

Spis Treści

| | |
|--|----|
| O autorach | 19 |
| Wstęp | 21 |
| Rozdział I | |
| Podstawowe informacje o dźwięku | 23 |
| Fala sinusoidalna | 24 |
| Dźwięk w ośrodku | 25 |
| Ruch cząsteczek | 26 |
| Rozchodzenie się dźwięku | 27 |
| Prędkość dźwięku | 29 |
| Długość fali i częstotliwość | 31 |
| Harmoniczne | 33 |
| Faza | 34 |
| Tony składowe | 37 |
| Oktawy | 37 |
| Pojęcie widma | 40 |
| Analogie elektryczne, mechaniczne i akustyczne | 44 |
| Rozdział II | |
| Poziom głośności dźwięku a decybele | 47 |
| Stosunek a różnica | 47 |
| Wartości liczbowe | 48 |
| Logarytmy | 50 |
| Decybele | 50 |
| Poziomy odniesienia | 53 |
| Porównanie postaci logarytmicznej i wykładniczej | 55 |
| Moc akustyczna | 56 |
| Korzystanie z decybeli | 57 |
| Pomiar poziomu ciśnienia akustycznego | 62 |
| Pomiary fali sinusoidalnej | 63 |
| Rozdział III | |
| Dźwięk w polu akustycznym swobodnym | 67 |
| Pole akustyczne swobodne | 67 |
| Rozchodzenie się dźwięku | 68 |

| | |
|---|----|
| Natężenie akustyczne w polu akustycznym swobodnym | 69 |
| Ciśnienie akustyczne w polu akustycznym swobodnym | 70 |
| Pola akustyczne w przestrzeniach zamkniętych | 73 |
| Półklista propagacja fal | 74 |

Rozdział IV

| | |
|---|-----|
| Odbieranie dźwięków | 77 |
| Czułość ucha | 78 |
| Budowa ucha ludzkiego | 79 |
| Ucho zewnętrzne | 80 |
| Kierunkowość odbioru dźwięku – ćwiczenie | 80 |
| Przewód słuchowy | 81 |
| Ucho środkowe | 82 |
| Ucho wewnętrzne | 85 |
| Stereocilia | 86 |
| Głośność a częstotliwość | 87 |
| Regulacja głośności | 90 |
| Obszar słyszalności | 90 |
| Głośność a poziom ciśnienia akustycznego | 92 |
| Głośność i szerokość pasma | 94 |
| Głośność impulsów | 97 |
| Zmiany głośności | 99 |
| Wysokość dźwięku a częstotliwość | 99 |
| Doświadczenie z wysokością dźwięku | 101 |
| Brakująca składowa podstawowa | 101 |
| Barwa dźwięku a widmo | 101 |
| Lokalizacja źródeł dźwięku | 102 |
| Lokalizacja za pomocą pary uszu | 105 |
| Prawo dźwięku bezpośredniego | 106 |
| Efekt Franssena | 106 |
| Efekt pierwszeństwa | 107 |
| Percepcja dźwięku odbitego | 109 |
| Efekt cocktail party | 112 |
| Nieliniowość słuchowa | 112 |
| Subiektywność i obiektywność | 114 |
| Głuchota zawodowa i wynikająca ze sposobu spędzania wolnego czasu | 114 |
| Podsumowanie | 116 |

Rozdział V

| | |
|-------------------------------------|-----|
| Sygnaly, mowa, muzyka i szum | 119 |
| Spektrograf akustyczny | 119 |
| Mowa | 122 |
| Narząd głosu | 124 |
| Powstawanie głosek dźwięcznych | 124 |

| | |
|-------------------------------------|-----|
| Powstawanie głosek bezdźwięcznych | 125 |
| Zakres częstotliwości mowy | 126 |
| Kierunkowość mowy | 127 |
| Muzyka | 128 |
| Instrumenty strunowe | 128 |
| Instrumenty dęte | 129 |
| Nieharmoniczne tony składowe górne | 130 |
| Zakres dynamiczny mowy i muzyki | 131 |
| Moc mowy i muzyki | 132 |
| Zakres częstotliwości mowy i muzyki | 133 |
| Obszar słyszalności mowy i muzyki | 133 |
| Szum | 136 |
| Pomiary szumu | 137 |
| Szum losowy | 138 |
| Szum biały i różowy | 139 |
| Zniekształcenia sygnału | 142 |
| Zniekształcenia harmoniczne | 143 |
| Rezonans | 146 |
| Filtry | 148 |

Rozdział VI

| | |
|--|------------|
| Odbicia dźwięku | 153 |
| Odbicia zwierciadlane | 153 |
| Echa łopoczące | 155 |
| Podwojenie ciśnienia przy odbiciu | 156 |
| Odbicia od powierzchni wypukłych | 156 |
| Odbicia od powierzchni wklęsłych | 157 |
| Odbicia od powierzchni parabolicznych | 158 |
| Galerie szeptów | 159 |
| Fale stojące | 160 |
| Odbicia dźwięku od dwóch powierzchni prostopadłych do siebie – reflektor kątowy | 160 |
| Średnia droga swobodna | 161 |
| Percepcja odbić dźwięku | 162 |
| Pojedyncze odbicia | 163 |
| Percepcja przestrzenności, obrazu dźwiękowego i echa | 164 |
| Wpływ kąta padania, rodzaju sygnału i widma na słyszalność odbić | 166 |

Rozdział VII

| | |
|-----------------------------------|------------|
| Dyfrakcja | 169 |
| Propagacja i dyfrakcja czoła fali | 169 |
| Dyfrakcja a długość fali | 170 |
| Dyfrakcja dźwięku na przeszkodzie | 170 |
| Dyfrakcja dźwięku na otworach | 174 |

| | |
|--|-----|
| Dyfrakcja dźwięku na szczelinie | 175 |
| Dyfrakcja na soczewce dźwiękowej | 175 |
| Dyfrakcja wokół ludzkiej głowy | 177 |
| Dyfrakcja na krawędzi obudowy głośnika | 177 |
| Dyfrakcja na różnych obiektach | 180 |

Rozdział VIII

| | |
|---|------------|
| Refrakcja dźwięku | 181 |
| Natura refrakcji | 182 |
| Refrakcja dźwięku w ciałach stałych | 183 |
| Refrakcja dźwięku w atmosferze | 184 |
| Refrakcja dźwięku w pomieszczeniach zamkniętych | 188 |
| Refrakcja dźwięku w oceanie | 189 |

Rozdział IX

| | |
|---|------------|
| Rozpraszanie dźwięku | 191 |
| Doskonale rozproszone pole akustyczne | 192 |
| Ocena rozproszenia w pomieszczeniu | 192 |
| Pomiary stanu ustalonego | 193 |
| Nierównomierności (dudnienia) | |
| charakterystyki czasu pogłosu | 194 |
| Zanik poziomu dźwięku o charakterze wykładniczym | 195 |
| Jednorodność przestrzenna czasu pogłosu | 197 |
| Nieregularności geometryczne | 200 |
| Pojedyncze elementy pochłaniające | 200 |
| Powierzchnie wklęsłe | 202 |
| Powierzchnie wypukłe – przestrzenny ustrój dźwiękochłonny | 203 |
| Powierzchnie płaskie | 204 |

Rozdział X

| | |
|--|------------|
| Filtr grzebieniowy | 205 |
| Czym jest filtr grzebieniowy? | 205 |
| Superpozycja dźwięku | 206 |
| Sygnaly tonalne i filtry grzebieniowe | 207 |
| Łączenie sygnałów muzyki i mowy | 209 |
| Łączenie dźwięku bezpośredniego i odbitego | 210 |
| Filtry grzebieniowe i pasma krytyczne | 215 |
| Filtry grzebieniowe przy odtwarzaniu wielokanałowym | 217 |
| Odbicia i przestrzenność | 217 |
| Filtry grzebieniowe w sygnale mikrofonu stereofonicznego | 218 |
| Filtry grzebieniowe w praktyce: sześć przykładów | 218 |
| Ocena wpływu efektu filtru grzebieniowego | 224 |

Rozdział XI

| | |
|---|-----|
| Pogłos | 227 |
| Narastanie dźwięku w pomieszczeniu | 228 |
| Zanik dźwięku w pomieszczeniu | 230 |
| Model narastania i zanikania dźwięku | 230 |
| Obliczanie czasu pogłosu | 231 |
| Wzór Sabine'a | 233 |
| Wzór Eyringa i Norrissa | 235 |
| Pochłanianie przez powietrze | 236 |
| Pomiar czasu pogłosu | 237 |
| Impulsowe źródła dźwięku | 237 |
| Źródła stałe | 238 |
| Sprzęt pomiarowy | 239 |
| Przebieg pomiarów | 240 |
| Pogłos i drgania normalne | 241 |
| Analiza przebiegu czasu zaniku poziomu dźwięku w pomieszczeniu | 243 |
| Zmienność zanikania drgań własnych | 244 |
| Efekt częstotliwości | 247 |
| Charakterystyka pogłosu | 247 |
| Zmiany czasu pogłosu w zależności od lokalizacji | 249 |
| Tempo tłumienia i pole pogłosowe | 250 |
| Przestrzenie akustycznie powiązane | 251 |
| Przestrzenie powiązane elektroakustycznie | 251 |
| Eliminowanie fluktuacji tłumienia | 252 |
| Wpływ pogłosu na mowę | 252 |
| Wpływ pogłosu na muzykę | 254 |
| Optymalny czas pogłosu | 255 |
| Wzrost niskich tonów w czasie pogłosu | 258 |
| Opóźnienie pierwszego odbicia | 260 |
| Czas pogłosu pomieszczenia mieszkalnego | 260 |
| Sztuczny pogłos | 262 |
| Obliczenia pogłosu | 264 |

Rozdział XII

| | |
|---|-----|
| Pochłanianie dźwięku | 269 |
| Rozpraszanie energii dźwiękowej | 269 |
| Współczynnik pochłaniania dźwięku | 271 |
| Metoda pomiaru współczynnika pochłaniania w warunkach pola pogłosowego | 273 |
| Pomiar w rurze Kundta | 274 |
| Metoda krótkich impulsów tonowych | 278 |
| Montaż materiału pochłaniającego | 278 |
| Porowatość a pochłanianie średnich i wysokich częstotliwości | 280 |

| | |
|---|------------|
| Materiały izolacyjne z włókna szklanego | 282 |
| Włókno szklane – płyty | 284 |
| Włókno szklane – płytki akustyczne | 284 |
| Wpływ grubości materiału dźwiękochłonnego | 285 |
| Wpływ pustki powietrznej za materiałem dźwiękochłonnym | 286 |
| Wpływ gęstości materiału pochłaniającego | 287 |
| Pianki o porach otwartych | 287 |
| Zasłony jako materiały pochłaniające dźwięk | 288 |
| Dywan jako materiał pochłaniający dźwięk | 292 |
| Wpływ rodzaju wykładziny na pochłanianie | 293 |
| Wpływ podkładu wykładziny na pochłanianie | 294 |
| Współczynniki pochłaniania dźwięku wykładzin | 296 |
| Pochłanianie dźwięków przez ludzi | 297 |
| Pochłanianie dźwięku w powietrzu | 298 |
| Przeponowe ustroje dźwiękochłonne | 299 |
| Przestrzenne ustroje dźwiękochłonne | 305 |
| Konstrukcja ustrojów przestrzennych | 307 |
| Pułapka basowa – pochłanianie w zakresie niskich częstotliwości spowodowane rezonansem | 308 |
| Rezonatory Helmholtza | 310 |
| Perforowane płyty dźwiękochłonne | 314 |
| Listwowe ustroje dźwiękochłonne | 318 |
| Lokalizacja materiałów | 321 |
| Czas pogłosu rezonatorów Helmholtza | 321 |
| Obniżanie drgań własnych pomieszczenia za pomocą ustrojów dźwiękochłonnych | 323 |
| Zwiększanie czasu pogłosu | 325 |
| Moduły | 325 |
| Rozdział XIII | |
| Rezonanse drgań własnych | 329 |
| Wczesne doświadczenia i przykłady | 330 |
| Rezonans w rurze | 331 |
| Odbicia w pomieszczeniu | 334 |
| Rezonans między dwiema ścianami | 336 |
| „Obszary” częstotliwości | 337 |
| Równanie rezonansów pomieszczenia | 340 |
| Obliczanie rezonansów – przykład | 342 |
| Weryfikacja doświadczalna | 345 |
| Tłumienie drgań własnych | 347 |
| Szerokość pasma rezonansu | 351 |
| Wykresy ciśnienia drgań własnych | 354 |
| Gęstość drgań własnych | 358 |

| | |
|--|-----|
| Odstęp między drganiami własnymi i „zakolorowania” dźwięku | 359 |
| Słyszalność zakolorowań | 360 |
| Optymalny kształt pomieszczenia | 361 |
| Kryterium Bonella | 366 |
| Zmiana kąta powierzchni w pomieszczeniu | 367 |
| Pomieszczenia o kształcie różnym od prostokąta | 367 |
| Kontrolowanie problematycznych drgań własnych | 370 |
| Uproszczona analiza rezonansów osiowych | 371 |
| Podsumowanie | 373 |

Rozdział XIV

| | |
|--|-----|
| Dyfuzor (rozpraszacz) Schroedera | 375 |
| Część badawcza | 375 |
| Dyfuzory RPG — Reflection-Phase-Grating (bazujące na siatkach zmieniających fazę odbicia) | 377 |
| Dyfuzory oparte na sekwencji residuum kwadratowego | 378 |
| Dyfuzory oparte na sekwencji pierwiastka pierwotnego | 380 |
| Działanie dyfuzorów opierających się na siatce dyfrakcyjnej | 382 |
| Zastosowania dyfuzorów RPG | 386 |
| Rozwiązywanie problemów z „drzeniem” dźwięku | 390 |
| Zastosowanie fraktali | 391 |
| Rozpraszanie w trzech wymiarach | 394 |
| Betonowe bloki akustyczne | 395 |
| Pomiar skuteczności rozpraszania | 396 |
| Porównanie „siatek” z rozwiązaniami konwencjonalnymi | 399 |

Rozdział XV

| | |
|--|-----|
| Zmienne warunki akustyczne | 401 |
| Zasłony | 401 |
| Regulowane panele – pochłanianie | 403 |
| Panele na zawiasach | 405 |
| Panele z żaluzjami | 405 |
| Regulowane panele pochłaniające i rozpraszające dźwięk | 406 |
| Zmienne urządzenia rezonansowe | 408 |
| Obracanie elementów | 410 |
| Moduły przenośne | 411 |

Rozdział XVI

| | |
|------------------------------------|-----|
| Zakłócenia | 417 |
| Metody obniżania poziomu hałasu | 418 |
| Hałas przenoszony drogą powietrzną | 419 |
| Izolacyjność akustyczna | 420 |
| Wpływ masy i częstotliwości | 421 |
| Efekt koincydencji | 423 |
| Rozdział mas | 424 |

| | |
|--|-----|
| Złożone przegrody | 425 |
| Materiały porowate | 426 |
| Klasyfikacja STC | 428 |
| Porównanie konstrukcji ścian | 430 |
| Okna dźwiękoszczelne | 432 |
| Drzwi dźwiękoszczelne | 434 |
| Hałas przenoszony przez konstrukcję | 436 |
| Hałas przenoszony przez drgania | 437 |
| Podłogi pływające | 438 |
| Ściany i sufity z warstwą izolacji przeciwdźwiękowej | 441 |
| Hałas a rezonans w pomieszczeniu | 441 |
| Normy i wymagania w zakresie hałasu | 442 |

Rozdział XVII

| | |
|---|------------|
| Kontrola hałasu systemu wentylacyjnego | 445 |
| Wybór wskaźnika oceny hałasu | 446 |
| Szum wentylatora | 451 |
| Hałas i drgania urządzeń | 452 |
| Prędkość powietrza | 455 |
| Tłumienie „naturalne” | 457 |
| Wykładzina w kanale | 458 |
| Tłumiki absorpcyjne | 459 |
| Gotowe tłumiki fabryczne | 460 |
| Tłumiki refleksyjne | 460 |
| Tłumik rezonansowy | 462 |
| Lokalizacja kanału | 462 |
| Stowarzyszenie ASHRAE | 463 |
| Aktywne tłumienie hałasu | 464 |
| Kilka porad praktycznych | 464 |

Rozdział XVIII

| | |
|--|------------|
| Akustyka pomieszczenia odsłuchowego | 467 |
| Charakter odtwarzanego dźwięku | 468 |
| Akustyka małego pomieszczenia | 470 |
| Rozmiar i proporcje pomieszczenia | 470 |
| Czas pogłosu | 471 |
| Kwestie niskich częstotliwości | 472 |
| Zakolorowania | 476 |
| Sterowanie rezonansami drgań własnych | 476 |
| Pułapki basowe w pomieszczeniach odsłuchowych | 476 |
| Kwestie częstotliwości średnio-wysokotonowych | 478 |
| Identyfikacja i adaptacja akustyczna punktów odbicia | 482 |
| Odbicia poprzeczne – kontrola przestrzenności | 484 |
| Lokalizacja głośników | 484 |

Rozdział XIX

| | |
|---|------------|
| Akustyka małego studia nagraniowego | 487 |
| Wymagania w odniesieniu do hałasu otoczenia | 488 |
| Charakterystyka akustyczna studia | 489 |
| Dźwięk bezpośredni i pośredni | 489 |
| Rola adaptacji akustycznej pomieszczenia | 490 |
| Drgania własne pomieszczenia i jego objętość | 491 |
| Analiza rezonansu dla różnych rozmiarów pomieszczeń | 492 |
| Czas pogłosu | 494 |
| Pogłos w małych pomieszczeniach | 495 |
| Optymalny czas pogłosu | 495 |
| Rozpraszanie | 496 |
| Hałas | 497 |
| Przykład projektu studia | 497 |
| Zakładana chłonność | 498 |
| Proponowana adaptacja pomieszczenia | 499 |

Rozdział XX

| | |
|---|------------|
| Akustyka w reżyserce | 505 |
| Opóźnienie pierwszego odbicia | 506 |
| Część niewytlumiona – część wytlumiona | 508 |
| Odbicia a rozpraszanie | 509 |
| Rezonanse niskotonowe w reżyserce | 511 |
| Opóźnienie pierwszego odbicia w praktyce | 513 |
| Lokalizacja głośnika i rozchodzenie się odbić | 515 |
| Reżyserka ze strefą pozbawioną odbić | 516 |
| Zakres częstotliwości w reżyserce | 518 |
| Zewnętrzna i wewnętrzna konstrukcja reżyserki | 519 |

Rozdział XXI

| | |
|--|------------|
| Pomieszczenia do obróbki audiowizualnej | 521 |
| Warunki projektowania | 521 |
| Adaptacja pomieszczenia | 522 |
| Przykład miejsca pracy | 522 |
| Ocena rezonansów pomieszczenia | 524 |
| Kontrola nad rezonansami pomieszczenia | 524 |
| Obliczenia pochłaniania | 524 |
| Propozycja adaptacji | 525 |
| Specjalistyczna adaptacja | 527 |
| Problemy z dźwiękiem w kabinie spikera | 528 |
| Pole tłumione i nietłumione | 528 |
| Pierwsze odbicia | 529 |
| Wytłumienie jednej części studia | 530 |

| | |
|---|------------|
| Rozdział XXII | |
| Akustyka dużych sal | 533 |
| Najistotniejsze kryteria w projektowaniu | 534 |
| Kontrola pogłosu i echa | 535 |
| Sale służące do odbioru mowy | 538 |
| Objętość | 538 |
| Geometria sali | 538 |
| Pochłanianie | 540 |
| Sufit, ściany i podłoga | 541 |
| Zrozumiałość mowy | 542 |
| Częstotliwości i czas trwania mowy | 542 |
| Metody subiektywne | 543 |
| Metody analityczne | 544 |
| Projektowanie akustyczne sali koncertowej | 545 |
| Pogłos | 546 |
| Klarowność | 546 |
| Przejrzystość | 547 |
| Wzmocnienie | 547 |
| Liczba miejsc siedzących | 548 |
| Objętość | 549 |
| Przestrzenność | 549 |
| Pozorna szerokość źródła | 549 |
| Początkowe opóźnienie | 550 |
| Stosunek tonów niskich i ciepłe brzmienie | 550 |
| Projekt architektoniczny sali koncertowej | 551 |
| Balkon | 551 |
| Sufit i ściany | 552 |
| Podłoga nachylona | 553 |
| Analiza obrazu pozornego źródła | 554 |
| Procedura projektowania sali | 556 |
| Przykładowe rozwiązania | 556 |
| Rozdział XXIII | |
| Zniekształcenia akustyczne | 561 |
| Zniekształcenia akustyczne i odbiór dźwięków | 561 |
| Źródła zniekształceń akustycznych | 562 |
| Sprzężenie drgań własnych pomieszczenia | 562 |
| Interferencje między głośnikiem a powierzchniami otaczającymi | 563 |
| Filtr grzebieniowy | 565 |
| Rozpraszanie | 570 |
| Pomiary rozpraszania | 572 |
| Metody projektowania | 574 |

Rozdział XXIV

| | |
|--|-----|
| Oprogramowanie do pomiarów akustyki pomieszczenia | 577 |
| Pomiary akustyczne | 578 |
| Podstawowa aparatura pomiarowa | 579 |
| Techniki pomiarowe TDS (time-delay spectrometry) | 580 |
| Techniki pomiarowe MLS | 584 |
| Program ETF firmy AcoustiSoft | 585 |
| Pomiary charakterystyki częstotliwościowej | 589 |
| Pomiary rezonansów | 595 |
| Pomiary w pasmach węższych od oktawy | 596 |
| Pomiary krzywej zależności energii od czasu | 598 |
| Czas pogłosu | 603 |

Rozdział XXV

| | |
|--|-----|
| Optymalizacja pomieszczenia | 605 |
| Drgania własne | 606 |
| Interferencje między głośnikiem a powierzchniami otaczającymi | 609 |
| Optymalizacja | 610 |
| Teoria działania | 612 |
| Przewidywanie charakterystyki pomieszczenia | 613 |
| Proces optymalizacji | 618 |
| Parametr kosztu | 618 |
| Procedura optymalizacji | 621 |
| Wyniki działania | 624 |
| Konfiguracja stereofoniczna | 624 |
| Zestawy głośnikowe w układzie stereo z dwoma głośnikami niskotonowymi w każdym zestawie | 625 |
| Kino domowe w systemie 5.1 z dipolowymi głośnikami dźwięku surround | 628 |
| Kino domowe w systemie 5.1 z zestawami satelitarnymi | 630 |
| Subwoofer | 633 |
| Wnioski | 635 |

Rozdział XXVI

| | |
|-----------------------------------|-----|
| Prezentacja dźwięku | 637 |
| Historia modelowania akustycznego | 638 |
| Proces prezentacji akustycznej | 642 |
| Współczynniki rozpraszania | 642 |
| Charakterystyka odbiornika | 644 |
| Przetwarzanie echogramu | 644 |
| Dane modelu pomieszczenia | 648 |
| Odwzorowanie modelu pomieszczenia | 651 |
| Odtwarzanie binauralne | 654 |
| Podsumowanie | 656 |



