce objekty, ktoré sú v časti literatúry interpretované ako objemové nanobubliny [43, 44]. Uvádzaná životnosť takýchto objektov môže výrazne presahovať čas predpovedaný klasickým Epsteinovým–Plessetovým modelom pre jednoduchú izolovanú plynovú bublinu.

Mechanizmus ich stability ani samotná identita pozorovaných nanoobjektov však nie sú univerzálne uzavreté; časť autorov upozorňuje, že niektoré merania môžu zachytávať častice alebo agregáty iného pôvodu [45]. Tento dokument sa preto o nanobubliny neopiera ako o vysvetlenie. Sleduje submikrometrové objekty ako kandidátsky jav, ktorého fyzikálnu povahu treba určiť doplnkovým meraním.

11.7 Senzorické hodnotenie

Subjektívne hlásená zmena chuti a pocitu hustoty sa overuje zaslepeným trojuholníkovým testom podľa normy ISO 4120 [46]. Test odpovedá na otázku, či je medzi vzorkami postrehnuteľný rozdiel; nehovorí, aký veľký je, akým smerom ide ani ktorá vlastnosť ho spôsobuje.

Účastník dostáva tri vzorky, z ktorých sú dve zhodné a jedna odlišná, a určuje odlišnú. Podávajúci priradenie nepozná. Štatisticky významná úspešnosť nad úrovňou náhody preukazuje, že účastníci dokážu medzi vzorkami senzoricky rozlišovať za podmienok testu.

Výsledok senzorického testu sa vyhodnocuje spolu s fyzikálnymi a chemickými veličinami z kapitoly 11.6, aby bolo možné hľadať súvislosti medzi merateľnou zmenou vzorky a senzorickou rozlíšiteľnosťou. Kauzálny mechanizmus sa určuje až následnými kontrolovanými experimentmi.

11.8 Kryštalizácia v poli

Riadenie nukleácie ultrazvukom je zavedeným postupom vo farmácii a v potravinárstve [47, 48], takže otázka vplyvu akustického poľa na kryštalizáciu má za sebou literatúru. Existujúca literatúra sa často týka ultrazvukových režimov, v ktorých významnú úlohu zohráva kavitácia. Skúmaný rezonátor pracuje v počuteľnom pásme a pri podstatne odlišných podmienkach; prítomnosť alebo neprítomnosť kavitácie sa preto nemá predpokladať, ale kontrolovať samostatne, ak je pre interpretáciu relevantná.

Existujúca literatúra preto neposkytuje priamu odpoveď na otázku tejto kapitoly, ale poskytuje metodické východisko pre výber meraných parametrov kryštalizácie.

Pri zamrzaní sa merajú rýchlosť nukleácie, stupeň podchladenia pred zamrznutím, veľkostná distribúcia kryštálov a rýchlosť rastu frontu.

Pri kryštalizácii z roztoku odparovaním alebo chladením slúžia ako modelové látky soľ a síran meďnatý. Základná kryštalová štruktúra stabilnej chemickej fázy je určená jej zložením a termodynamickými podmienkami. Pri tomto experimente sa preto neočakáva zmena kryštálovej sústavy samotnej látky; sledujú sa predovšetkým parametre, ktoré môže ovplyvniť kinetika nukleácie a rastu.

Vyhodnotenie prebieha obrazovou analýzou habitu, sitovou a mikroskopickou distribúciou veľkostí a difrakciou pri podozrení na zmenu polymorfu. Výber polymorfu sa sleduje iba pri látkach, pri ktorých sú za daných podmienok známe viaceré kryštálové formy. Snímanie je automatické, vzorky kódované a tvar sa vyhodnocuje softvérom.

Snehové vločky sa do programu nezaraďujú. Ich tvar určuje teplota a presýtenie s takou citlivosťou, že by predmetom merania bola klimatická komora.

11.9 Tepelný príkon do vzorky

Toto meranie tvorí jednu zo základných kalibračných podmienok pre nadväzujúce biologické experimenty dokumentu N3. Bez znalosti tepelného príspevku nemožno vytvoriť tepelne zhodnú kontrolnú podmienku ani oddeliť akustický efekt od obyčajného ohrevu vzorky. Bez znalosti vloženého tepla nemožno postaviť tepelne zhodnú kontrolnú skupinu, takže ide o predpoklad ďalších experimentov.

Usporiadanie je diferenčné: dve identické vzorky, jedna v ohnisku a druhá mimo neho, v tej istej miestnosti, pričom sa meria rozdiel ich teplôt. Tým odpadá vplyv driftu teploty prostredia, ktorý je rádovo väčší než hľadaný efekt.

Súčasťou série je porovnanie zdrojov pri zhodnej frekvencii a akustickom tlaku: klasický reproduktor namierený na vzorku oproti vzorke v ohnisku triaurálneho rezonátora.

Vzhľadom na nízku absorpciu zvuku vo vode v počuteľnom pásme sa očakáva malý tepelný efekt, preto meranie vyžaduje vysokú teplotnú citlivosť a stabilnú referenciu. Potrebný je termistorový mostík.

Artefakt, ktorý treba vylúčiť: kovová alebo inak mechanicky viazaná teplotná sonda môže v akustickom poli ovplyvniť samotné meranie lokálnou absorpciou, mechanickým kmitaním alebo zmenou prúdenia v okolí snímača. Preto sa preferuje čo najmenej invazívne meranie a výsledok sa podľa potreby overuje alternatívnou metódou. Riešením môžu byť optovláknový snímač, meranie tesne po vypnutí poľa, alebo bezkontaktné snímanie. Bezkontaktné metódy sa líšia tým, čo merajú: pyrometer a termokamera merajú povrch, optické metódy cez zmenu indexu lomu alebo Ramanov rozptyl merajú teplotu v objeme.

Samostatným výstupom je závislosť ohrevu od amplitúdy, frekvencie a času expozície. Ide o hypotézy H-N1-44 a H-N1-45.

11.10 Režim pôsobenia

Pri každom experimente sa uvádza, v ktorom z troch režimov prebehol, pretože režimy nie sú zameniteľné a menia interpretáciu výsledku.

- Dávka - krátka definovaná expozícia; meranie pred expozíciou a po nej, vrátane sledovania návratu k východiskovému stavu.
- Kontinuálna expozícia - dlhšie neprerušované pôsobenie; meranie počas expozície a sledovanie časového priebehu a prípadnej saturácie účinku.
- Opakovaná dávka - séria oddelených expozícií s definovaným intervalom; sledovanie prípadného kumulatívneho alebo reverzibilného účinku.

Čas návratu k východiskovej hodnote je samostatnou charakteristikou pozorovaného javu. Umožňuje rozlíšiť krátkodobú reverzibilnú odozvu od zmeny, ktorá pretrváva alebo sa pri opakovaní kumuluje.

11.11 Terminologické vymedzenie

Pojmy „štruktúrovaná voda“ a „pamäť vody“ sa v tomto dokumente nepoužívajú, pretože v jeho metodickom rámci nemajú dostatočne jednoznačnú operacionálnu definíciu: neurčujú, ktorá konkrétna veličina sa má zmeniť, v akom časovom rozsahu a akým experimentom sa má zmena potvrdiť alebo vyvrátiť.

Pozorované zmeny sa preto opisujú výhradne prostredníctvom konkrétnych merateľných veličín podľa kapitoly N1/11.6. Zoznam nepoužívaných pojmov s dôvodmi je v prílohe P4.

12 SYNTÉZA POĽA VIACZDROJOVÝM BUDENÍM

Dá sa to isté pole vytvoriť tromi samostatnými zdrojmi namiesto jedného telesa? Porovnanie oboch usporiadaní ukáže, čo do poľa vnáša samotný monolit a čo vyplýva už z rozmiestnenia zdrojov.

12.1 Otázka, ktorú kapitola rieši

Pri trojramennom monolitickom rezonátore sa akustické a mechanické príspevky troch geometricky previazaných ramien skladajú v spoločnom priestore. Ramená sú pritom časťami jedného telesa, takže ich amplitúdové a fázové vzťahy vznikajú z modálnej dynamiky celej spojenej štruktúry.

Porovnávacie usporiadanie možno vytvoriť tromi samostatnými akustickými zdrojmi umiestnenými v zodpovedajúcej geometrii. Ich amplitúdu a relatívnu fázu možno riadiť nezávisle elektronicky.

Vzniká teda otázka, ktorá určuje rozsah ďalšieho skúmania: aký je rozdiel medzi poľom monolitu a poľom troch riadených zdrojov v tej istej geometrii?

Ak sa polia v rámci vopred definovaných metrík nerozlíšia nad experimentálnu neistotu, bude potrebné sledované vlastnosti poľa v danom usporiadaní vysvetľovať prednostne geometriou, fázovým vzťahom a charakterom zdrojov. Ak sa reprodukovateľne odlišia, ďalšou otázkou bude, ktorá vlastnosť monolitickej štruktúry rozdiel spôsobuje a či súvisí s jej modálnou dynamikou.

12.2 Trojuholníková zostava

Základné syntetické usporiadanie tvoria tri samostatné akustické zdroje rozmiestnené v azimute po 120° okolo spoločnej osi. Akustická os každého zdroja smeruje k definovanému referenčnému bodu v oblasti porovnávaného poľa.

Vzdialenosť zdrojov od referenčného bodu, ich výška, azimut a smerovanie sa zaznamenajú ako samostatné geometrické parametre. Zostava nemá mechanický kopírovať tvar ramien monolitického rezonátora; jej úlohou je vytvoriť tri samostatne riaditeľné akustické príspevky v zodpovedajúcej trojpočetnej priestorovej geometrii.

Každý kanál sa najprv kalibruje samostatne podľa komplexného akustického tlaku v referenčnom bode alebo oblasti. Po amplitúdovom vyrovnaní sa nastaví požadovaný relatívny fázový vzťah a následne sa zmapuje výsledné pole.

Zdroje sa budia z jedného generátora cez trojkanálový výstup s riadeným fázovým posunom. Nastavením posunov 0° , 120° a 240° vzniká postupné budenie, ktoré má rovnaký fázový vzťah, aký sa predpokladá medzi ramenami monolitu podľa kapitoly N1/09.3.

Poloha a orientácia zdrojov sa volia podľa geometrie porovnávanej konfigurácie. Ich priestorové umiestnenie vychádza z rozloženia ramien podľa kapitoly N1/06, zatiaľ čo smer akustickej osi zdroja sa nastavuje tak, aby zodpovedal smeru hlavného radiálneho žiariča vrátane jeho orientácie β .

Geometrická zhoda medzi monolitom a syntetickou zostavou sa preto definuje samostatne pre polohu zdroja, smer jeho osi a vzdialenosť od spoločného referenčného bodu.

Vyrovnanie akustického tlaku v ohnisku prebieha meraním, nie výpočtom. Každý zdroj sa najprv kalibruje samostatne podľa komplexného akustického tlaku v definovanom referenčnom bode alebo oblasti. Po amplitúdovom vyrovnaní sa overia relatívne fázy jednotlivých kanálov a až potom sa vykoná spoločné budenie.

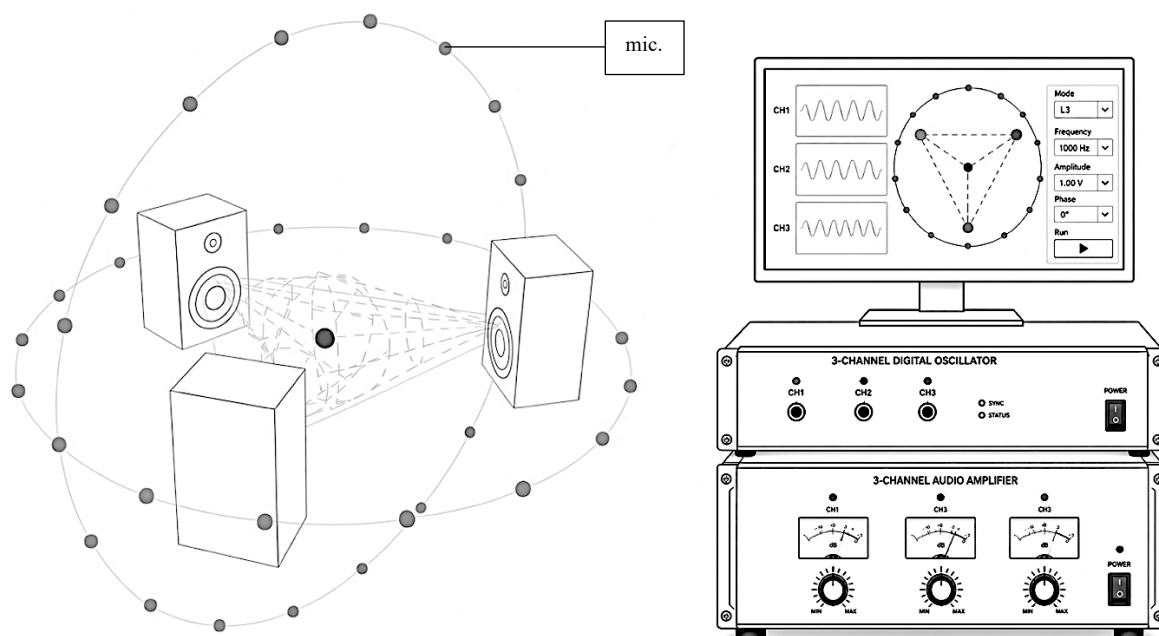


FIG-N1-18: Trojuholníková zostava L3 - rozmiestnenie zdrojov, poloha ohniska a poloha meracích mikrofónov vo sférickom poli.

12.3 Metrika zhody

Porovnanie dvoch polí vyžaduje veličinu, ktorá povie, nakoľko sa zhodujú. Bez nej by sa výsledok opieral o dojem zo snímok.

Meria sa preto akustický tlak v mriežke bodov okolo ohniska, a to amplitúda aj fáza. Vzniknuté dve mapy - jedna pre monolit, druhá pre zostavu zdrojov - sa porovnávajú bod po bode.

Ako súhrnná veličina slúži normalizovaný rozdiel máp vzťahnutý na maximálnu hodnotu poľa a doplnený o priestorovú koreláciu. Prahová hodnota, pri ktorej sa polia považujú za rozlíšiteľné, sa stanoví z rozptylu opakovaných meraní toho istého usporiadania, teda z vlastného šumu zostavy.

K porovnaniu máp sa pripája porovnanie odvodených veličín: poloha a hĺbka mínim, symetria obrazca podľa kapitoly N1/10.3 a prípadná rotačná zložka podľa kapitoly N1/09.5.

Prahová hodnota metriky zhody sa v tomto dokumente neuvádza ako univerzálne číslo. Stanoví sa experimentálne z opakovateľnosti konkrétnej meracej zostavy.

Zo série opakovaných meraní sa určí distribúcia metriky pri nezmenenom fyzikálnom usporiadaní vrátane variability spôsobenej opakovaným upnutím rezonátora. Medzi jednotlivými meraniami sa preto vzorka vyberie z držiaka a znovu upevní rovnakým predpísaným postupom. Takto stanovený rozptyl zahŕňa aj praktickú variabilitu uchytenia, ktorá by pri sérii bez preupnutia zostala skrytá.

Prah rozlíšiteľnosti sa stanoví pred hlavným porovnávacím experimentom z tejto distribúcie pomocou vopred definovaného štatistického kritéria. Ako pracovné kritérium možno použiť napríklad násobok smerodajnej odchýlky alebo príslušný interval opakovateľnosti; konkrétna voľba, spôsob výpočtu a rozhodovacie pravidlo sa zaznamenajú pred hlavnou sériou a počas jej vyhodnotenia sa nemenia.

Minimálny počet opakovaní sa volí tak, aby bolo možné dostatočne stabilne odhadnúť variabilitu metriky. Desať opakovaní predstavuje počiatočné minimum pre pilotnú sériu; podľa nameraného rozptylu sa počet môže pred hlavnou sériou zvýšiť.

Do stanovenia prahu sa metrika uvádza s nameranou hodnotou a mierou variability, ale bez záveru, či sú dve polia zhodné alebo rozlíšiteľné. Tvrdenie o zhode bez stanoveného prahu nemá obsah.

12.4 Čo syntéza dokáže navyše

Nezávisle od výsledku porovnania má viac zdrojová zostava vlastnosti, ktoré monolit nemá, a tie sú samostatným výsledkom.

Fázové posuny možno počas merania plynulo meniť, takže sa dá elektronicky meniť poloha a organizácia amplitúdových a fázových štruktúr bez mechanického premiestňovania zdrojov. Frekvencia sa dá meniť spojito v pracovnom pásme zdrojov, zatiaľ čo odozva monolitu je výrazne viazaná na jeho vlastné modálne frekvencie.

Zostava tiež dovoľuje zaviesť odchýlku zámerne. Rozladením jedného zdroja alebo posunom jeho fázy o známu hodnotu sa dá skúmať, ako citlivo pole na odchýlku reaguje - a to bez toho, aby bolo treba vyrobiť sériu rôzne presných monolitov.

Zostava umožňuje zámerne zavádzať presne definované amplitúdové, fázové alebo geometricky ekvivalentné odchýlky a sledovať odozvu poľa. Tým poskytuje kontrolovaný model tolerančnej štúdie monolitu: elektronická porucha je známa a reprodukovateľná, zatiaľ čo skutočná výrobná odchýlka musí byť samostatne geometricky a modálne zmeraná.

12.5 Priestorové zostavy

Trojuholníkové usporiadanie leží v rovine. Rozšírením na priestor vznikajú zostavy, v ktorých zdroje smerujú do spoločného stredu z vrcholov mnohostena.

Do úvahy prichádzajú štvorsten so štyrmi zdrojmi, osemsten so šiestimi, kocka s ôsmimi a ďalšie pravidelné telesá. Rozšírením rovinného usporiadania vznikajú priestorové zostavy, v ktorých zdroje smerujú k spoločnej referenčnej oblasti z viacerých priestorových smerov. Ako referenčné geometrie možno použiť napríklad štvorsten, osemsten, kocku alebo ďalšie pravidelné či poloprávidelné mnohosteny.

Počet a rozmiestnenie zdrojov určujú počet dostupných priestorových príspevkov, zatiaľ čo symetria zostavy spolu s ich amplitúdovými a fázovými vzťahmi obmedzuje výslednú triedu vytvoreného poľa.

Tieto zostavy zároveň tvoria metodické východisko pre priestorové konfigurácie skúmané v nadväzujúcom programe N3, ktorý zahŕňa AURIS. V N1 sa hodnotia výhradne ako meracie a syntetické zostavy.

12.6 AURISONIC

Označenie AURISONIC sa vzťahuje na priestorovú zostavu zdrojov s kostrou v tvare rombikuboktaédra, teda mnohostena s dvadsiatimi šiestimi stenami a dvadsiatimi štyrmi vrcholmi. Zodpovedá stupňu L4 rebríka zložitosti a v zmenšenom vyhotovení má rozmer do tridsiatich centimetrov.

AURISONIC je modulárna priestorová meracia zostava založená na kostre rombikuboktaédra s 24 vrcholmi a 26 stenami. Aktívne zdroje sa osadzujú do vopred definovaných montážnych pozícií a smerujú akustickou osou k stredu telesa. Konkrétna podmnožina aktívnych pozícií sa pri každom experimente zaznamenáva ako súčasť konfigurácie.

Predbežné pozorovanie pri centrickom zapojení naznačilo vznik priestorovej uzlovej štruktúry. Ide o pozorovanie bez zaznamenaných podmienok, uvedené v kapitole N1/09.10; príslušná hypotéza je H-N1-13.

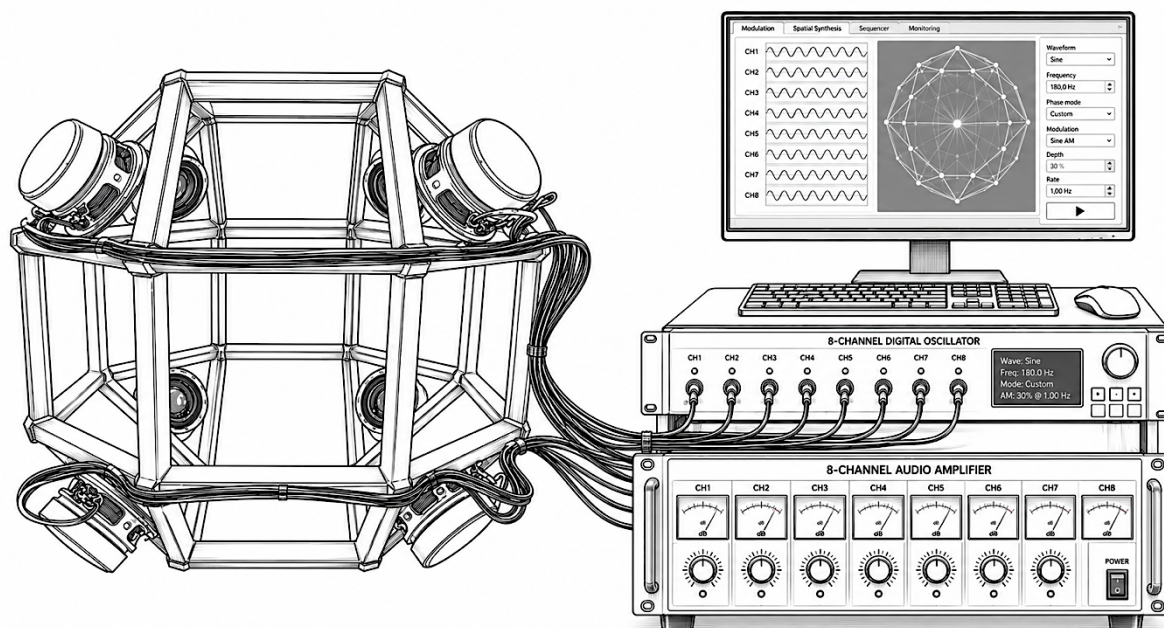


FIG-N1-19: Kostra AURISONIC - rombikuboktaéder s vyznačenými vrcholmi a osadením zdrojov.

12.7 Minimálny počet zdrojov

Ak viaczdrojová zostava dokáže reprodukovať vybrané vlastnosti poľa monolitu, vzniká otázka, aký najmenší počet samostatne riadených zdrojov je na túto reprodukciu potrebný.

Minimálny počet nemožno odvodiť iba z rozmeru modálneho podpriestoru rezonátora. Dvojrozmerný degenerovaný pár znamená dva nezávislé modálne stupne voľnosti, neurčuje však počet fyzických žiaričov potrebných na vytvorenie zodpovedajúcej trojrozmernej akustickej mapy.

Experiment preto postupne porovnáva zostavy s rozdielnym počtom aktívnych zdrojov. Pre každý počet sa amplitúdy a fázy optimalizujú podľa rovnakého vopred stanoveného postupu a výsledok sa hodnotí metrikou podľa kapitoly N1/12.3.

Pri odoberaní zdroja sa kontroluje aj celková úroveň budenia, aby prípadné zhoršenie zhody nebolo iba dôsledkom nižšieho akustického výkonu. Samostatne sa zaznamenáva, ktoré konkrétne zdroje zostali aktívne, pretože rovnaký počet zdrojov môže pri rozdielnom priestorovom rozložení vytvárať rozdielne pole.

Minimálnym počtom sa označí najmenšia konfigurácia, ktorá reprodukuje vopred určené vlastnosti referenčného poľa v rámci stanovenej hranice rozlíšiteľnosti. Ide o hypotézu H-N1-14.

12.8 Fázové riadenie ako spoločný nástroj

Riadenie relatívnej fázy viacerých kanálov sa v dokumentačnom korpuse používa vo viacerých fyzikálne odlišných systémoch: pri akustickej syntéze poľa, pri viacbodovom budení monolitu a v nadväzujúcich elektromagnetických alebo priestorových zostavách.

Spoločným prvkom je možnosť riadiť amplitúdu a relatívnu fázu jednotlivých priestorovo rozložených príspevkov. Rovnaký matematický opis však neznamena rovnaký fyzikálny mechanizmus. Terminológia fázového riadenia sa preto používa jednotne, pričom fyzikálna interpretácia zostáva špecifická pre daný systém.

12.9 Presnosť fázy a jej limity

Výsledné pole závisí od skutočného amplitúdového a fázového vzťahu jednotlivých akustických príspevkov v meranej oblasti. Hodnota fázy nastavená v generátore nemusí byť totožná s fázou akustického tlaku vytvoreného reproduktorom, pretože každý kanál obsahuje elektrické oneskorenie, prenosovú funkciu zosilňovača a meniča a akustickú dráhu medzi zdrojom a meraným bodom.

Pred každou porovnávacou sériou sa preto každý kanál meria samostatne a určí sa jeho komplexná prenosová funkcia medzi digitálnym budiacim signálom a akustickým tlakom v definovanom referenčnom bode alebo oblasti. Nastavenie fázy sa následne koriguje tak, aby požadovaný relatívny vzťah vznikol akusticky, nie iba elektricky.

Po spoločnom spustení všetkých kanálov sa relatívne fázy overia synchronizovaným meraním mikrofónového poľa. Zaznamenáva sa fázová chyba medzi požadovanou a nameranou hodnotou, časový rozptyl medzi kanálmi a ich stabilita počas celej série.

Pri vyšších frekvenciách predstavuje rovnaká absolútna časová chyba väčšiu časť periódy, a preto sa požiadavky na časovú synchronizáciu sprísňujú. Fázová chyba sa môže prejaviť posunom, deformáciou alebo znížením kontrastu amplitúdových a fázových štruktúr; jej konkrétny prejav sa neurčuje vopred.

Tieto údaje sú súčasťou každého záznamu, pretože bez znalosti skutočného fázového stavu zdrojov nemožno spoľahlivo pripísať rozdiel medzi poľami skúmanej geometrii.

13 BEZKONTAKTNÉ BU DENIE A SNÍMANIE

Úder kladívkom sa nedá dvakrát zopakovať rovnako. Táto kapitola hľadá spôsoby, ako rezonátor rozozvučať a odčítať bez toho, aby sa ho niekto dotkol.

13.1 Prečo úder kladívkom nestačí

Pre meranie má impulzné budenie niekoľko obmedzení. Amplitúda, časový priebeh a presná poloha každého úderu sa mierne líšia, takže jednotlivé merania vyžadujú normalizáciu podľa skutočne vloženého impulzu. Zmena miesta alebo smeru úderu zároveň mení pomer vybudených módov. Počas krátkeho kontaktu navyše kladívko mechanicky interaguje s rezonátorom, takže budiaci dej nie je dokonale bezkontaktný ani identický medzi opakovaniami.

Bezkontaktné metódy umožňujú tieto parametre riadiť reprodukovateľnejšie a zároveň sprístupňujú fázovo definované budenie a snímanie bez prídavnej hmotnosti na ramenách.

13.2 Elektrostatické budenie

Elektróda umiestnená blízko ramena a nabitá voči nemu naň pôsobí prítlačlivou silou. Sila je úmerná druhej mocnine napätia, takže pri striedavom napätí bez jednosmernej zložky rameno reaguje na dvojnásobku budiacej frekvencie. Pri superpozícii jednosmerného predpätia a malej striedavej zložky vzniká v elektrostatickej sile zložka lineárna v amplitúde AC signálu a pôsobiaca na jeho frekvencii. Pri dostatočne malej modulácii voči predpätiu možno tento režim aproximovať ako lineárne budenie.

Rovnaká elektróda slúži aj na snímanie. Pohyb ramena mení kapacitu medzi ním a elektródou, čo sa dá odčítať. Vzniká tak plne bezkontaktná slučka, v ktorej sa rezonátora nič nedotýka.

Tri elektródy pri jednotlivých ramenách možno budiť s relatívnymi fázami 0° , 120° a 240° . Pri vhodnom jednosmernom predpätí tým vzniká fázovo postupujúci priestorový vzor elektrostatickej sily. Experiment následne určí, či tento spôsob budenia vyvolá v degenerovanom modálnom podpriestore stabilnú rotačnú superpozíciu. Obrátením poradia fáz sa obráti smer postupujúceho budenia; sleduje sa, či sa spolu s ním obráti aj smer meranej modálnej alebo poľovej odozvy. Ide o hypotézy H-N1-15 a H-N1-16.

Priestorové rozloženie nabitých častíc možno skúmať ako samostatnú vizualizačnú metódu elektrostatického poľa; jeho interpretácia vyžaduje kontrolu náboja častíc, prúdenia vzduchu a geometrie elektród.

Bezpečnostné požiadavky pri práci s vysokým napätím sú uvedené v kapitole N1/18.

13.3 Magnetostrikčné budenie

Feromagnetické a niektoré ďalšie magneticky usporiadané materiály menia pri zmene magnetizačného stavu svoje rozmery v dôsledku magnetostrikcie [49]. Časovo premenlivé magnetické pole preto môže slúžiť ako bezkontaktný spôsob mechanického budenia rezonátora.

Vzťah medzi prúdom cievky, magnetickým poľom a výslednou mechanickou silou alebo deformáciou však nemusí byť lineárny; môže ho ovplyvniť magnetická hysterézia, saturácia a počiatočný stav magnetizácie. Budiaci kanál sa preto kalibruje podľa skutočnej mechanickej odozvy ramena, nie iba podľa nastaveného prúdu.

Tri cievky umiestnené pri troch ramenách možno budiť s relatívnymi fázami 0° , 120° a 240° , čím sa vytvorí priestorovo postupujúci magnetický budiaci vzor. Či tento vzor vyvolá rotačný modálny stav rezonátora a s akou účinnosťou, je predmetom hypotézy H-N1-20.

Inverzný magnetostrikčný, Villariho efekt umožňuje mechanickému napätiu meniť magnetický stav materiálu [50]. Tento jav možno využiť na bezkontaktné snímanie, pričom praktické usporiadanie musí oddeliť slabý merací signál od budiaceho poľa - napríklad samostatnou snímacou cievkou, časovým oddelením budenia a snímania alebo fázovo citlivou detekciou.

13.4 Trojkanálový magnetický odber

Pohyb zmagnetizovaného ramena mení magnetický tok prechádzajúci snímacou cievkou a indukuje merateľné napätie. Elektrický signál preto nesie informáciu o časovom priebehu pohybu, jeho presný amplitúdový a fázový vzťah k mechanickej výchylke však závisí od geometrie, magnetizácie a prenosovej funkcie snímacieho kanála.

Všetky tri kanály sa preto pred experimentom amplitúdovo a fázovo kalibrujú rovnakým referenčným pohybom. Po korekcii ich relatívnych prenosových funkcií možno synchronizovaný záznam použiť na určenie vzájomných fázových vzťahov medzi ramenami.

Trojkanálový záznam umožní testovať súfázový priebeh, cyklický fázový postup a všeobecnejšie hybridné modálne stavy. Vyhodnotenie sa preto neobmedzuje iba na dve možnosti $0^\circ/120^\circ/240^\circ$ alebo $0^\circ/0^\circ/0^\circ$. Ide o hypotézu H-N1-17.

Princíp je overený a používa sa v snímačoch elektrickej gitary a v priemyselných reluktančných snímačoch. Príbuzný princíp indukčného snímania sa používa v magnetických a reluktančných snímačoch; pre toto usporiadanie sa však presnosť amplitúdy aj fázy stanovuje vlastnou kalibráciou.

Podľa kapitoly N1/09.3 postačujú na úplný opis rotačného stavu dva nezávislé kanály. Tretí kanál slúži ako kontrola vnútornej konzistencie merania a jeho zhoda s predpokladom je samostatným ukazovateľom správnosti zostavy.

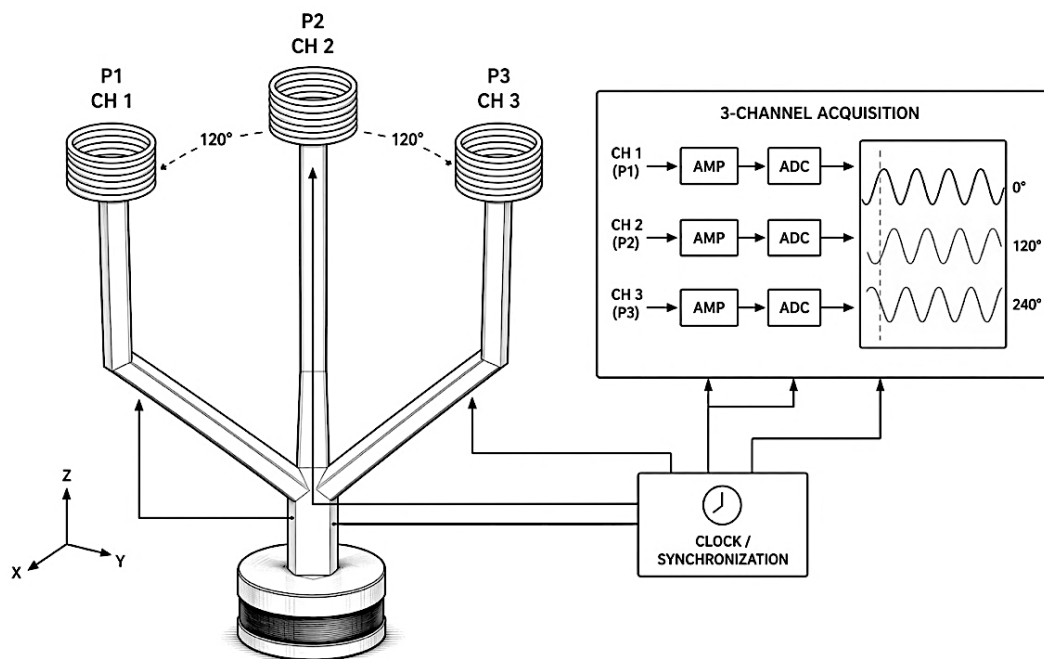


FIG-N1-20: Rozmiestnenie snímacích cievok pri hrotach ramien, vedenie signálu a spôsob synchronizácie kanálov

Nezávislá kontrola mechanickej kinematiky

Magnetický odber poskytuje časovo synchronizovaný nepriamy záznam pohybu troch ramien. Jeho interpretácia sa preto overuje nezávislou bezkontaktnou metódou, prednostne laserovou Dopplerovou vibrometriou. Vibrometer umožňuje merať amplitúdu a fázu rýchlosti pohybu vybraných bodov ramien bez pridania snímacej hmotnosti.

Pri dostupnom viackanálovom alebo skenovacím LDV sa merajú zodpovedajúce body na všetkých troch ramenách a výsledok sa porovná s trojkanálovým magnetickým odberom. Vysokorýchlostná kamera môže doplniť meranie priamou vizualizáciou trajektórií voľných koncov; pri priestorovej rekonštrukcii je potrebných viac pohľadov alebo stereoskopické snímanie.

Výsledná kinematika sa klasifikuje podľa pracovných scenárov A-C zavedených v kapitole N1/09.10: dominantne symetrický priebeh, dominantne rotačný nesymetrický priebeh alebo hybridná superpozícia. Klasifikácia zostáva otvorená aj pre priebeh, ktorý sa do týchto troch scenárov nedá jednoznačne zaradiť.

Predbežné pozorovanie kinematiky ramien na spomalenom videozázname

Pri predbežnom vizuálnom vyhodnotení spomaleného videozáznamu trojramenného rezonátora s obdĺžnikovým prierezom ramien bol dominantne pozorovaný súmerný pohyb voľných koncov ramien smerom dovnútra a von, zodpovedajúci „dýchaciemu“ priebehu. Súčasne sa v jednotlivých časových

úsekoch objavovali odchýlky od dokonalej trojitej súmernosti: projekcia výchylky jedného ramena sa dočasne javila slabšia než pri ostatných, pričom tento jav sa striedavo objavoval pri rôznych ramenách.

Záznam bol vyhotovený zo šikmého spodného pohľadu a bez priestorovej kalibrácie, preto z neho nemožno spoľahlivo určiť skutočné trojrozmerné trajektórie voľných koncov ani presné fázové vzťahy medzi ramenami. Pozorovanie je však kompatibilné so superpozíciou viacerých modálnych zložiek a motivačne podporuje rozlíšenie pracovných scenárov A-C zavedených v tejto kapitole. Samotný videozáznam ešte nerozlišuje, či ide o dominantne symetrický, dominantne nesymetrický alebo hybridný priebeh; toto rozlíšenie vyžaduje synchronizované priestorové meranie, prednostne laserovou vibrometriou alebo vysokorychlostným optickým snímaním s kalibráciou priestoru.

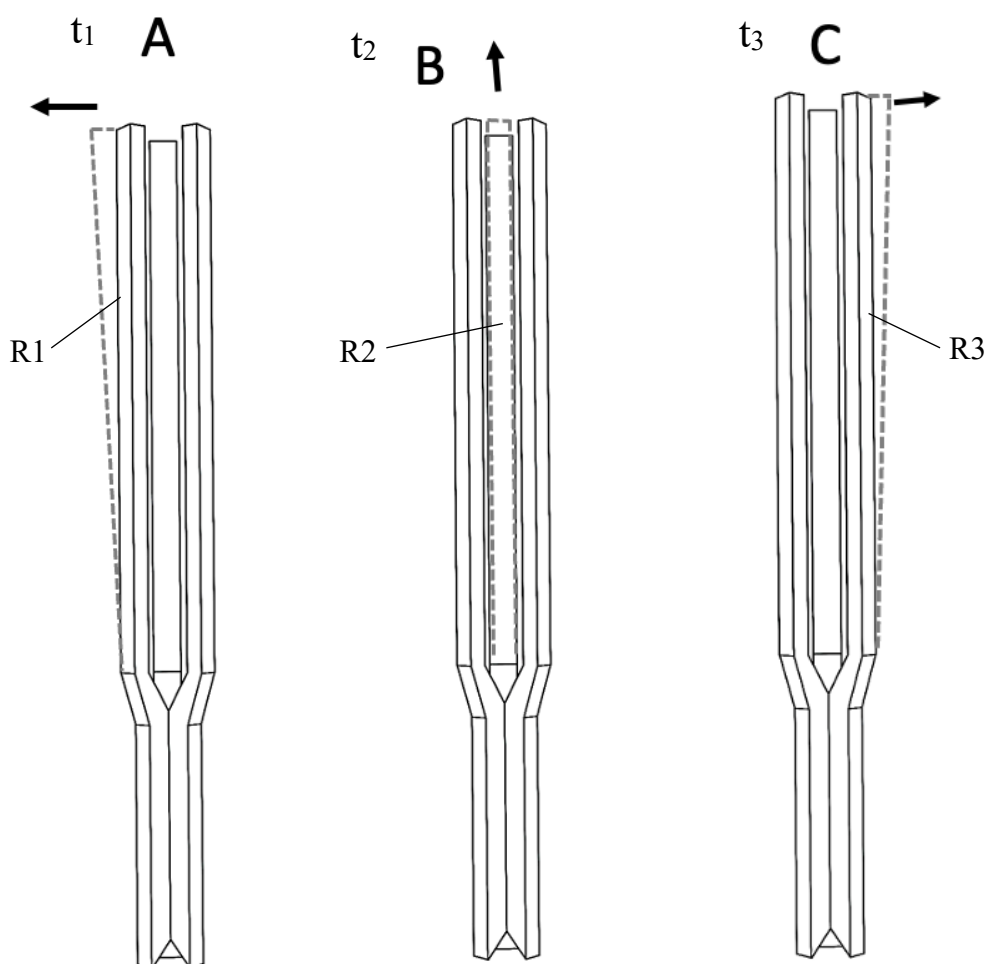


FIG-N1-21: Schematické znázornenie predbežne pozorovanej premenlivosti pohybu ramien v spomalenom videozázname. Nákres ilustruje pracovnú interpretáciu, v ktorej sa na dominantný súmerný „dýchací“ pohyb superponuje časovo premenlivá nesymetrická zložka prejavujúca sa striedavým zosilnením alebo zoslabnutím projekcie výchylky jednotlivých ramien R1, R2 a R3

v ilustrovaných časových okamihoch t_1 , t_2 a t_3 . Schéma nepredstavuje dôkaz mechanizmu, ale vizualizačnú pomôcku k pozorovaniu a k scenárom A-C.

Videozáznam: Predbežné pozorovanie kinematiky trojramenného rezonátora - spomalený záznam, interný archív / online príloha, dostupné na:

[https://triaural.com/MULTIMEDIA/TRIAURAL ABC MOVEMENT.mp4](https://triaural.com/MULTIMEDIA/TRIAURAL_ABC_MOVEMENT.mp4)

13.5 Budenie jedného ramena

Ak sa budí jedno rameno a čítajú sa zvyšné dve, meria sa vlastná väzba monolitu - teda to, ako sa energia šíri telesom sama od seba. Fázový posun nameraný na ramenách 2 a 3 potom nie je nastavený zvonku.

Postupným budením každého ramena samostatne a synchronizovaným meraním odozvy ostatných ramien vznikne súbor vzájomných prenosových funkcií. Pri ideálne symetrickom rezonátore sa očakáva cyklická ekvivalencia týchto odoziev po príslušnom pootočení označenia ramien. Reprodukateľná odchýlka môže poukazovať na geometrickú, materiálovú, magnetickú alebo upínaciu asymetriu a musí sa ďalej lokalizovať. Ide o hypotézy H-N1-18 a H-N1-19.

13.6 Spôsoby magnetizácie

Permanentný magnet priložený k oblasti rúčky môže vytvoriť magnetický tok prechádzajúci centrálnou časťou rezonátora a rozdeľujúci sa do jednotlivých ramien. Skutočné rozloženie magnetického poľa a polarita pri hrotoch závisia od geometrie, materiálu, magnetického obvodu a polohy magnetu a preto sa overujú meraním alebo magnetostatickým modelom.

Výhodou je zachovanie monolitu a to, že sa na hroty nepridáva žiadna hmota, ktorá by menila frekvenciu. Po odobratí vonkajšieho magnetizačného poľa môže v materiáli zostať remanentná magnetizácia. Stav pred magnetizáciou, počas pôsobenia poľa a po jeho odstránení sa preto merajú samostatne; pri potrebe návratu k definovanému východiskovému stavu sa použije kontrolovaný demagnetizačný postup.

Namiesto permanentného magnetu možno použiť elektromagnet pripevnený zospodu rúčky, prípadne vinutie umiestnené priamo na rúčke, ktorá tak plní úlohu jadra. Intenzita, polarita aj časový priebeh magnetizácie sa potom riadia elektronicky a dajú sa meniť počas merania bez zásahu do zostavy.

Spojité riadené magnetické pole poskytuje experimentálny nástroj pre testovanie frekvenčného ladenia podľa 13.7 a riadeného modálneho rozštiepenia podľa 13.9. Pripojené vinutie pridáva rúčke hmotnosť a tlmenie, takže sa zaznamenáva stav zostavy s vinutím aj bez neho.

Villariho efekt je zároveň základom magnetoelektrických zariadení, ktorým sa venuje dokument N2.

Alternatívou je bezdotykové zmagnetizovanie cievkou alebo magnety pripevnené priamo na hroty. Druhá možnosť dáva silnejšie pole a mení hmotnosť ramien, čo treba pri vyhodnotení zohľadniť.

Pri symetrickom magnetickom usporiadaní môže v centrálnej oblasti vzniknúť lokálne minimum magnetickej indukcie alebo iná charakteristická štruktúra poľa. Jej existencia, poloha a stabilita sa však musia určiť magnetostatickým modelom a priestorovým meraním; nemožno ich odvodiť iba z vektorovej symetrie troch ramien.

Ak sa vytvorí vhodný gradient magnetickej energie, diamagnetické alebo magneticky citlivé častice môžu vykazovať systematickú redistribúciu. Takéto rozloženie by predstavovalo magnetickú vizualizačnú metódu analogickú k časticovým mapám v iných častiach dokumentu, nie priamy dôkaz existencie centrálneho nulového bodu. Ide o hypotézu H-N1-24.

13.7 Ladenie frekvencie magnetickým poľom

Magnetizačný stav feromagnetického materiálu môže ovplyvňovať jeho efektívne elastické vlastnosti a vnútorné pnutie, čím môže meniť vlastné frekvencie mechanického rezonátora. Veľkosť, smer a prípadná hysterézia tohto posunu závisia od materiálu, orientácie poľa, magnetizačnej histórie a konkrétneho módu.

Experiment preto sleduje vlastné frekvencie ako funkciu riadeného jednosmerného magnetického poľa a súčasne zaznamenáva hysteréziu pri rastúcom a klesajúcom poli. Ak je posun reprodukovateľný a dostatočne spojitý, možno ho využiť na jemné doladenie dvoch rezonátorov. Ide o hypotézu H-N1-21.

13.8 Vplyv magnetizácie na dozvuk

Magnetomechanické tlmenie a vírivé prúdy menia rýchlosť, akou kmitanie doznieva. Porovnanie toho istého rezonátora pri definovaných magnetizačných stavoch minimalizuje rozdiely medzi vzorkami, ale vyžaduje kontrolu remanencie, magnetizačnej histórie a teploty. Zaznamenáva sa zmena doby dozvuku, činiteľa akosti a vlastnej frekvencie. Ide o hypotézu H-N1-22.

Ak sa s magnetizačným stavom zmení činiteľ akosti, môže sa zmeniť aj časový priebeh a kontrast kymatickej odozvy. Táto súvislosť sa testuje korelačne s meraním podľa N1/10.7.

13.9 Kontrola magnetického zaťaženia a modálneho rozštiepenia

Magnetické zaťaženie môže jednotlivé ramená ovplyvniť mierne rozdielne v dôsledku geometrických tolerancií, rozdielnej magnetizácie materiálu alebo nepresnosti polohy budiacich prvkov. Takáto nesymetria môže meniť modálne rozštiepenie degenerovaného páru. Takáto nesymetria môže meniť modálne

rozštiepenie degenerovaného páru a tým ovplyvniť stabilitu, amplitúdu alebo časový priebeh rotačnej a hybridnej zložky podľa kapitoly N1/09.4.

Ku každej sérii využívajúcej magnetické budenie alebo magnetizáciu preto patrí referenčné meranie bez aplikovaného magnetického poľa a záznam remanentného stavu. Bez tejto kontroly by negatívny výsledok nebolo možné jednoznačne odlíšiť od zmeny modálnej odozvy spôsobenej samotnou magnetizáciou.

Ak sa modálne rozštiepenie podarí riadene meniť magnetickým poľom, možno na tom istom kuse sledovať, ako sa s Δf mení amplitúda, stabilita alebo časový priebeh rotačnej a hybridnej modálnej zložky. Takýto kontinuálny zásah predstavuje silnejší kauzálny test než porovnanie dvoch rozdielnych vzoriek. Ide o hypotézu H-N1-23.

Vhodnú kontrolnú dvojicu materiálov poskytujú nehrdzavejúce ocele: austenitické nehrdzavejúce ocele sú spravidla slabo magnetické až prakticky nemagnetické v nenamáhanom stave, zatiaľ čo feritické triedy sú feromagnetické. Podrobnosti sú v kapitole N1/15.

13.10 Sympatetická väzba dvoch rezonátorov

Dva mechanické rezonátory s blízkymi vlastnými frekvenciami sa môžu akusticky spriahnuť prostredníctvom spoločného média. Ak pole vytvorené jedným rezonátorom obsahuje pri frekvencii prijímača dostatočnú zložku, môže v druhom vyvolať merateľnú odozvu.

Pred meraním je potrebné zapísať nulovú hypotézu. Ako nulová hypotéza sa použije predpoklad, že pri porovnateľnom lokálnom komplexnom akustickom poli v mieste prijímača bude jeho lineárna odozva nezávislá od identity vzdialeného zdroja. Porovnanie s reproduktorom preto musí vyrovnávať nielen frekvenciu a tlak, ale podľa potreby aj relevantnú smerovú a fázovú charakteristiku poľa.

Dokument sleduje tri mechanizmy, pri ktorých sa môže odozva od nulovej hypotézy odlíšiť; každý sa meria samostatne.

Prvým je blízke pole. V blízkom poli sa môžu výraznejšie prejaviť vyššie priestorové zložky a reaktívna časť poľa, ktoré vo väčšej vzdialenosti rýchlo slabnú. Porovnanie rezonátora s kontrolným reproduktorom preto musí byť pri malých vzdialenostiach založené na priestorovom mapovaní, nie iba na jednom meracom bode.

Druhým je uhlová orientácia. Ak účinnosť väzby vykazuje reprodukovateľnú periodickú závislosť od vzájomného natočenia dvoch rezonátorov, ide o smerovú vlastnosť prijímacej a vysielacej geometrie, ktorú ideálny izotropný kontrolný zdroj nevykazuje. Ide o hypotézu H-N1-48.

Tretím je typ vybudenej módy. Ak zdroj vytvára pole s merateľnou fázovou cirkuláciou a prijímač obsahuje príslušný degenerovaný alebo takmer

degenerovaný pár, testuje sa, či sa v jeho modálnej odozve objaví smerovo viazaná rotačná zložka.

13.11 Merané veličiny väzby

Účinnosť väzby sa meria v širokom rozsahu vzdialeností. Závislosť sa porovná s modelmi očakávanými pre jednotlivé oblasti poľa; prípadná zmena efektívneho exponentu poklesu môže indikovať prechod medzi režimami, ale hranica sa neurčuje iba z jedného zlomu krivky.

Rozladením prijímača o známu hodnotu vzniká rezonančná krivka, ktorej šírka udáva efektívny činiteľ akosti spriahnutej sústavy a zároveň toleranciu naladenia.

Ďalej sa zaznamenáva závislosť od vzájomného uhla natočenia a od sklonu osí, a nábehová časová konštanta budovania amplitúdy v prijímači.

Pri dostatočne silnej koherentnej väzbe môže vzniknúť rozštiepenie normálnych módov do dvojice vlastných frekvencií. Jeho pozorovanie predstavuje silný dôkaz spriahnutia sústavy, jeho neprítomnosť však nevylučuje slabšiu väzbu. Ide o hypotézu H-N1-50.

Celá séria sa vykonáva dvakrát - raz s rezonátorom ako zdrojom a raz s reproduktorom - pri zhodnej frekvencii a zhodnom tlaku v mieste prijímača.

13.12 Reciprocita - geometria ako prijímač

V lineárnych recipročných akustických systémoch platí reciprocita medzi vysielacou a prijímacou odozvou pri zodpovedajúcich okrajových podmienkach. Smerová charakteristika toho istého recipročného prvku preto môže byť pri vysielaní a prijímaní úzko previazaná.

Ak triaurálna geometria vykazuje špecifickú smerovú alebo modálnu odozvu ako zdroj, je preto opodstatnené testovať zodpovedajúcu selektivitu aj v režime prijímača.

Realizovať sa dá dvoma spôsobmi. Prvú implementáciu tvorí trojica samostatných mikrofónov rozmiestnených po 120° , ktorá testuje geometrickú syntézu prijímacieho poľa. Druhú tvorí samotný monolit so snímacími kanálmi pri ramenách, ktorý testuje jeho vlastnú mechanicko-modálnu odozvu. Výsledky týchto dvoch implementácií sa nesmú zamieňať.

Merateľnými veličinami sú presnosť určenia smeru zdroja, potlačenie mimoosových zdrojov v decibeloch, šírka smerovej charakteristiky a odolnosť voči dozvuku. Ide o hypotézy H-N1-52 a H-N1-53.

Reciprocita väzbu na kapitolu 13.10 uzatvára. Ak zdroj s rotačným poľom vybudí v prijímači rotujúci mód, testuje sa, či prijímač s príslušnou trojramennou modálnou štruktúrou vykazuje odlišnú odozvu na pole s merateľnou fázovou cirkuláciou oproti kontrolnému poľu bez nej, inak povedané, či je triaurálny prijímač selektívne citlivejší na pole s rotačnou zložkou než na pole bez nej.

Na tomto mieste je potrebné zopakovať vymedzenie z kapitoly N1/02.6: pojem triaurálny sa vzťahuje výhradne na geometriu rezonátora a nevzťahuje sa na trojkanálový sluch ani na psychoakustiku. Kapitola o prijímači je tým miestom, kde je zámena najpravdepodobnejšia.

14 RÚČKA AKO VLNOVOD

Rúčka je jediná časť určená na priamy úchop a zároveň hlavná mechanická cesta medzi centrálnym uzlom, budičom a rukou operátora. Napriek tomu patrí k najmenej preskúmaným častiam rezonátora.

14.1 Prečo samostatná kapitola

Rúčka je v doterajšom texte označovaná ako vlnovod. Ide o tvrdenie o funkcii, ktoré zatiaľ nemá oporu v meraní.

Pritom má v celej zostave výnimočné postavenie. Cez rúčku môže do rezonátora vstupovať mechanická energia z FORKERA a pri manuálnom použití sa cez ňu prenáša časť mechanického kmitania do ruky. Je teda spoločným rozhraním budenia, uchytienia a mechanickej expozície.

Kapitola preto rozoberá štyri okruhy: aké vlnenie sa v tyči šíri, čo z toho vyplýva pre rozpoznanie rotačného módu, ako sa dá nazrieť dovnútra a čo určuje prenos do ruky.

14.2 Vlnové rodiny v pevnej tyči

V pevnej valcovej tyči možno rozlíšiť tri základné rodiny objemovej mechanickej odozvy relevantné pre túto kapitolu: pozdĺžnu, torznú a ohybovú. V rámci každej rodiny môžu existovať viaceré módy a pri vyšších frekvenciách aj zložitejšie priečne štruktúry.

Pozdĺžne vlnenie strieda ťah a tlak pozdĺž osi; tyč sa striedavo predlžuje a skracaje. Torzné vlnenie krúti tyč okolo jej osi, pričom sa jej dĺžka nemení. Ohybové vlnenie ohýba tyč do strany, teda spôsobuje priečny pohyb.

Jednotlivé rodiny majú rozdielne fázové a grupové rýchlosti a rozdielnu mieru disperzie. Ohybové vlnenie je typicky výrazne disperzné, zatiaľ čo pri základných pozdĺžnych a torzných režimoch môže byť v určitom frekvenčnom rozsahu závislosť rýchlosti od frekvencie podstatne slabšia. Pri vyšších frekvenciách a rozmeroch porovnateľných s vlnovou dĺžkou je potrebné použiť úplný modálny opis tyče. Klasické riešenia pružných vln vo valcových tyčiach, vrátane Pochhammerovho-Chreeho opisu, poskytujú disperzné vzťahy, s ktorými možno porovnať experimentálne namerané módy [51-54].

K objemovým módom rodinám sa pri vhodných podmienkach môžu pridať povrchovo lokalizované elastické vlny [55]. Ich prípadný podiel na prenose do ruky je samostatnou experimentálnou otázkou, keďže mechanický kontakt prebieha na povrchu rúčky.

14.3 Symetria a selekcia módov

Modálny stav ramien určuje časovo premenlivé sily a momenty prenášané do centrálného uzla a následne do rúčky. Ich výsledná kombinácia závisí od priestorovej symetrie konkrétneho módu.

Pri ideálne symetrickom „dýchacom“ priebehu sa priečne príspevky troch ramien môžu v centrálnom uzle vo veľkej miere rušiť. V rúčke sa potom môže výraznejšie prejaviť axiálna, teda pozdĺžna zložka pohybu. Skutočný pomer pozdĺžnej, ohybovej a torznej odozvy však závisí od geometrie uzla a okrajových podmienok a musí sa určiť meraním.

Pri nesymetrickej modálnej triede sa zrušenie priečných síl a momentov všeobecne mení. Do rúčky sa preto môže prenášať priečna ohybová zložka, torzný moment alebo ich časovo premenlivá kombinácia. Pri rotačnej superpozícii degenerovaného páru sa môže meniť aj smer výslednej priečnej odozvy v čase.

Diagnosticke veličinou preto nie je samotná prítomnosť torzie, ale viac-zložková mechanická odozva rúčky: amplitúdový a fázový pomer jej pozdĺžnej, tangenciálnej a priečnej zložky. Tento podpis sa porovnáva so súčasne zmeraným modálnym stavom ramien podľa kapitoly N1/13.4.

Hypotéza H-N1-34 testuje, či možno z tejto viac-zložkovej odozvy rúčky reprodukovateľne rozlíšiť pracovné modálne scenáre definované v kapitole N1/09.

Mechanické meranie rúčky a akustické mapovanie poľa predstavujú dve nezávislé úrovne experimentu. Zhoda ich časového a fázového správania môže podporiť väzbu medzi modálnym stavom rezonátora a výsledným poľom; nezhoda je sama osebe diagnostickým výsledkom a vyžaduje samostatné vysvetlenie.

14.4 Stojatá vlna pozdĺž rúčky

Konečná rúčka je na oboch koncoch mechanicky naviazaná na odlišné impedancie - na centrálny uzol rezonátora a na miesto uchytenia alebo budenia. Čiastočné odrazy mechanických vln na týchto rozhraniach môžu vytvárať stojaté alebo kvázi-stojaté zložky s priestorovými minimami a maximami pohybu.

Ich poloha závisí od dĺžky a prierezu rúčky, príslušnej vlnovej rodiny, frekvencie a okrajových podmienok. Predpoveď z disperzného modelu sa preto porovnáva s experimentálne zmeranou mapou pohybu. Ide o hypotézu H-N1-35.

Ak sa miesto uchytenia nachádza v oblasti malého pohybu príslušného módu, mechanické zaťaženie môže ovplyvňovať rezonanciu menej než pri uchytení v oblasti veľkej lokálnej výchylky. Veľkosť účinku však závisí aj od mechanickej impedancie držiaka alebo ruky. Hypotéza H-N1-38 preto testuje závislosť činiteľa akosti a vlastnej frekvencie od polohy a impedancie uchytenia.

14.5 Tok energie a rotačná mechanická zložka

Torzná vlna predstavuje mechanický stav, pri ktorom sa jednotlivé prierezy rúčky uhlovo vychýľujú okolo jej osi. Ide preto o jednoznačne rotačnú zložku deformácie pevného telesa.

Samotná prítomnosť torzného kmitania však neurčuje smerový tok momentu hybnosti. Pri stojatej torznej vlne sa môžu proti sebe skladať dve postupujúce zložky a časovo spriemerovaný prenos energie alebo uhlovej hybnosti môže byť malý alebo nulový. Pri postupujúcej torznej vlne možno naopak sledovať smerový prenos mechanickej energie a momentu hybnosti pozdĺž osi.

Experiment preto oddeľuje lokálnu torznú amplitúdu od smeru fázového postupu. Meria sa amplitúda a fáza tangenciálnej zložky vo viacerých bodoch pozdĺž rúčky, z čoho možno rozlíšiť stojatý, postupujúci alebo hybridný torzný priebeh.

Súčasne sa porovnáva tok energie v pozdĺžnej, ohybovej a torznej zložke a sleduje sa, či sa energia prenáša prevažne objemom telesa alebo či sa významná časť odozvy lokalizuje pri povrchu.

Otvorenou otázkou zostáva, za akých podmienok koexistujú pozdĺžne, ohybové a torzné zložky v tom istom režime budenia a aký je medzi nimi fázový vzťah.

14.6 Meranie na povrchu

Trojosová laserová vibrometria sníma lokálnu rýchlosť povrchu vo viacerých smeroch a umožňuje rozložiť pohyb na axiálnu, tangenciálnu a priečnu zložku. Tieto zložky poskytujú experimentálny podpis pozdĺžneho, torzného a ohybového správania, pričom pri zložitých módoch sa môžu v jednom bode vyskytovať súčasne.

Tenzometrické rozety poskytujú priamu informáciu o lokálnej deformácii, ale svojou hmotnosťou, lepidlom a tuhosťou môžu lokálne meniť mechanické vlastnosti rúčky; používajú sa preto ako doplnková kontaktná kontrola k bezkontaktnému meraniu.

Holografická interferometria a speklová korelácia poskytujú celoplošný obraz deformácie bez kontaktu, čo je vhodné na kontrolu, či sa mapa z bodových meraní nemýli.

Doplňajúcou metódou je snímanie vysokorýchlostnou kamerou so sledovaním hrán ramien s podpixelovou presnosťou. Z polohy hrán v jednotlivých snímkach sa po odstránení spoločného posunu, ktorý zodpovedá pohybu držiaka, získa relatívny pohyb ramien voči sebe.

Snímková frekvencia musí byť dostatočne vyššia než sledovaná frekvencia kmitania, aby bolo možné rekonštruovať časový priebeh s požadovanou fázovou presnosťou; samotné splnenie Nyquistovho kritéria na tento účel nestačí. Okrem

snímkovej frekvencie sa kontroluje aj expozičný čas, aby pohyb počas jedného snímku nevytváral významné rozmazanie.

14.7 Pohľad dovnútra

Povrchové metódy hovoria o tom, čo sa deje na plášti. O rozložení napätia v priereze hovoria nepriamo.

Priamu cestu ponúka fotoelasticita. Fotoelasticita využíva zmenu dvojlohu priehľadného materiálu pri mechanickom namáhaní. Medzi skríženými polarizátormi sa rozdiely hlavných napätí prejavajú ako interferenčné pruhy, z ktorých možno kvalitatívne a pri kalibrácii aj kvantitatívne odvodiť rozloženie napätia.

Časovo rozlíšené alebo fázovo synchronizované snímanie umožňuje rekonštruovať vývoj fotoelastického obrazca počas kmitového cyklu. Z časového posunu pruhov možno následne testovať, či napätá štruktúra obsahuje stojaté, postupujúce alebo hybridné zložky.

Obmedzenie treba uviesť: priehľadný model má iné materiálové konštanty než kovový originál, takže slúži na overenie tvaru poľa napätia a nie jeho hodnôt. Číselné porovnanie zabezpečuje výpočtový model podľa kapitoly N1/17.

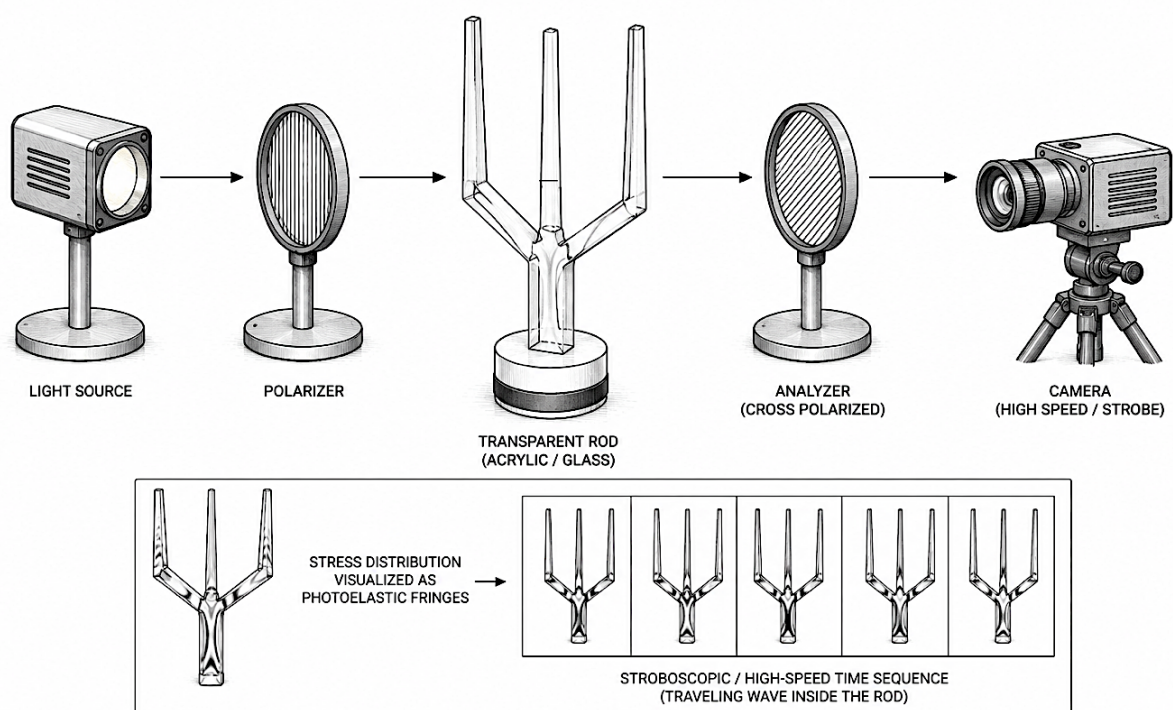


FIG-N1-22: Usporiadanie fotoelastického merania - zdroj svetla, polarizátor, priehľadná rúčka, analyzátor, kamera.

14.8 Geometria rúčky ako parameter

Rúčku určuje dĺžka, priemer, prípadná kužeľovitosť, tvar prechodu do centrálného uzla a zakončenie.

Tvar prechodu medzi rúčkou a centrálnym uzlom je jedným z kľúčových geometrických parametrov, pretože určuje lokálnu zmenu mechanickej impedancie a tým ovplyvňuje odraz, transmisu a konverziu medzi jednotlivými vlnovými zložkami.

Náhle zmeny prierezu alebo tuhosti môžu zvyšovať odraz a modálnu konverziu, zatiaľ čo plynulejšie prechody môžu v určitých frekvenčných pásmach znižovať impedančný nesúlad. Konkrétny efekt sa však určuje výpočtom a meraním predanú geometriu.

Monolitická rúčka sa porovnáva so spájanou. Rozhranie v spoji môže zavádzať dodatočný impedančný nesúlad, trenie a tlmenie. Porovnanie monolitického a spájaného vyhotovenia preto testuje, do akej miery mechanické rozhranie mení prenosovú funkciu, modálne rozštiepenie a činiteľ akosti.

Povrchová úprava ovplyvňuje povrchové vlny a trenie v úchope, takže sa zaznamenáva rovnako ako rozmery.

14.9 Krútená a drážkovaná rúčka

Špirálovo drážkovaná rúčka predstavuje chirálnu geometriu, pretože ľavotočivé a pravotočivé vyhotovenie nemožno stotožniť jednoduchým zrkadlením bez zmeny handedness. Takáto geometrická asymetria môže umožniť spriahnutie pozdĺžnej a torznej mechanickej odozvy. Veľkosť a smer tohto spriahnutia však závisia od hĺbky, stúpania, počtu závitov, prierezu a materiálu a musia sa určiť experimentálne.

Z toho vyplýva, že špirálové drážkovanie môže pôsobiť ako prevodník medzi pozdĺžnou a torznou vlnou. Tvarový prvok sa tým stáva súčasťou fyziky zostavy.

Hypotéza H-N1-36 testuje, či pri rovnakom budení vykazuje špirálovo profilovaná rúčka systematicky odlišný pomer pozdĺžnej a torznej zložky než hladká kontrolná rúčka.

Osobitným kontrolným testom je zmena handedness - obrátenie smeru špirály. Ak je pozorované spriahnutie skutočne dôsledkom chirálnej geometrie, prechod z pravotočivého na ľavotočivé vyhotovenie by mal reprodukovateľne obrátiť znamienko príslušnej torznej odozvy pri zachovaní ostatných podmienok.

14.10 Samopodobné profily

Profil rúčky s geometrickými prvkami opakujúcimi sa vo viacerých mierkach môže vytvárať viacero charakteristických mechanických dĺžkových mierok. Tie môžu

ovplyvniť rozptyl, lokálne rezonancie a prenos mechanických vln v rozdielnych frekvenčných pásmach.

Či takýto profil skutočne vytvorí oddelené prenosové pásma alebo stop-pásma, závisí od konkrétnej geometrie, materiálu a väzby jednotlivých prvkov a musí sa určiť z prenosovej funkcie alebo disperzného modelu.

Experiment porovná hladkú rúčku so samopodobne profilovanou rúčkou pri rovnakej celkovej dĺžke, materiáli a čo najbližšej hmotnosti. Meria sa frekvenčne závislá prenosová funkcia pozdĺžnej, torznej a ohybovej zložky a hľadajú sa reprodukovateľné pásma zvýšeného alebo potlačeného prenosu.

Historická poznámka: fraktálna geometria vzišla okrem iného z analýzy chýb na dátových prenosových linkách. Benoît Mandelbrot pri práci v IBM v rokoch 1963 až 1965 zistil, že chyby sa nezhlukujú náhodne, ale samopodobne, v štruktúre pripomínajúcej Cantorovu množinu.

14.11 Prenos do ruky

Ruka nie je pevná podpera. Má vlastnú poddajnosť, hmotnosť a tlmenie, takže rezonátoru odoberá energiu a mení jeho dozvuk.

Táto vlastnosť má normu. Mechanická impedancia sústavy ruka a rameno je definovaná v ISO 10068 a udáva, akou silou ruka odpovedá na vnútené kmitanie v závislosti od frekvencie.

Prenos do ruky závisí najmä od frekvencie a smeru vibrácie, úchopovej sily, kontaktnej plochy, polohy úchopu na rúčke a mechanickej impedancie sústavy ruka-rameno. Poloha voči lokálnym minimám a maximám pohybu podľa kapitoly 14.4 je jedným z kľúčových parametrov.

Meria sa prenosová funkcia medzi pohybom rúčky a odozvou ruky v definovaných meracích bodoch. Pohyb rúčky sa zaznamenáva bezkontaktné vibrometrom a odozva ruky napríklad ľahkým akcelerometrickým alebo optickým snímaním podľa požadovanej invazívnosti metódy.

14.12 Najúčinnnejší úchop

Otázka, ktorý úchop je najlepší, má dve odpovede a záleží na celi.

Ak je cieľom minimalizovať mechanické zaťaženie rezonátora rukou a predĺžiť dozvuk, vhodným kandidátom je miesto s malou lokálnou amplitúdou pohybu príslušného módu.

Ak je cieľom naopak maximalizovať mechanický prenos do ruky, vhodným kandidátom je oblasť s vyššou lokálnou amplitúdou a vhodnou mechanickou impedanciou kontaktu.

Presné optimum nemožno určiť iba z polohy uzla alebo kmitne, pretože výsledok závisí aj od smeru vibrácie, úchopovej sily, kontaktnej plochy a frekvencie. Hypotéza H-N1-37 preto porovnáva prenos a tlmenie pri systematickom posune úchopu pozdĺž rúčky.

Dokumentácia preto rozlišuje dve optimalizačné úlohy: minimalizáciu zaťaženia rezonátora a maximalizáciu mechanického prenosu do ruky.

14.13 Bezpečnosť pri držaní

Držanie kmitajúceho predmetu podlieha samostatnej norme. ISO 5349 poskytuje metodický rámec pre meranie a hodnotenie expozície vibráciám prenášaným do systému ruka-rameno. Dlhodobá expozícia môže byť spojená s vaskulárnymi, neurologickými a muskuloskeletálnymi účinkami; konkrétne akčné a limitné hodnoty sa posudzujú podľa príslušných bezpečnostných predpisov.

Pri každom experimente s manuálnym držaním sa preto zaznamenáva frekvenčne vážená úroveň vibrácií, čas expozície, spôsob úchopu a poloha ruky. Bezpečnostné vyhodnotenie je oddelené od otázky fyzikálneho účinku rezonátora.

Dozimetria expozície operátora je rozpracovaná v kapitole N1/18. Na tomto mieste postačuje uviesť, že poloha úchopu ovplyvňuje nielen zvuk, ale aj mieru vystavenia.

15 MATERIÁLOVÁ BÁZA

Z čoho sa dá rezonátor vyrobiť a čo sa tým zmení.

15.1 Čo sa od materiálu žiada

Voľba materiálu významne ovplyvňuje vlastné frekvencie, tlmenie, mechanickú stabilitu, obrobiteľnosť a použiteľnosť magnetických metód podľa kapitoly N1/13. Výsledná odozva však vždy vzniká kombináciou materiálových vlastností, geometrie a okrajových podmienok.

Prvou požiadavkou je nízke vnútorné tlmenie. Časť energie kmitania sa v každom materiáli mení na teplo a tento podiel určuje, ako rýchlo zvuk doznie. Vyjadruje sa činiteľom akosti, označovaným Q .

Druhou požiadavkou je opakovateľnosť. Materiálový polotovár, výrobný postup a výsledná geometria musia byť dokumentované tak, aby bolo možné odlišiť materiálový rozptyl od výrobných a geometrických odchýlok.

Tretou je obrobiteľnosť. Tolerancia uhlov podľa kapitoly N1/06.8 je jedným z výstupov programu N1; materiál, ktorý sa nedá presne obrobiť, tento údaj znehodnotí.

Štvrtou je stabilita v čase a s teplotou. Rezonančná frekvencia sa s teplotou mení a rozsah tejto zmeny sa zaznamenáva pri každom meraní.

15.2 Základná sada

Nasledujúce materiály tvoria východiskovú sadu. Sú dostupné, dobre zdokumentované a pokrývajú rozsah od vysokého činiteľa akosti po dobrú obrobiteľnosť.

- Hliníkové zliatiny leteckej triedy - dobrá obrobiteľnosť, nízka hmotnosť, dostupnosť. Základný materiál prvých sérií.
- Titán a jeho zliatiny - vysoká pevnosť a stabilita, horšia obrobiteľnosť a vyššia cena.
- Zvonovina, teda cínový bronz - historicky používaná práve pre dlhý dozvuk; odlievateľná, horšie obrobiteľná.
- Kremenné sklo - potenciálne veľmi nízke vnútorné tlmenie a vysoký činiteľ akosti pri vhodnom vyhotovení; nevýhodou je krehkosť a náročné tvarovanie.
- Mosadz, meď a nehrdzavejúce ocele - dostupné, dobre spracovateľné, s odlišnou hustotou a rýchlosťou zvuku.

Materiály s vyšším vnútorným tlmením slúžia ako kontrola závislosti sledovaného javu od činiteľa akosti a dĺžky dozvuku.

Nasledujúca tabuľka uvádza orientačné hodnoty prevzaté z materiálovej literatúry a katalógových podkladov. Nejde o hodnoty namerané v rámci tohto programu; namerané hodnoty sa vedú oddelene a pri rozpore s tabuľkovými platí meranie.

Hodnoty Q a α_f sa považujú za orientačné intervaly a pred použitím v návrhu konkrétneho experimentu sa overujú pre príslušný materiálový stav a frekvenčný rozsah.

Materiál	ρ (kg/m ³)	E (GPa)	c (m/s)	Q (rád)	α_f (ppm/K)	Obrobiteľnosť
Hliníková zliatina 6061 alebo 7075	2 750	70	5 050	10 ³ - 10 ⁴	-200 až -300	výborná
Titánová zliatina Ti-6Al-4V	4 430	114	5 070	10 ³ - 10 ⁴	-150 až -250	zlá
Cínový bronz, zvonovina	8 750	100	3 380	10 ³ - 10 ⁴	-250 až -350	horšia, odlievateľný
Kremenné sklo	2 200	72	5 720	10 ⁵ - 10 ⁷	+80 až +100	krhké, brúsenie
Mosadz CuZn37	8 470	105	3 520	10 ³	-250 až -350	veľmi dobrá
Meď	8 960	120	3 660	10 ² - 10 ³	-300 až -400	stredná, lepivá
Nehrdzavejúca oceľ 304, austenitická	8 000	193	4 910	10 ³	-200 až -300	stredná
Nehrdzavejúca oceľ 430, feritická	7 700	200	5 100	10 ³	-200 až -300	dobrá

Označenie stĺpcov: ρ je hustota, E modul pružnosti v ťahu, c tyčová rýchlosť zvuku, Q činiteľ akosti, α_f teplotný súčiniteľ rezonančnej frekvencie.

Rýchlosť zvuku je dopočítaná zo vzťahu $c = \sqrt{E/\rho}$ pre pozdĺžnu vlnu v tenkej tyči, aby bola v celej tabuľke odvodená rovnako. Pre objemové prostredie a pre ohybové módy platia iné vzťahy podľa kapitoly N1/16.

Činiteľ akosti sa uvádza rádovo, nie číslom. Pri kovoch závisí od tepelného spracovania, tvárnenia za studena a stavu povrchu natoľko, že sa pri tom istom materiáli líši o rád aj viac. Autoritatívna tabuľka pre túto veličinu neexistuje a rozhodujúcou hodnotou je meranie na konkrétnom kuse.

Dva riadky stoja za pozornosť. Kremenné sklo má činiteľ akosti o dva až štyri rády vyšší než kovy a ako jediné v tabuľke má kladný teplotný súčiniteľ, pretože jeho modul pružnosti s teplotou rastie; frekvencia sa mu teda pri ohreve zvyšuje, kým kovom klesá. Meď má v mnohých mechanických rezonátoroch vyššie vnútorné tlmenie než vhodné zvonové bronzy. Prídavok cínu výrazne mení mikroštruktúru, elastické a tlmiace vlastnosti zliatiny; konkrétna hodnota Q však závisí od zloženia, tepelného spracovania, tvárnenia a stavu konkrétneho kusu.

Materiály s vyšším vnútorným tlmením, teda drevo, polyméry a kompozity, sa v tabuľke neuvádzajú. Slúžia ako kontrolné vzorky a ich tabuľkové hodnoty sú natoľko závislé od konkrétneho kusu, že orientačné číslo by bolo zavádzajúce.

15.3 Magnetostrikčné materiály

Metódy z kapitoly N1/13.3 vyžadujú materiál, ktorý v magnetickom poli mení rozmer. Nie každý feromagnetický materiál je na to rovnako vhodný a rozhodujúcim kritériom je kombinácia veľkosti efektu s obrobiteľnosťou.

- Zliatina železa a gália, známa ako Galfenol predstavuje jeden z najvhodnejších kandidátov tam, kde sa požaduje kombinácia výraznej magnetostrikcie a relatívne dobrej obrobiteľnosti.
- Nikel - klasický magnetostrikčný materiál, dobre obrobiteľný a lacný, s menším efektom než Galfenol.
- Terfenol-D dosahuje veľmi vysokú magnetostrikciu, jeho krehkosť a náročné obrábanie však výrazne komplikujú výrobu presného monolitického rezonátora; vhodnejšie môže byť jeho použitie ako aktívneho prvku alebo vrstvy v kompozitnej zostave.

Pri magnetostrikčných materiáloch treba počítať s tým, že ich mechanické vlastnosti závisia od stavu magnetizácie. To je základ ladenia frekvencie podľa kapitoly N1/13.7 a zároveň dôvod, prečo sa pri každom meraní zaznamenáva prítomné pole.

15.4 Kontrolná dvojica nehrdzavejúcich ocelí

Na oddelenie magnetického príspevku od ostatných vplyvov je užitočná kontrolná dvojica materiálov s výrazne odlišnou magnetickou odozvou a čo najpodobnejšími základnými mechanickými vlastnosťami.

Takúto dvojicu poskytujú nehrdzavejúce ocele. Austenitické nehrdzavejúce ocele sú spravidla slabo magnetické až prakticky nemagnetické v žíhanom stave, zatiaľ čo feritické a martenzitické triedy sú feromagnetické.

Dva geometricky zhodné rezonátory z vhodne vybraných austenitických a feritických tried preto môžu slúžiť ako praktická kontrolná dvojica s výrazne odlišnou magnetickou odozvou a relatívne podobnými základnými mechanickými parametrami. Nejde však o dvojicu líšiacu sa výhradne magnetizmom; zostávajúce materiálové rozdiely sa zaznamenávajú a pri interpretácii zohľadňujú.

Presné označenie tried a ich zloženie sa uvedie po overení dostupnosti u dodávateľa, pretože skutočné zloženie sa medzi šaržami líši a magnetické vlastnosti austenitických ocelí sa navyše menia tvárnením za studena.

Konkrétne triedy ocelí sa vyberú podľa dostupnosti u dodávateľa a uvedú sa v záznamovom liste každého kusa spolu s číslom taviby a s atestom.

Permeabilita sa preberá z atestu a v dokumente sa uvádza ako prevzatá hodnota podľa pravidiel v kapitole N1/15.2. Tabuľková hodnota pre triedu materiálu sa nepoužíva, pretože permeabilita austenitických ocelí sa mení tvárnením za studena a dodaný materiál sa môže od tabuľky líšiť o podstatnú časť.

Pri preberaní materiálu sa overí, či hodnota z atestu zodpovedá skutočnosti. Porovnávacia skúška permanentným magnetom slúži iba ako vstupný screening. Ak je magnetická odozva experimentálne kritická, zaznamenaná sa aj kvantitatívna hodnota permeability alebo magnetizačnej charakteristiky dostupná z atestu alebo doplnkového merania. Presné meranie permeability nie je predmetom tohto dokumentu a nevykonáva sa; kontrolná dvojica má rozlíšiť magnetický materiál od nemagnetického, nie stanoviť ich magnetické vlastnosti.

Ak sa pri preberaní ukáže rozpor s atestom, kus sa nezaradí do série a skutočnosť sa zaznamená.

15.5 Tetraédrická topológia ako výrobná hypotéza

Uhol $109,47^\circ$ z kapitoly N1/06.3 sa vyskytuje aj vo väzbách atómu uhlíka v usporiadaní sp^3 a v štvorstene tvorenom kremíkom a kyslíkom, ktorý je základnou stavebnou jednotkou kremičitanov vrátane kremenného skla.

Táto zhoda sa v dokumente neuvádza ako argument. Uvádza sa ako otázka, ktorá má merateľnú podobu: má monolit s tetraédrickou topológiou iný činiteľ akosti módov viazaných na tento uhol než teleso z toho istého materiálu bez takej topológie?

Samotná numerická zhoda medzi makroskopickým uhlom rezonátora a mikroskopickými väzbovými uhlami nepredstavuje fyzikálny mechanizmus. Experiment preto netestuje „rezonanciu uhla s materiálom“, ale otázku, či geometricky privilegovaná konfigurácia vykazuje pri rovnakom materiáli reprodukovateľne odlišné modálne vlastnosti než blízke konfigurácie tej istej geometrickej rodiny.

Primárnou kontrolou je séria geometricky podobných rezonátorov s uhlom φ systematicky posunutým okolo hodnoty $109,47^\circ$. Jednoduché teleso rovnakého materiálu a približne rovnakého objemu môže slúžiť ako doplnková referenčná vzorka, nie ako jediná kontrola.

Hypotézu nezávisle navrhli dvaja externí čitatelia dokumentu, čo zvyšuje jej hodnotu ako podnetu prichádzajúceho zvonka. Ide o hypotézu H-N1-55.

15.6 Porovnanie topológií na jednom polotovare

Otázka či sa štvorramenný rezonátor správa odlišne od trojramenného, sa dá zodpovedať meraním s výnimočne čistým usporiadaním.

Obidva kusy sa vyrobia z toho istého polotovaru, v jednej výrobnej sérii, na tom istom stroji a merajú sa tou istou metrológiou. Použitie jedného polotovaru výrazne obmedzí materiálový rozptyl medzi vzorkami, hoci lokálna mikroštruktúra, vnútorné pnutie a rozdiely vzniknuté obrábaním môžu zostať.

Pri porovnaní rôzneho počtu ramien sa samostatne zaznamenáva celková hmotnosť, moment zotrvačnosti, charakteristické rozmery a vlastné frekvencie. Tieto veličiny sa medzi topológiami nemusia úplne zhodovať; ich zmena sa preto považuje za súčasť fyzikálneho dôsledku zmeny topológie a pri interpretácii sa uvádza explicitne.

H-N1-56 - Pri rovnakom materiáli a porovnateľnej charakteristickej mierke vykazujú trojramenná a štvorramenná topológia reprodukovateľne odlišnú modálnu štruktúru.

15.7 Vplyv výroby na materiál

Materiál po obrobení nie je totožný s materiálom v polotovare. Trieskové obrábanie môže vytvárať alebo redistribuovať zvyškové napätia, meniť povrchovú vrstvu a lokálne ovplyvniť mikroštruktúru.

Vnútorné pnutie je pritom jednou z príčin, ktoré rozdeľujú frekvencie degenerovaného páru podľa kapitoly N1/09.4. Nesymetricky rozložené zvyškové napätie môže meniť modálne rozštiepenie degenerovaného páru a tým ovplyvniť stabilitu alebo zastúpenie rotačnej a hybridnej zložky.

Z toho vyplýva požiadavka na dokumentáciu výroby. Ku každému kusu sa zaznamenáva polotovar a jeho šarža, postup obrábania, prípadné žíhanie a povrchová úprava. Bez týchto údajov sa odlišné správanie dvoch kusov nedá vysvetliť.

Žíhanie na uvoľnenie zvyškového napätia sa skúma ako samostatná výrobná premenná. Porovnanie žíhaných a nežíhaných kusov umožní určiť, do akej miery tepelná história výroby ovplyvňuje modálne vlastnosti; účinok nemožno pripísať výhradne odstráneniu pnutia bez kontroly ďalších mikroštruktúrnych zmien.

15.8 Vzorková séria

Merania z tohto dokumentu vyžadujú sériu kusov, ktorá umožní oddeliť jednotlivé vplyvy. Séria má päť vetiev.

- Materiálová vetva: rovnaká geometria vyrobená z rôznych materiálov.
- Tolerančná vetva: rovnaký materiál s riadenou odchýlkou uhla podľa kapitoly N1/06.8.

- Topologická vetva: rôzne konfigurácie z toho istého polotovaru.
- Kontrolná vetva: dvojica nehrdzavejúcich ocelí a dvojramenný rezonátor ako porovnávací zdroj.
- Mierková vetva: tá istá konfigurácia zmenšená tak, aby základná frekvencia padla do ultrazvukového pásma podľa kapitoly N1/09.12.

Mierková vetva má tri požiadavky, ktoré ostatné vetvy nemajú. Musí obsahovať aspoň jednu konfiguráciu zhodnú s konfiguráciou v počuteľnej časti série; bez toho sa hypotéza H-N1-63 o mierkovej podobnosti nedá overiť, pretože porovnávať sa dá len to isté v dvoch mierkach. Ďalej musí obsahovať aspoň dve rôzne veľkosti, aby sa dala sledovať závislosť od pomeru rozmeru k vlnovej dĺžke, nie iba jeden bod. A napokon k nej patrí aspoň jeden kus s riadenou odchýlkou uhla, ktorý umožní sledovať citlivosť fázovej singularity na kontrolované porušenie symetrie podľa H-N1-62.

Kusy tejto vetvy sa vyrábajú presným obrábaním u externého dodávateľa. Pre mierkovú vetvu sa preferuje presné obrábanie alebo iná technológia schopná dosiahnuť požadované tolerancie. Vhodnosť konkrétneho výrobného procesu sa posudzuje podľa materiálu, rozmeru a požadovanej geometrickej presnosti.

Každý kus dostane trvalé označenie a vlastný záznamový list. Označenie sa razí alebo gravíruje na rúčke v mieste, ktoré neovplyvňuje kmitanie ramien.

Počty kusov v jednotlivých vetvách sú stanovené takto:

Vetva	Kusov	Čím sa kusy líšia
Materiálová	8	zhodná geometria, osem materiálov základnej sady
Tolerančná	6	zhodný materiál, riadená odchýlka uhla od nuly po hranicu tolerancie
Topologická	9	tri konfigurácie v troch vyhotoveniach z toho istého polotovaru
Kontrolná	3	dve nehrdzavejúce ocele a dvojramenný rezonátor
Mierková	6	dve veľkosti, jedna zhodná konfigurácia s počuteľnou sériou, jeden kus s odchýlkou
Spolu	32	

Navrhovaná základná séria obsahuje 32 kusov a predstavuje pracovné minimum pre pilotné oddelenie uvedených experimentálnych vetiev. Konečný počet vzoriek sa môže po pilotných meraniach upraviť podľa nameraného rozptylu a požadovanej štatistickej sily. Materiálová vetva s jedným kusom na materiál slúži v prvej fáze ako screening; sama osebe neumožňuje oddeliť materiálový efekt od medzi-kusovej výrobné variability. Kandidátne materiály sa preto po prvom skríningu overujú opakovanými vzorkami.

Počet sa premieta do rozpočtu v položkách EQ-N1-01 pre výrobu počuteľnej časti série a EQ-N1-37 pre mierkovú vetvu. Zmätkovitost' pri výrobe je vedená

samostatným riadkom v kapitole N1/19.7, pretože pri riadenej odchýlke uhla v desatinách stupňa je časť kusov mimo tolerancie a musí sa vyrobiť znova.

15.9 Orientácia kryštálu ako parameter geometrie

Doterajší text pracuje s materiálom prevažne ako s efektívne izotropným prostredím, ktorého mechanické vlastnosti možno v prvom priblížení opísať jednou sadou elastických parametrov. Pri polykryštalických kovoch je takýto opis často postačujúci, pretože príspevky veľkého počtu rôzne orientovaných zŕn sa v makroskopickom meradle čiastočne spriemerujú.

Monokryštál sa správa odlišne. Jeho elastické vlastnosti sú anizotropné a závisia od smeru v kryštálovej mriežke. Rovnaké teleso vyrobené z monokryštálu preto môže vykazovať rozdielnu modálnu odozvu podľa toho, ako je kryštálová mriežka orientovaná voči jeho geometrickým osiam.

Pre konfiguráciu TORAMID vzniká osobitne zaujímavý prípad. Jej tri nosné smery možno geometricky priradiť trom navzájom kolmým smerom zodpovedajúcim hranám kocky a centrálna os smeru telesovej uhlopriečky. Pri kubickom monokryštáli možno preto zvoliť orientáciu, v ktorej smer $[111]$ leží pozdĺž centrálnej osi rezonátora a tri ramená sú zarovnané so smermi $[100]$, $[010]$ a $[001]$.

Smery $[100]$, $[010]$ a $[001]$ sú v kubickej kryštálovej sústave kryštalograficky ekvivalentné a smer $[111]$ predstavuje trojpočetnú rotačnú os. Pri takomto zarovnaní sa teda trojpočetná symetria materiálového tenzora môže priamo prekryť s makroskopickou trojpočetnou geometriou rezonátora.

Na rozdiel od čisto numerickej zhody uhlov diskutovanej v kapitole N1/15.5 má táto orientácia priamy mechanický význam. Otočením kryštálovej mriežky voči nezmenenej makroskopickej geometrii sa menia efektívne elastické vlastnosti v smeroch jednotlivých segmentov, pričom samotný tvar rezonátora zostáva rovnaký.

To umožňuje vytvoriť čistý test materiálovej symetrie bez zmeny geometrie telesa.

Pri zámernom pootočení kryštálovej mriežky voči osiam rezonátora sa sleduje, ako sa menia vlastné frekvencie, tvary módov a rozštiepenie príslušného degenerovaného alebo takmer degenerovaného páru. Orientácia mriežky sa tak stáva spojitou nastaviteľnou materiálovou premennou, ktorá môže porušovať alebo obnovovať zhodu medzi geometrickou a kryštálovou symetriou.

Hypotéza H-N1-65

Pri monokryštalickom telese s trojpočetnou geometriou závisí modálna štruktúra a rozštiepenie príslušného degenerovaného alebo takmer degenerovaného páru od orientácie kryštálovej mriežky voči osiam rezonátora. Osobitne sa testuje, či zarovnanie kubických smerov $[100]$, $[010]$ a $[001]$ s tromi ramenami a smeru $[111]$

s centrálnou osou predstavuje symetricky privilegovanú alebo extrémnu orientáciu.

Hypotéza neurčuje vopred, či pri tejto orientácii bude rozštiepenie minimálne, maximálne alebo bude zodpovedať inému charakteristickému bodu. O tom rozhodne výpočtový a experimentálny výsledok.

Primárny výpočtový test

Pred výrobou monokryštalickej vzorky sa hypotéza preverí anizotropným výpočtovým modelom podľa kapitoly N1/17.

Geometria rezonátora zostáva v modeli pevná a voči nej sa numericky otáča tenzor elastickej tuhosti zvoleného monokryštálu. Pre každú orientáciu sa zaznamenajú najmä:

- vlastné frekvencie sledovaných módov,
- veľkosť modálneho rozštiepenia Δf ,
- priestorové tvary módov,
- orientácia modálnych osí,
- podiel symetrickej a nesymetrickej modálnej zložky.

Osobitne sa porovná orientácia so zhodou $[111]$ // centrálna os a $[100]$, $[010]$, $[001]$ // ramená s mierne pootočenými orientáciami mriežky.

Výpočtový sweep tak umožní zistiť, či vôbec existuje merateľný efekt orientácie kryštálu a aká veľká zmena uhla je potrebná na jeho rozlíšenie.

Experimentálna výroba monokryštalickej vzorky nasleduje až v prípade, že model predpovie rozdiel väčší než očakávaná experimentálna neistota a výrobný rozptyl.

Experimentálne overenie

Ak výpočtový model predpovie dostatočne veľký efekt, vyrobia sa monokryštalicke vzorky so známou kryštalografickou orientáciou. Orientácia mriežky sa pred obrábaním a podľa možnosti aj po ňom overí vhodnou kryštalografickou metódou.

Porovnávajú sa najmenej dve orientácie:

1. referenčné zarovnanie kryštálovej a geometrickej symetrie,
2. definovane pootočená orientácia pri nezmenenej makroskopickej geometrii.

Meranie zahŕňa rovnaké modálne veličiny ako výpočtový model a vykonáva sa pri rovnakých podmienkach uchytenia, budenia a teploty.

Materiálové kandidáty a obmedzenia

Monokryštálové kovy vo veľkosti potrebnej pre celý rezonátor môžu byť výrobne náročné a drahé. Obrábanie zároveň môže meniť povrchovú vrstvu a zavádzať poruchy alebo zvyškové napätia, ktoré treba pri interpretácii oddeliť od samotnej kryštálovej orientácie.

Pri mäkkých kovoch, napríklad medi, môže byť navyše činiteľ akosti obmedzený vnútorným tlmením a pohybom dislokácií. Z praktického hľadiska preto predstavujú vhodných kandidátov aj tuhšie monokryštalické materiály s dobre charakterizovaným elastickým tenzorom, napríklad monokryštalický kremík.

Táto vetva sa v N1 uvádza ako materiálovo-geometrická hypotéza. Jej význam spočíva v tom, že umožňuje meniť symetriu mechanických vlastností bez zmeny vonkajšieho tvaru rezonátora a tým oddeliť geometrický a materiálový príspevok k modálnemu rozštiepeniu.

16 MATEMATICKÉ VZŤAHY

Ako z rozmerov vypočítať frekvenciu - a kde presne prestáva byť výpočet spoľahlivý.

16.1 Čo má model zvládnuť

Cieľom analytického modelu je odhadnúť vzťah medzi rozmermi, materiálovými parametrami a charakteristickými vlastnými frekvenciami rezonátora a určiť citlivosť výsledku na zmenu jednotlivých parametrov. Bez neho by sa každý kus musel vyrobiť a odmerať, čo pri sérii s riadenou odchýlkou podľa kapitoly N1/06.8 nie je zvládnuteľné.

Model má odpovedať na tri otázky. Akú frekvenciu bude mať teleso daných rozmerov. Ako sa frekvencia zmení pri zmene jedného rozmeru. A ako presne musí byť rozmer dodržaný, aby sa frekvencia zmestila do zvolenej tolerancie.

Táto kapitola sa zaoberá analytickým prístupom, teda vzorcami. Numerický prístup, ktorý pracuje s tvarom telesa ako celku, je predmetom kapitoly N1/17.

16.2 Ohybové kmitanie ramena

Rameno rezonátora sa správa ako tyč votknutá na jednom konci a voľná na druhom. Jej ohybové kmitanie popisuje klasická teória, ktorá nesie mená Eulera a Bernoulliho [ref].

Frekvencia takej tyče závisí od štyroch veličín: dĺžky, rozmeru prierezu v smere ohybu, modulu pružnosti materiálu a jeho hustoty. Vzťah medzi nimi má tvar:

$$f \propto (b/L^2) \cdot \sqrt{E/\rho}$$

kde h je hrúbka ramena v smere kmitania, L jeho dĺžka, E modul pružnosti a ρ hustota. Úplný vzorec obsahuje ešte číselný súčiniteľ, ktorý vyplýva z okrajových podmienok a z tvaru prierezu.

Z tvaru vzťahu vyplývajú dva praktické dôsledky. Frekvencia klesá s druhou mocninou dĺžky, takže dvojnásobne dlhé rameno znie štyrikrát nižšie pri nezmenenom priereze a materiáli. A frekvencia rastie priamo úmerne s hrúbkou, takže tenšie rameno znie hlbšie.

Odmocnina z podielu modulu pružnosti a hustoty má rozmer rýchlosti a zodpovedá rýchlosti, akou sa v danom materiáli šíri pozdĺžne vlnenie. V rámci jednoduchého Eulerovho-Bernoulliho modelu vstupuje materiál do vlastnej frekvencie prostredníctvom kombinácie $\sqrt{E/\rho}$. Dva materiály s rovnakou hodnotou tohto pomeru preto môžu mať pri rovnakej geometrii podobnú frekvenciu základného ohybového módu. Pri presnejšom modeli však môžu výsledok ovplyvniť aj ďalšie elastické parametre, anizotropia, tlmenie a šmyková deformácia.

16.3 Prečo jednoduchý vzťah nestačí

Uvedený vzťah platí pre samostatnú tyč votknutú do nehybnej podpory. Rameno rezonátora však votknuté nie je - je spojené s centrálnym uzlom, ktorý sa sám pohybuje.

Spojenie ramien cez centrálny uzol znamená, že ich pohyb nemožno opisovať ako tri nezávislé votknuté tyče. Pohyb jedného segmentu mení dynamické podmienky ostatných a vlastné módy preto patria celej spojenej štruktúre.

Pri ideálnej trojpočetnej symetrii tejto spojenej sústavy môže príslušná nesymetrická modálna trieda tvoriť dvojrozmerný degenerovaný pár podľa kapitoly N1/09.2. Mechanická väzba určuje konkrétne tvary a frekvencie módov, zatiaľ čo ich symetrická klasifikácia vyplýva zo symetrie celého telesa.

Analytický vzťah preto slúži na odhad a na určenie, ktorým smerom rozmer meniť. Presnú hodnotu a najmä rozštiepenie degenerovaného páru poskytuje až numerický model.

16.4 Vplyv ďalších rozmerov

Okrem dĺžky a hrúbky ramena vstupujú do výsledku ďalšie rozmery, ktorých vplyv je menší, ale nie zanedbateľný.

- Šírka ramena v smere kolmom na ohyb - v jednoduchom Eulerovom-Bernoulliho modeli sa pri ohybe v jednej hlavnej rovine šírka obdĺžnikového prierezu vo výslednej frekvencii vykráti. V úplnom modeli však ovplyvňuje torznú a priečnu tuhosť, hmotnostné rozloženie a väzbu s centrálnym uzlom.
- Tvar a veľkosť centrálného uzla - určuje tuhosť spojenia a tým aj mieru spriahnutia.
- Dĺžka a priemer rúčky - menia jej hmotnosť, mechanickú impedanciu a vlastné vlnové správanie, čím ovplyvňujú okrajové podmienky centrálného uzla a polohu minim a maxim pohybu podľa kapitoly N1/14.4.
- Uhol φ podľa kapitoly N1/06.1 - mení smer, ktorým rameno pôsobí na uzol, a tým aj rozdelenie síl.

Poradie, v akom tieto veličiny frekvenciu ovplyvňujú, je predmetom citlivostnej analýzy v kapitole N1/17.4.

16.5 Teplotná závislosť

Pri väčšine bežných kovov v sledovanom teplotnom rozsahu s rastúcou teplotou klesá efektívny modul pružnosti a zároveň sa zväčšujú rozmery telesa. Oba príspevky preto spravidla posúvajú vlastnú frekvenciu smerom nadol. Veľkosť a znamienko teplotného posunu sú však materiálovo závislé; napríklad kremenné sklo môže vykazovať opačný trend podľa kapitoly N1/15.2.

Pre jednoduchý ohybový model podľa kapitoly N1/16.2 platí približná závislosť:

$$f \propto (1/L^2) \cdot \sqrt{E/\rho}$$

Teplotný súčiniteľ rezonančnej frekvencie preto nie je totožný iba s teplotným súčiniteľom modulu pružnosti. Zahŕňa súčasný účinok zmien elastických vlastností, rozmerov a hustoty materiálu. V praxi sa preto pre každý materiál určuje experimentálne ako relatívna zmena vlastnej frekvencie na jednotku teploty.

$$\alpha_f = (1/f) \cdot (df/dT)$$

kde α_f je teplotný súčiniteľ rezonančnej frekvencie, f sledovaná vlastná frekvencia a T teplota. Pri malom teplotnom intervale možno zmenu aproximovať lineárne:

$$\Delta f/f \approx \alpha_f \cdot \Delta T$$

Pri porovnávacích meraniach sa nezaznamenáva iba teplota miestnosti, ale teplota samotného rezonátora alebo jeho dostatočne blízkeho referenčného bodu po dosiahnutí tepelnej rovnováhy. Pri meraniach, v ktorých sa porovnávajú frekvencie dvoch kusov alebo sa sleduje rozštiepenie degenerovaného páru, môže byť teplotný drift porovnateľný so sledovaným rozdielom.

Teplota rezonátora sa preto pri každom meraní zaznamenáva spolu s frekvenciou. Pri porovnávacích sériách sa vzorky pred meraním nechajú ustáliť na spoločnej teplote a teplotný súčiniteľ sa pre príslušný materiál overí experimentálne. Orientačné hodnoty sú uvedené v kapitole N1/15.2.

16.6 Rozštiepenie degenerovaného páru

Rozštiepenie degenerovaného páru, označované Δf , patrí medzi kľúčové veličiny dokumentu, pretože priamo charakterizuje mieru porušenia degenerácie sledovanej modálnej dvojice.

$$\Delta f = |f_1 - f_2|$$

kde f_1 a f_2 sú vlastné frekvencie dvoch módov tvoriacich sledovaný pár.

Porušenie ideálnej symetrie môže degenerovaný pár rozštiepiť. V dynamike rotačne symetrických telies je tento jav známy [57], pričom konkrétnu veľkosť rozštiepenia môže ovplyvniť viacero odlišných porúch: odchýlka uhla, rozdielna

dĺžka alebo hrúbka ramien, nerovnomerné zvyškové napätie, materiálová anizotropia, magnetické zaťaženie alebo nesymetrické uchytenie.

Pre malé poruchy symetrie možno v prvom priblížení očakávať hladkú závislosť rozštiepenia od veľkosti poruchy. V niektorých režimoch môže byť prvý člen tejto závislosti približne lineárny, konkrétny priebeh však závisí od typu poruchy a modálnej štruktúry a musí sa určiť meraním alebo numerickým modelom.

Tolerančná štúdia podľa kapitoly N1/06.8 preto sleduje Δf ako funkciu riadenej geometrickej odchýlky a numerický model podľa kapitoly N1/17.4 umožňuje oddeliť vplyv jednotlivých parametrov. Analytický model poskytuje najmä citlivostný a rádový odhad; presné Δf sa určuje z modálneho výpočtu a experimentálneho spektra.

Pri interpretácii sa Δf neposudzuje izolovane. Súčasne sa zaznamenáva činiteľ akosti, šírka rezonančných pík, modálne tvary a amplitúdový a fázový rozklad pohybu podľa kapitol N1/09 a N1/13. Tak možno rozlíšiť samotné frekvenčné rozštiepenie od zmeny tlmenia alebo od prechodu medzi symetrickým, nesymetrickým a hybridným modálnym priebehom.

16.7 Škálovanie

Pri geometricky podobných telesách z rovnakého materiálu a pri dynamicky podobných okrajových podmienkach sa vlastné mechanické frekvencie v lineárnom elastickom modeli škálujú približne nepriamo úmerne charakteristickému rozmeru. Ak sa všetky rozmery telesa zväčšia faktorom s , zodpovedajúce vlastné frekvencie sa menia približne faktorom $1/s$.

$$L \rightarrow sL \Rightarrow f \rightarrow f/s$$

Toto pravidlo umožňuje navrhnuť jednu geometriu a vyrobiť ju vo viacerých mierkach s predvídateľne posunutými vlastnými frekvenciami. Platí však pre mechanickú podobnosť telesa a samo osebe nezaručuje úplnú podobnosť vyžiarého akustického poľa.

Pri porovnaní rôznych mierok treba zachovať alebo aspoň zaznamenať relevantné bezrozmerné parametre. Základným je pomer charakteristického rozmeru zdroja D k akustickej vlnovej dĺžke λ , prípadne ekvivalentný vlnový parameter:

$$D/\lambda$$

$$kD = 2\pi D/\lambda$$

kde k je akustické vlnové číslo. Okrem toho môžu podobnosť ovplyvniť činiteľ akosti, materiálové straty, fluidné zaťaženie, viskozita prostredia, spôsob uchytenia a ďalšie okrajové podmienky.

Hypotéza H-N1-63 preto testuje mierkovú podobnosť, nie absolútnu mierkovú invariantnosť. Ak sa po zohľadnení relevantných bezrozmerných parametrov objaví rovnaký typ modálnej a fázovej organizácie v rozdielnych mierkach,

podporí to predstavu, že sledovaný mechanizmus je geometricko-modálnou vlastnosťou sústavy. Ak sa podobnosť poruší, rozdiel sa interpretuje ako informácia o fyzikálnom parametri, ktorý jednoduché škálovanie nezachovalo.

Mierková vetva experimentálnej série je definovaná v kapitole N1/15.8 a prechod do ultrazvukového pásma v kapitole N1/09.12.

16.8 TRIAURAL Calculator

Vzťahy z tejto kapitoly sa prevádzajú do výpočtového nástroja TRIAURAL Calculator. Nástroj zo zadaných rozmerov a materiálových parametrov odhadne charakteristické vlastné frekvencie v rámci zvoleného analytického modelu a umožní aj opačný výpočet približného rozmeru pre požadovanú frekvenciu.

Analytické výsledky sa v nástroji vždy označujú ako odhad. Triaurálny rezonátor nespĺňa presne podmienky samostatnej priamej tyče s ideálnymi okrajovými podmienkami; ramená sú mechanicky spojené cez centrálny uzol a rúčka tvorí ďalší dynamický prvok. Presné vlastné frekvencie a modálne tvary preto poskytuje numerický model podľa kapitoly N1/17 a následne experimentálne meranie.

Nástroj sa zverejňuje ako otvorený zdrojový kód spolu s dokumentom. Pri každom modeli sa uvádza jeho rozsah platnosti, použité predpoklady a porovnanie vypočítaných hodnôt s meraniami na už vyrobených kusoch. Používateľ tak dostane nielen výslednú hodnotu, ale aj informáciu o empiricky zistenej odchýlke analytického odhadu.

Ohybové kmitanie votknutej voľnej tyče

$$f_n = (\mu_n^2 / 2\pi) \cdot (\kappa / L^2) \cdot \sqrt{E/\rho}$$

kde f_n je vlastná frekvencia n -tého ohybového módu, L dĺžka tyče, E modul pružnosti, ρ hustota, $\kappa = \sqrt{I/A}$ polomer zotrvačnosti prierezu a μ_n bezrozmerný vlastný parameter vyplývajúci z okrajových podmienok [54]. Pre ideálnu votknutú voľnú tyč platí približne:

$$\mu_1 = 1,875 \quad \mu_2 = 4,694 \quad \mu_3 = 7,855$$

Pre vyššie módy približne:

$$\mu_n \approx (2n - 1)\pi/2$$

Označenie μ_n sa používa zámerne, aby sa nezamieňalo s geometrickým parametrom β zavedeným v kapitole N1/06.5 ani s akustickou vlnovou dĺžkou λ .

Polomer zotrvačnosti prierezu κ

Prierez	Charakteristický rozmer	$\kappa = \sqrt{I/A}$
Kruhový	priemer d	$d/4$
Štvorcový	strana a	$a/\sqrt{12} \approx 0,2887a$
Obdĺžnikový	hrúbka h v smere kmitania	$h/\sqrt{12} \approx 0,2887h$
Medzikružie	vonkajší priemer D, vnútorný d	$\sqrt{(D^2 + d^2)}/4$

Pozdĺžne kmitanie tenkej homogénnej tyče

Pre tyč s oboma koncami rovnakého typu - voľný-voľný alebo pevný-pevný - platí v ideálnom jednorozmernom modeli:

$$f_n = (n / 2L) \cdot \sqrt{E/\rho} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Pri kombinácii pevný-voľný vznikajú štvrt'vlnové režimy:

$$f_n = ((2n - 1) / 4L) \cdot \sqrt{E/\rho} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Skutočné okrajové podmienky rúčky triaurálneho rezonátora nezodpovedajú presne ani jednému z týchto ideálnych prípadov. Uvedené vzťahy preto slúžia ako referenčné limity a prvý odhad.

Poloha uzlov a kmitní

Poloha uzlov a kmitní sa určuje z tvarovej funkcie konkrétneho módu a zo skutočných okrajových podmienok. Pri vyšších módoch sa vnútorné uzly nevyskytujú v rovnomerných rozstupoch. Pre rúčku rezonátora sa ich poloha určuje numericky a následne overuje vibrometrickým meraním podľa kapitoly N1/14.

Uvedené analytické vzťahy platia pre idealizované priame tyče s nemenným prierezom. Triaurálny rezonátor tieto podmienky nespĺňa: segmenty vychádzajú zo spoločného uzla pod priestorovými uhlami, ich prierez sa môže po dĺžke meniť a rúčka má vlastnú dynamickú odozvu. Analytika preto slúži na prvý odhad, kontrolu rádu a citlivostnú orientáciu. Presné hodnoty poskytuje numerický model podľa kapitoly N1/17 a overuje ich meranie.

17 VÝPOČTOVÝ MODEL A JEHO VALIDÁCIA

Model dokáže predpovedať, čo sa stane, ešte pred výrobou. Nedokáže však nahradiť meranie - a kapitola vysvetľuje, prečo je tento rozdiel dôležitý.

17.1 Postavenie kapitoly

Výpočtový model rieši úlohu, ktorú analytické vzťahy z kapitoly N1/16 zvládnuť nedokážu: správanie celého telesa aj s jeho spriahnutím, nesymetriami a uchytením.

Postavenie modelu v programe N1 určujú štyri zásady, ktoré platia bez výnimky.

- Model slúži na predikciu a na určenie poradia meraní. Nie je nástrojom, ktorý meranie ruší.
- Nevalidovaný model nie je výsledok. Model a meranie postupujú ako súbežné vetvy a navzájom sa overujú.
- Nesúlads modelu s meraním je publikovateľný výsledok. Ukazuje, že niektorý predpoklad, vstupný parameter, okrajová podmienka alebo fyzikálny mechanizmus modelu nezodpovedá experimentu a musí sa identifikovať.
- Výpočtový model môže vylúčiť určitý stav iba v rámci fyzikálnych predpokladov, geometrie, materiálových parametrov a okrajových podmienok, ktoré obsahuje. Negatívny výsledok modelu sa preto nevydáva za všeobecný dôkaz nemožnosti javu v reálnom systéme.

Ak napríklad modálna analýza pri konkrétnej geometrii ukáže, že v sledovanom frekvenčnom pásme neexistuje príslušný degenerovaný alebo takmer degenerovaný pár, ide o platný negatívny výsledok pre daný model. Ďalším krokom je overiť citlivosť výsledku na materiálové parametre, geometriu, uchytenie a numerické nastavenie a následne ho porovnať s experimentom.

Model teda neurčuje, čo fyzika všeobecne „dovoľuje“, ale čo predpovedá konkrétne matematické zobrazenie konkrétneho experimentu.

Citlivostná analýza môže ukázať, ktoré parametre výsledok ovplyvňujú najviac.

17.2 Modálna analýza

Modálna analýza hľadá vlastné frekvencie telesa a tvary kmitania, ktoré k nim patria. Teleso sa rozdelí na veľký počet malých prvkov, pre každý sa zapíšu vzťahy medzi silou a deformáciou, a výsledná sústava sa rieši ako úloha vlastných hodnôt.

Pre program N1 sú z výstupu podstatné tri údaje: hodnoty vlastných frekvencií, tvary jednotlivých módov, a predovšetkým to, či sa v sledovanom frekvenčnom rozsahu nachádza nesymetrická modálna trieda tvoriaca degenerovaný alebo takmer degenerovaný pár podľa kapitoly N1/09.2.

Práve táto dvojica je predmetom kapitoly N1/09.2. Model dokáže povedať, či existuje, aký má tvar a aká je jej frekvencia - teda presne to, čo meranie potom overuje.

Výstupom je aj rozdiel frekvencií v rámci dvojice. Pri ideálnej symetrickom matematickom modeli sa príslušný degenerovaný pár očakáva pri rovnakej vlastnej frekvencii. Numerická diskretizácia však môže vytvoriť malé zdanlivé rozštiepenie, preto sa pred zavádzaním fyzikálnych porúch vykoná kontrola konvergenzie siete a zachovania symetrie.

Až rozštiepenie, ktoré je stabilné voči zjemňovaniu siete a mení sa reprodukovateľne pri zavedení konkrétnej poruchy symetrie, sa interpretuje ako vlastnosť modelovaného telesa.

17.3 Harmonická analýza

Modálna analýza hovorí, aké módy teleso má. Nehovorí, čo sa stane pri konkrétnom buzení.

Na to slúži harmonická analýza. Do modelu sa zadá budiaca sila v mieste, kde na teleso pôsobí FORKER, s určenou frekvenciou a amplitúdou, a vypočíta sa ustálená odozva.

Z nej vyplýva, ktoré módy sa pri danom buzení vybudia a ako silno. To je dôležité, pretože existencia módu ešte neznamená, že sa vybudí - závisí to od toho, kde a ako sa energia privádza.

Harmonický model obsahuje aj tlmenie, pretože práve ono určuje amplitúdu a šírku odozvy v okolí rezonancie. Hodnota tlmenia sa najprv odhaduje z experimentálne nameraného činiteľa akosti alebo dozvuku a následne sa uvádza ako samostatný vstup modelu.

Harmonická analýza tiež umožňuje overiť trojfázové buzenie podľa kapitoly N1/13.3 predtým, než sa postaví. Zadaním troch priestorovo definovaných harmonických síl s relatívnymi fázami 0° , 120° a 240° možno testovať, akú amplitúdovú a fázovú kombináciu módov takéto ideálne mechanické buzenie vytvorí. Osobitne sa sleduje, či vznikne rotačná superpozícia degenerovaného páru. Pre porovnanie s magnetostriekčným experimentom sa následne použije kalibrovaný vzťah medzi elektrickým buzením cievok a skutočnou mechanickou silou podľa kapitoly N1/13.3.

Harmonická analýza opisuje ustálenú lineárnu odozvu. Impulzné buzenie, priebeh doznievania, prechod medzi modálnymi stavmi alebo prípadné nelineárne javy vyžadujú časovú alebo nelineárnu analýzu a nemožno ich z harmonického riešenia automaticky odvodiť.

17.4 Citlivostná analýza

Citlivostná analýza odpovedá na otázku, ktorý parameter ovplyvňuje výsledok najviac. V prvom kroku sa používa lokálna citlivostná analýza, pri ktorej sa jednotlivé parametre menia samostatne okolo referenčnej geometrie. Tá poskytne deriváciu alebo relatívnu citlivosť sledovanej veličiny na každý parameter.

Parametre s najväčším vplyvom sa následne skúmajú spoločne, aby sa zachytili ich vzájomné interakcie. Pri výrobných toleranciách možno doplniť aj štatistickú simuláciu rozptylu, v ktorej sa geometrické a materiálové odchýlky generujú podľa nameraných alebo výrobných distribúcií.

Pre program N1 je sledovanou veličinou predovšetkým rozštiepenie degenerovaného páru. Zaujíma nás teda, ktorá nesymetria ho rozdeľuje najúčinnejšie.

Kandidátov je niekoľko a ich poradie nie je vopred zrejmé: odchýlka uhla medzi ramenami, rozdielna dĺžka ramien, nerovnomerná hrúbka, tvar prechodu do centrálného uzla, nesymetrické uchytenie a vnútorné pnutie z výroby podľa kapitoly N1/15.7.

Výsledok má priamy praktický dopad. Ak sa ukáže, že rozhodujúca je napríklad rovnomernosť hrúbky a nie presnosť uhla, mení to požiadavky na výrobu aj na kontrolu kusov.

Citlivostná analýza zároveň predpovedá tolerančnú krivku z kapitoly N1/06.8, takže obidve sa dajú porovnať bod po bode.

17.5 Akustické pole v okolí

Predchádzajúce analýzy pracujú s telesom. Pole, ktoré teleso vytvára vo vzduchu, vyžaduje ďalší krok.

Rýchlosti povrchu vypočítané harmonickou analýzou môžu slúžiť ako okrajová podmienka pre výpočet akustického poľa v okolí rezonátora. Výstupom je komplexné rozloženie akustického tlaku a podľa zvoleného modelu aj ďalších veličín poľa v priestore.

Z tohto výpočtu možno priamo predpovedať amplitúdovú a fázovú štruktúru poľa podľa kapitol N1/09 a N1/10. Porovnanie s kymatickým obrazcom je nepriamym testom a vyžaduje osobitný model väzby medzi akustickým poľom, kvapalinou, nádobou a voľnou hladinou.

Model tak umožňuje zapísať očakávaný výsledok pred meraním. Predikcia zapísaná vopred je to, čo odlišuje experiment od predvádzania.

17.6 Známe limity modelu

Model potrebuje vstupy, ktoré nie sú presne známe, a treba to priznať skôr, než sa objaví nesúlad s meraním.

- Modul pružnosti konkrétneho kusu sa líši od tabuľkovej hodnoty a medzi šaržami sa mení.
- Vnútorne pnutie po obrábaní sa dá odhadnúť len približne.
- Tlmenie sa v modeli zadáva ako súčiniteľ a jeho hodnota sa najskôr určuje z merania dozvuku.
- Okrajová podmienka v mieste uchytenia je notoricky najhoršie modelovateľnou časťou takejto úlohy. Skutočný držiak nie je ani dokonale tuhý, ani dokonale voľný.

Očakávaná presnosť sa neurčuje všeobecným percentom, ale empiricky z validačnej série. Jemné rozštiepenie degenerovaného páru je však presne tou veličinou, ktorá je najcitlivejšia na to, čo model pozná najhoršie.

Z toho vyplýva postup:

Validácia modelu sa oddeľuje od jeho kalibrácie.

V kalibračnej fáze sa na vopred určenej podmnožine vzoriek spresnia nieisté vstupné parametre, napríklad efektívne elastické vlastnosti, tlmenie alebo mechanická impedancia uchytenia. Rozsah parametrov, ktoré možno takto upravovať, a kritérium zhody sa určia pred kalibráciou.

Po kalibrácii sa tieto parametre zmrazia. Model sa potom testuje na nezávislej validačnej sade vzoriek, ktoré do kalibrácie nevstúpili. Zhoda na validačnej sade je rozhodujúcou mierou predikčnej schopnosti modelu.

Až po úspešnej validácii sa model používa na predikciu vlastností geometrie alebo vzoriek, ktoré ešte neboli vyrobené.

17.7 Nástroje a otvorenosť

Výpočty sa dajú vykonať v otvorených nástrojoch, takže ich zopakovanie nevyžaduje platenú licenciu. To je pre replikáciu podstatné rovnako ako zverejnenie dát.

Spolu s výsledkami sa preto zverejňujú aj vstupné súbory, sieť prvkov, materiálové parametre a výpočtové skripty. Bez nich sa výpočet nedá zopakovať a jeho uvedenie by malo hodnotu tvrdenia, nie výsledku. Spolu so vstupnými súbormi sa zaznamenáva verzia a nastavenie solvera, typ prvkov, konvergenčné tolerancie a spôsob generovania siete. Pri opakovaní výpočtu totiž môže rozdiel vzniknúť aj z numerického nastavenia, nie iba z fyzikálneho modelu.

Konvergenca sa neposudzuje iba podľa vlastnej frekvencie, ale pri kritických úlohách aj podľa modálneho tvaru, rozštiepenia Δf a vybraných lokálnych veličín v oblasti centrálného uzla.

Súčasťou zverejnenia je aj údaj o hustote siete a o tom, ako sa výsledok mení pri jej zjemnení. Ide o štandardnú kontrolu, ktorá hovorí, či je výsledok vlastnosťou telesa alebo vlastnosťou výpočtu.

17.8 Rozpočtová položka

Výpočtový model má v rozpočte vlastný riadok. Zahŕňa čas špecialistu na modálnu analýzu, výpočtový výkon a validačné merania, bez ktorých model nemá výstup.

Uvádza sa spolu s ostatnými položkami v kapitole N1/19 a jeho zaradenie do rozpočtu je súčasťou zásady, že výskum sa začína financovaním.

Nástroje sa uvádzajú triedou, nie konkrétnou verziou. Dôvod je praktický: verzia zapísaná v dokumente je o rok neaktuálna, kým trieda nástroja a požiadavky na neho zostávajú platné. Konkrétne verzie sa zapisujú do protokolu pri každom behu a zverejňujú sa spolu s výsledkom podľa kapitoly N1/17.7.

Použije sa otvorený nástroj pre metódu konečných prvkov so schopnosťou modálnej a harmonickej analýzy, generátor siete umožňujúci riadené zjemnenie v okolí uzla, a prostredie na spracovanie výsledkov so skriptovacím rozhraním. Pre akustické pole v okolí telesa sa použije riešič, ktorý zvláda väzbu pružného telesa a okolitého prostredia.

Rozsah validačnej série je daný vzorkovou sériou podľa kapitoly N1/15.8. Model sa kalibruje na vopred určenej kalibračnej sade tvorenej materiálovou a tolerančnou vetvou, spolu na štrnástich kusoch. Po zmrazení kalibrovaných parametrov sa jeho predikčná schopnosť overuje na topologickej a mierkovej vetve, spolu na pätnástich kusoch, ktoré do kalibrácie nevstupujú. Toto rozdelenie je podmienkou toho, aby zhoda modelu s meraním predstavovala nezávislé overenie jeho predikčnej schopnosti.

Kontrolná vetva sa používa na samostatné overenie materiálových a magnetických kontrol a nie je súčasťou kalibrácie ani hlavného validačného skóre modelu.

Rozpočtová položka zahŕňa čas špecialistu na modálnu analýzu podľa EQ-N1-26 a výpočtový výkon podľa EQ-N1-25 a EQ-N1-30. Licencie sa nerozpočítavajú, pretože sa použijú otvorené nástroje.

17.9 Výpočtová infraštruktúra

Program vytvára dáta v rozsahu, ktorý sa nedá spracovať priebežne a ručne. Vzniká záznam z viackanálového merania, z laserového vibrometra, z vysokorýchlostnej kamery, z obrazovej analýzy kryštálov a z výpočtových modelov, k tomu meracie protokoly, poznámky z priebehu a dokumentácia postupu. Objem obrazových a zvukových záznamov prevyšuje objem číselných dát o niekoľko rádov.

Nóda preto obstaráva vlastnú výpočtovú infraštruktúru s lokálne prevádzkovanými modelmi strojového učenia a generatívnej AI. Jej úlohou je

predspracovanie a triedenie záznamov, prevod meraní do podoby, ktorá sa dá porovnávať naprieč sériami, príprava podkladov pre dokumentáciu a podpora koordinácie výskumu vrátane práce s textom, tabuľkami, obrazom a zvukom.

Prevádzka je lokálna z troch dôvodov. Nezverejnené merania neopúšťajú pracovisko. Výpočet nezávisí od dostupnosti a podmienok vonkajšej služby, čo je pri viacročnom programe podstatné. A postup sa dá zopakovať, pretože pri každom výstupe vytvorenom s podporou AI sa zaznamenáva identifikácia modelu a jeho váh, verzia inferenčného prostredia, relevantné parametre generovania, verzia vstupnej šablóny alebo promptu a použitý predspracovací postup. Ak má byť výstup reprodukovateľný, nestačí poznať iba názov modelu. Pri vonkajšej službe sa model môže zmeniť bez oznámenia, čím sa poruší zopakovateľnosť rovnako, ako keby sa zmenil merací prístroj.

Prevádzkujú sa modely s otvorenými váhami. Uzavreté modely, ktorých váhy sa nezverejňujú, lokálne spustiť nemožno; rozdiel v schopnostiach medzi najlepším otvoreným a najlepším uzavretým modelom sa v dokumente nezastiera a berie sa ako daná podmienka.

Zostava zahŕňa tri rozpočtové položky:

- EQ-N1-30, inferenčný server s viacerými výpočtovými kartami a pamäťou postačujúcou pre modely s otvorenými váhami.
- EQ-N1-31, racková skriňa so zálohovaným napájaním a chladením.
- EQ-N1-32, sieťová infraštruktúra a úložisko pre multimediálne dáta.

Zostava je zároveň prípravou infraštruktúry na prípadné budúce prepojenie s multirezonančnou komorou AURIS, ktorej opis je súčasťou dokumentu N3. V rozsahu nódy N1 sa toto prepojenie neuskutočňuje a žiadna položka rozpočtu N1 sa oň neopiera; uvádza sa preto, aby sa infraštruktúra nenavrhlá spôsobom, ktorý by ho neskôr vylúčil.

Prevádzkové náklady tejto zostavy, teda elektrina, chladenie a externá technická podpora, sú vedené samostatnými riadkami v kapitole N1/19.7. Pri nepretržitom chode nejde o zanedbateľnú položku a schovávať ju do nájmu a energií pracoviska by skresľovalo obraz o skutočných nákladoch.

Výsledky, ktoré vzniknú s podporou AI, podliehajú rovnakému epistemickému registru ako ostatné tvrdenia v dokumente podľa kapitoly N1/01.3. Interpretácia navrhnutá modelom sa bez overenia nestáva výsledkom. AI sa nepoužíva ako autoritatívny rozhodovací prvok pri klasifikácii hypotézy. Môže navrhovať analýzu, detegovať kandidátne vzory alebo pripravovať podklady, ale rozhodujúci výstup musí byť spätne odvoditeľný z meraných dát a definovaného analytického postupu.

18 BEZPEČNOSŤ, DOZIMETRIA A ETIKA

Skôr než sa niečo začne používať, musí sa vedieť, čo to robí v kontrolovanom prostredí. Táto kapitola stojí pred aplikáciou, nie za ňou.

18.1 Prečo bezpečnosť predchádza aplikácii

Rezonátor je predmet, ktorý sa drží v ruke, prikladá k telu a vydáva zvuk v priamej blízkosti človeka. Ide teda o zariadenie schopné prenášať akustickú alebo mechanickú energiu do tela používateľa, a to bez ohľadu na to, do akej miery je používateľ schopný si toto pôsobenie fyzicky uvedomiť.

Táto kapitola preto nestojí na konci dokumentu ako doplnok, ale pred aplikačnými úvahami. Jej cieľom je stanoviť, čo sa musí zmerať a doložiť skôr, než sa rezonátor dostane do rúk komukoľvek mimo tímu.

Predmetom kapitoly nie je preukázanie prospešnosti. Cieľom je charakterizovať expozíciu, identifikovať známe riziká, overiť splnenie príslušných bezpečnostných kritérií a pomenovať neistoty, ktoré zostávajú otvorené.

18.2 Nárok na účinok je zároveň nárokom na riziko

Táto zásada je pre celý dokument určujúca a formuluje sa takto: ak zariadenie dokáže v tele niečo zmeniť, dokáže to zmeniť aj nežiaducim smerom.

Dôsledok je nepríjemný pre každého, kto o svojom výrobku tvrdí, že má fyziologický účinok. Tvrdením o účinku totiž zároveň tvrdí, že zariadenie je fyziologicky aktívne - a tým na seba berie povinnosť doložiť, že jeho pôsobenie je bezpečné.

Každé tvrdenie o fyziologickom účinku zároveň vytvára požiadavku na charakterizáciu dávky, mechanizmu expozície a možných nežiaducich účinkov.

Z toho vyplýva postoj programu N1. Kým nie je doložené, ako a s akou intenzitou pole na tkanivo pôsobí, neuvádza sa žiadny fyziologický účinok a zariadenie sa nedáva do rúk verejnosti.

Pri očakávaných prevádzkových úrovniach sa závažné poškodenie nepovažuje za pravdepodobné, tento predpoklad však nenahrádza dozimetrické meranie ani sledovanie fyziologickej odozvy.

Za prirodzenú súčasť bezpečnostného postupu sa považuje aj kontrolovaná štúdia expozície človeka. Samotná fyzikálna dozimetria dokáže určiť, akému akustickému a mechanickému pôsobeniu je osoba vystavená, nedokáže však sama preukázať, či pri tejto expozícii nevzniká fyziologická odozva.

V rozsahu N1 sa preto vykonáva bezpečnostná expozično-fyziologická štúdia zameraná na akútne a oneskorené reakcie na presne definovanú dávku. Jej cieľom nie je preukazovať zdravotný prínos ani terapeutický účinok. Cieľom je zistiť, či

expozícia spôsobuje reprodukovateľnú fyziologickú zmenu, identifikovať prípadné nežiaduce udalosti a určiť podmienky, pri ktorých sa ďalší výskum môže vykonávať bezpečne.

Každá expozícia sa preto spája s fyzikálnou dozimetriou a s vopred definovaným súborom fyziologických a subjektívnych ukazovateľov. Sleduje sa stav pred expozíciou, počas nej, bezprostredne po nej a podľa protokolu aj s časovým odstupom. Neočakávané udalosti sa zaznamenávajú bez ohľadu na to, či sa v okamihu pozorovania považujú za pravdepodobne súvisiace s expozíciou.

Časová následnosť sa sama osebe nepovažuje za dôkaz príčinnosti. Jednotlivé pozorovanie môže byť podnetom na vytvorenie hypotézy, ktorú možno následne testovať kontrolovaným a podľa možnosti zaslepeným postupom.

Rozšírené skúmanie biologických mechanizmov, dlhodobej fyziologickej adaptácie, zdravotného prínosu alebo klinickej účinnosti patrí do dokumentu N3. N1 vytvára jeho bezpečnostný a dozimetrický základ.

18.3 Tri cesty expozície

Pre potreby dozimetrie sa rozlišujú tri expozičné situácie, ktoré sa merajú a hodnotia oddelene. Hoci sa všetky môžu v konkrétnom použití kombinovať, každá predstavuje inú cestu prenosu energie a vyžaduje vlastný spôsob charakterizácie.

- Vzduchom - ako akustická expozícia pôsobiaca najmä na sluchový aparát a povrch tela.
- Kontaktom cez rúčku - ako mechanické vibrácie prenášané do ruky a sústavy ruka-rameno.
- Kontaktom pri priložení - ako lokálny mechanický prenos do konkrétneho miesta tela.

Zámena týchto situácií je zdrojom nesprávnych záverov. Meranie hladiny zvuku necharakterizuje kontaktnú expozíciu a meranie vibrácií na rúčke necharakterizuje celé akustické pole. Jednotlivé zložky sa preto merajú a uvádzajú samostatne a až následne sa posudzuje ich spoločná expozícia.

18.4 Expozícia vzduchom

Meria sa hladina akustického tlaku v miestach zodpovedajúcich polohe hlavy exponovanej osoby a jej priebeh v čase. Merací reťazec musí byť vhodný pre sledované frekvenčné pásmo a pri meraniach v počuteľnom rozsahu spĺňať požiadavky normy IEC 61672-1 pre zvukomery [58]. Norma definuje dve triedy presnosti; trieda 1 je prísnejšia a zodpovedá položke EQ-N1-05.

Hodnotenie hlukovej expozície a jej vzťahu k riziku poškodenia sluchu sa vykonáva podľa príslušných noriem a právnych predpisov platných v krajine pracoviska, vrátane ISO 1999 [59] a relevantných európskych alebo národných požiadaviek.

Zaznamenáva sa najmenej hladina, spektrálne zloženie, doba pôsobenia, vzdialenosť od zdroja, orientácia zdroja a poloha meracieho bodu. Osobitne sa mapuje aj bezprostredné okolie hrotov ramien, kde sa môže lokálna hladina od hodnoty v polohe hlavy výrazne líšiť.

Pri meraniach zasahujúcich do nízkofrekvenčného alebo infrazvukového pásma sa nespolieha iba na A-váženú hladinu. Zaznamenáva sa aj nevážené alebo vhodne frekvenčne členené spektrum, aby nízkofrekvenčné zložky neboli potlačené použitou váhovou krivkou.

18.5 Kontaktný prenos do ruky

Držanie kmitajúceho predmetu predstavuje samostatnú mechanickú expozíciu. Postup hodnotenia vibrácií prenášaných na ruku a rameno stanovuje ISO 5349-1 [60]; mechanickú odozvu sústavy ruka-rameno opisuje ISO 10068 [61]. ISO 5349-1 pritom neurčuje rozsah, v ktorom by bolo možné vylúčiť vznik vibračného poškodenia, a hodnoty odvodené z normy sa preto nepovažujú za absolútnu hranicu bezpečnosti.

Dlhodobá expozícia vibráciám prenášaným rukou môže poškodzovať cievne, nervové a muskuloskeletálne štruktúry. Pri N1 sa preto kontaktná expozícia zaznamenáva aj vtedy, keď je jednotlivé meranie krátke.

Meria sa zrýchlenie na povrchu ruky v troch osiach, jeho spektrum a frekvenčne vážená hodnota podľa príslušného postupu normy. Zaznamenáva sa aj doba držania, poloha úchopu, sila úchopu, spôsob budenia a použitá vzorka.

Poloha úchopu ovplyvňuje prenesenú dávku podľa kapitoly N1/14.12. Rovnaký rezonátor držaný v oblasti mechanického minima a v oblasti väčšej amplitúdy pohybu môže predstavovať odlišnú expozíciu. Poloha úchopu je preto súčasťou každého meracieho protokolu.

18.6 Prenos do tela pri priložení

Pri priamom priložení rezonátora na telo vzniká lokálna kontaktná expozícia, ktorá sa od držania v ruke líši miestom vstupu energie, kontaktnou plochou aj mechanickou impedanciou tkaniva.

ISO 2631-1 [63] poskytuje metodický rámec pre vibrácie prenášané na celé telo, nemožno ju však automaticky použiť ako limit pre lokálne bodové priloženie rezonátora. Pre lokálny kontakt sa preto zaznamenáva skutočné zrýchlenie a jeho spektrum, kontaktná sila, plocha kontaktu, orientácia, čas expozície a anatomické miesto.

Prenos do hĺbky sa v rámci N1 najprv charakterizuje na mechanickom fantóme alebo inom kontrolovanom modeli tkaniva. Meranie na človeku sa vykonáva až v rámci schváleného expozičného protokolu podľa kapitoly N1/18.12.

Kontakt s kosťou môže vytvoriť odlišnú a účinnejšiu cestu mechanického prenosu než kontakt iba s mäkkým tkanivom, preto sa hodnotí samostatne. Priloženie v blízkosti hlavy, krčnej chrbtice, veľkých ciev alebo iných citlivých

oblastí sa nevykonáva, kým pre takúto expozíciu nie je definovaný a odborné posúdený protokol.

18.7 Mechanizmy, ktoré treba preveriť alebo vylúčiť

Nasledujúce mechanizmy predstavujú možné cesty biologického pôsobenia mechanickej alebo akustickej expozície. Ich uvedenie neznamena, že sa pri triaurálnom rezonátore vyskytujú. Každý sa posudzuje podľa skutočne nameranej dávky a podľa rozsahu konkrétneho experimentu.

- Ohrev absorpciou - jeho veľkosť závisí od intenzity, frekvencie, doby expozície a vlastností exponovaného média. Pri N1 sa nepredpokladá vopred jeho veľkosť; prípadná teplotná zmena sa stanovuje meraním podľa kapitoly N1/11.9.
- Kavitácia - jej vznik závisí najmä od amplitúdy akustického tlaku, frekvencie, vlastností kvapaliny a prítomnosti nukleačných jadier. Pri očakávaných prevádzkových amplitúdach sa nepovažuje za pravdepodobný mechanizmus, pri zvyšovaní výkonu sa však jej neprítomnosť overuje experimentálne.
- Mechanotransdukcia - bunková odozva na mechanický podnet je známy biologický jav, vzťah medzi konkrétnou dávkou triaurálnej expozície a bunkovou odozvou však N1 nepredpokladá ani neurčuje. Ak sa bude skúmať, patrí do samostatného biologického protokolu.
- Vestibulárna odozva - mechanická alebo akustická expozícia môže za určitých podmienok vyvolať závrat, nystagmus, nevoľnosť alebo poruchu rovnováhy. Takýto prejav sa zaznamenáva ako nežiaduca udalosť a je dôvodom na okamžité prerušenie expozície.
- Nízkofrekvenčná mechanická odozva tela - pri režimoch v jednotkách až desiatkach hertzov sa môžu uplatniť rezonančné alebo zosilnené mechanické odozvy jednotlivých častí tela. Táto otázka sa netýka bežného počuteľného režimu, ale posudzuje sa pri nízkofrekvenčnom oscilačnom režime podľa kapitoly N1/03.3.

Ak sa počas výskumu objaví iný reprodukovateľný biologický alebo fyziologický jav, ktorý do uvedených kategórií nezapadá, nezaraďuje sa dodatočne pod najbližší známy mechanizmus. Zaznamená sa ako otvorená pozorovaná skutočnosť a skúma sa samostatne.

18.8 Predbežné kontraindikácie a vylučovacie kritériá

Do doloženia bezpečnosti sa zámerná expozícia nevykonáva u osôb, pri ktorých by mechanické, akustické alebo súvisiace experimentálne pôsobenie mohlo predstavovať zvýšené riziko. Zoznam je pracovný a pred prvou štúdiou na ľuďoch ho posudzuje odborný lekár a etická komisia.

- Epilepsia alebo iné záchvatové stavy, ak ich odborný posudok vyhodnotí ako relevantné pre použitý protokol.

- Kardiostimulátory, implantované defibrilátory a iné aktívne implantáty pri experimentoch obsahujúcich magnetické alebo elektromagnetické prvky.
- Známa trombóza, stav po embólii alebo iný stav, pri ktorom by mechanická expozícia mohla predstavovať zvýšené riziko.
- Tehotenstvo, kým nie je pre konkrétny typ expozície k dispozícii osobitné odborné posúdenie.
- Významné vestibulárne poruchy, opakované závraty alebo aktuálny ušný šelest pri protokoloch, ktoré môžu zaťažovať sluchový alebo vestibulárny systém.
- Čerstvé rany, zlomeniny, pooperačné stavy alebo akútne bolestivé procesy v mieste plánovaného kontaktu.

Kontraindikácia sa nevyvodzuje iba z názvu diagnózy. Rozhodujúce je odborné posúdenie konkrétneho expozičného protokolu, použitého zariadenia a dávky.

18.9 Riziká výskumnej prevádzky

Okrem expozície samotným rezonátorom vznikajú pri meraniach riziká spojené s použitým laboratórnym vybavením. Tie sa posudzujú samostatne a zahŕňajú najmenej:

- Vysoké napätie pri elektrostatickom budení podľa kapitoly N1/13.2 - zásah elektrickým prúdom, energia nabitých kondenzátorov, výboje, vznik ozónu a riziko zapálenia.
- Silné permanentné magnety podľa kapitoly N1/13.6 - priškrpnutie, prudké pritiahnutie feromagnetických predmetov, poškodenie implantátov alebo prístrojov a riziko úlomkov pri poškodení krehkých magnetov.
- Laserové zdroje pri vizualizácii podľa kapitol N1/10.5 a N1/10.13 - riziko pre zrak a potreba kontrolovaného priestoru zväzku.
- Výbojové a plazmové zostavy - vysoké napätie, ultrafialové žiarenie, tepelné zaťaženie a tlakové alebo mechanické riziko nádoby.
- Aerosóly, chemikálie a kvapalné vzorky - inhalácia, kontakt s pokožkou, rozliatie a kontaminácia pracoviska.
- Pohyblivé mechanické zostavy, rotačné ramená alebo automatizované polohovanie - riziko nárazu, zachytenia alebo kolízie.

Pre každú zostavu sa pred prvým použitím vytvorí stručné hodnotenie rizika, prevádzkový postup, zoznam ochranných prostriedkov a núdzový postup.

18.10 Dozimetrický a expozičný protokol

Aby boli údaje porovnateľné medzi meraniami, zaznamenáva sa pri každej sérii rovnaká základná sada veličín. Protokol sa rozširuje podľa použitej expozičnej situácie.

- Hladina akustického tlaku, spektrum a časový priebeh vo vymedzených meracích bodoch.
- Zrýchlenie a spektrum vibrácií na rúčke v troch osiach a pri lokálnom kontakte aj v mieste priloženia.
- Doba pôsobenia, počet opakovaní, intervaly medzi expozíciami a režim budenia.
- Teplota vzorky, kontaktného miesta alebo fantómu podľa charakteru experimentu.
- Vzdialenosť, poloha a orientácia rezonátora voči exponovanej osobe alebo fantómu.
- Použitá vzorka rezonátora, materiál, vlastná frekvencia, spôsob uchytienia a budiaci režim.
- Subjektívne alebo fyziologické udalosti zaznamenané podľa schváleného protokolu, bez predbežného rozhodovania o ich príčinnej súvislosti.

Namerané hodnoty sa zverejňujú spolu s ostatnými experimentálnymi dátami v rozsahu, ktorý neporušuje ochranu osobných a zdravotných údajov. Dozimetria umožňuje nezávislému čitateľovi posúdiť skutočnú expozíciu bez odkázanosti na slovné uistenie výrobcu alebo výskumného tímu.

18.11 Zdravotný dohľad nad pracovníkmi

Účastník experimentu podstupuje presne definovanú jednotlivú expozíciu. Pracovník laboratória môže byť vystavený nízkym alebo nepriamym expozíciám opakovane počas mesiacov a rokov. Z hľadiska kumulatívnej dávky preto môže byť tím osobitnou rizikovou skupinou.

Pre pracovníkov sa vedie kumulatívny expozičný záznam a zavádza sa zdravotný dohľad podľa zásad pracovného lekárstva. Nejde o experimentálne používanie pracovníkov ako pokusných osôb; pracovník sa nikdy nepovažuje za automaticky dostupný subjekt iba preto, že sa nachádza na pracovisku.

Dohľad má najmenej tri zložky:

- Vstupné odborné vyšetrenie pred začiatkom pravidelnej práce s experimentálnymi zdrojmi, ktoré stanoví východiskový stav.
- Pravidelné kontroly v intervale určenom lekárom pracovného lekárstva a podľa charakteru skutočnej expozície.
- Priebežný expozičný a symptomatický záznam obsahujúci dátum, trvanie, použitú zostavu, expozičný režim a každú novú alebo neobvyklú zmenu zdravotného stavu, aj keď sa v čase zápisu nepovažuje za súvisiacu.

Rozsah vyšetrení určuje lekár pracovného lekárstva. Program N1 poskytne úplný opis expozičných ciest a merané dávky, aby bolo možné rozsah dohľadu prispôbiť reálnemu riziku.

Údaje o zdravotnom stave podliehajú ochrane zdravotných a osobných údajov a nezverejňujú sa v identifikovateľnej podobe. Zverejniť možno iba anonymizovaný rozsah dohľadu a metodiku.

Ak sa u pracovníka objaví zmena, ktorá môže s expozíciou súvisieť alebo predstavuje zdravotné riziko, práca s príslušnou expozíciou sa prerušuje do odborného posúdenia.

18.12 Etický rámec výskumu na ľuďoch

Každá prospektívna štúdia, pri ktorej je človek zámerne vystavený poľu a súčasne sa zaznamenáva jeho fyziologická alebo subjektívna odozva na výskumné účely, sa v rámci programu N1 považuje za výskum na ľuďoch.

V N1 sa môže vykonávať kontrolovaná bezpečnostná expozično-fyziologická štúdia. Jej cieľom nie je preukazovať zdravotný prínos ani terapeutický účinok. Cieľom je zistiť, či presne definovaná expozícia vyvoláva reprodukovateľnú akútnu alebo oneskorenú fyziologickú zmenu, identifikovať možné nežiaduce udalosti a určiť podmienky, pri ktorých možno pokračovať v ďalšom výskume.

Pred začatím takejto štúdie sa protokol predkladá na nezávislé etické posúdenie podľa pravidiel platných v krajine pracoviska. Program N1 uplatňuje tento postup aj v prípade pochybnosti o tom, či konkrétny rozsah merania formálne podlieha povinnému schváleniu.

Podmienkou účasti je informovaný súhlas. Účastník je oboznámený s experimentálnou povahou zariadenia, známymi aj neznámymi rizikami, rozsahom zberu údajov, možnosťou kedykoľvek expozíciu ukončiť a skutočnosťou, že zariadenie nie je zdravotníckou pomôckou ani overenou terapeutickou metódou.

Protokol sa pred začatím zberu dát predregistruje. Vopred sa určia expozičné úrovne, trvanie, počet opakovaní, sledované ukazovatele, kontrolné alebo sham podmienky, kritériá prerušenia, spôsob zaznamenávania nežiaducich udalostí a plán analýzy.

Každá expozícia sa spája s fyzikálnou dozimetriou a s vopred definovaným súborom fyziologických a subjektívnych ukazovateľov. Podľa protokolu sa sleduje stav pred expozíciou, počas nej, bezprostredne po nej a v určených časových bodoch po skončení expozície, aby bolo možné zachytiť aj oneskorené reakcie.

Expozícia sa začína na najnižšej úrovni potrebnej na vykonanie merania a zvyšuje sa iba podľa vopred definovaného protokolu. Výskumník ani účastník nezvyšuje dávku improvizovane na základe subjektívne priaznivého pocitu alebo absencie okamžitého účinku.

Výskyt novej alebo neobvyklej fyziologickej zmeny sa zaznamenáva ako nežiaduca udalosť bez predbežného rozhodovania o príčinnej súvislosti.

Časová následnosť sama osebe nie je dôkazom kauzality, avšak jednotlivé pozorovanie môže vytvoriť hypotézu, ktorá sa následne testuje kontrolovaným a podľa možnosti zaslepeným postupom.

Meranie biologickej odozvy v N1 slúži bezpečnostnej a expozičnej charakterizácii. Rozšírené skúmanie biologických mechanizmov, dlhodobej adaptácie, zdravotného prínosu alebo klinickej účinnosti patrí do dokumentu N3. N1 nepredpokladá, že merateľná biologická alebo fyziologická odozva existuje. Rovnako nepredpokladá, že neexistuje. Preto ju v rozsahu bezpečnostného protokolu meria.

18.13 Postup pred prístupnením mimo výskumného tímu

Rezonátor sa mimo výskumného tímu nesprístupňuje na zámerné použitie, kým nie sú splnené všetky podmienky primerané danému režimu expozície.

- Dozimetria podľa kapitoly N1/18.10 je vykonaná a zdokumentovaná.
- Namerané hodnoty sú porovnané s aktuálne platnými normami, odporúčaniami a právnymi požiadavkami pre príslušnú jurisdikciu.
- Predbežné kontraindikácie a vylučovacie kritériá boli posúdené odborným lekárom pre plánovaný spôsob použitia.
- Pre zariadenie je pripravený návod uvádzajúci spôsob použitia, maximálny expozičný režim, podmienky prerušenia a jasné vymedzenie toho, čo zariadenie nie je a čo o ňom nebolo preukázané.
- Je zdokumentované, ktoré rizikové mechanizmy z kapitoly N1/18.7 boli experimentálne preverované, pri ktorých sa za testovaných podmienok neprejavil merateľný účinok a ktoré zostávajú otvorené.
- Ak je súčasťou použitia zámerná expozícia človeka na výskumné účely, existuje schválený etický protokol podľa kapitoly N1/18.12.

Nesplnenie ktorejkoľvek relevantnej podmienky znamená, že sa daný režim použitia nesprístupní. Postup sa neskracuje ani vtedy, keď sa priebežné výsledky javia priaznivo.

Dodržanie dnes známych limitov sa považuje za nutnú podmienku, nie za dôkaz absolútnej bezpečnosti. Limit možno stanoviť iba pre riziko, ktoré bolo rozpoznané a dostatočne charakterizované. Expozícia sa preto udržiava na najnižšej úrovni, pri ktorej možno spoľahlivo merať sledovaný jav, a nezvyšuje sa iba preto, že to formálny limit ešte umožňuje.

Praktickým dôsledkom je dôsledná evidencia. Zaznamenávajú sa aj parametre, ktorých význam dnes nemusí byť zrejmý, pokiaľ ich možno rozumne merať bez narušenia experimentu. Záznam možno spätne vyhodnotiť; chýbajúci údaj nie.

Tento dokument pri každej norme uvádza jej identifikáciu a oblasť použitia. Konkrétne prevádzkové limitné hodnoty sa nepreberajú ako trvalo záväzné čísla. Pri zriaďovaní pracoviska sa čerpajú z aktuálne platného znenia normy alebo právneho predpisu v príslušnej jurisdikcii a zapisujú sa do prevádzkového poriadku spolu s označením zdroja a vydania.

Obstaranie príslušných noriem a odborných podkladov sa vedie ako samostatná položka prevádzkových nákladov v kapitole N1/19.7.

18.14 Vzdušný ultrazvuk

Mierková vetva podľa kapitoly N1/09.12 posúva pracovné pásmo nad hranicu počuteľnosti. Bezpečnostné posúdenie sa tým mení a vzdušný ultrazvuk sa preto hodnotí samostatne.

Pre vzdušný ultrazvuk nie je metodická a regulačná situácia totožná s bežným počuteľným hlukom. V literatúre a odporúčaniach sa používajú frekvenčne členené expozičné úrovne, pričom podklad pre niektoré historicky používané hranice je slabší než pri štandardnej hlukovej expozícii. V N1 sa preto s odporúčaniami pracuje ako s najlepším dostupným referenčným rámcom, nie ako s dôkazom úplnej bezpečnosti.

Historické, národné a novšie medzinárodné odporúčania a hodnotenia citované v zdrojoch [64]-[66] pracujú s výrazne odlišnými referenčnými úrovňami v okolí hornej hranice počuteľnosti a vo vyššom ultrazvukovom pásme. Číselné hodnoty uvedené v zdrojovej literatúre slúžia v tomto dokumente na vysvetlenie prudkej zmeny hodnotenia medzi pásmami; záväzný prevádzkový limit sa vždy preberá z aktuálne platného predpisu alebo odporúčania v krajine pracoviska.

Rozhodujúcim bezpečnostným parametrom nie je iba nosná alebo základná frekvencia zdroja. Pri nelineárnom buzení alebo nelineárnej odozve sústavy môžu vzniknúť harmonické, subharmonické, rozdielové alebo iné spektrálne zložky, ktoré zasiahnu nižšie ultrazvukové alebo počuteľné pásmo. Preto sa nesmie vyhodnocovať iba úzký interval okolo pracovnej frekvencie.

Hladina sa vyhodnocuje v tretinooktávových alebo primerane úzkych pásmach naprieč celým relevantným rozsahom vrátane hornej časti počuteľného pásma. Osobitne sa sledujú všetky neúmyselné spektrálne zložky, pretože práve tie môžu podliehať prísnejšiemu hodnoteniu než samotná pracovná frekvencia.

Pri bezpečnostnom monitorovaní sa zaznamenávajú aj akútne subjektívne prejavy, napríklad bolesť hlavy, nevoľnosť, ušný šelest, pocit tlaku v uchu, únava alebo porucha rovnováhy. Ich výskyt sa neinterpretuje automaticky ako účinok ultrazvuku; zaznamenáva sa ako nežiaduca udalosť a porovnáva sa s dávkou, kontrolnou podmienkou a ďalšími zdrojmi hluku.

Pre ultrazvukovú vetvu sa uplatňujú najmenej tieto opatrenia:

- Meranie frekvenčne členeného spektra pred každou sériou a po každej zmene výkonu, geometrie alebo budiaceho režimu.
- Prevádzka v kontrolovanom priestore s overenou akustickou úpravou pre skutočne používané frekvenčné pásmo.
- Diaľkové ovládanie a sledovanie experimentu mimo hlavného expozičného priestoru vždy, keď to experiment umožňuje.
- Použitie vhodnej ochrany sluchu pri nevyhnutnom vstupe počas chodu, pričom sa posudzuje jej reálny útlm v relevantnom frekvenčnom rozsahu.
- Zákaz prítomnosti osôb, ktoré nie sú súčasťou schváleného merania alebo obsluhy.

- Okamžité prerušenie expozície pri výskyte vestibulárnych, sluchových alebo iných neočakávaných príznakov.

Kontraindikácie podľa kapitoly N1/18.8 sa na túto vetvu uplatňujú podľa odborného posúdenia a dopĺňajú sa o všetky stavy, pri ktorých môže byť ultrazvuková alebo sprievodná počuteľná expozícia riziková.

19 VYBAVENIE A ODHADOVANÉ NÁKLADY

Čo je potrebné na kvalitné meranie a čo to stojí.

19.1 Ako je rozpočet zostavený

Rozpočet vychádza z meraní opísaných v predchádzajúcich kapitolách. Každá položka je viazaná na konkrétny experiment, takže sa dá dohľadať, načo slúži, a pri prípadnom obmedzení rozsahu je zjrejmé, ktoré merania odpadnú.

Položky sú označené v tvare EQ-N1-xx a v tejto podobe sa uvádzajú aj v prílohách, takže sa dá na ne odkazovať jednotlivo.

Rozpočet používa ceny vrátane dane ako konzervatívny spoločný základ; konečné daňové zaobchádzanie sa upraví podľa právnej formy a jurisdikcie pracoviska. Pri prístrojoch sa uvádza rozpätie, pretože rozdiel medzi základným a laboratórnym vyhotovením býva niekoľkonásobný.

Lokalita pracoviska nie je určená. Pri nájme, energiách, zdravotnom dohľade a časti služieb zahŕňa uvedené rozpätie aj rozdiel cenových hladín medzi možnými lokalitami. Mzdové náklady sú v tejto fáze vedené ako jeden referenčný personálny model; po výbere pracoviska sa prepočítajú podľa miestnych mzdových, odvodových a daňových podmienok. Pri meracích prístrojoch je geografický rozdiel menší než pri mzdách a nájme, pretože základná obstarávacía cena býva určovaná medzinárodným trhom. Konečná cena však môže zahŕňať dopravu, clo, daň, servisné podmienky a kurzové rozdiely.

Výsledná výška nákladov sa spresní po výbere lokality podľa kapitoly N1/20. Dovtedy sa rozpočet uvádza ako rozpätie a považuje sa za hrubý odhad.

19.2 Rozsah vybavenia

Pracovisko sa navrhuje ako plne vybavené a sebestačné. Kľúčové vybavenie sa obstaráva tak, aby priebeh ani výsledok meraní neboli závislé od krátkodobej dostupnosti cudzej komory, voľných kapacít iného laboratória alebo ochoty tretej strany poskytnúť službu.

Merania opísané v tomto dokumente vyžadujú opakovanie, dlhé série a možnosť vrátiť sa k zostave po týždňoch v nezmenenom stave. Pri externom alebo zdieľanom pracovisku nemožno automaticky zaručiť dlhodobú dostupnosť, stabilitu konfigurácie a možnosť opakovať meranie v ľubovoľnom čase. Pre základnú výskumnú infraštruktúru N1 sa preto preferuje vlastné pracovisko a vlastné kľúčové meracie vybavenie.

Rozpočet nepočíta s externým nahrádzaním kľúčovej výskumnej infraštruktúry, ktorú treba mať dlhodobu dostupnú. Špecializované jednorazové úkony, ako presné obrábanie, žíhanie, metrológia alebo externá odborná analýza, sa môžu obstarávať ako služba, ak vlastné zariadenie nie je pre N1 hospodárne.

Rozpočet uvedený v tomto dokumente sa vzťahuje na nódu N1. Dokumenty N2 a N3 majú vlastné rozpočty a ich súčet nie je predmetom tohto textu.

19.3 Kategórie vybavenia

Nasledujúce zoznamy uvádzajú vybavenie podľa účelu. Ku každej položke je uvedená kapitola, ktorá ju vyžaduje.

Výroba vzoriek

- EQ-N1-01 Obrábanie vzorkovej série vrátane tolerančnej vetvy - kapitoly N1/06.8 a N1/15.8. Predpokladá sa zákazková výroba, nie vlastný stroj.
- EQ-N1-02 Materiál polotovarov vrátane atestov - kapitola N1/15.
- EQ-N1-03 Tepelné spracovanie a žihanie časti série - kapitola N1/15.7.
- EQ-N1-04 Kontrolná metrológia rozmerov a uhlov - kapitola N1/06.8.

Akustické meranie

- EQ-N1-05 Kalibrovaný zvukomer triedy 1 a merací mikrofón pre bezpečnostnú dozimetriku; podľa potreby samostatné meracie mikrofóny pre priestorové mapovanie poľa - kapitoly N1/12.3 a N1/18.4.
- EQ-N1-06 Viackanálová meracia ústredňa so synchronným záznamom - kapitoly N1/12.3 a N1/13.4.
- EQ-N1-07 Polohovacie zariadenie pre mriežkové skenovanie poľa - kapitola N1/12.3.
- EQ-N1-08 Polobezodrazová komora vrátane antivibračného uloženia - cena sa viaže na pracovný objem, dolnú medznú frekvenciu, požadovaný hluk pozadia a antivibračné oddelenie podľa kapitoly N1/20.2.

Budenie

- EQ-N1-09 Viackanálový generátor s riadenou fázou a zosilňovač - kapitoly N1/03.3 a N1/12.2.
- EQ-N1-10 FORKER vrátane náhradných dielov a pružných spojok - kapitola N1/03.2.
- EQ-N1-11 Zostava pre elektrostatické budenie vrátane zdroja vysokého napätia - kapitola N1/13.2.
- EQ-N1-12 Budiace a snímacie cievky, magnety a zdroj riadeného prúdu - kapitoly N1/13.3 až N1/13.7.

Vibračné meranie

- EQ-N1-13 Laserový vibrometer; pre plnú priestorovú kinematiku sa preferuje trojosové vyhotovenie, jednoosové môže slúžiť ako základná alebo etapová konfigurácia - kapitoly N1/14.6 a N1/17.6.
- EQ-N1-14 Akcelerometre a tenzometrická sústava - kapitoly N1/14.6 a N1/18.5.
- EQ-N1-15 Zostava pre fotoelastické meranie vrátane priehľadných modelov - kapitola N1/14.7.

Vizualizácia

- EQ-N1-16 Laserový zdroj so svetelným rezom a optikou - kapitoly N1/10.5 a N1/10.13.
- EQ-N1-17 Vysokorýchlostná kamera a snímacia zostava - kapitoly N1/10 a N1/14.7.
- EQ-N1-18 Kymatická stanica, nádoby, prášky a zásevové médium - kapitoly N1/10 a N1/11.
- EQ-N1-19 Sklenená komora pre objemovú vizualizáciu - kapitola N1/10.9.

Kvapalné vzorky

- EQ-N1-20 Optické sondy pre rozpustené plyny - kapitola N1/11.6.
- EQ-N1-21 Tenziometer a viskozimeter s termostatom - kapitola N1/11.6.
- EQ-N1-22 Prístroj pre dynamický rozptyl svetla - kapitola N1/11.6.
- EQ-N1-23 Termistorový mostík a optovláknové snímače teploty - kapitola N1/11.9.
- EQ-N1-24 Mikroskop a zostava pre obrazovú analýzu kryštálov - kapitola N1/11.8.

Výpočty, dáta a spracovanie

- EQ-N1-25 Výpočtová stanica a úložisko dát - kapitola N1/17.
- EQ-N1-27 Zverejnenie dát a dokumentácie vrátane trvalých identifikátorov - kapitola N1/17.7.
- EQ-N1-30 Inferenčný server pre lokálne modely AI - kapitola N1/17.9.
- EQ-N1-31 Racková skriňa, zálohované napájanie a chladenie - kapitola N1/17.9.
- EQ-N1-32 Sieťová infraštruktúra a úložisko pre multimediálne dáta - kapitola N1/17.9.

Mierková vetva a ultrazvuk

Položky tejto skupiny sa viažu na mierkovú vetvu podľa kapitoly N1/09.12 a na bezpečnostné požiadavky podľa kapitoly N1/18.14.

- EQ-N1-33 Merací mikrofón a predzosilňovač s odozvou do 100 kHz - kapitola N1/09.12.
- EQ-N1-34 Širokopásmová akvizícia a spektrálna analýza pre ultrazvukové pásmo vrátane tretinooktávového vyhodnotenia - kapitola N1/18.14.
- EQ-N1-35 Ultrazvukové meniče a budiaca zostava do 200 kHz - kapitola N1/09.12.
- EQ-N1-36 Jemné polohovanie pre skenovanie poľa v mierke milimetrov - kapitola N1/09.12.
- EQ-N1-37 Výroba vzoriek mierkovej vetvy externým presným obrábaním - kapitola N1/15.8.
- EQ-N1-38 Tlmiaca úprava priestoru pre ultrazvukovú prevádzku - kapitola N1/18.14.

Bezpečnosť a dohľad

- EQ-N1-28 Ochranné prostriedky, tienenie laserového zväzku a zabezpečenie vysokonapäťovej časti - kapitola N1/18.9.
- EQ-N1-29 Zdravotný dohľad nad pracoviskom - vstupné vyšetrenie a pravidelné kontroly podľa kapitoly N1/18.11; účtuje sa ročne.

Bezpečnostná expozično-fyziologická štúdia

- EQ-N1-39 Základná fyziologická monitorovacia zostava - viacparametrový záznam základných fyziologických veličín počas bezpečnostnej expozično-fyziologickej štúdie podľa kapitoly N1/18.12. Podľa protokolu umožňuje synchronne zaznamenávať najmä srdcovú frekvenciu a HRV, krvný tlak, SpO₂, teplotu a podľa potreby elektrodermálnu aktivitu alebo ďalšie neinvazívne veličiny.
- EQ-N1-40 Senzory a spotrebný materiál pre ľudské merania - jednorazové elektródy, kontaktné prvky, hygienické a dezinfekčné potreby, prípadné jednorazové snímače a ďalší spotrebný materiál vyžadovaný schváleným protokolom N1/18.12. Položka sa účtuje v prevádzkových nákladoch podľa skutočného počtu meraní.
- EQ-N1-41 Odborné a etické zabezpečenie bezpečnostnej expozično-fyziologickej štúdie - odborná príprava a posúdenie protokolu, lekárska spolupráca, príprava dokumentácie pre etické posúdenie a odborný dohľad nad realizáciou podľa kapitoly N1/18.12. Konkrétny rozsah sa prispôsobí právnym a etickým požiadavkám krajiny pracoviska.

- EQ-N1-42 Náklady spojené s účasťou dobrovoľníkov a prípadným poistným zabezpečením štúdie - náhrada primeraných nákladov účastníkov, prípadná kompenzácia za čas a poistenie alebo iné zabezpečenie vyžadované schváleným protokolom a jurisdikciou pracoviska. Položka sa použije iba v rozsahu povolenom etickým posúdením a platnými pravidlami.

Služby a programové položky

Nasledujúce položky nie sú jednorazovým obstaraním prístroja. Uvádzajú sa oddelene od vybavenia, aby sa nezamieňali kapitálové a prevádzkové náklady.

- EQ-N1-26 Práca špecialistu na modálnu analýzu - kapitola N1/17.8. Účtuje sa jednorazovo za celé obdobie programu ako externá odborná služba nad rámec stáleho tímu.
- EQ-N1-41 Odborné a etické zabezpečenie štúdie - účtuje sa za protokol alebo za program podľa skutočného rozsahu.
- EQ-N1-42 Účasť dobrovoľníkov a prípadné poistné zabezpečenie - účtuje sa za program podľa schváleného protokolu.
- EQ-N1-29 je ročná položka a je zahrnutá priamo v prevádzkových nákladoch podľa kapitoly N1/19.7. EQ-N1-40 je rovnako zahrnutá v ročných prevádzkových nákladoch.

Ocenenie jednorazových položiek

Stĺpce Od a Do uvádzajú celkovú cenu za celý počet kusov v príslušnom riadku, nie jednotkovú cenu.

EQ	Položka	Ks	Od (€)	Do (€)
EQ-N1-01	Obrábanie vzorkovej série	1	18 000	45 000
EQ-N1-02	Materiál polotovarov vrátane atestov	1	3 000	9 000
EQ-N1-03	Tepelné spracovanie a žihanie	1	1 500	4 000
EQ-N1-04	Kontrolná metrológia rozmerov a uhlov	1	15 000	60 000
EQ-N1-05	Merací mikrofón a zvukomer, trieda 1	1	3 000	12 000
EQ-N1-06	Viackanálová meracia ústredňa	1	6 000	25 000

EQ	Položka	Ks	Od (€)	Do (€)
EQ-N1-07	Polohovacie zariadenie, tri osi	1	9 000	35 000
EQ-N1-08	Polobezodrazová komora	1	80 000	300 000
EQ-N1-09	Viackanálový generátor a zosilňovač	1	4 000	15 000
EQ-N1-10	FORKER vrátane náhradných dielov	3	1 200	4 500
EQ-N1-11	Elektrostatické budenie so zdrojom VN	1	3 000	12 000
EQ-N1-12	Cievky, magnety, zdroj riadeného prúdu	1	2 500	9 000
EQ-N1-13	Laserový vibrometer	1	35 000	250 000
EQ-N1-14	Akcelerometre a tenzometrická sústava	1	4 000	14 000
EQ-N1-15	Zostava pre fotoelastické meranie	1	3 000	10 000
EQ-N1-16	Laserový zdroj so svetelným rezom	1	3 000	12 000
EQ-N1-17	Vysokorýchlostná kamera	1	30 000	120 000
EQ-N1-18	Kymatická stanica a príslušenstvo	1	2 000	6 000
EQ-N1-19	Sklenená komora pre objemovú vizualizáciu	1	2 000	8 000
EQ-N1-20	Optické sondy pre rozpustené plyny	1	4 000	12 000
EQ-N1-21	Tenziometer a viskozimeter	1	8 000	28 000
EQ-N1-22	Prístroj pre dynamický rozptyl svetla	1	35 000	100 000

EQ	Položka	Ks	Od (€)	Do (€)
EQ-N1-23	Termistorový mostík a optovláknové snímače	1	5 000	18 000
EQ-N1-24	Mikroskop a obrazová analýza	1	6 000	25 000
EQ-N1-25	Výpočtová stanica a úložisko dát	1	8 000	25 000
EQ-N1-27	Zverejnenie dát a trvalé identifikátory	1	2 000	8 000
EQ-N1-28	Ochranné prostriedky a zabezpečenie	1	3 000	10 000
EQ-N1-30	Inferenčný server pre lokálne modely AI	1	40 000	250 000
EQ-N1-31	Racková skriňa, napájanie a chladenie	1	5 000	25 000
EQ-N1-32	Sieťová infraštruktúra a úložisko dát	1	7 000	40 000
EQ-N1-33	Mikrofón a predzosilňovač do 100 kHz	1	6 000	25 000
EQ-N1-34	Širokopásmová ultrazvuková akvizícia a analýza	1	8 000	35 000
EQ-N1-35	Ultrazvukové meniče a budiaca zostava	1	5 000	20 000
EQ-N1-36	Jemné polohovanie pre mierkovú vetvu	1	7 000	30 000
EQ-N1-37	Výroba vzoriek mierkovej vetvy	1	12 000	45 000
EQ-N1-38	Tlmiaca úprava pre ultrazvukovú prevádzku	1	4 000	20 000

EQ	Položka	Ks	Od (€)	Do (€)
EQ-N1-39	Fyziologická monitorovacia zostava	1	5 000	20 000
Jednorazové položky spolu			395 200	1 686 500

Uvedené ceny sú pracovným odhadom triedy O a triedy P podľa členenia v prílohe k rozpočtu: trieda V označuje verejný cenník dodávateľa, trieda P ponuku vyžiadajú od dodávateľa a trieda O odhad podľa porovnateľných výrobkov. Väčšina položiek je v tejto fáze v triede O. Pred zmluvným obstaraním sa ku každej významnej položke vyžadujú konkrétne ponuky.

Položky EQ-N1-30 až EQ-N1-32 tvoria výpočtovú infraštruktúru pre lokálne prevádzkované modely AI podľa kapitoly N1/17.9. Rozpätie pri inferenčnom serveri predstavuje rozdiel medzi možnými triedami vyhotovenia a pred obstaraním sa prepočíta podľa vtedy dostupného hardvéru.

Dve najväčšie položky, komora EQ-N1-08 a vibrometer EQ-N1-13, tvoria významnú časť hornej hranice rozpočtu vybavenia. Ich cena závisí najmä od parametrov komory a od toho, či sa obstará jednoosový alebo trojosový vibrometer.

Ocenenie služieb a programových položiek

EQ	Položka	Periód	Od (€)	Do (€)
EQ-N1-26	Práca špecialistu na modálnu analýzu	za program	20 000	60 000
EQ-N1-41	Odborné a etické zabezpečenie štúdie	za protokol/program	5 000	20 000
EQ-N1-42	Účasť dobrovoľníkov a prípadné poistné zabezpečenie	za program	2 000	10 000
Jednorazové/programové služby spolu			27 000	90 000

* Rozpätie EQ-N1-42 je pracovný odhad. Skutočný náklad sa spresní až podľa počtu účastníkov, rozhodnutia etického orgánu, poistných požiadaviek a jurisdikcie pracoviska.

19.4 Vzťah k ostatným nódam

Časť vybavenia obstaraného pre túto nódu je použiteľná aj pri meraniach dokumentov N2 a N3. Ide predovšetkým o akusticky ošetrovaný priestor, výpočtovú a záznamovú techniku, viackanálové budenie a vizualizačnú zostavu.

Táto skutočnosť sa uvádza preto, aby bolo zrejmé, že rozpočty ďalších nód nezahŕňajú opakované obstaranie tých istých prístrojov. Rozpočet N1 sa o túto skutočnosť nekráti; ide o vybavenie, ktoré táto noda potrebuje bez ohľadu na to, či nadväzujúce nódy vzniknú.

Pri súhrnnom financovaní viacerých nód sa zdieľané položky započítajú iba raz.

19.5 Rezervy

Rezervy sa uvádzajú oddelene podľa povahy rizika. Ich základy sa nesmú prekryvať bez výslovného uvedenia, aby sa rovnaké riziko nezapočítalo dvakrát.

- Technická rezerva 10 % z jednorazového prístrojového a technického vybavenia, s výnimkou položiek, na ktoré sa uplatňuje samostatná stavebná rezerva. Kryje cenový posun, kurzové riziko, nevyhnutné príslušenstvo a rozdiel medzi pracovným odhadom a konkrétnou ponukou.
- Stavebná rezerva 15 až 20 % z nákladov na stavebnú a akustickú úpravu priestoru a komoru. V súhrnnom modeli sa používa 18 %; základom je najmä položka EQ-N1-08 a prípadné priamo súvisiace stavebné práce.
- Prevádzková rezerva 5 % z plánovaných ročných prevádzkových nákladov bez už započítaných rezerv. Kryje nepredvídané prevádzkové výdavky, nie rozširovanie rozsahu programu.
- Replikačná rezerva 5 až 8 % ako viazaný fond na nezávislé zopakovanie merania s prekvapivým alebo rozhodujúcim výsledkom. Konkrétny základ tejto rezervy sa uvádza v súhrnnom rozpočte, aby bolo zrejmé, na ktoré experimentálne náklady sa vzťahuje.

Replikačná rezerva sa čerpá iba na overenie výsledku podľa vopred definovaného rozhodnutia programu, napríklad zopakovaním iným operátorom, novou sadou vzoriek alebo na inom pracovisku.

Nevyčerpané prostriedky sa automaticky nepovažujú za voľné prostriedky na ľubovoľné použitie. Zostávajú viazané na účel a pravidlá financovania programu; ich presun na ďalší výskum, zverejňovanie výsledkov, odmeny alebo iné činnosti je možný iba v rozsahu dovolenom zmluvou a po príslušnom schválení a vykázaní.

Program nepočíta s tým, že by členovia tímu doplácali na jeho chod z vlastných zdrojov. Primerané personálne náklady a odmeňovanie za prácu sa plánujú priamo v rozpočte, nie dodatočne z náhodne ušetrených položiek.

Samostatne od rezerv sa uvádza inflačná doložka. Program je rozvrhnutý na niekoľko rokov, takže ceny prístrojov, materiálu aj práce sa počas jeho trvania menia. Pri viacročnom financovaní sa preto uvádza čas obstarania položiek a používa sa vhodný zverejnený ukazovateľ cenového vývoja pre príslušnú kategóriu.

Financujúca strana má právo na transparentné vykazovanie použitia prostriedkov v rozsahu dohodnutom zmluvou; toto právo sa nevykladá ako oprávnenie zasahovať do vedeckých výsledkov alebo podmieňovať pokračovanie jednotlivých experimentálnych vetiev ich obsahom.

19.6 Položky, ktoré sa podceňujú

Nasledujúce náklady sa pri výskumných projektoch ľahko podhodnotia a preto sa uvádzajú samostatne.

- Kalibrácia a servisné zmluvy. Pracovný rozpočtový odhad používa približne 5 až 10 % hodnoty vybranej meracej techniky ročne; nejde o univerzálnu servisnú sadzbu a konečný náklad sa prevezme z konkrétnych servisných a kalibračných podmienok.
- všeobecný laboratórny spotrebný materiál mimo EQ-N1-40: prášky, zásevové médiá, chemikálie, elektródy, jednorazové snímače, kontaktné a spojovacie prvky.
- Zmätkovitosť pri výrobe vzoriek. Pri tolerančnej sérii sa počíta s tým, že časť kusov nemusí vyhovieť výstupnej metrológii.
- Publikačné náklady vrátane poplatkov za otvorený prístup a zverejnenia negatívnych výsledkov. Náklady na trvalé identifikátory a zverejnenie dát sú vedené samostatne ako EQ-N1-27.
- Obstaranie noriem a odborných podkladov požadovaných bezpečnostným a prevádzkovým rámcom podľa kapitoly N1/18.13.
- Čas na dokumentáciu, anonymizáciu, správu a archiváciu dát. Bez tejto práce vznikajú merania, ktoré sa neskôr nedajú spoľahlivo vyhodnotiť alebo replikovať.
- Administratíva bezpečnostnej štúdie, ochrana osobných a zdravotných údajov a príprava podkladov pre etické posúdenie podľa kapitoly N1/18.12.
- EQ-N1-29 sa týka zdravotného dohľadu pracovníkov; EQ-N1-41 sa týka odbornej a etickej podpory výskumu na účastníkoch a tieto položky sa neprekrývajú.

19.7 Prevádzkové náklady

Okrem jednorazového obstarania vznikajú priebežné náklady, ktoré sa uvádzajú v ročnom vyjadrení.

- Mzdové náklady tímu podľa počtu osôb a úväzkov.
- Nájom a energie pracoviska.
- Kalibrácia, servis a spotrebný materiál.
- Prevádzka a technická podpora výpočtovej infraštruktúry.
- Zdravotný dohľad pracovníkov a spotrebný materiál bezpečnostnej štúdie.

- Prípadné odmeny nad rámec mzdy, iba ak sú v súlade s pravidlami financovania a vopred definovanými kritériami.

Mzdové náklady sa uvádzajú súhrnne. Rozpis rolí, úväzkov a miezd je súčasťou internej prílohy k rozpočtu; zverejňuje sa celkový ročný náklad vrátane odvodov a réžie zamestnávateľa.

Úhrnný personálny rozsah pracovného modelu je približne 9,5 FTE. Zahŕňa vedenie programu, dvoch senior vedcov, dvoch výskumníkov na úrovni doktoranda alebo postdoktoranda, laboratórneho technika, programovú a administratívnu podporu a rolu pre dokumentáciu a komunikáciu. Externé účtovné zabezpečenie a správa výpočtovej infraštruktúry sa vedú podľa konkrétneho zmluvného modelu buď ako služba, alebo ako časť prevádzkových nákladov.

Pracovná mzdová kalkulácia používa referenčný ročný náklad 488 300 € vrátane odvodov a réžie zamestnávateľa. Po výbere lokality sa personálny model prepočíta podľa miestnych mzdových a odvodových podmienok.

Kalibrácia a servisné zmluvy sa v pracovnom rozpočte počítajú podľa kapitoly N1/19.6. Základom je vybraná meracia technika vrátane prístrojov mierkovej vetvy EQ-N1-33 až EQ-N1-36; výpočtová infraštruktúra sa nekalibruje a jej údržba je vedená samostatne.

Položka	Od (€)	Do (€)
Mzdové náklady tímu vrátane odvodov a réžie zamestnávateľa	488 300	488 300
Odmeny nad rámec mzdy viazané na výstupy	0	39 100
Nájom a energie pracoviska	14 400	42 000
Energia a chladenie výpočtovej infraštruktúry	10 000	25 000
Kalibrácia a servisné zmluvy meracej techniky	16 100	128 600
Externá technická podpora výpočtovej infraštruktúry	3 000	12 000
Spotrebný materiál	3 000	12 000
Zmätkovitost' pri výrobe vzoriek	1 500	6 000
Obstaranie noriem	500	1 500
Publikačné náklady	2 000	8 000
Dokumentácia a archivácia dát	2 000	6 000

Položka	Od (€)	Do (€)
Zdravotný dohľad nad pracoviskom (EQ-N1-29)	800	3 000
Spotrebný materiál bezpečnostnej štúdie (EQ-N1-40)	1 000	5 000
Prevádzka spolu (ročne)	542 600	776 500

EQ-N1-26, EQ-N1-41 a EQ-N1-42 sa v ročnej tabuľke neuvádzajú, pretože sú vedené ako jednorazové alebo programové služby. EQ-N1-29 je už zahrnutá v ročnej prevádzke a nesmie sa započítať druhýkrát.

Súhrn základného trojročného rozpočtu N1

Zložka	Od (€)	Do (€)
Jednorazové položky	395 200	1 686 500
Jednorazové/programové odborné služby (EQ-N1-26, 41, 42)	27 000	90 000
Prevádzkové náklady za 3 roky	1 627 800	2 329 500
Základný trojročný rozpočet pred rezervami a infláciou	2 050 000	4 106 000

* Súhrn nezahŕňa technickú, stavebnú, prevádzkovú ani replikačnú rezervu a nezahŕňa inflačnú doložku. Tie sa aplikujú až v súhrnnom finančnom modeli podľa definovaných základov. Rovnako nezahŕňa náklady N2, N3 ani právne a korporátne náklady uvedené v kapitole N1/19.8.

19.8 Čo rozpočet neobsahuje

Rozpočet tejto nódy zahŕňa vybavenie a služby potrebné na základnú bezpečnostnú expozično-fyziologickú štúdiu podľa kapitoly N1/18.12. Nezahŕňa vybavenie, personál ani prevádzkové náklady rozšírených biologických, mechanistických alebo klinických štúdií zameraných na zdravotný prínos alebo terapeutickú účinnosť; tie patria do dokumentu N3.

Rozpočet N1 nezahŕňa komoru AURIS ani špecializovanú infraštruktúru N3. Nezahŕňa ani vybavenie pre elektromagnetické merania, ktoré je predmetom dokumentu N2.

Nezahŕňa náklady na vznik a správu právnickej osoby, právne zastúpenie a s tým spojené poplatky. Tie sa riešia oddelene od vecného rozpočtu výskumu a je potrebné s nimi počítať do výslednej výšky financovania. Bežné účtovné a administratívne zabezpečenie prevádzky je zahrnuté podľa personálneho a zmluvného modelu N1/19.7.

Uvedený rozpočet predstavuje vecný a prevádzkový finančný rámec programu N1. Nezahrňa osobitnú kompenzáciu zakladateľov za prevzatie viacročného výkonného záväzku spojeného s vedením programu, prípadným presunom do krajiny realizácie a zásadným obmedzením ich iných profesionálnych činností. Konkrétny rozsah tejto kompenzácie sa stanoví samostatnou dohodou pred začiatkom realizácie podľa miesta, právnej formy, dĺžky a rozsahu záväzku. Jej úplné finančné zabezpečenie je súčasťou podmienok, za ktorých môže tím program prevziať.

Rozpočet takisto nezahrňa konečný náklad na ukončenie programu a pracoviska. Pred aktiváciou N1 sa preto vypracuje samostatný plán ukončenia zahŕňajúci najmä personálne a zmluvné záväzky, demontáž, presun alebo vyradenie infraštruktúry, archiváciu dát a vzoriek, ukončenie nájomov a služieb a uvedenie pracoviska do požadovaného stavu. Tento náklad sa zahrnie do aktivačného finančného rámca po výbere lokality a právnej formy.

Rozpočet takisto neobsahuje úsporné alternatívy kľúčového vybavenia. Ak sa niektorá položka obstará výhodnejšie alebo sa nevyčerpá rezerva, ďalšie použitie prostriedkov sa riadi zmluvou o financovaní a pravidlami podľa kapitoly N1/19.5 a súhrnnej finančnej kapitoly.

20 NÁVRH VÝSKUMNÉHO PRACOVISKA

Ako by malo vyzerat' miesto, ktoré poskytne plnohodnotnú kvalitu pre pilotný výskum referenčného významu?

20.1 Čo pracovisko musí zvládnuť

Pracovisko musí zabezpečiť niekoľko činností s odlišnými technickými a bezpečnostnými požiadavkami: presné akustické a vibračné meranie, optické a kvapalinové experimenty, prácu so vzorkami a dátami, experimenty s vysokým napätím a silnými magnetmi a kontrolovanú bezpečnostnú expozíciu človeka podľa kapitoly N1/18.12.

Tieto činnosti sa podľa miery vzájomného rušenia a rizika priestorovo alebo časovo oddeľujú.

Návrh preto vychádza z oddelenia jednotlivých funkčných zón. Ich veľkosť a vybavenie sa odvíjajú od meraní opísaných v predchádzajúcich kapitolách; nič v pracovisku nie je zaradené bez väzby na konkrétnu úlohu. Uvádzaný návrh je koncepčný. Konkrétne rozmery a technické riešenie závisia od dostupného priestoru a stanovia sa pri jeho výbere.

20.2 Akusticky ošetrený priestor

Meranie voľného alebo približne voľného akustického poľa vyžaduje prostredie, v ktorom sú odrazy od hraníc miestnosti v sledovanom frekvenčnom pásme dostatočne potlačené a charakterizované. Inak mikrofón zaznamenáva superpozíciu poľa rezonátora a odozvy miestnosti.

Do úvahy prichádzajú tri úrovne, ktoré sa líšia náročnosťou aj cenou.

- Bezodrazová komora, v ktorej sú obložené všetky steny vrátane podlahy. Poskytuje najčistejšie podmienky a je najdrahšia.
- Polobezodrazová komora predstavuje referenčné riešenie navrhované pre N1. Jej vhodnosť pre jednotlivé merania závisí od pracovného frekvenčného pásma, dolnej medznej frekvencie a požadovanej presnosti priestorového mapovania.
- Akusticky ošetrená miestnosť s tlmiacimi prvkami na stenách. Vhodná pre porovnávacie merania, kde ide o rozdiel medzi dvoma zostavami a nie o absolútne hodnoty.

Pri každom meraní sa uvádza pracovné frekvenčné pásmo, v ktorom priestor spĺňa požadované podmienky; označenie „bezodrazový“ alebo „polobezodrazový“ sa nepovažuje za vlastnosť platnú pre všetky frekvencie.

Rozhodujúcim parametrom nie je iba pohltivosť, ale aj hladina pozadia. Rezonátor buđený s malou amplitúdou vytvára pole slabé natoľko, že ho hluk z ulice alebo z technického zariadenia budovy prekryje.

Zaznamenáva sa preto hladina pozadia v čase merania a uvádza sa spolu s výsledkom. Merania sa plánujú do období s najnižším pozadím, ak to iné okolnosti dovoľia.

Priestor musí byť oddelený aj od otrasov budovy. Vibrácie z chodby, výtahu alebo dopravy sa prenášajú konštrukciou do stojana a odtiaľ do rezonátora, kde ich mikrofón nezachytí, ale vibrometer áno.

20.3 Meracie stanovisko

Jadrom pracoviska je stanovisko, kde je rezonátor upnutý a okolo neho sa pohybujú snímače.

Upnutie rezonátora je jedným z kritických prvkov. Držiak odoberá energiu a mení dozvuk podľa kapitoly N1/14.4, preto sa vyhotovuje ako opakovateľný a jeho vplyv sa meria samostatne. Rovnaký kus upnutý dvakrát musí dať rovnaký výsledok.

Polohovacie zariadenie umožňuje snímať pole v mriežke bodov v definovanom objeme okolo rezonátora a sledovanej oblasti podľa kapitoly N1/12.3. Presnosť polohovania sa uvádza spolu s nameranými mapami, pretože určuje, ako jemnú štruktúru podľa je možné rozlíšiť.

Stanovisko obsahuje aj upevnenie pre trojicu zdrojov pri meraniach na úrovni L3 podľa kapitoly N1/04, s možnosťou nastaviť rozstup aj sklon a zdokumentovať ich polohu a orientáciu v spoločnom súradnicovom systéme.

20.4 Optické a kvapalinové stanovisko

Merania podľa kapitol N1/10 a N1/11 vyžadujú tmavý priestor, ustálenú polohu kamery a prístup k vzorkám bez otrasov.

Stanovisko obsahuje optický stôl alebo aspoň dosku s tlmením otrasov, kalibrovateľné upevnenie kamery v definovanej polohe voči snímanej oblasti, a vymedzený priestor pre laserový zväzok s krytím podľa kapitoly N1/18.9.

Pre objemovú vizualizáciu je potrebné odvetranie, pretože glycerolová hmla sa v uzavretom priestore hromadí. Odvetranie sa počas samotného merania vypína alebo izoluje, ak by prúdenie ovplyvňovalo tracer; po meraní sa priestor kontrolovane odvetrá.

Kvapalinová časť má vlastný pracovný stôl s prívodom vody, priestorom na termostatovanie vzoriek a odkladacím miestom pre vzorky počas expozície, kde sa s nimi nemanipuluje.

20.5 Zóna s vysokým napätím a magnetmi

Elektrostatické budenie a práca so silnými magnetmi majú vlastný priestor, ktorý je oddelený a označený.

Dôvod je dvojaký. Prvým je bezpečnosť podľa kapitoly N1/18.9. Druhým je to, že silné magnetické pole môže ovplyvňovať magneticky citlivé meracie prístroje, niektoré typy dátových zariadení a ďalšie vybavenie v okolí; zároveň predstavuje mechanické riziko pre voľné feromagnetické predmety.

Zóna obsahuje uzamykateľné úložisko magnetov, vybíjací obvod pre kondenzátory vysokonapäťovej časti, odvetranie pre prípady, v ktorých vysokonapäťová prevádzka vytvára ozón alebo iné reakčné produkty a označenie obmedzenia vstupu pre osoby s aktívnymi alebo magneticky citlivými implantátmi podľa hodnotenia rizika konkrétnej zostavy.

20.6 Vzorky a ich evidencia

Vzorková séria podľa kapitoly N1/15.8 obsahuje veľký počet kusov, ktoré sa navzájom líšia malými geometrickými odchýlkami, vrátane uhlových rozdielov rádovo v desatinách stupňa, a viaceré z nich nemožno spoľahlivo rozlíšiť pohľadom.

Vysokonapäťové a silné magnetické zostavy sa prevádzkujú podľa samostatných pracovných postupov a nemusia byť aktívne súčasne.

Každý zásah meniaci magnetický alebo tepelný stav vzorky sa zaznamenáva ako súčasť jej histórie.

Skladovanie je preto súčasťou návrhu pracoviska. Každý kus má vlastné miesto, trvalé označenie a záznamový list, ktorý sa vedie od výroby po vyradenie.

Priestor pre vzorky má ustálenú teplotu, pretože rezonančná frekvencia sa s teplotou mení podľa kapitoly N1/16.5. Kus prinesený z chladného skladu sa pred meraním nechá ustáliť a čas ustálenia sa zaznamenáva.

Osobitne sa skladujú kusy zmagetizované a nezmagetizované, aby nedošlo k ich zámene alebo k nechcenému zmagetizovaniu kontrolnej vzorky.

20.7 Dátové zázemie

Merania vytvárajú veľké objemy záznamov, najmä vysokorýchlostné video a viackanálové časové priebehy.

Pracovisko obsahuje primárne pracovné úložisko, oddelenú zálohu a výpočtovú infraštruktúru podľa kapitol N1/17.9 a N1/19.3. Kritické dáta sa neuchovávajú iba na jedinom fyzickom zariadení.

Surové dáta sa uchovávajú oddelene od spracovaných výstupov a nesmú sa prepísať následným spracovaním.

Súčasťou je aj spôsob, akým sa k záznamom pripájajú podmienky merania. Záznam bez zapísaných podmienok je po čase nepoužiteľný, takže sa ukladá spolu s protokolom v strojovo čitateľnej podobe.

20.8 Kontrolované stanovisko pre expozíciu človeka

Bezpečnostná expozično-fyziologická štúdia podľa kapitoly N1/18.12 využíva akusticky ošetrovanú Zónu 1 aj ako kontrolované expozičné stanovisko. V N1 nejde o klinickú miestnosť ani terapeutické pracovisko. Stanovisko slúži výhradne na bezpečnostnú charakterizáciu presne definovanej expozície a na súčasné zaznamenávanie fyziologickej odozvy.

Účastník sa počas merania nachádza v Zóne 1 bez prítomnosti operátora, pokiaľ schválený protokol nevyžaduje inak. Meranie, budenie a fyziologický záznam sa ovládajú z oddeleného pracoviska mimo akustického meracieho priestoru. Tým sa znižuje vplyv ďalšej osoby na akustické pole a zároveň sa zachováva stabilita meracích podmienok medzi jednotlivými expozíciami.

Vizuálny dohľad zabezpečuje jedna alebo viac pevných kamier s dostatočným pokrytím účastníka a experimentálnej zostavy. Súčasťou stanoviska je obojsmerná hlasová komunikácia a možnosť okamžite prerušiť budenie z kontrolného pracoviska. Účastník má zároveň vlastný jednoznačne dostupný spôsob signalizácie alebo okamžitého ukončenia expozície.

Priestor obsahuje miesto pre sediaceho alebo podľa protokolu ležiaceho účastníka, fyziologickú monitorovaciu zostavu EQ-N1-39 a mechanicky definované body alebo polohovací systém umožňujúci reprodukovateľne nastaviť vzdialenosť, orientáciu a polohu rezonátora voči telu. Poloha účastníka a zariadenia sa zaznamenáva ako súčasť expozičného protokolu.

Veľké pozorovacie okno medzi expozičným a kontrolným priestorom sa nepovažuje za požadovanú súčasť N1. Ak by sa použilo, jeho akustický vplyv musí byť zahrnutý do charakterizácie miestnosti. Preferovaným riešením je preto kamerový dohľad, ktorý umožňuje zachovať homogénnejšiu akustickú úpravu stien.

Budiaca a meracia technika sa podľa možnosti ovláda diaľkovo, čo zároveň umožňuje realizovať sham alebo zaslepenú podmienku bez vizuálneho kontaktu účastníka s operátorom alebo s nastavením zdroja.

Operátor zostáva počas celej expozície dostupný na bezprostredný zásah a prístupová cesta k účastníkovi zostáva voľná; diaľkové ovládanie neznamena ponechanie účastníka bez dohľadu.

Počas ľudskej expozície sa v Zóne 1 nevykonáva iná experimentálna činnosť. Zariadenia s vysokým napätím, silné magnety, otvorené laserové zväzky, aerosóly alebo iné rizikové zostavy nesmú byť súčasne aktívne, pokiaľ ich konkrétny schválený protokol výslovne nevyžaduje a neobsahuje samostatné bezpečnostné opatrenia.

Zdravotné a identifikačné údaje účastníka sa ukladajú oddelene od bežných experimentálnych dát podľa kapitoly N1/18.12. Kameraný záznam sa považuje za súčasť osobných údajov a uchováva sa iba v rozsahu potrebnom pre schválený protokol.

20.9 Prevádzkové podmienky

Teplota v meracom priestore sa udržiava ustálená a zaznamenáva sa priebežne. Ide o požiadavku, ktorá vyplýva priamo z kapitoly N1/16.5, pretože teplotný drift môže byť pri presných modálnych meraniach porovnateľný s malými sledovanými frekvenčnými rozdielmi.

Vlhkosť sa zaznamenáva takisto. Ovplyvňuje tlmenie v drevených a polymérnych vzorkách a mení podmienky pri kvapalinových meraniach.

V akustických meraniach sa zaznamenáva aj atmosférický tlak, ak jeho zmena môže ovplyvniť rýchlosť zvuku alebo porovnateľnosť priestorových máp.

Vetranie musí byť riešené tak, aby prúdenie vzduchu nerušilo meranie. Pri objemovej vizualizácii sa vetranie počas záznamu vypína a táto skutočnosť sa zaznamenáva, pretože ovplyvňuje aj tepelnú kontrolu podľa kapitoly N1/10.12.

Serverová infraštruktúra nesmie narušovať tepelnú stabilitu skladu vzoriek.

20.10 Etapy budovania

Pracovisko sa nebuduje naraz. Jednotlivé časti sa zriaďujú v poradí, ktoré zodpovedá časovému plánu podľa kapitoly N1/21.

- Prvá etapa: meracie stanovisko, upnutie, budenie a záznam. Postačuje akusticky ošetrená miestnosť.
- Druhá etapa: optické a kvapalinové stanovisko, vizualizácia.
- Tretia etapa: zóna s vysokým napätím a magnetmi.
- Štvrtá etapa: polobezodrazová komora ako referenčné akustické pracovisko N1. Jej definitívne parametre sa určia z prvých meraní hluku pozadia, pracovného frekvenčného pásma a požadovaného priestorového rozsahu. Skoršie experimenty môžu prebiehať v akusticky ošetrenej miestnosti ešte pred dokončením komory.

Poradie umožňuje začať pilotné merania skôr, než je pracovisko kompletne dokončené. Výsledky prvých sérií sa využijú na spresnenie technických parametrov komory, nie na rozhodovanie o tom, či sa komora v plnom programe N1 obstará.

Kontrolované expozičné merania na ľuďoch sa nezačínajú automaticky po technickom dokončení Zóny 1. Aktivujú sa až po fyzikálnej a dozimetrickej

charakterizácii príslušného expozičného režimu a po splnení etických a bezpečnostných podmienok podľa kapitol N1/18.10 a N1/18.12.

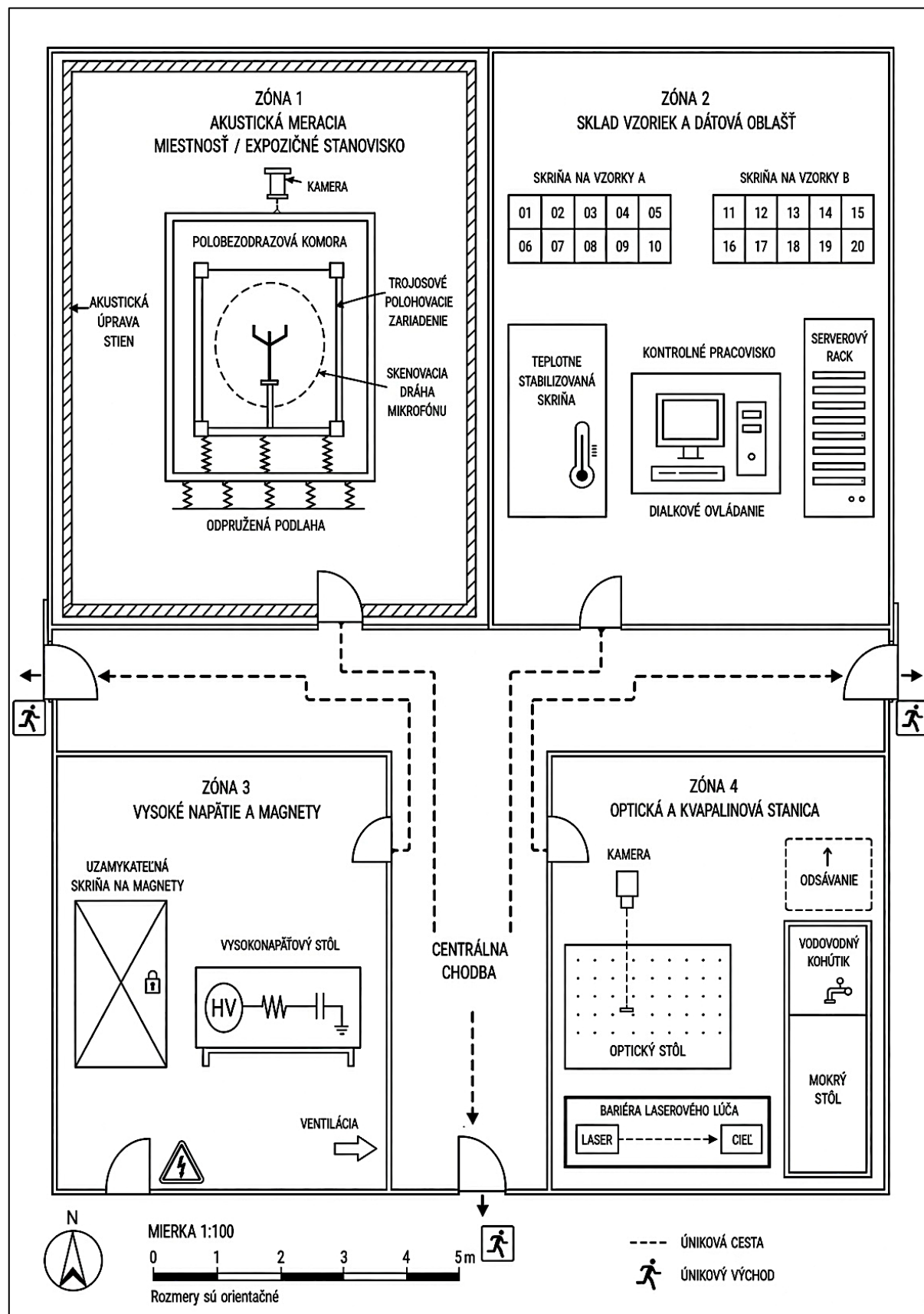


FIG-N1-23: Pódorys návrhu výskumného pracoviska

21 ČASOVÝ PLÁN

V akom poradí a prečo práve tak.

21.1 Ako je plán zostavený

Plán rozdeľuje program do fáz, ktoré na seba nadväzujú výsledkom, nie iba časom. Prechod do ďalšej fázy sa robí až vtedy, keď je známy výsledok tej predchádzajúcej.

Fázy predstavujú vedecké a prevádzkové míľniky, nie jednotlivé kolá financovania. Primárny finančný model N1 predpokladá zabezpečenie celého plánovaného rozsahu programu jednorazovým účelovým vkladom alebo darom pred začiatkom hlavnej realizácie. Prostriedky sú následne spravované v rámci schváleného rozpočtu N1 podľa skutočného priebehu výskumu.

Rozhodnutie o pokračovaní, zmene alebo ukončení konkrétnej výskumnej vetvy sa robí na základe výsledkov merania a metodických kritérií dokumentu, nie na základe potreby opakovane žiadať financujúcu stranu o uvoľnenie ďalšej časti rozpočtu.

Toto usporiadanie umožňuje program na hranici fázy vedecky uzavrieť alebo preorientovať bez toho, aby boli výskumné rozhodnutia podmienené priebežným externým financovaním. Nevyužitú zostávajú spravované podľa účelu financovania a príslušnej zmluvy.

21.2 Fáza F0 - príprava

Obsahom fázy je uvedenie pracoviska do stavu, v ktorom sa dá merať, a získanie referenčných hodnôt, voči ktorým sa bude porovnávať.

- Zriadenie prvej etapy pracoviska podľa kapitoly N1/20.10.
- Kalibrácia meracej reťaze a stanovenie hladiny pozadia.
- Výroba vzorkovej série podľa kapitoly N1/15.8 vrátane výrobnéj dokumentácie ku každému kusu.
- Zostavenie výpočtového modelu a jeho kalibrácia na vopred určenej kalibračnej sade podľa kapitoly N1/17.6.
- Vstupné zdravotné vyšetrenia pracovníkov zaradených do pravidelnej experimentálnej prevádzky podľa kapitoly N1/18.11.
- Príprava bezpečnostného expozično-fyziologického protokolu, jeho predregistrácia a predloženie na nezávislé etické posúdenie podľa kapitoly N1/18.12.
- Predregistrácia protokolov pre merania fázy F1.

Výstupom fázy je funkčné základné pracovisko, zdokumentovaná vzorková séria, kalibrovaný výpočtový model s vopred zapísanými predikciami a pripravené protokoly pre fázu F1.

21.3 Fáza F1 - primárna validácia

Fáza odpovedá na otázku, či sa v rezonátore nachádza príslušný degenerovaný alebo takmer degenerovaný pár a aká amplitúdová a fázová organizácia pohybu sa medzi ramenami vytvára.

- Fyzikálna a dozimetrická charakterizácia plánovaného expozičného režimu podľa kapitol N1/18.3 až N1/18.10.
- Po splnení dozimetrických, etických a bezpečnostných podmienok základná bezpečnostná expozično-fyziologická štúdia podľa kapitoly N1/18.12.
- Modálne meranie a porovnanie s modelom; overenie existencie degenerovaného páru.
- Trojkanálový magnetický odber podľa kapitoly N1/13.4.
- Budenie jedného ramena a test cyklickej symetrie podľa kapitoly N1/13.5.
- Meranie dozvuku, činiteľa akosti a vplyvu upnutia.
- Kymatické meranie s kontrolami podľa kapitoly N1/10.4.

Rozhodovací bod na konci fázy je jednoznačný. Ak sa príslušný degenerovaný alebo takmer degenerovaný pár neobjaví ani po overení numerickej konvergenie, experimentálnej citlivosti a skúmaného rozsahu geometrických a okrajových podmienok, modálny mechanizmus predpokladaný v kapitole N1/09 nemá pre testovanú konfiguráciu oporu. Príslušné hypotézy sa označia ako nepodporené a program sa podľa vopred definovaného rozhodovacieho pravidla buď presunie k úprave geometrie, alebo sa táto výskumná vetva uzavrie.

21.4 Fáza F2 - systematika

Fáza prevádza jednotlivé pozorovania na závislosti. Meria sa nie jeden kus, ale rady kusov a rady nastavení.

- Tolerančná štúdia podľa kapitoly N1/06.8 s meraním rozštiepenia v závislosti od odchýlky.
- Porovnanie L2 a L3 podľa kapitoly N1/04.5 vrátane metriky zhody.
- Meranie momentu hybnosti torzným terčom a rozlíšenie voči prúdeniu podľa kapitoly N1/09.6.
- Objemová vizualizácia s testom závislosti rozostupu od frekvencie podľa kapitoly N1/10.11.

- Merania rúčky vrátane pomeru torznej a pozdĺžnej zložky podľa kapitoly N1/14.3.
- Merania kvapalných vzoriek vrátane rotačného testu a tepelnej kalibrácie podľa kapitol N1/11.4 a N1/11.9.
- Materiálové porovnanie a meranie kontrolnej dvojice podľa kapitol N1/15.4 a N1/15.6.

Rozhodovací bod na konci fázy sa týka celého publikačného celku. Ak sa polia zostávajú L2 a L3 pri vopred definovanej metrike a citlivosti merania reprodukovateľne nerozlišia, hypotézy, ktoré predpokladajú osobitný príspevok monolitckej topológie nad rámec riadenej zostavy zdrojov, strácajú pre testované podmienky oporu. Program sa následne preorientuje na vlastnosti, ktoré možno pripísať geometrii a riadeniu samostatných zdrojov.

21.5 Priebežné výstupy

Zverejňovanie neprebíha až na konci. Po každej fáze sa zverejňujú namerané dáta, protokoly a výsledok bez ohľadu na to, či potvrdil predpoklad.

Dôvodom je replikovateľnosť. Ak sa dáta zverejnia až po skončení programu, nikto ich nestihne overiť v čase, keď by to program ešte mohlo ovplyvniť.

Druhým dôvodom je ochrana pred neúmyselným prispôbovaním. Zverejnený medzivýsledok sa nedá spätne preformulovať podľa toho, ako dopadli neskoršie merania.

21.6 Poradie prvých meraní

Nasledujúce merania sú zaradené hneď po kalibrácii. Nevyžadujú hotovú komoru ani úplné prístrojové vybavenie a ich výsledok určí, ktorým smerom sa uberie zvyšok fázy F1.

Hypotéza	Meranie	Predpoklad
H-N1-17	Trojkanálový magnetický odber fáz z hrotov ramien	zmagnetizovaná vzorka, snímacie cievky
H-N1-18	Budenie jedného ramena, čítanie zvyšných dvoch	budiaci kanál, synchronizácia
H-N1-19	Test cyklickej symetrie postupným budením ramien	to isté
H-N1-27	Modálne meranie a porovnanie s výpočtom	vibrometer; mikrofón ako doplnkové akustické meranie; výpočtový model
H-N1-10	Základná fyzikálna dozimetria expozičného režimu	kalibrovaná akustická reťaz

Poradie nie je záväzné pre celú fázu; je záväzné pre jej začiatok. Ak niektoré z týchto meraní prinesie neočakávaný výsledok, prehodnotí sa plán zvyšku fázy pred jeho pokračovaním.

21.7 Čo môže plán zmeniť

Plán sa upravuje z troch dôvodov a v každom prípade sa zmena zaznamenáva s dátumom a odôvodnením.

- Výsledok merania, ktorý mení predpoklad. Ide o žiaduci dôvod a plán s ním počíta.
- Exploratívny nález podľa kapitoly N1/01.4, ktorý si vyžiada samostatné overenie. Na takéto prípady slúži replikačná rezerva podľa kapitoly N1/19.5.
- Vonkajšie okolnosti, najmä dodacie lehoty prístrojov a dostupnosť externých služieb.

Zmena plánu z dôvodu, že výsledok nevyhovuje očakávaniu, medzi uvedené dôvody nepatrí.

21.8 Väzba harmonogramu na rozpočet a nezávislosť financovania

Primárny finančný model N1 predpokladá jednorazové nevratné financovanie programu bez nároku financujúcej strany na splatenie vložených prostriedkov. Konkrétna právna forma financovania, účelové viazanie prostriedkov a pravidlá ich správy sa určia zmluvou pred začiatkom hlavnej realizácie.

Financovanie nezakladá právo financujúcej strany zasahovať do výsledkov merania, interpretácie dát, klasifikácie hypotéz ani rozhodovania o vedeckom postupe. Zverejnenie pozitívneho, negatívneho alebo nejednoznačného výsledku nesmie byť podmienené súhlasom financujúcej strany.

Časové fázy určujú poradie obstarávania, experimentov a prevádzkových výdavkov v rámci už zabezpečeného rozpočtu. Neznamenajú samostatné finančné kolá ani požiadavku na opakované schvaľovanie pokračovania financujúcou stranou.

Jednorazové zabezpečenie celého programu umožňuje obstarat' zariadenia s dlhými dodacími lehotami v dostatočnom predstihu a zároveň ponechať vedeckému tímu možnosť meniť poradie experimentov podľa nameraných výsledkov bez narušenia finančnej kontinuity.

Fázy sú previazané s časovaním obstarávania a prevádzkových výdavkov v rámci už zabezpečeného rozpočtu N1. Minimálny funkčný rozsah pokrýva fázy F0 a časť F1, cieľový rozsah fázy F0 až F2.

Na hranici každej fázy vzniká samostatne uzavretý a publikovateľný výstup. Ak výsledky odôvodnia ukončenie alebo preorientovanie určitej vetvy, dovtedy vykonaná práca zostáva plnohodnotne využiteľná a reprodukovateľná.

Odhadované trvanie a naviazanie na obstaranie:

Fáza	Trvanie	Obstaranie v tejto fáze
F0 - príprava	9 - 12 mesiacov	EQ-N1-01 až 07, 09, 10, 25, 28; začatie EQ-N1-41; príprava EQ-N1-39; prvá etapa pracoviska
F1 - primárna validácia	10 - 12 mesiacov	EQ-N1-11 až 20, 26, 27; EQ-N1-39 až 42 podľa schváleného protokolu; druhá a tretia etapa pracoviska
F2 - systematika	12 - 15 mesiacov	EQ-N1-21 až 24, 30 až 32; dokončenie referenčnej komory EQ-N1-08
F3 - mierková vetva	paralelne s F1 a F2	EQ-N1-33 až 38
Spolu	31 - 39 mesiacov	

Položka EQ-N1-41 sa aktivuje už vo fáze F0, pretože odborná a etická príprava bezpečnostnej expozično-fyziologickej štúdie musí predchádzať samotnej expozícii človeka. Zostava EQ-N1-39 sa môže obstarat' už počas F0, jej použitie na účastníkoch sa však začína až vo F1 po splnení bezpečnostného míľnika G-HUMAN. Položky EQ-N1-40 a EQ-N1-42 sa čerpajú až podľa schváleného protokolu a skutočného rozsahu štúdie.

Mierková vetva F3 môže technicky prebiehať súbežne s F1 a F2, jej porovnávacia interpretácia však vyžaduje referenčné výsledky z počuteľnej série. Zber dát F3 preto môže začať pred ukončením F2, definitívne vyhodnotenie mierkovej podobnosti sa uzatvára až po získaní príslušných referenčných dát.

Základný finančný model používa 36 mesiacov. Harmonogram má pracovné rozpätie 31 - 39 mesiacov; pri prekročení 36 mesiacov sa dodatočné prevádzkové náklady financujú a vykazujú samostatne podľa skutočného predĺženia programu.

G-HUMAN - bezpečnostný míľnik pre výskum na ľuďoch: Zámerná expozícia človeka sa aktivuje až po dokončení fyzikálnej dozimetrie plánovaného režimu, overení stop-kritérií a získaní požadovaného etického schválenia. Tento míľnik je nezávislý od toho, či predchádzajúce fyzikálne výsledky podporujú hlavnú hypotézu programu.

Uvedené trvanie je odhadom pre tím v rozsahu podľa kapitoly N1/19.7. Rozpätie pokrýva dodacie lehoty prístrojov, ktoré sú pri laserovom vibrometri a pri komore v mesiacoch, nie v týždňoch, a preto sa obstaranie začína na začiatku fázy, nie v jej priebehu.

Mierková vetva F3 môže technicky prebiehať súbežne s F1 a F2, jej porovnávacia interpretácia však vyžaduje referenčné výsledky z počuteľnej série. Z tohto dôvodu môže zber dát F3 začať pred ukončením F2, definitívne vyhodnotenie mierkovej podobnosti sa však uzatvára až po získaní príslušných referenčných dát.

22 HYPOTÉZY

Súhrnný zoznam všetkého, čo tento dokument tvrdí ako otvorenú otázku, aj s tým, čo by ktorú otázku uzavrelo.

22.1 Dva druhy otázok

Dokument pracuje s dvoma druhmi položiek, ktoré majú odlišnú povahu a odlišnú úlohu.

Hypotéza sa pýta, či niečo platí. Má overiteľné kritérium a kritérium vyvrátenia, takže sa dá ukázať, že je nesprávna. Označuje sa H-N1-xx.

Otvorená otázka sa pýta, ako alebo prečo niečo prebieha. Vyvrátiť sa nedá, pretože netvrdí, ale zisťuje. Označuje sa Q-N1-xx.

Obidva druhy sú potrebné a plnia rozdielne úlohy. Hypotéza dáva dokumentu overiteľnosť a chráni ho pred tým, aby sa dal ohýbať podľa výsledku. Otvorená otázka umožňuje skúmať javy, ktoré sa pozorujú, ale zatiaľ nemajú vysvetlenie, a ktoré by sa v tvare áno alebo nie zmestiť nedali.

Otvorená otázka má jednu povinnú náležitosť: definovaný výstup. Uvádza sa, čo bude výsledkom - mapa, krivka, katalóg alebo klasifikácia. Bez neho by otázka nemala hranicu a nedalo by sa určiť, kedy je zodpovedaná.

22.2 Súhrn hypotéz

Nasledujúca tabuľka obsahuje všetky hypotézy dokumentu so skráteným znením, registrom a fázou. Úplné znenie vrátane kritéria vyvrátenia je uvedené v kapitole, ktorá hypotézu zavádza. Stav hypotézy sa aktualizuje v pracovnom registri podľa pravidiel tejto kapitoly.

ID	Znenie (skrátene)	Reg.	Fáza
H-N1-01	V ohnisku vzniká toroidálna rotačná štruktúra okolo osi	[H]	F1
H-N1-02	Frekvencia je predvídateľná adaptovaným ohybovým modelom	[H]	F2
H-N1-03	Konfigurácia mení priestorovú distribúciu poľa v ohnisku	[H]	F2
H-N1-04	Základnú taxonómiu možno rozšíriť o ďalšie geometricky jednoznačné konfigurácie.	[H]	F1-2
H-N1-05	Štvorramenné rezonátory majú analogické varianty poľa	[H]	F2
H-N1-06	Rezonátor generuje nenulový akustický moment hybnosti	[H]	F2

ID	Znenie (skrátene)	Reg.	Fáza
H-N1-07	V akustickom poli triaurálneho rezonátora koexistujú pri vybraných podmienkach budenia stojatá a rotačná zložka.	[H]	F2
H-N1-08	Kymatický obrazec je podpisom geometrie zdroja	[H]	F1
H-N1-09	Zo statického obrazca je rekonštruovateľná konfigurácia	[H]	F2
H-N1-10	Nameraný expozičný profil plánovaného režimu spĺňa príslušné bezpečnostné kritériá a aktuálne platné limity pre daný typ expozície a jurisdikciu pracoviska.	[H]	F1
H-N1-11	Kontaktný prenos vlnovodom je merateľný a kvantifikovateľný	[H]	F1
H-N1-12	Viaczdrojová syntéza reprodukuje uzlovú sieť monolitu	[H]	F2
H-N1-13	Rombikuboktaédrická zostava dáva zhodnú uzlovú štruktúru	[H]	F2
H-N1-14	Existuje minimálny počet zdrojov pre vernú syntézu	[H]	F2
H-N1-15	Elektrostatické budenie má nižší rozptyl než úder	[H]	F1
H-N1-16	Trojfázové elektrostatické budenie vnútri rotujúci stav	[H]	F1
H-N1-17	Trojkanálový magnetický odber odhalí fázový postup	[H]	F1
H-N1-18	Budenie jedného ramena dá fázovo posunutú odozvu	[H]	F1
H-N1-19	Odozva je cyklicky symetrická pri postupnom buzení	[H]	F1
H-N1-20	Magnetostrikčné trojfázové budenie vnútri rotujúci stav	[H]	F1
H-N1-21	Magnetické pole umožňuje spojitú doladenie frekvencie	[H]	F1
H-N1-22	Zmagnetizovanie mení činiteľ akosti a dozvuk	[H]	F1
H-N1-23	Magnetizácia riadene štiepi degenerovaný pár	[H]	F2
H-N1-24	Konfigurácia so zalomením dovnútra dáva magnetickú nulu	[H]	F2
H-N1-25	Geometricky privilegované konfigurácie podľa kapitoly N1/06 vykazujú navzájom rozlíšiteľnú modálnu alebo poľovú odozvu.	[H]	F2
H-N1-26	Existuje prahová odchýlka, nad ktorou jav zaniká	[H]	F2
H-N1-27	Modálna analýza predpovie degenerovaný pár v zhode s meraním	[H]	F1
H-N1-28	Vzor na hladine zodpovedá Faradayovej nestabilite	[H]	F1
H-N1-29	Depozícia kopíruje uzlovú štruktúru poľa	[H]	F1

ID	Znenie (skrátene)	Reg.	Fáza
H-N1-30	Symetria vzoru je viazaná na geometriu zdroja	[H]	F1
H-N1-31	Expozícia mení rozpustené plyny a povrchové napätie	[H]	F1
H-N1-32	Rozdiel v chuti je preukázateľný zaslepeným testom	[H]	F2
H-N1-33	Expozícia mení nukleačné parametre pri zamŕzaní	[H]	F2
H-N1-34	Pomer torznej a pozdĺžnej zložky v rúčke sa systematicky mení medzi odlišnými modálnymi stavmi.	[H]	F1
H-N1-35	Poloha uzlov pozdĺž rúčky je predvídateľná	[H]	F1
H-N1-36	Špirálové drážkovanie spriahuje ťah a krut	[H]	F2
H-N1-37	Prenos do ruky závisí od polohy úchopu viac než od sily	[H]	F2
H-N1-38	Dĺžka rúčky mení činiteľ akosti cez polohu uzla	[H]	F1
H-N1-39	Rotačná zložka má charakter fázovej singularity	[H]	F2
H-N1-40	V aerosóle vznikajú štruktúry viazané na polohu ramien	[H]	F1
H-N1-41	Rozstup štruktúr je nepriamo úmerný frekvencii	[H]	F1
H-N1-42	Rýchlosť prúdenia rastie s druhou mocninou amplitúdy	[H]	F2
H-N1-43	Pri dostatočnom objeme sa prúdenie uzavrie do bunky	[H]	F2
H-N1-44	Expozícia vloží do vzorky merateľné teplo	[H]	F1
H-N1-45	Tepelný príkon sa líši medzi triaurálnym a klasickým zdrojom	[H]	F1
H-N1-46	Kryštalizácia v poli mení habitus a distribúciu veľkostí	[H]	F2
H-N1-47	V ďalekom poli odozva nezávisí od typu zdroja	[H]	F1
H-N1-48	V blízkom poli závisí väzba od vzájomného natočenia	[H]	F2
H-N1-49	Rezonátor ako zdroj vybudí v prijímači rotujúci mód	[H]	F2
H-N1-50	Pri silnej väzbe sa prejaví rozštep normálnych módov	[H]	F2
H-N1-51	Rozštiepenie rastie monotónne s uhlovou odchýlkou	[H]	F2
H-N1-52	Triaurálne prijímacie pole má inú smerovú presnosť	[H]	F2
H-N1-53	Triaurálny prijímač je citlivejší na rotačnú zložku	[H]	F2
H-N1-54	Klasifikátor priradí obrazcu topológiu nad úrovňou náhody	[H]	F2
H-N1-55	Konfigurácia TETRAMID pri $\varphi = 109,47^\circ$ vykazuje pri rovnakom materiáli a porovnateľnej	[H]	F2

ID	Znenie (skrátene)	Reg.	Fáza
	mierke reprodukovateľne odlišnú modálnu odozvu než blízke konfigurácie tej istej C3 geometrickej rodiny.		
H-N1-56	Pri rovnakom materiáli a porovnateľnej charakteristickej mierke vykazujú trojramenná a štvorramenná topológia reprodukovateľne odlišnú modálnu štruktúru.	[H]	F2
H-N1-57	Dvojfrekvenčné budenie blízkyh modálnych zložiek vytvorí časovo sa meniacu priestorovú superpozíciu, ktorej charakteristická rýchlosť evolúcie zodpovedá rozdielu budených frekvencií.	[H]	F2
H-N1-58	EQUATOR vykazuje odlišný prenos mechanickej energie do centrálného vlnovodu než susedné konfigurácie základnej vetvy.	[H]	F2
H-N1-59	Zrkadlové konfigurácie s rovnakým φ vykazujú rozdielnú mechanickú alebo poľovú odozvu v dôsledku opačnej axiálnej orientácie nosných ramien.	[H]	F2
H-N1-60	Trojramenný rezonátor môže pri budení bez zámerne vloženého azimutálneho fázového gradientu vytvoriť reprodukovateľnú fázovú cirkuláciu akustického poľa, ktorá je previazaná s jeho vlastnou modálnou dynamikou.	[H]	F2
H-N1-61	Základný rotujúci stav súvisiaci s nesymetrickým degenerovaným párom trojramenného rezonátora vytvorí fázovú singularitu s topologickým nábojom $ l =1$, pričom znamienko l sa obráti pri obrátení smeru fázovej cirkulácie.	[H]	F2
H-N1-62	Riadené porušenie trojpočetnej symetrie systematicky zmení polohu, stabilitu alebo topologickú štruktúru fázovej singularity spojenej s rotujúcim stavom.	[H]	F2
H-N1-63	Pri geometricky podobných trojramenných rezonátoroch sa charakter modálnej a akustickej rotačnej odozvy zachová medzi rozdielnymi mierkami, ak sú porovnateľné relevantné bezrozmerné parametre systému vrátane pomeru charakteristického rozmeru k vlnovej dĺžke.	[H]	F3
H-N1-64	Pri vybraných podmienkach budenia môže kmitanie trojramenného rezonátora obsahovať súčasne merateľnú symetrickú aj nesymetrickú modálnu zložku.	[H]	F2

ID	Znenie (skrátene)	Reg.	Fáza
H-N1-65	Pri monokryštalickej telese s trojpočetnou geometriou závisí modálna štruktúra a rozštiepenie príslušného degenerovaného alebo takmer degenerovaného páru od orientácie kryštálovej mriežky voči osiam rezonátora. Osobitne sa testuje, či zarovnanie kubických smerov [100], [010], [001] s ramenami a smeru [111] s centrálnou osou predstavuje extrémnu alebo symetricky privilegovanú orientáciu.	[H]	F2

22.3 Otvorené otázky

Nasledujúce otázky vychádzajú z javov, ktoré sa pri práci so zariadeniami opakovane pozorovali a ktoré zatiaľ nemajú vysvetlenie. Uvádzajú sa aj s výstupom, ktorým sa považujú za zodpovedané.

ID	Otázka	Výstup
Q-N1-01	Čo určuje symetriu kymatického obrazca?	mapa obrazcov v rovine frekvencia a amplitúda pre každú konfiguráciu
Q-N1-02	Ako sa obrazec vyvíja počas dozvuku a za akých podmienok zostáva priestorovo stabilný?	časovo rozlíšený záznam vývoja obrazca od budenia po stíchnutie s kvantifikáciou stability
Q-N1-03	Do akej miery závisí tvar obrazca od materiálu, frekvencie a geometrie zdroja?	porovnávacia séria naprieč materiálmi, frekvenciami a konfiguráciami s kvantifikáciou podobnosti obrazcov
Q-N1-04	Aký tvar má priestorová sieť uzlov okolo rezonátora?	trojrozmerná mapa poľa s vyznačenými uzlami pri niekoľkých frekvenciách
Q-N1-05	Prečo sa v niektorých polohách javí zdroj zvuku inde?	mapa polôh s týmto javom, porovnaná s nameraným poľom
Q-N1-06	Čo hovorí pulzovanie zvuku o stave módov?	časovo-frekvenčná analýza pulzovania, odhad Δf a priestorovo-fázové porovnanie s modálnym meraním
Q-N1-07	Sú priestorové uzly rezmi tej istej štruktúry, akú zviditeľňuje kymatika?	porovnanie plošnej a objemovej mapy pri zhodných podmienkach; zhoda odstupov, spoločné otáčanie so zdrojom a zhodná odozva na zmenu frekvencie

ID	Otázka	Výstup
Q-N1-08	Ako sa modálna štruktúra a priestorové pole menia spojito s uhlom φ naprieč základnou a zrkadlovou vetvou?	krivky/matice sledovaných veličín ako funkcie φ a axiálnej vetvy.
Q-N1-09	Aké je časové a amplitúdové zastúpenie symetrickej a nesymetrickej modálnej zložky pri kmitaní trojramenného rezonátora?	časovo rozlíšený rozklad modálnych zložiek a klasifikácia priebehu podľa scenárov A-C alebo identifikácia iného priebehu

Otázky Q-N1-04 a Q-N1-05 sa vzťahujú aj na zostavu bez monolitu, teda na priestorové usporiadanie zdrojov podľa kapitoly N1/12.6. Nezávisia preto od výsledku porovnania L2 a L3 podľa kapitoly N1/04.5 a zostávajú otvorené aj v prípade, že sa polia oboch zostáv nerozlíšia.

22.4 Poznámky k jednotlivým otázkam

Q-N1-02 Vývoj a stabilita obrazca

Faradayove vzory môžu pri zmene amplitúdy prechádzať medzi stavmi. Predbežné pozorovanie [O] naznačuje, že pri niektorých podmienkach môže sledovaný obrazec pretrvávajúť počas významnej časti dozvuku. Jeho časová stabilita sa preto meria a kvantifikuje bez toho, aby sa predpokladala vopred.

Q-N1-03 Nezávislosť od materiálu a frekvencie

Podľa doterajších predbežných pozorovaní [O] sa pri niektorých rezonátoroch rozdielneho materiálu a vlastnej frekvencie objavili vizuálne podobné obrazce. Rozsah tejto podobnosti zatiaľ nebol systematicky kvantifikovaný.

Ak sa vysoká podobnosť potvrdí pri kontrolovanej sérii, bude možné skúmať, do akej miery je dominantná symetria obrazca viazaná na geometriu zdroja a ktoré jeho vlastnosti zostávajú citlivé na materiál, frekvenciu, amplitúdu a okrajové podmienky.

Overenie vyžaduje riadenú zmenu jednotlivých parametrov a kvantifikáciu zhody podľa kapitoly N1/10.3.

Q-N1-06 Pulzovanie zvuku

Pulzovanie znejúceho rezonátora môže vzniknúť superpozíciou dvoch spektrálnych zložiek s blízkymi frekvenciami. Pri jednoduchom dvojfrekvenčnom prípade je charakteristická frekvencia obálky určená rozdielom ich frekvencií, takže z časového záznamu možno odhadnúť príslušné frekvenčné rozštiepenie.

Samotná prítomnosť zázneja však neurčuje priestorový charakter superpozície. Dva blízke módy môžu vytvárať stojatý, rotujúci, precesujúci alebo všeobecnejší časovo premenlivý priebeh podľa svojich modálnych tvarov, relatívnych amplitúd a fázy.

Rozlišovacie meranie preto využíva viac synchronných kanálov umiestnených v rozdielnych azimutoch. Sleduje sa nielen frekvencia obálky, ale aj relatívna fáza a priestorový vývoj komplexnej amplitúdy. Systematický azimutálny posun môže podporovať interpretáciu pohybujúcej sa alebo precesujúcej štruktúry; spoločná modulácia všetkých smerov je zlučiteľná so stojatou alebo globálne amplitúdovo modulovanou odozvou.

Pri presnej degenerácii záznej spôsobený frekvenčným rozdielom zaniká. To samo osebe nerozhoduje medzi stojatým a rotujúcim stavom, pretože oba môžu byť vytvorené rôznou superpozíciou toho istého degenerovaného páru. Rozhodujúce je priestorovo a fázovo rozlíšené meranie podľa kapitol N1/09 a N1/13.

Pulzovanie teda poskytuje informáciu o prítomnosti blízkych frekvenčných zložiek, nie samostatný dôkaz rotácie.

22.5 Podmienené hypotézy

Niektoré hypotézy majú zmysel len vtedy, ak prešiel test na nižšej úrovni rebríka zložitosti. Dokument tieto väzby uvádza vopred a zaväzuje sa hypotézu preradiť, ak podmienka nie je splnená.

Hypotéza	Podmienená	Čo padá	Čo nepadá
H-N3-01 až 07	L2 oproti L3 (N1/04.5)	nárok na špecifickosť pre monolit	vplyv počtu ako taký
H-N1-01, 06, 07, 39	Existencia degenerovaného páru	mechanizmus superpozície dvoch módov	rotácia z iného mechanizmu
H-N1-34	Vybudenie rotačného módu	výklad pomeru zložiek v rúčke	meranie zložiek ako také

Hypotéza sa v takom prípade nestahuje ako téma, ale prechádza do stavu bez opory. Falzifikácia sa vzťahuje na konkrétne tvrdenie s konkrétnym mechanizmom, nikdy na celú oblasť.

Hypotéza, ktorá prešla do stavu bez opory alebo bola vyvrátená, zostáva v registri s týmto historickým stavom. Ak nový mechanizmus, meracia metóda alebo exploratívny nález odôvodní ďalší test, formuluje sa nová alebo explicitne revidovaná hypotéza s vlastnou identifikáciou a väzbou na pôvodný výsledok. Pôvodný stav sa spätne nemení.

Rozsah N1 nie je vyčerpávajúcím zoznamom všetkých experimentov, ktoré možno s definovaným systémom vykonať. Počas realizácie môžu vzniknúť doplnkové

exploratívne vetvy vychádzajúce z nameraných výsledkov alebo nových technických možností. Môžu zahŕňať napríklad riadenú mechanickú rotáciu celého rezonátora alebo ďalšie geometrické varianty. Takéto merania sa označia ako exploratívne, zdokumentujú sa oddelene a nemenia spätne stav ani kritériá predregistrovaných hypotéz. Významnejší nový mechanizmus alebo samostatná hypotéza sa zavedie až ako nová verzovaná výskumná položka.

22.6 Čo zostáva hodnotné bez ohľadu na výsledok

Časť výstupov programu nezávisí od toho, či sa potvrdí rotačná zložka poľa. Uvádza sa preto samostatne.

- Tolerančná krivka rozštiepenia v závislosti od odchýlky uhla podľa kapitoly N1/06.8.
- Modálny popis monolitu so symetriou C3 vrátane porovnania s výpočtom.
- Porovnanie trojramennej a štvorramennej topológie z toho istého polotovaru podľa kapitoly N1/15.6.
- Uhlová závislosť sympatickej väzby podľa kapitoly N1/13.10.
- Pomer torznej a pozdĺžnej zložky v rúčke podľa kapitoly N1/14.3.
- Minimálny počet zdrojov pre vernú syntézu poľa podľa kapitoly N1/12.7.
- Mapa kymatických a povrchových vzorov a ich závislosti od experimentálnych podmienok.
- Geometrická parametrizácia podľa kapitoly N1/06 a normatívne názvoslovie podľa kapitoly N1/08.

Tento zoznam je súčasťou rozvahy o zmyslupnosti programu. Aj pri nepodporení hlavnej hypotézy zostáva výsledkom súbor systematických meraní, geometrických parametrizácií, experimentálnych protokolov a definícií so samostatnou metodickou a replikačnou hodnotou.

23 ROZBOR FINANCOVANIA A OTVORENÁ PRÍLEŽITOSŤ

Čo výskum potrebuje, za akých podmienok a prečo sa nezačína skôr, než je zaplatený.

23.1 Čo táto kapitola je

Predchádzajúce kapitoly opisujú, čo sa má merať a ako. Táto kapitola hovorí, za akých podmienok sa to dá uskutočniť.

Nejde o grantovú prihlášku. Dokument nie je predkladaný žiadnej agentúre a neuchádza sa o pridelenie prostriedkov v súťaži. Ide o rozbor, ktorý má komukoľvek umožniť posúdiť, čo program vyžaduje a čo za to poskytnie.

Kapitola je zámerne písaná bez presviedčania. Kto uvažuje o podpore výskumu, potrebuje čísla a podmienky, nie odôvodnenie významu; to je obsahom zvyšku dokumentu.

23.2 Zásada, na ktorej program stojí

Výskum sa začína financovaním, nie pred ním. Doterajší vklad tímu je vyčerpaný a ďalej sa nerozširuje.

Žiadna z položiek programu, vrátane prípravných meraní, nie je predpokladaná ako práca vykonaná zdarma alebo z vlastných prostriedkov. Táto zásada platí bez ohľadu na to, ako nenáročne sa niektoré merania javia.

Dôvod je praktický. Program, ktorý časť práce vykonáva bez finančného krytia, nemá ako určiť skutočné náklady a nemôže poskytnúť spoľahlivý odhad pre pokračovanie.

23.3 Rozsah a jeho zostavenie

Rozpočet je zostavený pre jedno vybavené a sebestačné pracovisko podľa kapitoly N1/19.2. Neponúka sa v úrovniach a neobsahuje úsporné varianty.

Uvedené členenie na fázy F0-F3 určuje časovanie obstarávania a výdavkov v rámci zabezpečeného rozpočtu; nepredstavuje alternatívne úrovne financovania ani samostatné tranže.

Rozhodnutie má vecný dôvod. Program stojí na opakovaní meraní, na dlhých sériách a na tom, že zostava zostane medzi meraniami nezmenená. Zmenšený rozsah by viedol k výsledkom, ktoré by bolo treba neskôr zopakovať, a náklady na zopakovanie prevyšujú úsporu.

Rezervy sú súčasťou rozpočtu ako samostatné položky s uvedenými sadzbami podľa kapitoly N1/19.5, nie ako nešpecifikovaná prirážka. Ich zloženie je zverejnené rovnako ako zvyšok rozpočtu.

Uvedená suma sa vzťahuje na nódu N1. Dokumenty N2 a N3 majú vlastné rozpočty.

Rozpočet je zostavený na tri roky podľa časového plánu v kapitole N1/21. Nasledujúca tabuľka je súhrnom položiek uvedených v kapitolách N1/19.3, N1/19.5 a N1/19.7.

Položka	Od (€)	Do (€)
Vybavenie - jednorazové obstaranie	395 200	1 686 500
Služby - jednorazovo za obdobie	27 000	90 000
Prevádzka za tri roky	1 627 800	2 329 500
Medzisúččet	2 050 000	4 106 000
Technická rezerva, 10 % z vybavenia	31 520	138 650
Stavebná rezerva, 18 % z komory EQ-N1-08	14 400	54 000
Prevádzková rezerva, 5 % z prevádzky	81 390	116 475
Replikačná rezerva, 8 % z medzisúčtu	164 000	328 480
Rezervy spolu	291 310	637 605
Rozpočet celkom	2 341 310	4 743 605

Inflačná doložka - stanoví sa podľa časovania obstarania a prevádzkových výdavkov a podľa zvoleného verejného cenového indexu; v pracovnom rozpočte sa uvádza samostatne od rezerv.

Uvedené sumy sú hrubým odhadom. Dolná hranica zodpovedá základnému vyhotoveniu prístrojov a lokalite s nižšou cenovou hladinou, horná hranica laboratórnemu vyhotoveniu a obstaraniu a zamestnávaniu v Európskej únii. Rozdiel medzi oboma hranicami je preto veľký a spresní sa až po výbere lokality a po vyžiadaní konkrétnych ponúk.

Uvedený trojročný súhrn je verejnou technicko-prevádzkovou kalkuláciou N1, nie konečnou sumou potrebnou na aktiváciu programu. Po započítaní lokalizačných, právnych a organizačných podmienok, časového rizika realizácie, osobitnej kompenzácie zakladateľov, nákladov na ukončenie pracoviska a ďalších položiek, ktoré dnes nemožno zmysluplne oceniť, sa predbežný aktivačný finančný rámec N1 odhaduje na 6 až 10 miliónov eur. Ide o orientačný rámec; presná kalkulácia sa zostaví až pri rokovaní so serióznym záujemcom o financovanie po určení konkrétneho modelu realizácie.

Aktivačný rámec zároveň zahŕňa primeranú rezervu na exploratívne výskumné appendixy, ktoré môžu vzniknúť z výsledkov programu alebo nových technických možností. Ich zaradenie sa zdokumentuje oddelene a nesmie spätne meniť predregistrované hypotézy ani ich kritériá.

23.4 Čo je súčasťou rozpočtu

Rozpočet zahŕňa vybavenie podľa kapitoly N1/19.3, prevádzkové náklady podľa kapitoly N1/19.7, rezervy podľa kapitoly N1/19.5 a inflačnú doložku pri viacročnom financovaní.

Zahŕňa aj položky, ktoré sa v podobných rozpočtoch vynechávajú: kalibráciu a servis prístrojov, spotrebný materiál, zmätkovitost' pri výrobe vzoriek, obstaranie noriem, publikačné náklady vrátane zverejnenia negatívnych výsledkov a čas na dokumentáciu a archiváciu dát.

Rozpočet N1 zahŕňa vybavenie a služby potrebné na základnú bezpečnostnú expozično-fyziologickú štúdiu podľa kapitoly N1/18.12. Nezahŕňa rozšírené biologické, mechanistické alebo klinické štúdie zamerané na zdravotný prínos alebo terapeutickú účinnosť; tie patria do N3. Rovnako nezahŕňa komoru AURIS ani špecializovanú infraštruktúru N3 a vybavenie pre elektromagnetické merania, ktoré je predmetom N2. Nezahŕňa právne a organizačné zabezpečenie.

23.5 Rezervy a nevyčerpané prostriedky

Osobitne sa uvádza položka, ktorá v rozpočtoch výskumných programov býva zriedkavá.

Replikačná rezerva je viazaná časť prostriedkov určená na nezávislé zopakovanie merania, ktoré prinieslo prekvapivý výsledok. Čerpá sa výhradne vtedy, keď meranie prinesie prekvapivý, rozhodujúci alebo metodicky významný výsledok, ktorý podľa vopred stanovených kritérií vyžaduje nezávislé zopakovanie.

Vyčlenenie prostriedkov na overenie vlastného výsledku je súčasťou postoja, ktorý dokument uplatňuje aj inde: predregistrácia, zverejňovanie negatívnych výsledkov a vopred deklarované podmienky, za ktorých hypotéza stráca oporu.

23.6 Čo program poskytne

Výstupy sú tri a poskytujú sa bez ohľadu na to, ako merania dopadnú.

- Namerané dáta v surovej podobe spolu s protokolmi a podmienkami merania, zverejnené po každej fáze.
- Dokumentácia umožňujúca nezávislé zopakovanie: výrobné výkresy vzoriek, výpočtové súbory, meracie postupy a spracovateľské skripty.
- Geometrická parametrizácia podľa kapitoly N1/06 a normatívne názvoslovie podľa kapitoly N1/08.

Zoznam výstupov, ktoré nezávisia od potvrdenia hlavného predpokladu, je v kapitole N1/22.6.

Program nie je koncipovaný ako uzavretá séria meraní. Ak sa uvedené otázky zodpovedajú, vzniknú z nich ďalšie a časť z nich presiahne rámec akustiky.

Program s tým počíta a je na to postavený; dokumenty N2 a N3 sú prvým krokom tohto rozšírenia.

Táto skutočnosť sa uvádza ako východisko, nie ako predpoveď. Rozsah ďalšieho pokračovania závisí od výsledkov meraní a nedá sa dnes vyčíslit'.

23.7 Otvorenosť a jej dôsledky

Všetky výsledky sa zverejňujú. Výstupom programov N1-N3 projektu TRIAURAL nie je komerčný výrobok. Projekt TRIAURAL zariadenia odvodené z týchto programov nepredáva a výsledky výskumu nekomercializuje. Otvorená licencia alebo verejné zverejnenie výsledkov však nevylučujú ich nezávislé využitie tretími stranami za podmienok príslušnej licencie a právneho rámca.

Z toho vyplýva, že podpora tohto programu neposkytuje výhradné práva k výsledkom ani prednostný prístup k nim. Táto skutočnosť sa uvádza vopred, aby nevznikli očakávania, ktoré program nemôže splniť.

Otvorenosť má aj dôsledok, ktorý sa uvádza vopred: zverejnené výsledky môže použiť ktokoľvek, vrátane subjektov, s ktorými by projekt spoluprácu nenadviazal. Kontrola nad financovaním nie je kontrolou nad použitím výsledkov. Projekt považuje otvorenosť za správne rozhodnutie aj s týmto dôsledkom, pretože chráni výsledky pred privlastnením.

23.8 Forma financovania

Program N1 je koncipovaný pre kapitálové financovanie finančne spôsobilou financujúcou stranou alebo malým počtom takýchto strán. Nepracuje s modelom postupného verejného skladania čiastkových darov ako podmienkou spustenia programu.

Hlavná realizácia N1 sa začne až po záväznom zabezpečení celého dohodnutého aktivačného finančného rámca. Presná suma sa stanoví pred uzavretím financovania podľa lokality, právnej formy, personálneho modelu, časového rámca, zmluvných podmienok a ďalších položiek uvedených v kapitolách N1/19 a N1/23.3.

Financovanie môže poskytnúť jedna alebo viac zmluvne koordinovaných strán. Ak sa na ňom podieľa viac subjektov, ich záväzky musia byť usporiadané tak, aby vedecký postup nebol závislý od priebežného získavania alebo schvaľovania ďalších finančných tranží.

Prijatím financovania nevzniká nárok na splatenie vložených prostriedkov ani právo zasahovať do smerovania výskumu, interpretácie dát, klasifikácie hypotéz alebo zverejnenia výsledkov. Konkrétne právna forma, účelové viazanie prostriedkov, spôsob vykazovania a ďalšie podmienky sa určia zmluvne pred prevodom.

Ďalšia podpora prijatá po zabezpečení základného financovania N1 môže byť použitá na rozšírenie alebo urýchlenie výskumných činností, zvýšenie replikačnej

kapacity, vytvorenie dodatočných rezerv alebo na prípravu a realizáciu nadväzujúcich programov N2 a N3. O konkrétnej alokácii sa rozhoduje podľa aktuálneho stavu jednotlivých programov, ich schválených rozpočtov a účelu, na ktorý boli prostriedky poskytnuté.

Ak financujúca strana prejaví záujem o komplexnú podporu projektu TRIAURAL presahujúcu N1, môže byť financovanie zmluvne rozdelené medzi programy N1, N2 a N3 alebo rezervované na ich následnú realizáciu. Skutočnosť, že program N1 je už plne financovaný, preto nevylučuje prijatie ďalšej podpory projektu.

Prípadná drobná podpora bežnej publikačnej alebo webovej prevádzky, ak ju TRIAURAL oficiálne sprístupní, je od financovania programov N1-N3 oddelená a nezapočítava sa do ich aktivačného finančného rámca.

TRIAURAL nepoveruje a nebude poverovať tretie strany organizovaním verejných zbierok na financovanie programov N1-N3 ani iných programov projektu TRIAURAL. Akékoľvek oficiálne financovanie sa overuje výhradne prostredníctvom oficiálnych kontaktných údajov a informácií zverejnených na doméne triaural.com. Od všetkých verejných zbierok, kampaní alebo iných fundraisingových iniciatív tretích strán, ktoré deklarujú podporu programov N1-N3 projektu TRIAURAL alebo akýchkoľvek iných programov či aktivít projektu TRIAURAL, sa projekt TRIAURAL výslovne dištancuje a nepreberá za ne zodpovednosť.

Transparentné vykazovanie použitia prostriedkov sa poskytuje v rozsahu a intervaloch dohodnutých zmluvou. Toto právo nezakladá oprávnenie financujúcej strany priebežne schvaľovať jednotlivé experimentálne vetvy alebo podmieňovať ich pokračovanie dosiahnutým výsledkom.

Pri väčších prevodoch sa platobné údaje overujú priamo medzi zmluvnými stranami a spôsob prevodu sa volí podľa bezpečnostných a právnych požiadaviek príslušnej jurisdikcie.

23.9 Podmienky, ktoré si projekt kladie sám

Nasledujúce podmienky platia bez ohľadu na to, kto program podporí.

- Výsledky sa zverejňujú vrátane tých, ktoré predpoklad nepotvrdia.
- Protokoly sa registrujú pred zberom dát a po zbere sa neupravujú.
- Zariadenie sa nesprístupňuje mimo tím, kým nie sú splnené podmienky podľa kapitoly N1/18.13.
- Neuvádzajú sa liečebné ani iné fyziologické nároky, ktoré nie sú doložené meraním.
- Smerovanie výskumu neurčuje očakávaný výsledok, ale postupnosť rebríka zložitosti podľa kapitoly N1/04.

- Projekt si vyhradzuje právo podporu neprijat'.
- Financovanie nezakladá právo financujúcej strany vetovať zverejnenie pozitívneho, negatívneho ani nejednoznačného výsledku.

Ak by podpora bola podmienená ustúpením od ktorejkoľvek z uvedených podmienok, program ju neprijme.

Právo podporu neprijat' sa vzťahuje aj na prípady, keď je v rozpore so zásadami tohto dokumentu pôvod prostriedkov, podmienky spojené s ich poskytnutím alebo zámer, s ktorým sa ponúkajú. Posúdenie je súčasťou prípravy zmluvy podľa kapitoly N1/23.8.

24 ZHRNUTIE A OTVORENÁ VÝZVA

Čo dokument stanovuje, čo necháva otvorené a pozvanie k replikácii.

24.1 Čo dokument stanovuje

Dokument stanovuje päť vecí, ktoré sú od tejto chvíle záväzné pre celý publikačný celok.

- Geometrickú parametrizáciu a uhlové vzťahy podľa kapitoly N1/06 a normatívne názvoslovie častí rezonátora podľa kapitoly N1/08. Definície sa v nadväzujúcich dokumentoch nepredefinujú.
- Spôsob označovania tvrdení podľa ich váhy a rozlíšenie hypotéz od otvorených otázok podľa kapitol N1/01.3 a N1/22.1.
- Rebrík zložitosti L0 až L7 ako referenčnú os postupu podľa kapitoly N1/04.
- Geometrickú taxonómiu konfigurácií a vzťah medzi uhlom ramien a sklonom k osi podľa kapitoly N1/06.
- Podmienky, za ktorých sa zariadenie sprístupňuje mimo tím, podľa kapitoly N1/18.13.

Tieto položky sú výsledkom dokumentu bez ohľadu na to, ako dopadnú merania, ktoré navrhuje.

24.2 Čo dokument netvrdí

Rekapitulácia negatívneho vymedzenia z kapitoly N1/01.5 stojí aj na konci, pretože práve tieto vety sa pri čítaní najľahšie prehliadnu.

Dokument netvrdí, že rotačná zložka poľa bola preukázaná. Uvádza, prečo sa jej existencia predpokladá, akým meraním by sa dala potvrdiť a čo by ju vyvrátilo.

Dokument netvrdí, že bola preukázaná špecifická biologická alebo fyziologická odozva na triaurálnu expozíciu. Jej existencia alebo neprítomnosť sa v rámci bezpečnostného protokolu N1 meria. Dokument neuvádza zdravotné ani terapeutické nároky a nie je podkladom pre zdravotnícku pomoc.

Netvrdí, že geometria nesie symbolický význam. Uhly sú v tomto texte parametre.

Netvrdí, že téma nebola nikdy skúmaná. Uvádza, že príslušný výskum nebol nájdený v rozsahu rešerše podľa kapitoly N1/02.5, a pripája doklad o tom, ako sa hľadalo.

24.3 Čo zostáva otvorené

Otvorených je šesťdesiatpäť hypotéz a deväť otvorených otázok podľa kapitoly N1/22. Žiadna z nich nie je v čase vydania tohto dokumentu potvrdená ani vyvrátená.

Z nich sú tri určujúce pre smerovanie programu. Existencia príslušného degenerovaného alebo takmer degenerovaného modálneho páru podľa kapitoly N1/09.2. Rozlíšiteľnosť poľa monolitu od poľa riadenej zostavy zdrojov podľa kapitoly N1/04.5. A povaha rotačnej zložky, teda či ide o fázovú singularitu alebo o prúdenie, podľa kapitoly N1/09.5.

Otvorené otázky sa od hypotéz líšia tým, že sa nedajú vyvrátiť. Vychádzajú z javov, ktoré sa opakovane pozorovali a ktoré zatiaľ nemajú vysvetlenie; ich výstupom je popis, nie potvrdenie.

24.4 Ako sa dá dokument použiť

Dokument je určený na tri spôsoby použitia a každý z nich je rovnocenný.

- Ako podklad pre nezávislé zopakovanie meraní. Obsahuje definície, postupy a kritériá v rozsahu, ktorý to umožňuje bez účasti tímu.
- Ako východisko pre nadväzujúci výskum, vrátane takého, ktorý smeruje k vyvráteniu tu uvedených predpokladov.
- Ako rozbor pre posúdenie, či a v akom rozsahu program podporiť, podľa kapitoly N1/23.

Text je verejne zverejnený a datovaný. Dostatočne opísané riešenia môžu týmto zverejnením tvoriť súčasť stavu techniky a obmedziť možnosť ich neskoršieho patentového nárokovania; konkrétny právny účinok závisí od rozsahu zverejnenia a príslušnej jurisdikcie.

24.5 Otvorená výzva

Program tímu TRIAURAL nie je podmienkou toho, aby sa uvedené otázky zodpovedali. Pracovisko s primeranou akustickou, vibračnou a dátovou infraštruktúrou a možnosťou vyrobiť alebo obstarat' definovanú sériu vzoriek môže nezávisle zopakovať podstatnú časť meraní opísaných v tomto dokumente. Jednotlivé experimentálne vetvy vyžadujú dodatočné vybavenie uvedené v príslušných kapitolách.

Výslovne vítame zopakovanie meraní inde, a to aj vtedy, ak povedie k opačnému záveru. Vyvrátený predpoklad uzavretý meraním má pre projekt väčšiu hodnotu než predpoklad, ktorý zostane neoverený.

Rovnako vítame upozornenie na prácu, ktorá sa témy dotýka a ktorú sme nenašli. Takýto nález sa zaeviduje s dátumom a dokument sa podľa neho upraví.

Kontakt je uvedený na titulnej strane.

24.6 Postavenie v dvanásťdielnom celku

Týmto dokumentom sa uzatvára definičná časť publikačného celku. Nadväzujúce dokumenty N2 a N3 sa opierajú o názvoslovie a parametre stanovené tu a rozvíjajú ich do elektromagnetickej a biologickej oblasti.

Predchádzajúcich deväť dokumentov zaznamenáva dialógy s modelmi AI a ich odpovede. Tvorí exploratívnu vrstvu publikačného celku a ako takú ich treba čítať. Dokumenty desať až dvanásť (N1-N3) tvoria formálnu výskumnú líniu projektu a sú vyjadrením tímu TRIAURAL.

Celok je uzavretý dvanástimi dokumentmi. Ďalší postup už nemá určiť presvedčenie o správnosti predpokladov, ale výsledok merania a podmienky potrebné na jeho nezávislé overenie.

P PRÍLOHY A ZDROJE

P1 Mapovanie na internú knižnicu uzlov

Interná knižnica výskumných uzlov obsahuje členenie do vetiev A až J a slúži na organizáciu práce tímu. Verejné identifikátory v tvare H-N1-xx a Q-N1-xx sú od nej nezávislé, aby zostali stabilné aj pri prestavbe internej štruktúry.

Priradenie sa vedie v internej dokumentácii projektu a v tomto dokumente sa neuvádza. Uvedenie tabuľky by nezávislosť verejných identifikátorov od internej štruktúry zrušilo, pretože by ich znovu naviazalo na členenie, ktoré sa pri prestavbe mení. Verejný identifikátor zostáva platný bez ohľadu na to, ako je práca tímu vnútorne organizovaná.

P2 Zoznam obrázkov a tabuliek

Označenie	Obsah	Kapitola
FIG-N1-01	Triaurálny rezonátor - pohľady FRONT, TOP, PERSPECTIVE, BOTTOM	N1/02
FIG-N1-02	Triaurálny rezonátor - monolitný člen	N1/03.1
FIG-N1-03	Rez zostavou FORKER	N1/03.2
FIG-N1-04	Schéma toku energie z FORKERA cez rúčku do centrálného uzla	N1/03.2
FIG-N1-05	Koncepty EMT - Electro-Magnetic Triaural Transductor	N1/03.3
FIG-N1-06	Bloková schéma zapojenia EMT	N1/03.3
FIG-N1-07	Geometrické vymedzenie ohniska	N1/03.4
FIG-N1-08	Základné geometrické konfigurácie nosných ramien	N1/06.3
FIG-N1-09	Segmenty a časti rezonátora; priestorové rozmiestnenie základných konštrukčných prvkov.	N1/07.1
FIG-N1-10	Technická vizualizácia uhlov definujúca typy a umiestnenie jednotlivých uhlov v rámci monolitickej štruktúry.	N1/08
FIG-N1-11	Usporiadanie merania s torzným terčom	N1/09.6
FIG-N1-12	Fotoreport - pôsobenie dvojramennej a trojramennej ladičky na vodu	N1/10
FIG-N1-13	Filamenty v aerosóle glycerolu	N1/10.9
FIG-N1-14	Schematické prekreslenie predbežného pozorovania obvodového pohybu kovových pilín v okrúhlej nádobe upevnenej v oblasti koruny rezonátora. Šípka označuje pozorovaný smerový pohyb častíc; schéma neurčuje jeho fyzikálny mechanizmus.	N1/10.14

Označenie	Obsah	Kapitola
FIG-N1-15	Usporiadanie vrstevného skenovania priestorového poľa	N1/10.19
FIG-N1-16	Technické zapojenie merania	N1/11.2
FIG-N1-17	Vzor usadeniny na hladine minerálnej vody po excitácii v ohnisku	N1/11.2
FIG-N1-18	Trojuholníková zostava L3	N1/12.2
FIG-N1-19	Kostra AURISONIC	N1/12.6
FIG-N1-20	Rozmiestnenie snímacích ciievok pri hrotoch ramien	N1/13.4
FIG-N1-21	Schematické znázornenie predbežne pozorovanej premenlivosti pohybu ramien v spomalenom videozázname	N1/13.4
FIG-N1-22	Usporiadanie fotoelastického merania	N1/14.7
FIG-N1-23	Pôdorys návrhu výskumného pracoviska	N1/20.10

Tabuľky

Označenie	Obsah	Kapitola
TAB-N1-01	Rebrík zložitosti - prehľad stupňov L0 až L7	N1/04.2
TAB-N1-02	Zaradenie stupňov do fáz časového plánu	N1/04.6
TAB-N1-03	Uhly a sklony šiestich základných konfigurácií	N1/06.2
TAB-N1-04	Základná sada materiálov a ich veličiny	N1/15.2
TAB-N1-05	Vzorková séria - počty kusov vo vetvách	N1/15.8
TAB-N1-06	Polomer zotrvačnosti podľa tvaru prierezu	N1/16.8
TAB-N1-07	Jednorazové obstaranie - ocenenie položiek EQ	N1/19.3
TAB-N1-08	Služby a programové položky - ocenenie	N1/19.3
TAB-N1-09	Prevádzkové náklady	N1/19.7
TAB-N1-10	Poradie prvých meraní	N1/21.6
TAB-N1-11	Trvanie fáz a naviazanie na obstaranie	N1/21.8
TAB-N1-12	Súhrn hypotéz H-N1-xx	N1/22.2
TAB-N1-13	Otvorené otázky Q-N1-xx	N1/22.3
TAB-N1-14	Podmienené hypotézy	N1/22.5
TAB-N1-15	Rozsah rozpočtu na tri roky	N1/23.3
TAB-N1-16	Nepoužívané pojmy a náhrady	N1/P4
TAB-N1-17	Rešeršný protokol - IEEE Xplore	N1/P5
TAB-N1-18	Rešeršný protokol - archív JASA	N1/P5
TAB-N1-19	Rešeršný protokol - Scopus	N1/P5
TAB-N1-20	História verzií	N1/P6

Označenie TAB-N1-xx slúži na jednoznačný odkaz na tabuľku v tomto zozname. V texte kapitol sa tabuľky číslom neoznačujú, pretože každá stojí bezprostredne pri odseku, ktorý ju uvádza. Zoznam neuvádza tabuľky tejto prílohy samotnej.

P3 Použitá literatúra

Odkazy sa v texte uvádzajú poradovým číslom v hranatých zátvorkách hneď za tvrdením, ktorého sa týkajú. Číslovanie je v poradí prvého výskytu. Pri odkaze na konkrétny údaj sa pripája strana alebo kapitola.

Záznam obsahuje pri článku autorov, názov, časopis, ročník, stranu, rok a identifikátor DOI. Pri patente pôvodcu, názov, číslo, krajinu a dátum udelenia. Pri norme označenie, plný názov a rok vydania. Pri knihe autorov, názov, vydavateľstvo, rok a ISBN.

Každý záznam je pred zaradením overený otvorením zdroja. Záznam, ktorý sa overiť nedá, sa neuvádza. Práce dohľadane po vydaní dokumentu sa evidujú s dátumom nálezu podľa kapitoly N1/02.5.

Zoznam je zoradený podľa poradia prvého výskytu v texte. Číslo v hranatých zátvorkách zodpovedá odkazu v texte. Všetky záznamy boli overené proti primárnemu zdroju.

[1] Rossing, T. D., Russell, D. A., Brown, D. E.: On the acoustics of tuning forks. *Am. J. Phys.* 60 (7), 620–626 (1992).

[2] Blodgett, E. D., McCann, L. I., Anderson, C.: Radiation patterns of novel one- and three-tine tuning forks. *J. Acoust. Soc. Am.* 110 (5, dodatok), 2730 (2001). DOI 10.1121/1.4777461. Abstrakt zo 142. zasadnutia Acoustical Society of America.

[3] Tamura, H., Takano, T., Tomikawa, Y.: Triaxial quartz gyrosensor using a threefold rotatory symmetric form vibrator. *Jpn. J. Appl. Phys.* 44 (6B), 4504–4508 (2005).

[4] Soneda, T., Tamura, H., Tomikawa, Y., Hirose, S.: Basic study of threefold rotatory symmetric form quartz vibrator for triaxial gyrosensor. *Jpn. J. Appl. Phys.* 46 (7B), 4709 (2007).

[5] Sato, A., Ohnishi, K., Sakurai, K., Tomikawa, Y.: *Jpn. J. Appl. Phys.* 34, 2604 (1995).

[6] Satoh, A., Ohnishi, K., Sakurai, K., Tomikawa, Y.: Experimental considerations on the piezoelectric vibratory gyrosensor using a trident tuning-fork resonator. *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1*, 35 (8), 4417 (1996).

[7] Satoh, A., Ohnishi, K., Tomikawa, Y.: Characteristics of the piezoelectric vibratory gyrosensor constructed using a trident tuning-fork resonator. 1998 IEEE Ultrasonics Symposium Proceedings. DOI 10.1109/ULTSYM.1998.762211.

[8] Shiratori, N., Tomikawa, Y., Ohnishi, K.: Vibratory gyro-sensor using vertically set quartz crystal trident-type tuning fork resonator. *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1*, 38 (5B) (1999).

- [9] Tomikawa, Y., Ogasawara, T., Ishida, N.: Vibratory gyro-sensor using a trident tuning fork resonator with lateral width set in parallel with a rotary axis. Abstrakt zo zasadnutia ASA (1998). DOI 10.1121/1.422499.
- [10] Ichimura, T., Tomikawa, Y., Tamura, H.: FEM studies of gyrosensor using quartz crystal trident-type tuning fork resonator. Jpn. J. Appl. Phys. 41, 3399 (2002).
- [11] Iga, Y., Kanda, K., Fujita, T., Higuchi, K., Maenaka, K.: A design and fabrication of MEMS gyroscope using PZT thin films. 2010 World Automation Congress, Kobe.
- [12] Langloÿs, R. J. M. C.: Tuning fork with simultaneous multiple frequencies. US 2 601 801, udelený 1. 7. 1952; prihláška 6. 8. 1947, priorita Francúzsko 24. 4. 1945.
- [13] Myers, R. E.: US 3 405 589 (1968). Viaczubá ladička s tromi a viacerými rovnobežnými zubami, z ktorých je jeden zámerne rozladený.
- [14] Guo, S., Ya, Z., Wu, P., Wan, M.: A review on acoustic vortices: generation, characterization, applications and perspectives. J. Appl. Phys. 132 (21), 210701 (2022). DOI 10.1063/5.0107785.
- [15] Rayleigh, Lord: On the circulation of air observed in Kundt's tubes, and on some allied acoustical problems. Phil. Trans. R. Soc. Lond. 175, 1–21 (1884).
- [16] Lighthill, J.: Acoustic streaming. J. Sound Vib. 61 (3), 391–418 (1978). DOI 10.1016/0022-460X(78)90388-7.
- [17] Russell, D. A.: On the sound field radiated by a tuning fork. Am. J. Phys. 68 (12), 1139–1145 (2000). DOI 10.1119/1.1286661.
- [18] Thomas, D. L.: Dynamics of rotationally periodic structures. Int. J. Numer. Methods Eng. 14 (1), 81–102 (1979). DOI 10.1002/nme.1620140107. Plné znenie voľne dostupné v archíve HAL pod identifikátorom hal-01574169.
- [19] Clarke, E.: Circuit Analysis of A-C Power Systems: Symmetrical and Related Components, zv. I. New York: John Wiley & Sons, 1943.
- [20] Thomas, J.-L., Marchiano, R.: Pseudo angular momentum and topological charge conservation for nonlinear acoustical vortices. Phys. Rev. Lett. 91, 244302 (2003).
- [21] Demoré, C. E. M. a kol.: Mechanical evidence of the orbital angular momentum to energy ratio of vortex beams. Phys. Rev. Lett. 108, 194301 (2012).
- [22] Zhang, L., Marston, P. L.: Acoustic radiation torque and the conservation of angular momentum. J. Acoust. Soc. Am. 129, 1679 (2011).
- [23] Russell, D. A., Junell, J., Ludwigsen, D. O.: Vector acoustic intensity around a tuning fork. Am. J. Phys. 81 (2), 99–103 (2013).

- [24] Morse, P. M., Ingard, K. U.: Theoretical Acoustics. Princeton: Princeton University Press, 1986. ISBN 978-0-691-02401-1. Pôvodné vydanie New York: McGraw-Hill, 1968.
- [25] Marzo, A., Seah, S. A., Drinkwater, B. W., Sahoo, D. R., Long, B., Subramanian, S.: Holographic acoustic elements for manipulation of levitated objects. *Nat. Commun.* 6, 8661 (2015). DOI 10.1038/ncomms9661.
- [26] Marzo, A., Caleap, M., Drinkwater, B. W.: Acoustic virtual vortices with tunable orbital angular momentum for trapping of Mie particles. *Phys. Rev. Lett.* 120, 044301 (2018).
- [27] Riaud, A. a kol.: Anisotropic swirling surface acoustic waves from inverse filtering for on-chip generation of acoustic vortices. *Phys. Rev. Applied* 4, 034004 (2015).
- [28] Hefner, B. T., Marston, P. L.: An acoustical helicoidal wave transducer with applications for the alignment of ultrasonic and underwater systems. *J. Acoust. Soc. Am.* 106 (6), 3313–3316 (1999). DOI 10.1121/1.428184.
- [29] Memoli, G. a kol.: Metamaterial bricks and quantization of meta-surfaces. *Nat. Commun.* 8, 14608 (2017).
- [30] Naify, C. J., Rohde, C. A., Martin, T. P., Guild, M. D., Orris, G. J.: Generation of topologically diverse acoustic vortex beams using a compact metamaterial aperture. *Appl. Phys. Lett.* 108 (22), 223503 (2016).
- [31] Melde, K., Mark, A. G., Qiu, T., Fischer, P.: Holograms for acoustics. *Nature* 537, 518–522 (2016). DOI 10.1038/nature19755.
- [32] Zhou, H. a kol.: Generation of acoustic vortex beams with designed Fermat's spiral diffraction grating. *J. Acoust. Soc. Am.* 146 (6), 4237 (2019).
- [33] Gao, S., Li, Y., Ma, C., Cheng, Y., Liu, X.: Emitting long-distance spiral airborne sound using low-profile planar acoustic antenna. *Nat. Commun.* 12, 2006 (2021). DOI 10.1038/s41467-021-22325-7.
- [34] Jiang, X., Li, Y., Liang, B., Cheng, J.-C., Zhang, L.: Convert acoustic resonances to orbital angular momentum. *Phys. Rev. Lett.* 117, 034301 (2016).
- [35] Chaplain, G. J., De Ponti, J. M., Starkey, T. A.: Elastic orbital angular momentum transfer from an elastic pipe to a fluid. *Commun. Phys.* 5, 279 (2022).
- [36] Shi, C., Dubois, M., Wang, Y., Zhang, X.: High-speed acoustic communication by multiplexing orbital angular momentum. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 114, 7250 (2017).
- [37] Baresch, D., Thomas, J.-L., Marchiano, R.: Observation of a single-beam gradient force acoustical trap for elastic particles: acoustical tweezers. *Phys. Rev. Lett.* 116, 024301 (2016).

- [38] Collins, M. F., Petrenko, O. A.: Triangular antiferromagnets. *Can. J. Phys.* 75, 605–655 (1997).
- [39] Pitanti, A., Ashurbekov, N., dePedro-Embid, I., Msall, M., Santos, P. V.: GHz acousto-optic angular momentum with tunable topological charge. *Nat. Commun.* 16, 8116 (2025). DOI 10.1038/s41467-025-63362-w.
- [40] Chladni, E. F. F.: *Entdeckungen über die Theorie des Klanges*. Leipzig: Weidmanns Erben und Reich, 1787.
- [41] Rossing, T. D.: Chladni's law for vibrating plates. *Am. J. Phys.* 50 (3), 271–274 (1982).
- [42] Faraday, M.: On a peculiar class of acoustical figures; and on certain forms assumed by groups of particles upon vibrating elastic surfaces. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 121, 299–340 (1831). DOI 10.1098/rstl.1831.0018. Vráťane dodatku o tvaroch kvapalín na kmitajúcich pružných povrchoch.
- [43] Alheshibri, M., Qian, J., Jehannin, M., Craig, V. S. J.: A history of nanobubbles. *Langmuir* 32, 11086–11100 (2016).
- [44] Nirmalkar, N., Pacek, A. W., Barigou, M.: On the existence and stability of bulk nanobubbles. *Langmuir* (2018). DOI 10.1021/acs.langmuir.8b01163.
- [45] Alheshibri, M. a kol.: The effect of ultrasound on bulk and surface nanobubbles: a review of the current status. *Ultrason. Sonochem.* (2021).
- [46] ISO 4120:2021 — Sensory analysis — Methodology — Triangle test. Európske prevzatie EN ISO 4120:2021; nahrádza vydanie z roku 2007.
- [47] Ruecroft, G., Hipkiss, D., Ly, T., Maxted, N., Cains, P. W.: Sonocrystallization: the use of ultrasound for improved industrial crystallization. *Org. Process Res. Dev.* 9 (6), 923–932 (2005). DOI 10.1021/op050109x.
- [48] Castillo-Peinado, L. S., Luque de Castro, M. D.: The role of ultrasound in pharmaceutical production: sonocrystallization. *J. Pharm. Pharmacol.* 68 (10), 1249–1267 (2016).
- [49] Joule, J. P.: On a new class of magnetic forces. *Annals of Electricity, Magnetism, and Chemistry* 8, 219–224 (1842).
- [50] Villari, E.: Ueber die Aenderungen des magnetischen Moments, welche der Zug und das Hindurchleiten eines galvanischen Stroms in einem Stabe von Stahl oder Eisen hervorbringen. *Annalen der Physik* 202, 87–122 (1865).
- [51] Pochhammer, L.: Ueber die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten kleiner Schwingungen in einem unbegrenzten isotropen Kreiscylinder. *J. Reine Angew. Math.* 81, 324–336 (1876).
- [52] Chree, C.: Longitudinal vibrations of a circular bar. *Quart. J. Pure Appl. Math.* 21, 287–298 (1886).

- [53] Chree, C.: The equations of an isotropic elastic solid in polar and cylindrical coordinates, their solutions and applications. Trans. Cambridge Philos. Soc. 14, 250–309 (1889).
- [54] Graff, K. F.: Wave Motion in Elastic Solids. New York: Dover, 1991.
- [55] Rayleigh, Lord: On waves propagated along the plane surface of an elastic solid. Proc. London Math. Soc. s1-17 (1), 4–11 (1885). DOI 10.1112/plms/s1-17.1.4.
- [56] Joule, J. P.: On the effects of magnetism upon the dimensions of iron and steel bars. London, Edinburgh and Dublin Philos. Mag. 30 (199), 76–87 (1847).
- [57] Tobias, S. A., Arnold, R. N.: The influence of dynamical imperfection on the vibration of rotating disks. Proc. Inst. Mech. Eng. 171, 669–690 (1957).
- [58] IEC 61672-1:2013 — Electroacoustics — Sound level meters — Part 1: Specifications. Druhé vydanie; ruší a nahrádza vydanie z roku 2002.
- [59] ISO 1999:2013 — Acoustics — Estimation of noise-induced hearing loss. Tretie vydanie, október 2013; nahrádza ISO 1999:1990; naposledy potvrdené v roku 2025.
- [60] ISO 5349-1:2001 — Mechanical vibration — Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration — Part 1: General requirements. Prvé vydanie, máj 2001; naposledy potvrdené v roku 2026.
- [61] ISO 10068:2012 — Mechanical vibration and shock — Mechanical impedance of the human hand-arm system at the driving point. Druhé vydanie, december 2012; potvrdené v roku 2023. Hodnoty platia pre mužskú sústavu ruka a rameno v rozsahu 10 až 500 Hz, na ženy sa dajú použiť predbežne.
- [62] Nilsson, T., Wahlström, J., Burström, L.: Hand-arm vibration and the risk of vascular and neurological diseases — a systematic review and meta-analysis. PLOS ONE 12 (7), e0180795 (2017). DOI 10.1371/journal.pone.0180795.
- [63] ISO 2631-1:1997 — Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 1: General requirements. Druhé vydanie, máj 1997; Amendment 1 z roku 2010; potvrdené v roku 2021. Norma zostáva publikovaná, pričom prebieha jej revízia a pripravuje sa náhrada ISO/DIS 2631-1.
- [64] International Radiation Protection Association, International Non-Ionizing Radiation Committee: Interim guidelines on limits of human exposure to airborne ultrasound. Health Phys. 46 (4), 969–974 (1984). Predbežné odporúčanie; formálne nebolo nahradené novými ICNIRP expozičnými limitmi. Jeho vedecký základ a medzery boli opätovne posúdené v zdroji [66].
- [65] Health Canada: Guidelines for the Safe Use of Ultrasound, Part II — Industrial and Commercial Applications. Safety Code 24. Ottawa, 1991. ISBN 0-660-13741-0; Cat. No. H46-2/90-158E.

[66] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Validity of the 1984 Interim Guidelines on Airborne Ultrasound and Gaps in the Current Knowledge. Health Phys. 127 (2), 326–347 (2024). DOI 10.1097/HP.0000000000001800.

Ďalej patenty US 6 397 676 B1, US 6 490 925 B2, US 6 675 651 B2, US 7 216 540 B2, US 7 637 159 B2, US 8 390 389 B2 a US 9 231 554 B2; pri všetkých bolo otvorené plné znenie alebo nárok. Uvádzajú sa súborne, pretože sa v texte necitujú jednotlivo.

P4 Nepoužívané pojmy

Nasledujúce pojmy sa v dokumentoch N1, N2 a N3 nepoužívajú. Uvádzajú sa spolu s dôvodom a s pomenovaním, ktoré ich nahrádza. Staršie materiály projektu, ktoré tieto pojmy obsahujú, zostávajú nedotknuté ako historický záznam.

Nepoužíva sa	Dôvod	Používa sa namiesto toho
harvest	zostava dvoch cievok s ramenom je transformátor; energia von sa rovná energii dnu mínus straty	účinnosť prevodu
kvantové previazanie medzi ramenami	N1 nemá experimentálny dôkaz ani operačné kritérium, ktoré by preukazovalo kvantové previazanie medzi ramenami; pozorovanú vzájomnú odozvu možno testovať klasickými metódami mechanickej a modálnej väzby.	fázové uzamknutie, modálna väzba
spintronika ako rozhranie vedomia	bez opory v literatúre	spintronicke senzory ako meracie prístroje
éterické pulzácie, jemnohmotné prúdy	bez merateľného kritéria	vynecháva sa
skalárna vlna	voľné EM vlny vo vákuu sú priečne; príslušné experimenty neboli nezávisle zreplikované	skalárny potenciál, anapólový režim, pozdĺžne zložky blízkeho poľa
štruktúrovaná voda, pamäť vody	neurčuje, ktorá veličina by sa mala zmeniť ani ako by sa zmena preukázala	veličiny podľa kapitoly N1/11.6
biopole	bez merateľnej definície	konkrétne meraná veličina, napríklad impulzná odozva tkaniva na indukované vírivé prúdy

Pri pojme skalárna vlna je potrebné rozlíšenie. Zavrhuje sa výhradne význam pozdĺžnej elektromagnetickej vlny šíriacej sa vo vákuu bez elektrickej a magnetickej zložky. Skalárne pole ako matematický objekt je plne legitímne, v projekte sa používa a je definované v kapitole N1/07.1.

P5 Rešeršný protokol - tabuľka dotazov

Tabuľky uvádzajú pätnásť presných dotazov podľa kapitoly N1/02.5, vykonaných v jednotlivých databázach. Stĺpec Nájdené je počtom záznamov, ktoré databáza vykázala. Stĺpec Prezreté je počtom titulov a abstraktov, ktoré boli otvorené; pri vyššom počte nájdených zodpovedá prvej strane výsledkov. Stĺpec Zaradené je počtom záznamov prevzatých do zoznamu v kapitole N1/02.5.

Zaradenie sa riadi dvomi kritériami. Prísny, ktoré vyžaduje jedno teleso s tromi alebo viacerými ramenami rozloženými radiálne okolo osi, a širším, ktoré pripúšťa tri alebo viac ramien na spoločnej základni v rovnobežnom usporiadaní. Sústavy mnohých rezonátorov, mriežky, metapovrchy a fázované polia sa nezaraďujú.

IEEE Xplore, 24. augusta 2026. Dotazy zadané cez Command Search nad poľom All Metadata. Beh vykonaný programovo; dotazy 1, 3, 6 a 9 overené ručne vo webovom rozhraní so zhodným výsledkom.

Protokol predstavuje rozsahovo definovanú rešerš zameranú na identifikáciu priamo relevantných predchádzajúcich riešení; nepredstavuje systematický prehľad celej literatúry. Závery o stave poznania sa preto vzťahujú výhradne na uvedené databázy, dotazy, dátumy a rozsah prezretých výsledkov.

Č.	Dotaz	Náj.	Prez.	Zar.	Poznámka
1	"three-pronged tuning fork"	0	0	0	Žiadny záznam. Termín je pritom doslovne použitý v patente US 6 397 676 B1; IEEE patenty neindexuje.
2	"three-tine tuning fork"	0	0	0	Žiadny záznam.
3	"trident tuning fork"	2	2	2	Tridentové piezoelektrické gyrosenzory, kremenné aj v mierke MEMS. Ramená rovnobežné.
4	"multi-tine tuning fork"	0	0	0	Žiadny záznam.
5	"tuning fork" AND "three tines"	0	0	0	Žiadny záznam.
6	"tuning fork" AND "three arms" AND resonator	0	0	0	Žiadny záznam. Fráza three arms sa v metadátach

Č.	Dotaz	Náj.	Prez.	Zar.	Poznámka
					tridentových prác nevyskytuje.
7	"threefold symmetry" AND "acoustic resonator"	0	0	0	Žiadny záznam.
8	"C3 symmetry" AND resonator AND acoustic	0	0	0	Žiadny záznam.
9	"degenerate modes" AND "tuning fork"	9	9	0	MEMS gyroskopy s degenerovaným párom, sústavy hmôt a nosníkov.
10	"mode splitting" AND "threefold symmetric" AND resonator	0	0	0	Žiadny záznam.
11	"acoustic vortex" AND passive AND monolithic	0	0	0	Žiadny záznam.
12	"acoustic vortex" AND "single transducer"	3	3	0	Akustické pinzety a vírové pasce; vír sa vytvára fázovým poľom.
13	"orbital angular momentum" AND acoustic AND "resonator geometry"	0	0	0	Žiadny záznam.
14	"near-field" AND "tuning fork" AND "pressure mapping"	0	0	0	Žiadny záznam.
15	tetrahedral AND "acoustic resonator" AND geometry	0	0	0	Žiadny záznam.

Archív Journal of the Acoustical Society of America, 24. augusta 2026. Dotazy zadané cez pubs.aip.org s obmedzením na tento časopis. Beh bol od štvrtého dotazu spomalený kvôli obmedzeniu tempa na strane servera.

Č.	Dotaz	Náj.	Prez.	Zar.	Poznámka
1	"three-pronged tuning fork"	0	0	0	Žiadny záznam.
2	"three-tine tuning fork"	1	1	1	Blodgett, McCann, Anderson (2001). Jediný

Č.	Dotaz	Náj.	Prez.	Zar.	Poznámka
					nález s radiálnym usporiadaním ramien.
3	"trident tuning fork"	2	2	2	Dva abstrakty zo zasadnutí ASA k tridentovému gyrosenzoru, skupina Tomikawa.
4	"multi-tine tuning fork"	0	0	0	Žiadny záznam.
5	"tuning fork" AND "three tines"	1	1	0	Ten istý záznam ako pri dotaze 2; nezapočítava sa druhýkrát.
6	"tuning fork" AND "three arms" AND resonator	0	0	0	Žiadny záznam.
7	"threefold symmetry" AND "acoustic resonator"	1	1	0	Rezonancie kvapalinou plnenej dutiny; symetria sa týka módov škrupiny.
8	"C3 symmetry" AND resonator AND acoustic	2	2	0	Fonónové kryštály a mriežky typu grafén; C3 je symetriou mriežky, nie telesa.
9	"degenerate modes" AND "tuning fork"	0	0	0	Žiadny záznam. Prvý beh vrátil prázdnu stránku; overené opakovaním.
10	"mode splitting" AND "threefold symmetric" AND resonator	0	0	0	Žiadny záznam.
11	"acoustic vortex" AND passive AND monolithic	1	1	0	Prehľadový text o meničoch; zhoda náhodná.
12	"acoustic vortex" AND "single transducer"	3	3	0	Metapovrchy a akustické čierne diery; vír sa vytvára úpravou vlnoplochy.
13	"orbital angular momentum" AND acoustic AND "resonator geometry"	0	0	0	Žiadny záznam. Prvý beh vrátil prázdnu stránku; overené opakovaním.
14	"near-field" AND "tuning fork" AND "pressure mapping"	0	0	0	Žiadny záznam.

Č.	Dotaz	Náj.	Prez.	Zar.	Poznámka
15	tetrahedral AND "acoustic resonator" AND geometry	34	20	0	Prezretá prvá strana. Tlmiče hluku, mikrodierované panely, Helmholtzove rezonátory. Slovo tetrahedral sa týka výpočtovej siete.

Scopus, 25. augusta 2026. Dotazy zadané v poli Article title, Abstract, Keywords.
Prístup sprístupnený Centrom vedecko-technických informácií SR.

Č.	Dotaz	Náj.	Prez.	Zar.	Poznámka
1	"three-pronged tuning fork"	0	0	0	Žiadny záznam.
2	"three-tine tuning fork"	0	0	0	Žiadny záznam. Scopus neindexuje dodatky so zasadnutiami ASA, kde je uvedený abstrakt z roku 2001.
3	"trident tuning fork"	5	5	3	Tri tridentové gyrosenzory, z toho jeden dosiaľ nezachytený. Ďalšie dva sú ladičkové snímače pre mikroskopiu atomárnych síl.
4	"multi-tine tuning fork"	0	0	0	Žiadny záznam.
5	"tuning fork" AND "three tines"	0	0	0	Žiadny záznam.
6	"tuning fork" AND "three arms" AND resonator	1	1	1	Zvislo uložený tridentový rezonátor, 1999. Jediný nález tohto dotazu naprieč všetkými databázami.
7	"threefold symmetry" AND "acoustic resonator"	0	0	0	Žiadny záznam.
8	"C3 symmetry" AND resonator AND acoustic	0	0	0	Žiadny záznam.
9	"degenerate modes" AND "tuning fork"	3	3	0	MEMS gyroskopy s degenerovaným párom.
10	"mode splitting" AND "threefold	0	0	0	Žiadny záznam.

Č.	Dotaz	Náj.	Prez.	Zar.	Poznámka
	symmetric" AND resonator				
11	"acoustic vortex" AND passive AND monolithic	0	0	0	Žiadny záznam.
12	"acoustic vortex" AND "single transducer"	3	3	0	Akustické pinzety a metamateriálové apertúry.
13	"orbital angular momentum" AND acoustic AND "resonator geometry"	0	0	0	Žiadny záznam.
14	"near-field" AND "tuning fork" AND "pressure mapping"	0	0	0	Žiadny záznam.
15	tetrahedral AND "acoustic resonator" AND geometry	0	0	0	Žiadny záznam.

Zápisy z prvého behu z 23. augusta 2026 nad Google Scholar, Semantic Scholar, arXiv, Google Patents a Espacenet sú vedené oddelene v pracovnej dokumentácii projektu. Databáza Web of Science nebola prehľadaná z dôvodov uvedených v kapitole N1/02.5.

P6 História verzií

Tabuľka eviduje zverejnené verzie tohto dokumentu. Pracovné koncepty s označením v0.x jej súčasťou nie sú, pretože neboli sprístupnené mimo tímu.

Označenie verzie má tvar hlavné.vedľajšie. Hlavné číslo sa mení pri zásahu do definícií, do číslovania odkazov alebo do štruktúry kapitol, teda pri zmene, ktorá ruší platnosť krížových odkazov na predchádzajúce vydanie. Vedľajšie číslo sa mení pri opravách a doplneniach, ktoré tieto prvky nechávajú nedotknuté. Dátum sa uvádza ako deň zverejnenia súboru na www.triaural.com. Stav Vydané označuje verziu platnú v čase zápisu, stav Nahradené verziu, ktorú vystriedalo novšie vydanie.

Verzia	Dátum vydania	Stav	Popis zmien
1.0	03.09.2026	Vydané	Prvé zverejnené vydanie dokumentu. Vzniklo z pracovných konceptov v0.1 až v0.50, ktoré neboli sprístupnené mimo tímu. Obsahuje definičnú časť, metodický rámec, rešeršný protokol podľa kapitoly N1/02.5, výskumný návrh, rozpočtový rozbor a prílohy P1 až P6.

Zverejnený súbor sa po vydaní neprepisuje. Chyba zistená po vydaní sa opravuje novým vydaním so záznamom v tejto tabuľke, aby bolo pri každom citovaní zrejmé, o ktoré znenie ide.

OTVORENÁ VÝZVA

K PODPORE PROJEKTU

TRIAURAL vznikol ako nezávislá výskumná iniciatíva a zostáva otvorený každému, kto cíti, že má možnosti a vôľu prispieť k jeho realizácii.

Vybudovanie pracoviska, výroba presných vzoriek, meracia technika a nezávislá validácia si vyžadujú zdroje, ktoré presahujú súčasné možnosti projektového tímu.

Otázky sú položené. Ďalší krok patrí meraniam.

AK VIDÍTE V NAŠEJ VÍZII HODNOTU, DVERE SÚ OTVORENÉ.

www.triaural.com | info@triaural.com

- *TRIAURAL* -

Vydané: 03.09.2026
<https://www.triaural.com>