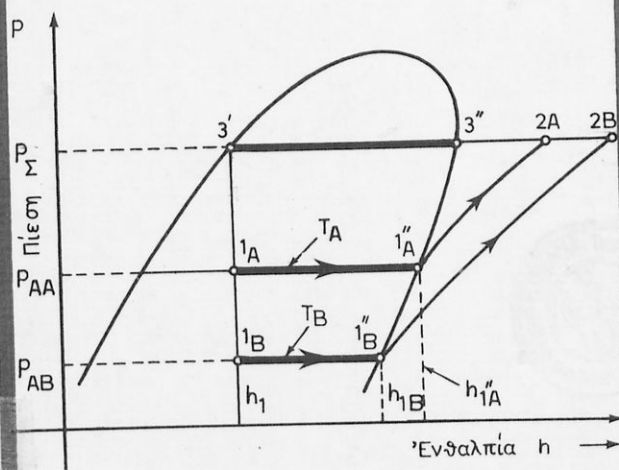


ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Δημητρίου Α. Κουρεμένου
ΤΑΚΤΙΚΟΥ ΚΑΘΗΓΗΤΟΥ Ε.Μ.Π.

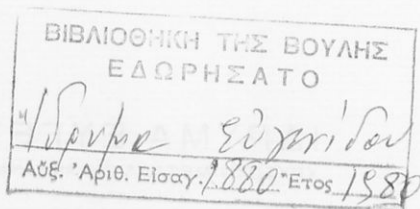




1954

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ



ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Ὁ Εὐγένιος Εὐγενίδης, ὁ ἰδρυτὴς καὶ χορηγὸς τοῦ «Ἰδρύματος Εὐγενίδου», πολὺ νωρὶς πρόβλεψε καὶ σχημάτισε τὴν πεποίθησιν ὅτι ἡ ἄρτια κατάρτιση τῶν τεχνικῶν μας, σέ συνδυασμὸ μὲ τὴν ἐθνικὴ ἀγωγή, θά ἦταν ἀναγκαῖος καὶ ἀποφασιστικὸς παράγοντας τῆς προόδου τοῦ ἔθνους μας.

Τὴν πεποίθησίν του αὐτὴ ὁ Εὐγενίδης ἐκδήλωσε μὲ τὴ γενναιόφρονα πράξιν εὐεργεσίας, νὰ κληροδοτήσῃ σεβαστὸ ποσὸ γιὰ τὴ σύσταση Ἰδρύματος πού θά εἶχε σκοπὸ νὰ συμβάλλῃ στὴν τεχνικὴ ἐκπαίδευσιν τῶν νέων τῆς Ἑλλάδας.

Ἔτσι τὸ Φεβρουάριον τοῦ 1956 συστάθηκε τὸ «Ἰδρυμα Εὐγενίδου», τοῦ ὁποίου τὴν διοίκηση ἀνέλαβε ἡ ἀδελφὴ του κυρία Μαριάνθη Σίμου, σύμφωνα μὲ τὴν ἐπιθυμία τοῦ διαθέτη.

Ἀπὸ τὸ 1956 μέχρι σήμερα ἡ συμβολὴ τοῦ Ἰδρύματος στὴν τεχνικὴ ἐκπαίδευσιν πραγματοποιεῖται μὲ διάφορες δραστηριότητες. Ὅμως ἀπ' αὐτὲς ἡ σημαντικότερη, πού κρίθηκε ἀπὸ τὴν ἀρχὴ ὡς πρώτης ἀνάγκης, εἶναι ἡ ἐκδόσις βιβλίων γιὰ τοὺς μαθητὲς τῶν τεχνικῶν σχολῶν.

Μέχρι σήμερα ἐκδόθηκαν 150 τόμοι βιβλίων, πού ἔχουν διατεθεῖ σέ πολλὰ ἐκατομμύρια τεύχη, καὶ καλύπτουν ἀνάγκες τῶν Κατώτερων καὶ Μέσων Τεχνικῶν Σχολῶν τοῦ Ὑπ. Παιδείας, τῶν Σχολῶν τοῦ Ὁργανισμοῦ Ἀπασχολήσεως Ἑργατικῶν Δυναμικῶν (ΟΑΕΔ) καὶ τῶν Δημοσίων Σχολῶν Ἑμπορικοῦ Ναυτικοῦ.

Μοναδικὴ φροντίδα τοῦ Ἰδρύματος σ' αὐτὴ τὴν ἐκδοτικὴν του προσπάθειαν ἦταν καὶ εἶναι ἡ ποιότητα τῶν βιβλίων, ἀπὸ ἄποψη ὅχι μόνον ἐπιστημονικῇ, παιδαγωγικῇ καὶ γλωσσικῇ, ἀλλὰ καὶ ἀπὸ ἄποψη ἐμφανίσεως, ὥστε τὸ βιβλίον νὰ ἀγαπηθεῖ ἀπὸ τοὺς νέους.

Γιὰ τὴν ἐπιστημονικὴ καὶ παιδαγωγικὴ ποιότητα τῶν βιβλίων, τὰ κείμενα ὑποβάλλονται σέ πολλὰς ἐπεξεργασίας καὶ βελτιώνονται πρὶν ἀπὸ κάθε νέα ἐκδόσι.

Ἰδιαίτερη σημασίαν ἀπέδωσε τὸ Ἰδρυμα ἀπὸ τὴν ἀρχὴν στὴν ποιότητα τῶν βιβλίων ἀπὸ γλωσσικὴ ἄποψη, γιὰ τὴν πιστεύει ὅτι καὶ τὰ τεχνικὰ βιβλία, ὅταν εἶναι γραμμένα σέ γλῶσσα ἄρτια καὶ ὁμοιόμορφη ἀλλὰ καὶ κατάλληλη γιὰ τὴν στάθμην τῶν μαθητῶν, μποροῦν νὰ συμβάλλουν στὴν γλωσσικὴ διαπαιδαγώγησιν τῶν μαθητῶν.

Ἔτσι μὲ ἀπόφασιν πού πάρθηκε ἡδη ἀπὸ τὸ 1956 ὅλα τὰ βιβλία τῆς Βιβλιοθήκης τοῦ Τεχνίτη, δηλαδὴ τὰ βιβλία γιὰ τίς Κατώτερες Τεχνικὰς Σχολάς, ὅπως ἀργότερα καὶ γιὰ τίς Σχολάς τοῦ ΟΑΕΔ, εἶναι γραμμένα σέ γλῶσσα δημοτικὴ μὲ βάση τὴν γραμματικὴν τοῦ Τριανταφυλλίδου, ἐνῶ ὅλα τὰ ἄλλα βιβλία εἶναι γραμμένα στὴν ἀπλὴ καθαρεύουσα. Ἡ γλωσσικὴ ἐπεξεργασία τῶν βιβλίων γίνεται ἀπὸ φιλολόγους τοῦ Ἰδρύματος καὶ ἔτσι ἐξασφαλίζεται ἡ ἐνιαία σύνταξις καὶ ὁρολογία καθὲς κατηγορίας βιβλίων.

Ἡ ποιότητα τοῦ χαρτιοῦ, τὸ εἶδος τῶν τυπογραφικῶν στοιχείων, τὰ σωστά σχήματα καὶ ἡ καλαίσθητη σελιδοποίηση, τὸ ἐξώφυλλο καὶ τὸ μέγεθος τοῦ βιβλίου περιλαμβάνονται καὶ αὐτὰ στίς φροντίδες τοῦ Ἰδρύματος.

Τὸ Ἰδρυμα θεώρησε ὅτι εἶναι ὑποχρέωσή του, σύμφωνα μέ τὸ πνεῦμα τοῦ ἱδρυτῆ του, νά θέσει στήν διάθεση τοῦ Κράτους ὅλη αὐτή τήν πείρα του τῶν 20 ἐτῶν, ἀναλαμβάνοντας τήν ἐκδοση τῶν βιβλίων καὶ γιά τίς νέες Τεχνικές καὶ Ἑπαγγελματικές Σχολές καὶ τὰ νέα Τεχνικά καὶ Ἑπαγγελματικά Λύκεια, σύμφωνα μέ τὰ Ἀναλυτικά Προγράμματα τοῦ Κ.Ε.Μ.Ε.

Τά χρονικά περιθώρια γι' αὐτή τήν νέα ἐκδοτική προσπάθεια ἦταν πολύ περιορισμένα καὶ ἴσως γι' αὐτό, ἰδίως τὰ πρῶτα βιβλία αὐτῆς τῆς σειρᾶς, νά παρουσιάσουν ἀτέλειες στή συγγραφή ἢ στήν ἐκτύπωση, πού θά διορθωθοῦν στή νέα τους ἐκδοση. Γι' αὐτό τὸ σκοπὸ ἐπικαλούμαστε τήν βοήθεια ὅλων ὧν θά χρησιμοποιοῦσιν τὰ βιβλία, ὥστε νά μᾶς γνωστοποιήσουν κάθε παρατήρησή τους γιά νά συμβάλλουν καὶ αὐτοὶ στή βελτίωση τῶν βιβλίων.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Ἀλέξανδρος Ι. Παπᾶς, Ὁμ. Καθηγητῆς ΕΜΠ, Πρόεδρος.

Χρυσόστομος Φ. Καβουνίδης, Διπλ. Μηχ.-Ἡλ. ΕΜΠ, τ. Ἀντιπρόεδρος.

Μιχαήλ Γ. Ἀγγελόπουλος, Τακτικὸς Καθηγητῆς ΕΜΠ, Διοικητῆς ΔΕΗ.

Παναγιώτης Χατζηγιάννου, Μηχ.-Ἡλ. ΕΜΠ, Γεν. Δ/ντῆς Ἑπαγ/κῆς Ἑκπ. Ὑπ. Παιδείας.

Ἐπιστῆμ. Σύμβουλος, **Γ. Ρούσσος**, Χημ.-Μηχ. ΕΜΠ.

Σύμβουλος ἐπὶ τῶν ἐκδόσεων τοῦ Ἰδρύματος **Κ.Α. Μανάφης**, Καθηγητῆς Φιλοσοφικῆς Σχολῆς Παν/μίου Ἀθηνῶν.

Γραμματεὺς, **Δ.Π. Μεγαρίτης**.

Διατελέσαντα μέλη ἢ σύμβουλοι τῆς Ἐπιτροπῆς

Γεώργιος Κακριδῆς † (1955 — 1959) Καθηγητῆς ΕΜΠ. **Ἄγγελος Καλογεράς** † (1957 — 1970)

Καθηγητῆς ΕΜΠ, **Δημήτριος Νιάνιαν** (1957 — 1965) Καθηγητῆς ΕΜΠ, **Μιχαήλ Σπετσιέρης**

(1956 — 1959). **Νικόλαος Βασιώτης** (1960 — 1967) **Θεόδωρος Κουζέλης** (1968 — 1976)

Μηχ.-Ἡλ. ΕΜΠ.



Ι΄ ΤΑΞΗ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ

ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Α. ΚΟΥΡΕΜΕΝΟΥ
ΤΑΚΤΙΚΟΥ ΚΑΘΗΓΗΤΟΥ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ
1979

002
4NE
ET2R
2165



ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΚΑΙ ΕΠΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

ΔΙΟΝΥΣΙΟΥ Α. ΚΟΥΡΕΜΕΝΟΥ
ΤΑΚΤΙΚΟΥ ΚΑΘΗΜΕΡΙΟΥ ΕΛΛΗΝ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΚΑΙ ΠΕΔΑΓΩΓΙΚΟ ΕΡΓΟ

Εκδόσεις: 1. 1971, 2. 1972, 3. 1973, 4. 1974, 5. 1975, 6. 1976, 7. 1977, 8. 1978, 9. 1979, 10. 1980, 11. 1981, 12. 1982, 13. 1983, 14. 1984, 15. 1985, 16. 1986, 17. 1987, 18. 1988, 19. 1989, 20. 1990, 21. 1991, 22. 1992, 23. 1993, 24. 1994, 25. 1995, 26. 1996, 27. 1997, 28. 1998, 29. 1999, 30. 2000, 31. 2001, 32. 2002, 33. 2003, 34. 2004, 35. 2005, 36. 2006, 37. 2007, 38. 2008, 39. 2009, 40. 2010, 41. 2011, 42. 2012, 43. 2013, 44. 2014, 45. 2015, 46. 2016, 47. 2017, 48. 2018, 49. 2019, 50. 2020, 51. 2021, 52. 2022, 53. 2023, 54. 2024, 55. 2025, 56. 2026, 57. 2027, 58. 2028, 59. 2029, 60. 2030, 61. 2031, 62. 2032, 63. 2033, 64. 2034, 65. 2035, 66. 2036, 67. 2037, 68. 2038, 69. 2039, 70. 2040, 71. 2041, 72. 2042, 73. 2043, 74. 2044, 75. 2045, 76. 2046, 77. 2047, 78. 2048, 79. 2049, 80. 2050, 81. 2051, 82. 2052, 83. 2053, 84. 2054, 85. 2055, 86. 2056, 87. 2057, 88. 2058, 89. 2059, 90. 2060, 91. 2061, 92. 2062, 93. 2063, 94. 2064, 95. 2065, 96. 2066, 97. 2067, 98. 2068, 99. 2069, 100. 2070, 101. 2071, 102. 2072, 103. 2073, 104. 2074, 105. 2075, 106. 2076, 107. 2077, 108. 2078, 109. 2079, 110. 2080, 111. 2081, 112. 2082, 113. 2083, 114. 2084, 115. 2085, 116. 2086, 117. 2087, 118. 2088, 119. 2089, 120. 2090, 121. 2091, 122. 2092, 123. 2093, 124. 2094, 125. 2095, 126. 2096, 127. 2097, 128. 2098, 129. 2099, 130. 2100, 131. 2101, 132. 2102, 133. 2103, 134. 2104, 135. 2105, 136. 2106, 137. 2107, 138. 2108, 139. 2109, 140. 2110, 141. 2111, 142. 2112, 143. 2113, 144. 2114, 145. 2115, 146. 2116, 147. 2117, 148. 2118, 149. 2119, 150. 2120, 151. 2121, 152. 2122, 153. 2123, 154. 2124, 155. 2125, 156. 2126, 157. 2127, 158. 2128, 159. 2129, 160. 2130, 161. 2131, 162. 2132, 163. 2133, 164. 2134, 165. 2135, 166. 2136, 167. 2137, 168. 2138, 169. 2139, 170. 2140, 171. 2141, 172. 2142, 173. 2143, 174. 2144, 175. 2145, 176. 2146, 177. 2147, 178. 2148, 179. 2149, 180. 2150, 181. 2151, 182. 2152, 183. 2153, 184. 2154, 185. 2155, 186. 2156, 187. 2157, 188. 2158, 189. 2159, 190. 2160, 191. 2161, 192. 2162, 193. 2163, 194. 2164, 195. 2165, 196. 2166, 197. 2167, 198. 2168, 199. 2169, 200. 2170, 201. 2171, 202. 2172, 203. 2173, 204. 2174, 205. 2175, 206. 2176, 207. 2177, 208. 2178, 209. 2179, 210. 2180, 211. 2181, 212. 2182, 213. 2183, 214. 2184, 215. 2185, 216. 2186, 217. 2187, 218. 2188, 219. 2189, 220. 2190, 221. 2191, 222. 2192, 223. 2193, 224. 2194, 225. 2195, 226. 2196, 227. 2197, 228. 2198, 229. 2199, 230. 2200, 231. 2201, 232. 2202, 233. 2203, 234. 2204, 235. 2205, 236. 2206, 237. 2207, 238. 2208, 239. 2209, 240. 2210, 241. 2211, 242. 2212, 243. 2213, 244. 2214, 245. 2215, 246. 2216, 247. 2217, 248. 2218, 249. 2219, 250. 2220, 251. 2221, 252. 2222, 253. 2223, 254. 2224, 255. 2225, 256. 2226, 257. 2227, 258. 2228, 259. 2229, 260. 2230, 261. 2231, 262. 2232, 263. 2233, 264. 2234, 265. 2235, 266. 2236, 267. 2237, 268. 2238, 269. 2239, 270. 2240, 271. 2241, 272. 2242, 273. 2243, 274. 2244, 275. 2245, 276. 2246, 277. 2247, 278. 2248, 279. 2249, 280. 2250, 281. 2251, 282. 2252, 283. 2253, 284. 2254, 285. 2255, 286. 2256, 287. 2257, 288. 2258, 289. 2259, 290. 2260, 291. 2261, 292. 2262, 293. 2263, 294. 2264, 295. 2265, 296. 2266, 297. 2267, 298. 2268, 299. 2269, 300. 2270, 301. 2271, 302. 2272, 303. 2273, 304. 2274, 305. 2275, 306. 2276, 307. 2277, 308. 2278, 309. 2279, 310. 2280, 311. 2281, 312. 2282, 313. 2283, 314. 2284, 315. 2285, 316. 2286, 317. 2287, 318. 2288, 319. 2289, 320. 2290, 321. 2291, 322. 2292, 323. 2293, 324. 2294, 325. 2295, 326. 2296, 327. 2297, 328. 2298, 329. 2299, 330. 2300, 331. 2301, 332. 2302, 333. 2303, 334. 2304, 335. 2305, 336. 2306, 337. 2307, 338. 2308, 339. 2309, 340. 2310, 341. 2311, 342. 2312, 343. 2313, 344. 2314, 345. 2315, 346. 2316, 347. 2317, 348. 2318, 349. 2319, 350. 2320, 351. 2321, 352. 2322, 353. 2323, 354. 2324, 355. 2325, 356. 2326, 357. 2327, 358. 2328, 359. 2329, 360. 2330, 361. 2331, 362. 2332, 363. 2333, 364. 2334, 365. 2335, 366. 2336, 367. 2337, 368. 2338, 369. 2339, 370. 2340, 371. 2341, 372. 2342, 373. 2343, 374. 2344, 375. 2345, 376. 2346, 377. 2347, 378. 2348, 379. 2349, 380. 2350, 381. 2351, 382. 2352, 383. 2353, 384. 2354, 385. 2355, 386. 2356, 387. 2357, 388. 2358, 389. 2359, 390. 2360, 391. 2361, 392. 2362, 393. 2363, 394. 2364, 395. 2365, 396. 2366, 397. 2367, 398. 2368, 399. 2369, 400. 2370, 401. 2371, 402. 2372, 403. 2373, 404. 2374, 405. 2375, 406. 2376, 407. 2377, 408. 2378, 409. 2379, 410. 2380, 411. 2381, 412. 2382, 413. 2383, 414. 2384, 415. 2385, 416. 2386, 417. 2387, 418. 2388, 419. 2389, 420. 2390, 421. 2391, 422. 2392, 423. 2393, 424. 2394, 425. 2395, 426. 2396, 427. 2397, 428. 2398, 429. 2399, 430. 2400, 431. 2401, 432. 2402, 433. 2403, 434. 2404, 435. 2405, 436. 2406, 437. 2407, 438. 2408, 439. 2409, 440. 2410, 441. 2411, 442. 2412, 443. 2413, 444. 2414, 445. 2415, 446. 2416, 447. 2417, 448. 2418, 449. 2419, 450. 2420, 451. 2421, 452. 2422, 453. 2423, 454. 2424, 455. 2425, 456. 2426, 457. 2427, 458. 2428, 459. 2429, 460. 2430, 461. 2431, 462. 2432, 463. 2433, 464. 2434, 465. 2435, 466. 2436, 467. 2437, 468. 2438, 469. 2439, 470. 2440, 471. 2441, 472. 2442, 473. 2443, 474. 2444, 475. 2445, 476. 2446, 477. 2447, 478. 2448, 479. 2449, 480. 2450, 481. 2451, 482. 2452, 483. 2453, 484. 2454, 485. 2455, 486. 2456, 487. 2457, 488. 2458, 489. 2459, 490. 2460, 491. 2461, 492. 2462, 493. 2463, 494. 2464, 495. 2465, 496. 2466, 497. 2467, 498. 2468, 499. 2469, 500. 2470, 501. 2471, 502. 2472, 503. 2473, 504. 2474, 505. 2475, 506. 2476, 507. 2477, 508. 2478, 509. 2479, 510. 2480, 511. 2481, 512. 2482, 513. 2483, 514. 2484, 515. 2485, 516. 2486, 517. 2487, 518. 2488, 519. 2489, 520. 2490, 521. 2491, 522. 2492, 523. 2493, 524. 2494, 525. 2495, 526. 2496, 527. 2497, 528. 2498, 529. 2499, 530. 2500, 531. 2501, 532. 2502, 533. 2503, 534. 2504, 535. 2505, 536. 2506, 537. 2507, 538. 2508, 539. 2509, 540. 2510, 541. 2511, 542. 2512, 543. 2513, 544. 2514, 545. 2515, 546. 2516, 547. 2517, 548. 2518, 549. 2519, 550. 2520, 551. 2521, 552. 2522, 553. 2523, 554. 2524, 555. 2525, 556. 2526, 557. 2527, 558. 2528, 559. 2529, 560. 2530, 561. 2531, 562. 2532, 563. 2533, 564. 2534, 565. 2535, 566. 2536, 567. 2537, 568. 2538, 569. 2539, 570. 2540, 571. 2541, 572. 2542, 573. 2543, 574. 2544, 575. 2545, 576. 2546, 577. 2547, 578. 2548, 579. 2549, 580. 2550, 581. 2551, 582. 2552, 583. 2553, 584. 2554, 585. 2555, 586. 2556, 587. 2557, 588. 2558, 589. 2559, 590. 2560, 591. 2561, 592. 2562, 593. 2563, 594. 2564, 595. 2565, 596. 2566, 597. 2567, 598. 2568, 599. 2569, 600. 2570, 601. 2571, 602. 2572, 603. 2573, 604. 2574, 605. 2575, 606. 2576, 607. 2577, 608. 2578, 609. 2579, 610. 2580, 611. 2581, 612. 2582, 613. 2583, 614. 2584, 615. 2585, 616. 2586, 617. 2587, 618. 2588, 619. 2589, 620. 2590, 621. 2591, 622. 2592, 623. 2593, 624. 2594, 625. 2595, 626. 2596, 627. 2597, 628. 2598, 629. 2599, 630. 2600, 631. 2601, 632. 2602, 633. 2603, 634. 2604, 635. 2605, 636. 2606, 637. 2607, 638. 2608, 639. 2609, 640. 2610, 641. 2611, 642. 2612, 643. 2613, 644. 2614, 645. 2615, 646. 2616, 647. 2617, 648. 2618, 649. 2619, 650. 2620, 651. 2621, 652. 2622, 653. 2623, 654. 2624, 655. 2625, 656. 2626, 657. 2627, 658. 2628, 659. 2629, 660. 2630, 661. 2631, 662. 2632, 663. 2633, 664. 2634, 665. 2635, 666. 2636, 667. 2637, 668. 2638, 669. 2639, 670. 2640, 671. 2641, 672. 2642, 673. 2643, 674. 2644, 675. 2645, 676. 2646, 677. 2647, 678. 2648, 679. 2649, 680. 2650, 681. 2651, 682. 2652, 683. 2653, 684. 2654, 685. 2655, 686. 2656, 687. 2657, 688. 2658, 689. 2659, 690. 2660, 691. 2661, 692. 2662, 693. 2663, 694. 2664, 695. 2665, 696. 2666, 697. 2667, 698. 2668, 699. 2669, 700. 2670, 701. 2671, 702. 2672, 703. 2673, 704. 2674, 705. 2675, 706. 2676, 707. 2677, 708. 2678, 709. 2679, 710. 2680, 711. 2681, 712. 2682, 713. 2683, 714. 2684, 715. 2685, 716. 2686, 717. 2687, 718. 2688, 719. 2689, 720. 2690, 721. 2691, 722. 2692, 723. 2693, 724. 2694, 725. 2695, 726. 2696, 727. 2697, 728. 2698, 729. 2699, 730. 2700, 731. 2701, 732. 2702, 733. 2703, 734. 2704, 735. 2705, 736. 2706, 737. 2707, 738. 2708, 739. 2709, 740. 2710, 741. 2711, 742. 2712, 743. 2713, 744. 2714, 745. 2715, 746. 2716, 747. 2717, 748. 2718, 749. 2719, 750. 2720, 751. 2721, 752. 2722, 753. 2723, 754. 2724, 755. 2725, 756. 2726, 757. 2727, 758. 2728, 759. 2729, 760. 2730, 761. 2731, 762. 2732, 763. 2733, 764. 2734, 765. 2735, 766. 2736, 767. 2737, 768. 2738, 769. 2739, 770. 2740, 771. 2741, 772. 2742, 773. 2743, 774. 2744, 775. 2745, 776. 2746, 777. 2747, 778. 2748, 779. 2749, 780. 2750, 781. 2751, 782. 2752, 783. 2753, 784. 2754, 785. 2755, 786. 2756, 787. 2757, 788. 2758, 789. 2759, 790. 2760, 791. 2761, 792. 2762, 793. 2763, 794. 2764, 795. 2765, 796. 2766, 797. 2767, 798. 2768, 799. 2769, 800. 2770, 801. 2771, 802. 2772, 803. 2773, 804. 2774, 805. 2775, 806. 2776, 807. 2777, 808. 2778, 809. 2779, 810. 2780, 811. 2781, 812. 2782, 813. 2783, 814. 2784, 815. 2785, 816. 2786, 817. 2787, 818. 2788, 819. 2789, 820. 2790, 821. 2791, 822. 2792, 823. 2793, 824. 2794, 825. 2795, 826. 2796, 827. 2797, 828. 2798, 829. 2799, 830. 2800, 831. 2801, 832. 2802, 833. 2803, 834. 2804, 835. 2805, 836. 2806, 837. 2807, 838. 2808, 839. 2809, 840. 2810, 841. 2811, 842. 2812, 843. 2813, 844. 2814, 845. 2815, 846. 2816, 847. 2817, 848. 2818, 849. 2819, 850. 2820, 851. 2821, 852. 2822, 853. 2823, 854. 2824, 855. 2825, 856. 2826, 857. 2827, 858. 2828, 859. 2829, 860. 2830, 861. 2831, 862. 2832, 863. 2833, 864. 2834, 865. 2835, 866. 2836, 867. 2837, 868. 2838, 869. 2839, 870. 2840, 871. 2841, 872. 2842, 873. 2843, 874. 2844, 875. 2845, 876. 2846, 877. 2847, 878. 2848, 879. 2849, 880. 2850, 881. 2851, 882. 2852, 883. 2853, 884. 2854, 885. 2855, 886. 2856, 887. 2857, 888. 2858, 889. 2859, 890. 2860, 891. 2861, 892. 2862, 893. 2863, 894. 2864, 895. 2865, 896. 2866, 897. 2867, 898. 2868, 899. 2869, 900. 2870, 901. 2871, 902. 2872, 903. 2873, 904. 2874, 905. 2875, 906. 2876, 907. 2877, 908. 2878, 909. 2879, 910. 2880, 911. 2881, 912. 2882, 913. 2883, 914. 2884, 915. 2885, 916. 2886, 917. 2887, 918. 2888, 919. 2889, 920. 2890, 921. 2891, 922. 2892, 923. 2893, 924. 2894, 925. 2895, 926. 2896, 927. 2897, 928. 2898, 929. 2899, 930. 2900, 931. 2901, 932. 2902, 933. 2903, 934. 2904, 935. 2905, 936. 2906, 937. 2907, 938. 2908, 939. 2909, 940. 2910, 941. 2911, 942. 2912, 943. 2913, 944. 2914, 945. 2915, 946. 2916, 947. 2917, 948. 2918, 949. 2919, 950. 2920, 951. 2921, 952. 2922, 953. 2923, 954. 2924, 955. 2925, 956. 2926, 957. 2927, 958. 2928, 959. 2929, 960. 2930, 961. 2931, 962. 2932, 963. 2933, 964. 2934, 965. 2935, 966. 2936, 967. 2937, 968. 2938, 969. 2939, 970. 2940, 971. 2941, 972. 2942, 973. 2943, 974. 2944, 975. 2945, 976. 2946, 977. 2947, 978. 2948, 979. 2949, 980. 2950, 981. 2951, 982. 2952, 983. 2953, 984. 2954, 985. 2955, 986. 2956, 987. 2957, 988. 2958, 989. 2959, 990. 2960, 991. 2961, 992. 2962, 993. 2963, 994. 2964, 995. 2965, 996. 2966, 997. 2967, 998. 2968, 999. 2969, 1000. 2970, 1001. 2971, 1002. 2972, 1003. 2973, 1004. 2974, 1005. 2975, 1006. 2976, 1007. 2977, 1008. 2978, 1009. 2979, 1010. 2980, 1011. 2981, 1012. 2982, 1013. 2983, 1014. 2984, 1015. 2985, 1016. 2986, 1017. 2987, 1018. 2988, 1019. 2989, 1020. 2990, 1021. 2991, 1022. 2992, 1023. 2993, 1024. 2994, 1025. 2995, 1026. 2996, 1027. 2997, 1028. 2998, 1029. 2999, 1030. 3000, 1031. 3001, 1032. 3002, 1033. 3003, 1034. 3004, 1035. 3005, 1036. 3006, 1037. 3007, 1038. 3008, 1039. 3009, 1040. 3010, 1041. 3011, 1042. 3012, 1043. 3013, 1044. 3014, 1045. 3015, 1046. 3016, 1047. 3017, 1048. 3018, 1049. 3019, 1050. 3020, 1051. 3021, 1052. 3022, 1053. 3023, 1054. 3024, 1055. 3025, 1056. 3026, 1057. 3027, 1058. 3028, 1059. 3029, 1060. 3030, 1061. 3031, 1062. 3032, 1063. 3033, 1064. 3034, 1065. 3035, 1066. 3036, 1067. 3037, 1068. 3038, 1069. 3039, 1070. 3040, 1071. 3041, 1072. 3042, 1073. 3043, 1074. 3044, 1075. 3045, 1076. 3046, 1077. 3047, 1078. 3048, 1079. 3049, 1080. 3050, 1081. 3051, 1082. 3052, 1083. 3053, 1084. 3054, 1085. 3055, 1086. 3056, 1087. 3057, 1088. 3058, 1089. 3059, 1090. 3060, 1091. 3061, 1092. 3062, 1093. 3063, 1094. 3064, 1095. 3065, 1096. 3066, 1097. 3

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τό βιβλίο αυτό άπευθύνεται πρός τήν τεχνική μέση έκπαίδευση. Σκοπεύει νά δώσει τίς βασικές θεωρητικές καί τεχνολογικές γνώσεις γύρω άπό τή λειτουργία καί σύνθεση τών ψυκτικῶν διατάξεων.

Οί γνώσεις αυτές κατατάσσονται σέ δύο μέρη: Τό πρῶτο περιλαμβάνει τίς θεωρητικές γνώσεις, δηλαδή μέρη άπό τή θερμοδυναμική, τή γνώση τών ψυκτικῶν μέσων καί τή μετάδοση θερμότητας. Τό δεύτερο περιέχει τή τεχνολογική περιγραφή τών κυρίων τμημάτων τών συνηθισμένων ψυκτικῶν διατάξεων.

Καί στά δύο μέρη τοῦ βιβλίου εξετάζονται οί ψυκτικές διατάξεις μέ μηχανική συμπίεση άτμοῦ ὡς ψυκτικοῦ μέσου. Οί διατάξεις αυτές εἶναι οί πιό συνηθισμένες στήν πράξη. Άλλες διατάξεις, ὅπως μηχανές μέ άπορρόφηση, μέ συμπίεση αερίου/άερα, μέ θερμοηλεκτρικό φαινόμενο κλπ. δέν εξετάζονται, έπειδή δέν εφαρμόζονται τόσο συχνά.

Τό σύστημα μονάδων τό ὁποῖον χρησιμοποιεῖται εἶναι τό Διεθνές. Ὑπάρχουν όμως πολλοί πίνακες καθώς καί διαγράμματα τά ὁποῖα εἶναι έκφρασμένα στό παλαιό μετρικό σύστημα (kcal) καί στό άγγλοσαξωνικό (BTU, °F κλπ.). Ἡ χρησιμοποίησή τους εἶναι αναπόφευκτη, έπειδή άκόμη δέν έχουν γίνει ὅλες οί σχετικές μετατροπές, καί δέν ὑπάρχουν τά αντίστοιχα στό Διεθνές σύστημα.

Ὁ συγγραφέας

1328
245

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Το παρόν είναι αναπόσπαστο μέρος της έκθεσης της Επιτροπής
Εκτίμησης της Επιστημονικής και Τεχνολογικής Ικανότητας των
Εκπαιδευτικών του Ελληνικού Δημοσίου.
Οι εκτιμήσεις αυτής της έκθεσης βασίζονται σε δύο κύριες πηγές
πληροφοριών: στην έρευνα που διεξήγαγε η Επιτροπή και στην
εμπειρία των μελών της. Η έρευνα αυτή έγινε με τη βοήθεια
της μελέτης των εκπαιδευτικών που εργάζονται στην Ελλάδα
και της έρευνας που έγινε σε άλλες χώρες. Η έρευνα αυτή
επιδιώκει να προσφέρει πληροφορίες για την κατάσταση της
Εκπαιδευτικής Πολιτικής στην Ελλάδα και στην Ευρώπη.
Η έρευνα αυτή έγινε με τη βοήθεια της μελέτης των εκπαιδευτικών
που εργάζονται στην Ελλάδα και στην Ευρώπη. Η έρευνα αυτή
επιδιώκει να προσφέρει πληροφορίες για την κατάσταση της
Εκπαιδευτικής Πολιτικής στην Ελλάδα και στην Ευρώπη.
Η έρευνα αυτή έγινε με τη βοήθεια της μελέτης των εκπαιδευτικών
που εργάζονται στην Ελλάδα και στην Ευρώπη. Η έρευνα αυτή
επιδιώκει να προσφέρει πληροφορίες για την κατάσταση της
Εκπαιδευτικής Πολιτικής στην Ελλάδα και στην Ευρώπη.

Εκτίμησης

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

1.1 Γενικά.

Όλες οι ψυκτικές διατάξεις έχουν ως σκοπό την **αφαίρεση** ποσού **θερμότητας** από μάζα ή όποια, συνήθως, είναι περισσότερο κρύα από τον ατμοσφαιρικό αέρα του περιβάλλοντος.

Ο σκοπός αυτός επιβάλλεται από διαφορετικές αιτίες, ανάλογα με τη μορφή της εγκαταστάσεως. Υπάρχουν:

- Μικρές ψυκτικές διατάξεις, όπως π.χ. το ψυγείο της κουζίνας στο οποίο διατηρούνται τα τρόφιμα.
- Μεγάλες ψυκτικές διατάξεις, όπως π.χ. αυτές που εξυπηρετούν αποθήκες-ψυγεία.
- Πολύ μεγάλες ψυκτικές διατάξεις, όπως αυτές που εξυπηρετούν βιομηχανίες καταψύξεως τροφίμων ή βιομηχανίες χημικών προϊόντων.

Ανεξάρτητα από το μέγεθος της εγκαταστάσεως, ο τρόπος και η αρχή λειτουργίας των ψυκτικών διατάξεων είναι βασικά ο ίδιος. Αλλάζει μόνο το μέγεθος των μηχανών, των συσκευών και των σωληνώσεων, καθώς και ο αριθμός των εξαρτημάτων και διατάξεων αυτοματισμού και προστασίας.

Γιά να κατανοήσει κανείς τη λειτουργία της ψυκτικής διατάξεως πρέπει να γνωρίζει ορισμένες βασικές έννοιες από τη **Θερμοδυναμική**. Οι βασικές αυτές έννοιες είναι:

- Η θερμοκρασία.
- Η θερμότητα.
- Η αρχή διατηρήσεως ενέργειας.
- Τό μηχανικό έργο.

Γιά την εκτίμηση του μεγέθους των απαιτούμενων μηχανών και συσκευών, δεν αρκεί η γνώση των παραπάνω έννοιων. Απαιτούνται και γνώσεις από τη **Μετάδοση θερμότητας**. Γιά το λόγο αυτό στο βιβλίο αναπτύσσονται και βασικές έννοιες από τη Μετάδοση θερμότητας. Επίσης αναπτύσσονται και βασικές έννοιες που αφορούν θερμοδυναμικά δεδομένα τα οποία χαρακτηρίζουν τα διάφορα υγρά - αέρια. Μέ αυτά λειτουργούν οι ψυκτικές διατάξεις και γι' αυτό ονομάζονται, **ψυκτικά**

μέσα. Τά δεδομένα αυτά είναι απαραίτητα για τήν έκλογή του κατάλληλου ψυκτικού μέσου για κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή.

Στό πρώτο μέρος του βιβλίου αναπτύσσονται οι βασικές έννοιες από τή Θερμодυναμική, τή Μετάδοση Θερμότητας καί τίς Ίδιότητες τών ψυκτικών μέσων. Ή γνώση τών ιδιοτήτων κρίνεται απαραίτητη για τήν κατανόηση τής λειτουργίας τών ψυκτικών διατάξεων.

Στό δεύτερο μέρος του βιβλίου περιγράφεται ό τρόπος λειτουργίας τών βασικών μηχανών, συσκευών καί όργάνων πού χρησιμοποιούνται στίς ψυκτικές διατάξεις.

Γιά νά λειτουργήσει οποιαδήποτε ψυκτική διάταξη απαιτείται κατανάλωση ενέργειας. Στίς πιά συνηθισμένες ψυκτικές διατάξεις, απαιτείται μηχανική ενέργεια για τήν κίνηση του συμπιεστή τής έγκαταστάσεως. Ύπάρχουν όμως ειδικές διατάξεις οι οποίες για νά λειτουργήσουν, απαιτούν άλλες μορφές ενέργειας, όπως π.χ. θερμική, ηλεκτρική ή χημική. Στό βιβλίο αυτό εξετάζονται οι συνηθισμένες ψυκτικές διατάξεις οι οποίες λειτουργούν μέ τήν κατανάλωση μηχανικής ενέργειας.

Ή αφαίρεση ποσών θερμότητας από τή μάζα, έχει ως αποτέλεσμα τήν ψύξη τής μάζας, δηλαδή τή **μείωση τής θερμοκρασίας** τής. Ύπάρχουν όμως καί περιπτώσεις όπου ή αφαίρεση θερμότητας δέν αλλάζει τή θερμοκρασία τής ψυχόμενης μάζας, αλλά τήν κατάστασή τής, π.χ. ή αλλαγή του νερού σέ πάγο.

Ή έννοια τής θερμοκρασίας είναι βασική για όλη τήν τεχνολογία τών ψυκτικών διατάξεων καί γι' αυτό εξετάζεται διεξοδικά ως πρώτο θεμελιώδες μέγεθος.

1.2 Θερμοκρασία.

Σέ όλους τούς κλάδους τών έπιστημών υπάρχουν όρισμένες βασικές έννοιες οι οποίες θεωρούνται μέν αυτόνομες, αλλά δέν μπορούν νά όρισθουν μέ αυστηρά έπιστημονικό τρόπο. Στή θερμοδυναμική τέτοια βασική έννοια είναι ή έννοια τής θερμοκρασίας.

Μπορεί νά εξηγήσει κανείς τί περίπου είναι ή θερμοκρασία καί πώς χρησιμοποιείται. Δέν μπορεί όμως νά δώσει έναν αυστηρό όρισμό του τί ακριβώς είναι ή θερμοκρασία.

Ή έννοια του μεγέθους «θερμοκρασία» είναι αισθητή στον άνθρωπο από τά ειδικά αισθητήρια όργανα τά όποια διαθέτει τό σώμα του. "Όταν πιάνει κανείς ένα κομμάτι πάγο, εκτός από τήν αίσθηση τής άφής έχει καί αίσθηση κάποιου άλλου μεγέθους. Ύντιλαμβάνεται δηλαδή ότι τό κομμάτι του πάγου είναι **κρύο**. "Όταν αγίζει ένα δοχείο επάνω στη φωτιά εκτός από τήν αίσθηση τής άφής αντιλαμβάνεται ότι τό δοχείο είναι **ζεστό**. Μιά πρώτη έπομένως κατάταξη τών διαφόρων αντικειμένων είναι σέ κρύα καί σέ ζεστά.

Ή κατάταξη όμως αυτή δέν είναι ικανοποιητική, γιατί τά αισθητήρια του σώματος καταστρέφονται όταν έλθουν σέ επαφή μέ πολύ ζεστά ή πολύ κρύα αντικείμενα. Εκτός από αυτό ή κατάταξη σέ ζεστό-κρύο είναι πολλές φορές ύποκειμενική.

Γιά νά καθορισθεί μονοσήμαντα καί αντικειμενικά τό μέγεθος **κρύο-ζεστό** είναι απαραίτητη ή εισαγωγή τής έννοιας: Θερμοκρασία. Είναι επίσης απαραίτητη καί ή εισαγωγή κατάλληλης μονάδας μετρήσεως τής θερμοκρασίας καθώς επίσης καί ή εισαγωγή αντίστοιχων όργάνων μετρήσεως.

Μπορούμε λοιπόν νά πούμε ότι:

Θερμοκρασία είναι η ιδιότητα ενός σώματος ή όποια μᾶς δείχνει πόσο ζεστό ή κρύο είναι το σώμα αυτό. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία τόσο πιο ζεστό είναι το σώμα και αντίθετα.

1.3 Κλίμακα θερμοκρασιών.

Πολλές φυσικές ιδιότητες ή μεγέθη των διαφόρων σωμάτων αλλάζουν όταν αλλάζει η θερμοκρασία του σώματος.

Άλλες από τις αλλαγές αυτές είναι γνωστές πριν από πολλές εκατονταετίες, άλλες έγιναν γνωστές σχετικά πολύ πρόσφατα. Η διαστολή π.χ. του όγκου των στερεών και υγρών σωμάτων με την αύξηση της θερμοκρασίας και η συστολή του όγκου με την ελάττωση της θερμοκρασίας, είναι γνωστές πριν από πάρα πολλά χρόνια.

Επειδή η αλλαγή του όγκου είναι αποτέλεσμα της αλλαγής της θερμοκρασίας, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη μέτρηση της αλλαγής του όγκου του σώματος για την αντίστοιχη μέτρηση αλλαγής της θερμοκρασίας.

Για να γίνει μία οποιαδήποτε μέτρηση πρέπει να υπάρχει πρωταρχικά ή μονάδα μετρήσεως και φυσικά, όταν πρόκειται για φυσικό μέγεθος, και το αντίστοιχο όργανο μετρήσεως. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς πολλές διαφορετικές μονάδες μετρήσεως. Σήμερα χρησιμοποιείται μόνο μία: η μονάδα της **εκατονταβάθμιας κλίμακας ή κλίμακας Κελσίου**.

Στις Η.Π.Α., κατ' εξαίρεση, χρησιμοποιείται ακόμα στις τεχνολογικές εφαρμογές ως μονάδα μετρήσεως και η κλίμακα θερμοκρασίας **Φαρενάιτ**, που όμως άρχισε να καταργείται σιγά-σιγά.

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει, η μέτρηση της θερμοκρασίας ανάγεται τελικά στη μέτρηση κάποιου άλλου μεγέθους το οποίο μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία. Για να γίνει όμως σωστή μέτρηση πρέπει να συντρέχουν αρκετές προϋποθέσεις. Άς εξετασθεί ως παράδειγμα η διαστολή ενός υγρού σώματος. Είναι γνωστά σε όλους τα θερμόμετρα υγρού, δηλαδή τα όργανα τα οποία μετρούν τη θερμοκρασία με τη βοήθεια της διαστολής του όγκου ενός υγρού, συνήθως υδραργύρου. Για να χαραχθεί επάνω στο όργανο μία **γραμμική κλίμακα** θερμοκρασιών, δηλαδή για να μεταβάλλεται το μήκος της ύψους στήλης ακριβώς ανάλογα με τη θερμοκρασία, θα πρέπει ο υδράργυρος ή το οποιοδήποτε άλλο υγρό, να έχει συντελεστή διαστολής σταθερό και ανεξάρτητο από τη θερμοκρασία του υγρού.

Δυστυχώς όμως δεν υπάρχουν υλικά σώματα τα οποία ανταποκρίνονται ακριβώς στην απαίτηση αυτή και συνεπώς, αν κατασκευασθεί ένα θερμόμετρο υγρού, με οποιοδήποτε υγρό και αν γεμίσει, δεν θα εμφανίζει **γραμμική κλίμακα**.

Αυτό θα γίνει πιο κατανοητό αν εξετάσουμε πρώτα το πώς γίνεται η βαθμονόμηση της κλίμακας. Άς πούμε έστω ότι πρέπει να βαθμονομηθεί ένα θερμόμετρο (σχ. 1.3α). Σε χαμηλή θερμοκρασία η στήλη συστέλλεται, όπως στο δεξιό μέρος, προς το σχήματος, και σε υψηλότερη διαστέλλεται, όπως στο δεξιά μέρος.

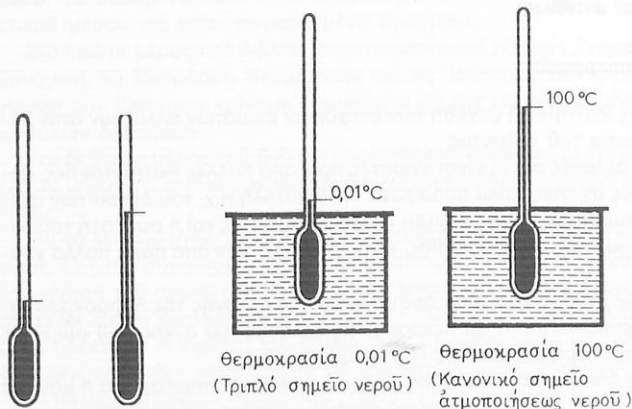
Για να υπάρξει ομοιομορφία στη βαθμονόμηση, πρέπει να παραδεχθούμε ότι:

— Η θερμοκρασία του κανονικού σημείου ατμοποίησης του καθαρού νερού υπό πίεση 760 mm υδραργύρου είναι 100°C.

— Η θερμοκρασία του «τριπλού σημείου» του καθαρού νερού είναι 0,01°C.

Τριπλό σημείο ενός σώματος είναι η θερμοκρασία όπου συνυπάρχουν το **στε-**

ρεό, τό **ύγρo** καί τό **ἀέριο** τοῦ σώματος. Γιά καθαρό νερό λοιπόν τό σημεῖο αὐτό δέν εἶναι οἱ 0°C , ἀλλά ἡ θερμοκρασία $0,01^{\circ}\text{C}$.



Σχ. 1.3α.

Γυάλινα θερμομέτρα.

Σχ. 1.3β.

Βαθμονόμηση θερμομέτρου μέ ύγρo.

Σχ. 1.3γ.

Βαθμονομημένο
θερμόμετρο
σέ ἐνδιάμεση
θερμοκρασία.

Στό σχῆμα 1.3β φαίνεται ἡ βαθμονόμηση ἑνός θερμομέτρου μέ ύγρo. Στό ἀριστερό μέρος τοποθετεῖται, σέ ἓνα δοχεῖο μέ θερμοκρασία τριπλοῦ σημείου νεροῦ καί χαράζεται ἡ ἐνδειξη $0,01^{\circ}\text{C}$. Στό δεξιό μέρος τοποθετεῖται σέ ἓνα δοχεῖο μέ μίγμα νεροῦ καί ἀτμοῦ ὑπό πίεση 760 mm στήλης ὑδραργύρου καί χαράζεται ἡ ἐνδειξη 100°C . Ὄταν τελειώσει ἡ βαθμονόμηση ἐμφανίζεται ἡ κατάσταση τοῦ σχήματος 1.3γ.

Ὄταν θερμομέτρο βρίσκεται σέ κάποια θερμοκρασία μεταξύ τῶν θερμοκρασιῶν βαθμονόμησης 100°C καί $0,01^{\circ}\text{C}$, ποιά εἶναι ἡ θερμοκρασία στή θέση x;

Παλιότερα γινόνταν ἰσοδιαίρεση τοῦ μήκους μεταξύ τῶν δύο ἀκραίων σημείων. Ἡ μέθοδος ὅμως αὐτή δίνει μόνο **ἐμπειρική** κλίμακα θερμοκρασίας γιατί ἡ κλίμακα ἐξαρτᾶται ἀπό τό συντελεστή διαστολῆς τοῦ ὑγροῦ πού χρησιμοποιεῖται. Ἐπομένως πρέπει νά βρεθεῖ μιά κλίμακα θερμοκρασίας ἀνεξάρτητη ἀπό τίς ιδιότητες τῶν ὑλικῶν πού χρησιμοποιοῦνται. Ἡ ἔρευνα στήν κατεύθυνση αὐτή ὀδήγησε στή χρήση τῆς κλίμακας τοῦ **τέλειου ἀερίου**. Τό τέλειo ἀέριο δέν ὑπάρχει στήν πραγματικότητα, εἶναι κατασκευάσμα τῆς φαντασίας. Ἐχει τήν ιδιότητα ὅταν βρίσκεται ὑπό σταθερή πίεση νά ἀλλάζει τόν ὄγκo του ἀκριβῶς ἀνάλογα μέ τή θερμοκρασία. Εἶναι συνεπῶς κατάλληλο νά χρησιμοποιηθεῖ γιά τά θερμομέτρα. Τό κακό ὅμως εἶναι ὅτι δέν ὑπάρχει στή φύση, ἀλλά μόνο στά βιβλία. Εὐτυχῶς ὅμως ὀρισμένα ἀέρια ὅπως τό H_2 , He καί N_2 στίς συνθήκες περιβάλλοντος συμπεριφέρονται μέ τρόπο πού πλησιάζει τίς ιδιότητες τοῦ τέλειου ἀερίου καί μποροῦν νά χρησιμοποιηθοῦν γιά τήν κατασκευή θερμομέτρων.

Ὅπως εἶναι γνωστό ἀπό τή θερμοδυναμική, ἡ θερμοκρασία κάθε σώματος

φθάνει ως ένα κατώτατο όριο πού είναι κοινό γιά όλα τά σώματα. Τό κοινό αυτό κατώτατο όριο θερμοκρασίας ονομάζεται **ἀπόλυτο μηδέν** θερμοκρασίας καί βρίσκεται στους:

$$- 273,15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

(ἀπόλυτο μηδέν)

Μέ τή βοήθεια τοῦ δεύτερου θερμοδυναμικοῦ ἀξιώματος εἰσάγεται καί μία **θερμοδυναμική κλίμακα** ἡ ὁποία εἶναι ἐντελῶς ἀνεξάρτητη ἀπό ὁποιοδήποτε μέσο.

Οἱ κλίμακες τέλειου ἀερίου καί ἡ θερμοδυναμική κλίμακα συμπίπτουν τελικά μεταξύ τους. Γιά τόν καθορισμό τους ἀπαιτεῖται μόνο ἡ παραδοχή τῆς θερμοκρασίας τοῦ τριπλοῦ σημείου τοῦ νεροῦ.

Ἐπειδή στήν Ἑλλάδα σέ ἐφαρμογές ψύξεως ἢ κλιματισμοῦ χρησιμοποιοῦνται ἀκόμα οἱ βαθμοί Φαρενάιτ, δίνεται ὁ Πίνακας 1.3.1 ὁ ὁποῖος δείχνει τήν ἀντιστοίχια βαθμῶν Φαρενάιτ καί ἐκατονταβάθμιας κλίμακας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.1.
Μετατροπή θερμοκρασιῶν $^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$

Θερμοκρασία			Θερμοκρασία		
$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$ ἢ $^{\circ}\text{F}$	$^{\circ}\text{F}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$ ἢ $^{\circ}\text{F}$	$^{\circ}\text{F}$
-40,0	-40	-40,0	-26,1	-15	+ 5,0
-39,4	-39	-38,2	-25,6	-14	+ 6,8
-38,9	-38	-36,4	-25,0	-13	+ 8,6
-38,3	-37	-34,6	-24,4	-12	+ 10,4
-37,8	-36	-32,8	-23,9	-11	+ 12,2
-37,2	-35	-31,0	-23,3	-10	+ 14,0
-36,7	-34	-29,2	-22,8	-9	+ 15,8
-36,1	-33	-27,4	-22,2	-8	+ 17,6
-35,6	-32	-25,6	-21,7	-7	+ 19,4
-35,0	-31	-23,8	-21,1	-6	+ 21,2
-34,4	-30	-22,0	-20,6	-5	+ 23,0
-33,9	-29	-20,2	-20,0	-4	+ 24,8
-33,3	-28	-18,4	-19,4	-3	+ 26,6
-32,8	-27	-16,6	-18,9	-2	+ 28,4
-32,2	-26	-14,8	-18,3	-1	+ 30,2
-31,7	-25	-13,0	-17,8	0	+ 32,0
-31,1	-24	-11,2	-17,2	+ 1	+ 33,8
-30,6	-23	-9,4	-16,7	+ 2	+ 35,6
-30,0	-22	-7,6	-16,1	+ 3	+ 37,4
-29,4	-21	-5,8	-15,6	+ 4	+ 39,2
-28,9	-20	-4,0	-15,0	+ 5	+ 41,0
-28,3	-19	-2,2	-14,4	+ 6	+ 42,8
-27,8	-18	-0,4	-13,9	+ 7	+ 44,6
-27,2	-17	+ 1,4	-13,3	+ 8	+ 46,4
-26,7	-16	+ 3,2	-12,8	+ 9	+ 48,2

(συνεχίζεται)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.1.
Μετατροπή θερμοκρασιών °C, °F

Θερμοκρασία			Θερμοκρασία		
°C	°C ή °F	°F	°C	°C ή °F	°F
-12,2	+ 10	+ 50,0	+ 10,0	+ 50	+ 122,0
-11,7	+ 11	+ 51,8	+ 10,6	+ 51	+ 123,8
-11,1	+ 12	+ 53,6	+ 11,1	+ 52	+ 125,6
-10,6	+ 13	+ 55,4	+ 11,7	+ 53	+ 127,4
-10,0	+ 14	+ 57,2	+ 12,2	+ 54	+ 129,2
-9,4	+ 15	+ 59,0	+ 12,8	+ 55	+ 131,0
-8,9	+ 16	+ 60,8	+ 13,3	+ 56	+ 132,8
-8,3	+ 17	+ 62,6	+ 13,9	+ 57	+ 134,6
-7,8	+ 18	+ 64,4	+ 14,4	+ 58	+ 136,4
-7,2	+ 19	+ 66,2	+ 15,0	+ 59	+ 138,2
-6,7	+ 20	+ 68,0	+ 15,6	+ 60	+ 140,0
-6,1	+ 21	+ 69,8	+ 16,1	+ 61	+ 141,8
-5,5	+ 22	+ 71,6	+ 16,7	+ 62	+ 143,6
-5,0	+ 23	+ 73,4	+ 17,2	+ 63	+ 145,4
-4,4	+ 24	+ 75,2	+ 17,8	+ 64	+ 147,2
-3,9	+ 25	+ 77,0	+ 18,3	+ 65	+ 149,0
-3,3	+ 26	+ 78,8	+ 18,9	+ 66	+ 150,8
-2,8	+ 27	+ 80,6	+ 19,4	+ 67	+ 152,6
-2,2	+ 28	+ 82,4	+ 20,0	+ 68	+ 154,4
-1,7	+ 29	+ 84,2	+ 20,6	+ 69	+ 156,2
-1,1	+ 30	+ 86,0	+ 21,1	+ 70	+ 158,0
-0,6	+ 31	+ 87,8	+ 21,7	+ 71	+ 159,8
0	+ 32	+ 89,6	+ 22,2	+ 72	+ 161,6
+ 0,6	+ 33	+ 91,4	+ 22,8	+ 73	+ 163,4
+ 1,1	+ 34	+ 93,2	+ 23,3	+ 74	+ 165,2
+ 1,7	+ 35	+ 95,0	+ 23,9	+ 75	+ 167,0
+ 2,2	+ 36	+ 96,8	+ 24,2	+ 76	+ 168,8
+ 2,8	+ 37	+ 98,6	+ 25,0	+ 77	+ 170,6
+ 3,3	+ 38	+ 100,4	+ 25,6	+ 78	+ 172,4
+ 3,9	+ 39	+ 102,2	+ 26,1	+ 79	+ 174,2
+ 4,4	+ 40	+ 104,0	+ 26,7	+ 80	+ 176,0
+ 5,0	+ 41	+ 105,8	+ 27,2	+ 81	+ 177,8
+ 5,5	+ 42	+ 107,6	+ 27,8	+ 82	+ 179,6
+ 6,1	+ 43	+ 109,4	+ 28,3	+ 83	+ 181,4
+ 6,7	+ 44	+ 111,2	+ 28,9	+ 84	+ 183,2
+ 7,2	+ 45	+ 113,0	+ 29,4	+ 85	+ 185,0
+ 7,8	+ 46	+ 114,8	+ 30,0	+ 86	+ 186,8
+ 8,3	+ 47	+ 116,6	+ 30,6	+ 87	+ 188,6
+ 8,9	+ 48	+ 118,4	+ 31,1	+ 88	+ 190,4
+ 9,4	+ 49	+ 120,2	+ 31,7	+ 89	+ 192,2

(συνεχίζεται)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.1.
Μετατροπή θερμοκρασιών °C, °F

Θερμοκρασία			Θερμοκρασία		
°C	°C ή °F	°F	°C	°C ή °F	°F
+ 32,2	+ 90	+ 194,0	+ 54,4	+ 130	+ 266,0
+ 32,8	+ 91	+ 195,8	+ 55,0	+ 131	+ 267,8
+ 33,3	+ 92	+ 197,6	+ 55,6	+ 132	+ 269,6
+ 33,9	+ 93	+ 199,4	+ 56,1	+ 133	+ 271,4
+ 34,3	+ 94	+ 201,2	+ 56,7	+ 134	+ 273,2
+ 35,0	+ 95	+ 203,0	+ 57,2	+ 135	+ 275,0
+ 35,6	+ 96	+ 204,8	+ 57,8	+ 136	+ 276,8
+ 36,1	+ 97	+ 206,6	+ 58,3	+ 137	+ 278,6
+ 36,7	+ 98	+ 208,4	+ 58,9	+ 138	+ 280,4
+ 37,2	+ 99	+ 210,2	+ 59,4	+ 139	+ 282,2
+ 37,8	+ 100	+ 212,0	+ 60,0	+ 140	+ 282,0
+ 38,3	+ 101	+ 213,8	+ 60,6	+ 141	+ 285,8
+ 38,9	+ 102	+ 215,6	+ 61,1	+ 142	+ 287,6
+ 39,4	+ 103	+ 217,4	+ 61,7	+ 143	+ 289,4
+ 40,0	+ 104	+ 219,2	+ 62,2	+ 144	+ 291,2
+ 40,6	+ 105	+ 221,0	+ 62,8	+ 145	+ 293,0
+ 41,1	+ 106	+ 222,8	+ 63,3	+ 146	+ 294,8
+ 41,7	+ 107	+ 224,6	+ 63,9	+ 147	+ 296,6
+ 42,2	+ 108	+ 226,4	+ 64,4	+ 148	+ 298,4
+ 42,8	+ 109	+ 228,2	+ 65,0	+ 149	+ 300,2
+ 43,3	+ 110	+ 230,0	+ 65,6	+ 150	+ 302,0
+ 43,9	+ 111	+ 231,8	+ 66,1	+ 151	+ 303,8
+ 44,4	+ 112	+ 233,6	+ 66,7	+ 152	+ 305,6
+ 45,0	+ 113	+ 235,4	+ 67,2	+ 153	+ 307,4
+ 45,6	+ 114	+ 237,2	+ 67,8	+ 154	+ 309,2
+ 46,1	+ 115	+ 239,0	+ 68,3	+ 155	+ 311,0
+ 46,7	+ 116	+ 240,8	+ 68,9	+ 156	+ 312,8
+ 47,2	+ 117	+ 242,6	+ 69,4	+ 157	+ 314,6
+ 47,8	+ 118	+ 244,4	+ 70,0	+ 158	+ 316,4
+ 48,3	+ 119	+ 246,2	+ 70,6	+ 159	+ 318,2
+ 48,9	+ 120	+ 248,0	+ 71,1	+ 160	+ 320,0
+ 49,4	+ 121	+ 249,8	+ 71,7	+ 161	+ 321,8
+ 50,0	+ 122	+ 251,6	+ 72,2	+ 162	+ 323,6
+ 50,6	+ 123	+ 253,4	+ 72,8	+ 163	+ 325,4
+ 51,1	+ 124	+ 255,2	+ 73,3	+ 164	+ 327,2
+ 51,7	+ 125	+ 257,0	+ 73,9	+ 165	+ 329,0
+ 52,2	+ 126	+ 258,8	+ 74,4	+ 166	+ 330,8
+ 52,8	+ 127	+ 260,6	+ 75,0	+ 167	+ 332,6
+ 53,3	+ 128	+ 262,4	+ 75,6	+ 168	+ 334,4
+ 53,9	+ 129	+ 264,2	+ 76,1	+ 169	+ 336,2

(συνεχίζεται)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.1.
Μετατροπή Θερμοκρασιών °C, °F

Θερμοκρασία			Θερμοκρασία		
°C	°C ή °F	°F	°C	°C ή °F	°F
+ 76,7	+ 170	+ 338,0	+ 98,9	+ 210	+ 410,0
+ 77,2	+ 171	+ 339,8	+ 99,4	+ 211	+ 411,8
+ 77,8	+ 172	+ 341,6	+ 100,0	+ 212	+ 413,6
+ 78,3	+ 173	+ 343,4	+ 100,6	+ 213	+ 415,4
+ 78,9	+ 174	+ 345,2	+ 101,1	+ 214	+ 417,2
+ 79,4	+ 175	+ 347,0	+ 101,7	+ 215	+ 419,0
+ 80,0	+ 176	+ 348,8	+ 102,2	+ 216	+ 420,8
+ 80,6	+ 177	+ 350,6	+ 102,8	+ 217	+ 422,6
+ 81,1	+ 178	+ 352,4	+ 103,3	+ 218	+ 424,4
+ 81,7	+ 179	+ 354,2	+ 103,9	+ 219	+ 426,2
+ 82,2	+ 180	+ 356,0	+ 104,4	+ 220	+ 428,0
+ 82,8	+ 181	+ 375,8	+ 105,0	+ 221	+ 429,8
+ 83,3	+ 182	+ 359,6	+ 105,6	+ 222	+ 431,6
+ 83,9	+ 183	+ 361,4	+ 106,1	+ 223	+ 433,4
+ 84,4	+ 184	+ 363,2	+ 106,7	+ 224	+ 435,2
+ 85,0	+ 185	+ 365,0	+ 107,2	+ 225	+ 437,0
+ 85,6	+ 186	+ 366,8	+ 107,8	+ 226	+ 438,8
+ 86,1	+ 187	+ 368,6	+ 108,3	+ 227	+ 440,6
+ 86,7	+ 188	+ 370,4	+ 108,9	+ 228	+ 442,4
+ 87,2	+ 189	+ 372,2	+ 109,4	+ 229	+ 444,2
+ 87,8	+ 190	+ 374,0	+ 110,0	+ 230	+ 446,0
+ 88,3	+ 191	+ 375,8	+ 110,6	+ 231	+ 447,8
+ 88,9	+ 192	+ 377,6	+ 111,1	+ 232	+ 449,6
+ 89,4	+ 193	+ 379,4	+ 111,7	+ 233	+ 451,4
+ 90,0	+ 194	+ 381,2	+ 112,2	+ 234	+ 453,2
+ 90,6	+ 195	+ 383,0	+ 112,8	+ 235	+ 455,0
+ 91,1	+ 196	+ 384,8	+ 113,3	+ 236	+ 456,8
+ 91,7	+ 197	+ 386,6	+ 113,9	+ 237	+ 458,6
+ 92,2	+ 198	+ 388,4	+ 114,4	+ 238	+ 460,4
+ 92,8	+ 199	+ 390,2	+ 115,0	+ 239	+ 462,2
+ 93,3	+ 200	+ 392,0	+ 115,6	+ 240	+ 464,0
+ 93,9	+ 201	+ 393,8	+ 116,1	+ 241	+ 465,8
+ 94,4	+ 202	+ 395,6	+ 116,7	+ 242	+ 467,6
+ 95,0	+ 203	+ 397,4	+ 117,2	+ 243	+ 469,4
+ 95,6	+ 204	+ 399,2	+ 117,8	+ 244	+ 471,2
+ 96,1	+ 205	+ 401,0	+ 118,3	+ 245	+ 473,0
+ 96,7	+ 206	+ 402,8	+ 118,9	+ 246	+ 474,8
+ 97,2	+ 207	+ 404,6	+ 119,4	+ 247	+ 476,6
+ 94,8	+ 208	+ 406,4	+ 120,0	+ 248	+ 478,4
+ 98,3	+ 209	+ 408,2	+ 120,6	+ 249	+ 480,2

(συνεχίζεται)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.1.
Μετατροπή θερμοκρασιών °C, °F

Θερμοκρασία			Θερμοκρασία		
°C	°C ή °F	°F	°C	°C ή °F	°F
+ 121,1	+ 250	+ 482,0	+ 137,8	+ 280	+ 536,0
+ 122,4	+ 252	+ 485,6	+ 138,9	+ 282	+ 539,6
+ 123,3	+ 254	+ 489,2	+ 140,0	+ 284	+ 543,2
+ 124,4	+ 256	+ 492,8	+ 141,1	+ 286	+ 546,8
+ 125,5	+ 258	+ 496,4	+ 142,2	+ 288	+ 550,4
+ 126,7	+ 260	+ 500,0	+ 143,3	+ 290	+ 554,0
+ 127,8	+ 262	+ 503,6	+ 144,4	+ 292	+ 557,6
+ 128,9	+ 264	+ 507,2	+ 145,6	+ 294	+ 561,2
+ 130,0	+ 266	+ 510,8	+ 146,7	+ 296	+ 564,8
+ 131,3	+ 268	+ 514,4	+ 147,8	+ 298	+ 568,4
+ 132,2	+ 270	+ 518,0			
+ 133,3	+ 272	+ 521,6			
+ 134,4	+ 274	+ 525,2			
+ 135,6	+ 276	+ 528,8			
+ 136,7	+ 278	+ 532,4			

1.4 Μέτρηση θερμοκρασίας.

Η θερμοκρασία είναι τό μέγεθος τό όποίο μετρείται περισσότερο από όλα τά άλλα μεγέθη. Η μέτρησή της παρουσιάζει έξαιρετικό ένδιαφέρον καί έχει έφαρμογές σέ όλους τούς τομείς τής έπιστήμης καί τής τεχνολογίας.

Η μέτρηση τής θερμοκρασίας, μέχρι καί πρίν από λίγες δεκαετίες, γίνονταν μέ τά κλασικά γυάλινα θερμόμετρα ύγροϋ. Τά θερμόμετρα αυτά έχουν πολύ μεγάλη ακρίβεια μετρήσεως, αλλά είναι εύθραυστα καί δέν έχουν τηλένδειξη.

Τά γυάλινα θερμόμετρα ύγροϋ δέν έξυπηρετούν γιά τή μέτρηση τής θερμοκρασίας, όταν ή έγκατάσταση έχει μεγάλη έκταση, όπως π.χ. σέ αΐθουσες θαλάμων - ψυγείων ή σέ ένα εργοστάσιο μέ πολλά μηχανήματα.

Ακόμα, έκτός από τήν ανάγνωση, δέν δίνουν άλλου είδους σήματα τά όποια χρειάζονται π.χ. οι θερμοστάτες, οι διατάξεις ρυθμίσεως κλπ.

Γιά νά έκπληρωθούν οι ανάγκες τής σημερινής τεχνολογίας έχουν χρησιμοποιηθεΐ θερμόμετρα μέ άρχές λειτουργίας διαφορετικές από τά γυάλινα θερμόμετρα ύγροϋ. Οι πιο σημαντικές από αυτές όδήγησαν στην κατασκευή των παρακάτω θερμομέτρων όπως είναι τά:

- Θερμόμετρα ύγροϋ.
- Θερμοηλεκτρικά στοιχεΐα.
- Θερμόμετρα αντίστασεως.
- Θερμίστορς.
- Θερμόμετρα μέ υπέρυθρη άκτινοβολία.
- Διμεταλλικά θερμόμετρα.

Ἡ περιγραφή καί ὁ τρόπος λειτουργίας τους θά ἀναπτυχθοῦν στοῦ δεύτερου μέρους τοῦ βιβλίου. Ὅλα, ἐκτός ἀπό τὰ θερμόμετρα ὑγροῦ, μποροῦν νά δώσουν τηλενδείξη καί νά χρησιμοποιηθοῦν γιά τή ρύθμιση καί τόν ἐλεγχό διατάξεων. Ἀλλά καί εἰδικές κατασκευές θερμομέτρων ὑγροῦ δίνουν τηλενδείξη ἢ τήν ἐνδείξη ἐπιτεύξεως ἢ υπερβάσεως τοποθετηθέντος ὅριου.

1.5 Ἑσωτερική ἐνέργεια.

Ἡ **θερμότητα εἶναι μορφή ἐνέργειας** καί δέν πρέπει νά συγχέεται μέ τή θερμοκρασία.

Ἡ διαφορά τῆς ἔννοιας θερμότητα καί θερμοκρασία ἔγινε γνωστή μόλις τόν περασμένο αἰώνα. Μέ τίς σημερινές γνώσεις εἶναι δυνατόν νά δοθεῖ ἕνας αὐστηρά ἐπιστημονικός ὁρισμός τῆς ἔννοιας θερμότητα. Πρέπει ὅμως προηγουμένως νά διευκρινισθοῦν δύο ἄλλες ἔννοιες:

- Ἡ ἔννοια τοῦ διαβατικοῦ ὁρίου καί
- Ἡ ἔννοια τῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας.

Στή θερμοδυναμική γίνεται συχνά χρήση τῆς ἔννοιας **σύστημα**. Σύστημα εἶναι μιά ὁρισμένη ποσότητα ὕλης ἢ ὁποῖα μπορεῖ νά ἐξετασθεῖ χωριστά ἀπό τόν ὑπόλοιπο κόσμο. Ἡ ὕλη αὐτή μπορεῖ νά εἶναι πάντοτε ἡ **ἴδια** καί νά ἀλλάζει π.χ. ὄγκο, πίεση, θερμοκρασία, ὁπότε ἔχομε **κλειστό σύστημα** ἢ νά ρεεῖ καί νά ἀντικαθίσταται συνεχῶς μέσα σέ ἕνα προκαθορισμένο χῶρο, ὁπότε ἔχομε **ἀνοικτό σύστημα**. Ἐνας ἀεροσυμπιεστής π.χ. ἀναρροφᾷ ἀέρα ἀπό τήν ἀτμόσφαιρα, τόν συμπιέζει σέ ὑψηλή πίεση καί τόν στέλνει συνεχῶς στά ἀντίστοιχα ἐργαλεῖα πού κινεῖ. Ἡ μάζα τοῦ ἀέρα συνεχῶς ἀντικαθίσταται μέσα στοῦ συμπιεστή σέ κάθε ἐμβολισμό. Ὄταν ἐξετάζεται ὁ ἀεροσυμπιεστής ὡς σύστημα, τότε τό σύστημα εἶναι ἀνοικτό.

Ὁ ὅρος «ἀδιαβατικός» σημαίνει ἀπαγόρευση στή διάβαση. Τί ὅμως ἀπαγορεύεται νά περάσει; Στήν οὐσία αὐτό πού ἀπαγορεύεται νά περάσει εἶναι ἡ ἐνέργεια - θερμότητα. Ἐπειδή ὅμως ἡ θερμότητα δέν ἔχει ὁρισθεῖ ἀκόμη, γιά ἀπλές περιπτώσεις, ὅπως αὐτές πού ἀντιμετωπίζονται στίς ψυκτικές διατάξεις, μπορεῖ νά δοθεῖ ὁ ἐξῆς ὁρισμός:

Ἀδιαβατικό ὄριο εἶναι ἐκεῖνο τό ὁποῖο ἐπιτρέπει νά περνάει ἀπό ἡ πρός τό σύστημα μόνο μηχανική ἐνέργεια.

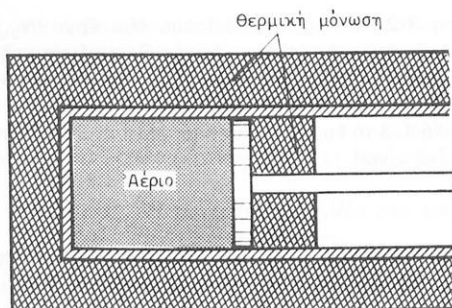
Ἄν υποθέσουμε ὅτι ἡ διάταξη τοῦ σχήματος 1.5α ἔχει ἀδιαβατικό ὄριο, τότε μποροῦν νά γίνουν τὰ ἐξῆς πειράματα:

α) Ἀδιαβατική συμπίεση τοῦ ἀερίου ἀπό τήν ἀρχική θέση 1 στήν τελική θέση 2 (σχ. 1.5β).

β) Ἀδιαβατική συμπίεση τοῦ ἀερίου ἀπό τήν ἀρχική θέση 1 στήν τελική θέση 2 μέ ἐνδιάμεση ἀποτόνωση στή θέση 3 (σχ. 1.5γ).

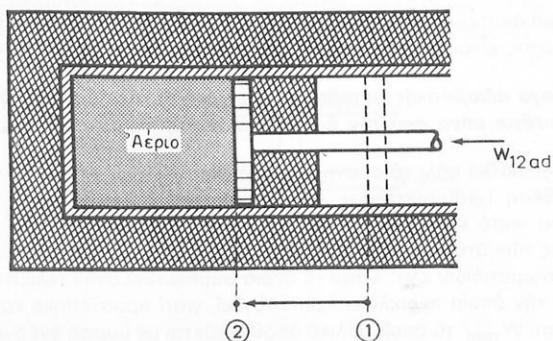
Γιά νά γίνει ἡ συμπίεση τοῦ ἀερίου 1-2, πρέπει νά κινηθεῖ τό ἐμβολο ἀπό τήν ἀρχική θέση 1 στήν τελική θέση 2. Συνεπῶς πρέπει νά δοθεῖ μηχανικό ἔργο γιά νά ὑπερνικηθεῖ ἡ ἀντίσταση πού προκύπτει ἀπό τήν πίεση τοῦ ἀερίου. Τό ἔργο πού ἀπαιτεῖται γιά τή μεταβολή αὐτή ἄς ποῦμε ὅτι μετρήθηκε καί εἶναι: W_{12ad} . Ὁ δείκτης ad δηλώνει ὅτι ἡ μεταβολή εἶναι ἀδιαβατική, δηλαδή ἀφορᾷ σύστημα τό ὁποῖο ἔχει ἀδιαβατικό ὄριο.

Στή συμπίεση 1-3-2 τοῦ σχήματος 1.5γ διακρίνονται δύο φάσεις: Στήν πρώτη φάση 1-3 τό ἀέριο παράγει ἔργο W_{13ad} , γιατί ἀποτονώνεται καί ὠθεῖ τό ἐμβολο.



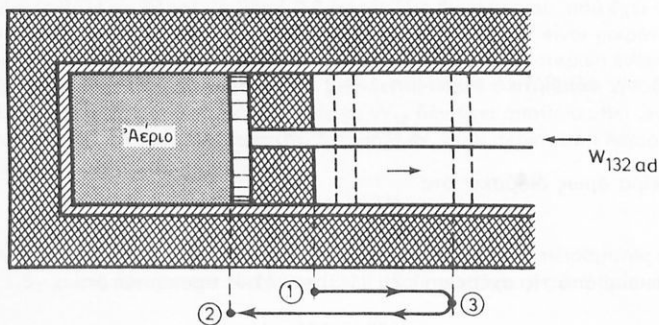
Σχ. 1.5α.

Αν η μόνωση του κυλίνδρου και του έμβολου είναι τέλεια, τότε το αέριο είναι ένα αδιαβατικό σύστημα.



Σχ. 1.5β.

Αδιαβατική συμπίεση αερίου από αρχική θέση 1 σε τελική θέση 2.



Σχ. 1.5γ.

Αδιαβατική συμπίεση αερίου από αρχική θέση 1 σε τελική θέση 2 με ενδιάμεση αποτόνωση 3.

Στή δεύτερη φάση 3-2 πρέπει να δοθεί από έξω έργο W_{31ad} για να γίνει ή συμπίεση. Γενικά στίς τεχνικές εφαρμογές τής Θερμοδυναμικής παραδεχόμαστε ότι τό έργο πού **παράγεται** από τό σύστημα είναι **θετικό** ενώ τό έργο πού καταναλώνεται από τό σύστημα είναι **άρνητικό**.

Κατά τή μεταβολή 1-3 τό έργο είναι θετικό· κατά τή 3-2 είναι άρνητικό. Τό έργο τής μεταβολής 1-3-2 είναι:

$$W_{132ad} = W_{13ad} + W_{32ad} \quad (1.1)$$

Μετά τά δύο πειράματα τών σχημάτων 1.5β και 1.5γ, τά όποια έχουν τήν ίδια άρχική και τελική κατάσταση συστήματος, συγκρίνονται τά έργα πού άπαιτούνται γι' αυτά.

Ή πείρα δείχνει ότι:

$$W_{12ad} = W_{132ad} \quad (1.2)$$

Τό ίδιο αποτέλεσμα προκύπτει από αντίστοιχα πειράματα άν βέβαια, τό όριο του συστήματος είναι άδιαβατικό. Τό αποτέλεσμα αυτό δείχνει ότι:

Τό έργο άδιαβατικής μεταβολής είναι ανεξάρτητο από τήν όδό τής μεταβολής και έξαρτάται μόνο από τήν άρχική και τελική κατάσταση του συστήματος.

“Ας εξετασθεί πάλι τό σύστημα του σχήματος 1.5β. “Όταν τό έμβολο είναι στην άρχική θέση 1 τό «σύστημα», και στην προκειμένη περίπτωση τό άέριο, έχει ένα όρισμένο ποσό ενέργειας. Ή ενέργεια αυτή όφείλεται στη μοριακή κίνηση, στίς δονήσεις τών ατόμων μέσα στη μοριακή δομή, στη δυναμική άλληλεπίδραση τών ύλικών σωματιδίων κλπ. “Όταν τό άέριο συμπιεσθεί στην τελική κατάσταση 2, ή ενέργεια τήν όποία περικλείει έχει αύξηθεί, γιατί προσέθηκε και τό ποσό μηχανικού έργου W_{12ad} τό όποιο τελικά αποθηκεύεται μέ μορφή ενέργειας.

Τό άθροισμα όλων τών μορφών ενέργειας τίς όποιες περιέχει ένα σύστημα λέγεται **έσωτερική ενέργεια** και συμβολίζεται μέ τό γράμμα U .

Τό σύστημα του σχήματος 1.5β στη θέση 1 έχει έσωτερική ενέργεια U_1 και στην τελική θέση 2 έχει έσωτερική ενέργεια U_2 . Κατά τήν άδιαβατική συμπίεση 1-2 αύξήθηκε ή έσωτερική ενέργεια από U_1 σέ U_2 και έπομένως:

$$U_2 - U_1 = -W_{12ad} \quad (1.3)$$

Κατά τήν άδιαβατική συμπίεση 1-3-2 του σχήματος 1.5:

$$U_2 - U_1 = -W_{132ad} \quad (1.4)$$

Ή πείρα όμως διδάσκει ότι:

$$W_{12ad} = W_{132ad}$$

και συνεπώς από τίς σχέσεις (1.2), (1.3) και (1.4) προκύπτει ότι:

$$U_{32} = U_2 \quad (1.5)$$

Η σχέση (1.5) δείχνει ότι η έσωτερική ενέργεια είναι **καταστατικό μέγεθος**, δηλαδή η τιμή της εξαρτάται από την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το σύστημα και όχι από την «οδό», δηλαδή τις μεταβολές τις οποίες έχει υποστεί.

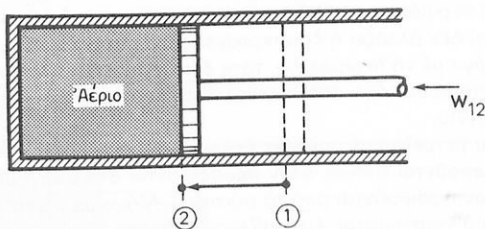
Μονάδες μετρήσεως της έσωτερικής ενέργειας είναι οι μονάδες ενέργειας. Αν τα μεγέθη αναφέρονται σε όλόκληρο το σύστημα συμβολίζονται με κεφαλαία γράμματα. Αν αναφέρονται στην μονάδα μάζας (1 kg), συμβολίζονται με μικρά γράμματα.

Συνοψίζοντας τα όσα έχουμε αναφέρει καταλήγουμε στο ότι:

$$U_2 - U_1 = -W_{12ad} \quad (1.6)$$

1.6 Θερμότητα.

Για τον αυστηρά επιστημονικό όρισμό της θερμότητας, απαιτείται η γνώση της έννοιας έσωτερική ενέργεια την οποία περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Η έννοια της θερμότητας εμφανίζεται σε συστήματα τα οποία δεν έχουν αδιαβατικά τοιχώματα. Ας εξετασθούν για το σκοπό αυτό οι ίδιες μεταβολές, όπως στα σχήματα 1.5β και 1.5γ, αλλά χωρίς μόνωση τοιχωμάτων όπως π.χ. στο σχήμα 1.6.



Σχ. 1.6.
Συμπίεση αερίου 12.

Κατά τη συμπίεση από την αρχική θέση 1 στην τελική θέση 2, παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας στα τοιχώματα του κυλίνδρου και συνεπώς ροή ενέργειας προς το περιβάλλον. Η τελική θέση 2 έχει τον ίδιο όγκο αερίου, που έχει στο σχήμα 1.5β, αλλά τώρα η πίεση και η θερμοκρασία στη θέση 2 είναι μικρότερη από ό,τι κατά την αδιαβατική συμπίεση του σχήματος 1.5β. Η έσωτερική ενέργεια στη θέση 2 του σχήματος 1.6, είναι τώρα μικρότερη από ότι στη θέση 2 του σχήματος 1.5β, γιατί μέρος από το μηχανικό έργο W_{12} δεν έχει αποθηκευθεί ως έσωτερική ενέργεια, αλλά έχει διαφύγει στο περιβάλλον. Στην περίπτωση λοιπόν του μη αδιαβατικού συστήματος έχουμε:

$$U_2 - U_1 \neq -W_{12} \quad (1.7)$$

Το ίδιο αποτέλεσμα προκύπτει και από την επανάληψη του πειράματος του σχήματος 1.5γ χωρίς αδιαβατικά τοιχώματα. Και στην περίπτωση αυτή βρίσκεται ότι:

$$U_2 - U_1 \neq -W_{123} \quad (1.8)$$

“Όταν τό σύστημα έχει άδιαβατικά τοιχώματα, όσον άφορά τήν ενέργεια, έμφανίζονται δύο μεγέθη. Δηλαδή ή έσωτερική ενέργεια καί τό μηχανικό έργο.

“Όταν τό σύστημα **δέν** έχει άδιαβατικά τοιχώματα τότε ό ίσολογισμός ενέργειας (σχέσεις 1.7, 1.8) τοῦ συστήματος, δείχνει ότι υπάρχει συναλλαγή ενέργειας μεταξύ συστήματος καί περιβάλλοντος καί άλλης μορφής από τό μηχανικό έργο. Δηλαδή ή έσωτερική ενέργεια τοῦ συστήματος δέν αύξομειώνεται μόνο μέ πρόσδοση ή άφαίρεση μηχανικού έργου, αλλά καί μέ πρόσδοση ή άφαίρεση **άλλης μορφής ενέργειας**. Αὐτή ή άλλη μορφή ενέργειας όνομάζεται θερμότητα καί συμβολίζεται μέ τό γράμμα Q_{12} ή q_{12} .

Έπειδή ή γενική άρχή τής διατηρήσεως τής ενέργειας ισχύει πάντοτε, από τόν ενεργειακό ίσολογισμό τοῦ μή άδιαβατικού συστήματος πάντοτε θά ισχύει ότι:

$$Q_{12} = u_{12} + w_{12} \quad (1.9)$$

‘Η σχέση αὐτή δίνει τόν αὐστηρά έπιστημονικό όρισμό τής θερμότητας μέ βάση τίς έννοιες τοῦ μηχανικού έργου w καί τής έσωτερικής ενέργειας.

‘Η θερμότητα λοιπόν εμφανίζεται όταν προκαλούνται μεταβολές τής έσωτερικής ενέργειας u ενός συστήματος ή όταν συναλλάσσεται μηχανικό έργο w μεταξύ συστήματος καί περιβάλλοντος ή όταν συνυπάρχουν καί τά δύο. “Όταν ένα σύστημα ίσορροπεί καί δέν αλλάζει ή έσωτερική του ενέργεια καί δέν συναλλάσσει επίσης μηχανικό έργο μέ τό περιβάλλον, τότε **δέν** υπάρχει θερμότητα. Στην περίπτωση αὐτή τό σύστημα δέν έχει άποθηκευμένη θερμότητα, αλλά έχει άποθηκευμένη έσωτερική ενέργεια.

‘Η θερμότητα μετρεῖται μέ μονάδες ενέργειας. Γιά τεχνικές έφαρμογές τά ποσά θερμότητας θεωροῦνται θετικά, όταν προσδίδονται στό σύστημα πού εξετάζεται, καί άρνητικά όταν αφαιροῦνται από τό σύστημα. Μόνο σέ περιπτώσεις μεταβολής καταστάσεως τοῦ συστήματος εμφανίζεται ή έννοια τής θερμότητας.

‘Η θερμότητα εἶναι ενέργεια πού μετακομίζει.

Φορεῖς τής μετακομίσεως τής ενέργειας εἶναι τά μόρια, τά άτομα, τά ηλεκτρόνια καί τά άλλα σωμάτια τοῦ μικρόκοσμου καθώς καί τά αντίστοιχα δυναμικά πεδία.

1.7 Πρώτο θερμοδυναμικό άξίωμα.

Τά βασικότερα από τά αξιώματα πάνω στά όποία βασίζεται ή θερμοδυναμική εἶναι τό πρώτο καί τό δεύτερο θερμοδυναμικό άξίωμα.

‘Η διατύπωση τοῦ πρώτου θερμοδυναμικού άξιώματος περιλαμβάνει δύο σκέλη. Τό πρώτο όρίζει τήν έσωτερική ενέργεια μέ βάση τίς άδιαβατικές μεταβολές καί τό δεύτερο όρίζει τή θερμότητα καί περιλαμβάνει τήν άρχή διατηρήσεως ενέργειας. ‘Η διατύπωσή του εἶναι:

Κάθε κλειστό σύστημα έχει ένα καταστατικό μέγεθος, τήν έσωτερική ενέργεια.

α) Γιά άδιαβατικές μεταβολές έχομε:

$$U_2 - U_1 = -W_{12ad}$$

β) Για μή αδιαβατικές μεταβολές έχουμε:

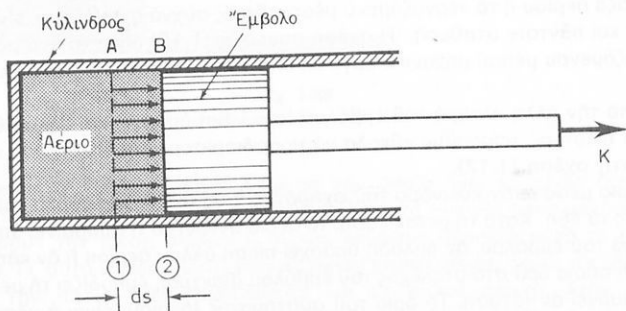
$$U_2 - U_1 = Q_{12} - W_{12}$$

Η ισχύς του αξιώματος αυτού είναι γενική. Στίς επόμενες παραγράφους δίνονται ειδικότερες διατυπώσεις του για κλειστά καί ανοικτά συστήματα, όταν οι αντίστοιχες μεταβολές είναι μικρές.

1.8 Έργο όγκομεταβολής.

Ο όρος **έργο όγκομεταβολής** περιγράφει το μηχανικό έργο το οποίο παράγει ή καταναλώνει μιά μάζα όταν αλλάζει ταυτόχρονα ο όγκος της καί η πίεσή της.

Ο όρος αναφέρεται συνήθως σε συστήματα τα οποία περιέχουν αέριο καί ως έργο όγκομεταβολής θεωρείται το έργο το οποίο είναι συνυφασμένο μέ την αλλαγή του όγκου του αερίου. Η λέξη «όγκομεταβολή», χρησιμοποιείται για νά περιγραφεί το έργο το οποίο σχετίζεται μέ **κλειστό σύστημα**. Σε άλλη παράγραφο αναπτύσσεται ή έννοια «τεχνικό έργο» ή όποια περιγράφει το μηχανικό έργο των ανοικτών συστημάτων.



Σχ. 1.8α.

Τό έμβολο ώθεϊται από τό αέριο καί παράγεται έργο όγκομεταβολής.

Στό σχήμα 1.8α παριστάνεται τυπική διάταξη κλειστού συστήματος. Μιά σταθερή ποσότητα μάζας αερίου, τό «σύστημα», βρίσκεται μέσα σε κύλινδρο πού φράσσεται αεροστεγώς μέ ένα κινητό έμβολο. Έπάνω στην έπιφάνεια του έμβολου, ή όποια έχει έμβαδόν F , δρᾷ ή πίεση p του αερίου, καί ώθεϊ μέ δύναμη τό έμβολο πρὸς τά ἔξω. Η δύναμη K είναι:

$$K = pF \quad (1.10)$$

Υποτίθεται ότι από την ἄλλη πλευρά του έμβολου δέν ὑπάρχει ατμοσφαιρική ή ἄλλου εἶδους πίεση.

Όταν τό έμβολο μετακινηθεῖ κατά ἕνα πολύ μικρό, στοιχειῶδες, διάστημα ds , τότε παράγεται κατά την ἀποτόνωση του αερίου τό στοιχειῶδες έργο όγκομεταβολής dW τό όποιο είναι:

$$\begin{aligned} dW &= Kds \\ &= pFds \end{aligned}$$

Επειδή όμως το γινόμενο Fds παριστάνει τον πολύ μικρό στοιχειώδη όγκο 1 AB2 (σχ. 1.8α), ο όποιος όγκος συμβολίζεται με dV , η σχέση αυτή μπορεί να γραφεί και ως εξής:

$$dW = p dV \quad (1.11)$$

Η μεταβολή όμως του όγκου αναφέρεται σε όλη την ποσότητα της μάζας του συστήματος. Αν το σύστημα έχει μάζα αερίου m kg τότε η σχέση (1.11) δίνει:

$$\eta \quad \frac{dW}{m} = p \frac{dV}{m}$$

$dw = p dv$

(1.12)

Η σχέση αυτή έχει υπολογισθεί για την απλή περίπτωση του συστήματος του σχήματος 1.8α. Ισχύει όμως και για άλλες πιο σύνθετες μεταβολές όγκου αν βέβαια η μάζα αερίου ή το «έργαζόμενο μέσο», όπως συχνά ονομάζεται, είναι πάντοτε ή ίδια και πάντοτε σταθερή. Η σχέση συνεπώς (1.12) δίνει το ανά μονάδα μάζας έργαζόμενου μέσου μηχανικό έργο το οποίο συναλλάσσεται με το κλειστό σύστημα.

Αν από την άλλη πλευρά του έμβολου (σχ. 1.8α) υπάρχει και άλλο αέριο το οποίο έχει πίεση p_0 , μπορούμε εύκολα να προσδιορίσουμε την πίεση που πρέπει να γραφεί στη σχέση (1.12).

Το αέριο μέσα στον κύλινδρο του σχήματος 1.8α πιέζει το έμβολο και το μετακινεί προς τα έξω. Κατά τη μετακίνηση, το αέριο αγνοεί το τί συμβαίνει από την άλλη πλευρά του έμβολου, αν δηλαδή υπάρχει πίεση άλλου αερίου ή αν κάποια άλλη δύναμη, ή οποια δρᾷ στο στέλεχος του έμβολου (βάκτρο), εμποδίζει τη μετακίνηση και δημιουργεί αντίσταση. Το όριο του συστήματος (αερίου) είναι η μέσα μετακινούμενη επιφάνεια του έμβολου. Κατά τη μετακίνηση της επιφάνειας το σύστημα (αέριο) παράγει έργο: $dW = p dV$. Που καταναλώνεται το έργο αυτό, το αγνοεί το αέριο. Είναι αδιάφορο για το αέριο αν μέρος από το έργο του χρησιμοποιείται για να υπερνικήσει την πίεση άλλου αερίου (από την άλλη πλευρά του έμβολου) ή αν ολόκληρο χρησιμοποιείται για να υπερνικήσει την αντίσταση που επιβάλλεται στο βάκτρο από την κίνηση κάποιας μηχανής.

Στο σχήμα 1.8β εξετάζεται η απλή περίπτωση της κινήσεως έμβολου μέσα όμως στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Επάνω στις δύο επιφάνειες του έμβολου δρουν διαφορετικές πιέσεις. Από τη μέσα πλευρά δρᾷ η πίεση του αερίου p και από την έξω πλευρά δρᾷ η ατμοσφαιρική πίεση p_{atm} .

Όταν γίνεται μία στοιχειώδης εκτόνωση, το αέριο παράγει έργο:

$$dW = p dV$$

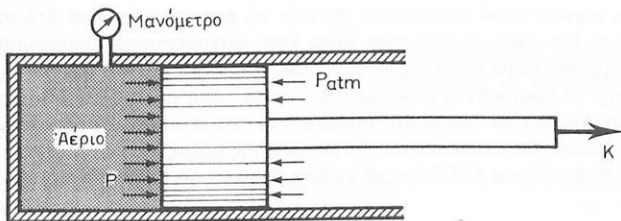
Όταν όμως το έμβολο κινείται, από την έξω πλευρά ο ατμοσφαιρικός αέρας με-

τακινείται με τον ίδιο στοιχειώδη όγκο dV και συνεπώς η ύπαρξη του ατμοσφαιρικού αέρα καταναλώνει ένα μέρος από το έργο που παράγει το αέριο. Η κατανάλωση αυτή του έργου, λόγω του ατμοσφαιρικού αέρα, είναι:

$$dW_{\text{atm}} = p_{\text{atm}} dV \quad (1.13)$$

Το έργο συνεπώς dW_e το οποίο παραμένει διαθέσιμο για να μεταφερθεί από το βάκτρο του έμβολου είναι τελικά:

$$\begin{aligned} dW_e &= dW - dW_{\text{atm}} \\ &= p dV - p_{\text{atm}} dV \\ &= (p - p_{\text{atm}}) dV \end{aligned} \quad (1.14)$$



Σχ. 1.8β.

Αποτόνωση αερίου μέσα στην ατμόσφαιρα.

Το μέγεθος $(p - p_{\text{atm}})$ είναι η πίεση την οποία έχει το αέριο όταν αυτή μετρείται πάνω από την ατμοσφαιρική πίεση. Όλα τα συνηθισμένα μανόμετρα τά οποία μετρούν την πίεση αερίων ή υγρών δείχνουν ακριβώς αυτό το μέγεθος $(p - p_{\text{atm}})$. Γι' αυτό η πίεση αυτή λέγεται **μανομετρική πίεση**. Λόγω της ιδιαίτερης σημασίας την οποία έχει συμβολίζεται και με ειδικό δείκτη. Στην Αγγλο-αμερικανική βιβλιογραφία συμβολίζεται με το δείκτη g (από τη Gauge) και στη γερμανική με το δείκτη $\bar{u}$ (από τη λέξη Ueberdruck = υπερπίεση).

Πολλές φορές η πίεση p για να τονισθεί ότι είναι η **απόλυτη πίεση**, συμβολίζεται και με τον δείκτη a .

Έτσι ισχύει πάντοτε η σχέση:

$$p_g = p_a - p_{\text{atm}} \quad (1.15)$$

ή με άλλο δείκτη.

$$p_{\bar{u}} = p_a - p_{\text{atm}} \quad (1.16)$$

Όταν στο εξής θα γράφεται πίεση p θα έννοείται πάντοτε η απόλυτη πίεση p_a . Ο δείκτης a λόγω συντομίας δεν θα χρησιμοποιείται.

Αν στο σχήμα 1.8β η κίνηση του έμβολου γίνει αντίστροφα, αν δηλαδή συμπιεσθεί το αέριο και παραχθεί έργο από έξω, τότε η ατμοσφαιρική πίεση προσφέρει έργο στη συμπίεση. Αν το έμβολο του σχήματος 1.8β παλινδρομήσει διαδοχικά, όπως συμβαίνει συνήθως στις μηχανές, τότε το έργο του ατμοσφαιρικού αέρα α-

ναιρείται σέ κάθε πλήρη παλινδρόμηση του έμβολου. 'Η ύπαρξη τής πίεσεως του αερίου από τήν άλλη πλευρά του έμβολου μπορεί νά άγνοηθεί.

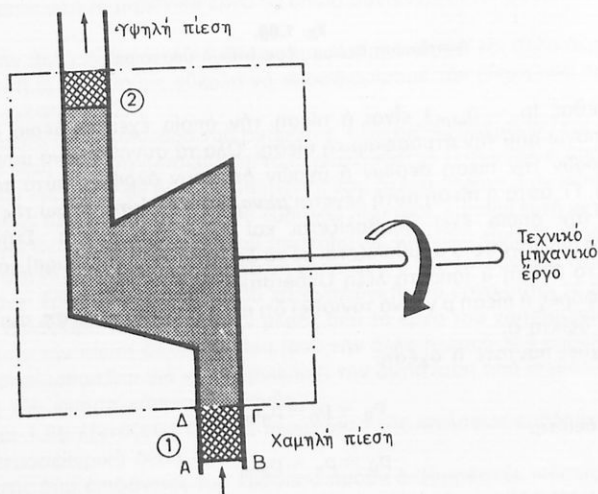
'Ανακεφαλαιώνοντας μπορούμε νά πούμε ότι τό έργο όγκομεταβολής ενός συστήματος είναι:

$$dw = p dv$$

Τό έργο αυτό παράγεται από τό σύστημα ή προσδίδεται σέ αυτό. Γιά τό ίδιο τό σύστημα είναι αδιάφορο τό πού καταναλώνεται τό έργο πού παράγεται από αυτό ή αντίθετα από πού προσδίδεται τό έργο τό όποιο καταναλώνεται από αυτό.

1.9 Τεχνικό έργο.

Ο όρος **τεχνικό έργο** αναφέρεται πάντοτε σέ **άνοικτό σύστημα**. Στο σχήμα 1.9 παριστάνεται ένα άνοικτό σύστημα. Είναι ένας φυγοκεντρικός αεροσυμπιεστής ό οποίος άναρροφά άέρα χαμηλής πίεσεως (δείκτης 1) p_1 καί τόν συμπιέζει σέ υψηλή πίεση p_2 . Ο συμπιεστής συνεχώς άναρροφά τόση μάζα άέρα όση καταθλίβει στην έξοδο. Μέσα στό συμπιεστή υπάρχει πάντοτε σταθερή ποσότητα μάζας άέρα, ή όποία συνεχώς άνανεώνεται. 'Η μονάδα τής μάζας, π.χ. 1 kg άέρα, στην είσοδο (σχ. 1.9) έχει όγκο ΑΒΓΔ ίσο μέ v_1 ενώ στην έξοδο ή ίδια μάζα έχει μικρότερο όγκο v_2 .



Σχ. 1.9.

Σχηματική παράσταση στροβιλοσυμπιεστή άέρα.

Γιά νά λειτουργεί ό συμπιεστής πρέπει νά δοθεί από έξω μηχανικό έργο, τό όποιο καταναλώνεται γιά τή συμπίεση του άέρα. 'Επειδή τό σύστημα είναι άνοικτό,

όπως συμβαίνει να είναι σέ όλες σχεδόν τίς τεχνικές έγκαταστάσεις, γι' αυτό λέγεται «τεχνικό έργο».

Στήν προηγούμενη παράγραφο ύπολογίσθηκε ή τιμή τοῦ έργου όγκομεταβολής. Έδώ πρέπει νά ύπολογισθεῖ τό τεχνικό έργο.

Ή διαφορά ή όποία ύπάρχει άνάμεσα στό έργο όγκομεταβολής καί στό τεχνικό έργο όφείλεται στή ροή μάζας διά μέσου τών όρίων τοῦ συστήματος. Ή ροή γίνεται στό άνοικτό σύστημα.

Στή θέση εισόδου τοῦ σχήματος 1.9 έπικρατεῖ πίεση p_1 . Γιά νά συμπιεσθεῖ ή μονάδα μάζας 1 kg ή όποία έχει όγκο v_1 μέσα από τά όρια τοῦ συστήματος, πρέπει νά καταναλωθεῖ έργο. Τό σύστημα δηλαδή πρέπει νά παραγάγει έργο:

$$p_1 v_1$$

Όταν ή ἴδια μάζα έγκαταλείπει τό σύστημα, στή θέση 2 όπου έχει πίεση p_2 καί όγκο v_2 , καθώς βγαίνει από τά όρια, στό σύστημα πρέπει νά καταβληθεῖ έργο:

$$- p_2 v_2$$

Γιά νά περάσει ή μάζα τοῦ 1 kg μέσα από τά όρια τοῦ συστήματος πρέπει συνεπώς νά «παραχθεῖ» συνιστάμενο έργο:

$$- p_2 v_2 + p_1 v_1 = - (p_2 v_2 - p_1 v_1)$$

Όταν οἱ μεταβολές εἶναι μικρές, τό έργο αυτό εἶναι στοιχειωδῶς μικρό καί ἴσο μέ:

$$- d(pv) \quad (1.17)$$

Τό έργο αυτό «πληρώνεται» από τό μηχανικό έργο πού προσδίδεται στόν άξονα τοῦ συμπιεστή.

Τό άέριο, άφοῦ περάσει τά όρια τοῦ συστήματος στή θέση 1 καί μέχρι τήν έξοδό του από τή θέση 2, δέν αντιλαμβάνεται άν εἶναι σέ κλειστό ή άνοικτό σύστημα. Ουσιαστικά μέσα στά όρια δέν ύπάρχει διαφορά. Έτσι τό έργο τό όποιο έχει άμεση σχέση μέ τίς μεταβολές τοῦ άερίου μέσα στό σύστημα δίνεται από τή σχέση (1.12):

$$dw = pdv \quad (1.12)$$

Έπειδή τό σύστημα εἶναι άνοικτό, τό έργο τελικά τό όποιο συνδέεται μέ μία στοιχειώδη μεταβολή, δίνεται από τό άλγεβρικό άθροισμα τών δύο έργων τών σχέσεων (1.12) καί (1.17).

Γιά τήν περίπτωση λοιπόν τοῦ άνοικτοῦ συστήματος τό στοιχειώδες τεχνικό έργο dw_t ύπολογίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} dw_t &= dw - d(pv) \\ &= pdv - (pdv + vdp) \\ &= - vdp \end{aligned}$$

Γιά τό στοιχειώδες τεχνικό έργο προκύπτει ότι:

$$dw_t = - vdp \quad (1.18)$$

Σέ όλες σχεδόν τίς τεχνικές έγκαταστάσεις, όπως καί στίς ψυκτικές διατάξεις, τά θερμοδυναμικά συστήματα είναι άνοικτά καί γιά τό λόγο αυτό, οί σχετικοί ύπολογισμοί γίνονται μέ τό τεχνικό έργο, όπως όρίζεται άπό τή σχέση (1.18).

1.10 Ένθαλπία.

Στό σχήμα 1.9, όταν ή μονάδα μάζας τοῦ έργαζόμενου μέσου περνάει τό όριο στή θέση 1 τοῦ συστήματος καί μπαίνει μέσα σέ αυτό, προσδίδει στό σύστημα έ-νέργεια.

Ή ένέργεια, ή όποία προσδίδεται, άποτελείται άπό δύο μέρη. Τό ένα μέρος είναι ή έσωτερική ένέργεια u_1 τήν όποία έχει τό έργαζόμενο μέσο στή θέση είσόδου. Τό άλλο μέρος προέρχεται άπό τό μηχανικό έργο τό όποίο άπαιτείται γιά νά περάσει ή μονάδα μάζας τά όρια τοῦ συστήματος καί είναι ίσο μέ: $p_1 v_1$.

Στό σημείο λοιπόν 1 τοῦ όρίου, γιά κάθε 1 kg μάζας έργαζόμενου σώματος, τό όποιο είσέρχεται στό σύστημα, ή ένέργεια τοῦ συστήματος αύξάνει. Έχομε δηλαδή αύξηση κατά:

$$u_1 + p_1 v_1$$

Τό αντίστοιχο συμβαίνει στή θέση έξόδου 2. Όταν τό 1 kg μάζας έγκαταλείπει τό σύστημα έχει έσωτερική ένέργεια u_2 καί τό σύστημα καταναλώνει έργο $p_2 v_2$ γιά νά εκδιώξει τό άέριο. Στή θέση λοιπόν 2 τοῦ όρίου τοῦ συστήματος τό 1 kg μάζας, όταν έξέρχεται άπό τό σύστημα, άφαιρεί ένέργεια ίση μέ:

$$u_2 + p_2 v_2$$

Άνάλογες σχέσεις έμφανίζονται σέ όλες τίς θέσεις τών άνοικτών συστημάτων, δηλαδή, ή ένέργεια ή όποία είναι συνδεμένη μέ τή μονάδα τής μάζας άποτελείται άπό τά δύο μέρη u καί pv . Έπειδή όλες σχεδόν οί τεχνικές έγκαταστάσεις είναι άνοικτά συστήματα τό μέγεθος αυτό άποκτā ιδιαίτερη σημασία. Τό μέγεθος όνομάζεται **ένθαλπία**. Συμβολίζεται διεθνώς μέ τό γράμμα h καί έξ όρισμοῦ είναι:

$$h = u + pv \quad (1.19)$$

Μονάδες μετρήσεως τής ένθαλπίας είναι οί μονάδες μετρήσεως ένέργειας.

1.11 Πρώτο θερμοδυναμικό Άξίωμα γιά συστήματα p, v, T .

Στίς συνηθισμένες τεχνικές έφαρμογές, τά θερμοδυναμικά συστήματα είναι μηχανές, συσκευές καί διατάξεις, οί όποιες χρησιμοποιοῦν ως έργαζόμενα μέσα άέ-ρια, άτμούς ή ύγρά. Στίς περιπτώσεις αυτές ή θερμοδυναμική κατάσταση τοῦ έργαζόμενου σώματος είναι έντελώς καθορισμένη, όταν είναι γνωστά τά τρία βασικά μεγέθη: πίεση p θερμοκρασία T καί **είδικός όγκος** v (όγκος 1 kg μάζας).

Τά συστήματα αυτά πού καθορίζονται πλήρως όταν δίνονται οί τιμές τών μεγε-θών p, v, T όνομάζονται γιά συντομία καί συστήματα p, v, T .

Τό σκέλος τοῦ πρώτου θερμοδυναμικοῦ ἀξιώματος, ὅπως διατυπώθηκε στήν παράγραφο 1.7, μένει ἀναλλοίωτο. Τό δεύτερο σκέλος του, μπορεῖ νά ἔχει τήν εἰδική μορφή πού ἀπαιτεῖται ἀν ἀντί γιά τή γενική ἐκφράση τοῦ ἔργου, ὡς ἡ ἀρρησιμποιηθεῖν οἱ σχέσεις (1.12) καί (1.18). Ἀπό τά παραπάνω προκύπτουν τά ἑξῆς:

α) Κλειστό σύστημα:

$$dq = du - dw$$

$$dq = du + pdv \quad (1.20)$$

β) Ἀνοικτό σύστημα: Ἀπό τή σχέση ὁρισμοῦ τῆς ἐνθαλπίας (σχέση 1.19) προκύπτει ἀμέσως ὅτι:

$$dh = du + pdv + vdp$$

$$(du + pdv) = dh - vdp$$

Ἄν αὐτή ἡ σχέση ἀντικαταστήσει στή σχέση (1.20) τήν τιμή τῆς ἐκφράσεως $(du + pdv)$ προκύπτει ὅτι:

$$dq = dh - vdp \quad (1.21)$$

Ἄν χρησιμοποιηθεῖ καί ὁ ὁρισμός τοῦ τεχνικοῦ ἔργου ἀπό τή σχέση (1.18), τότε ἀπό τή σχέση (1.21) προκύπτει ὅτι:

$$dq = dh + dw_t \quad (1.22)$$

Συνοψίζοντας λοιπόν τίς παραπάνω σχέσεις ἔχομε:

1 ^ο θερμοδυναμικό ἀξίωμα γιά p,v,T.	
Ἀνοικτό σύστημα	Κλειστό σύστημα
$dq = dh + dw_t$	$dq = du + dw$
$dq = dh - vdp$	$dq = du + pdv$

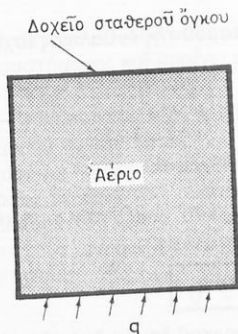
1.12 Εἰδική Θερμοχωρητικότητα.

Ὄταν προσδίδεται θερμότητα σέ ἓνα σῶμα καί δέν γίνεται ἀλλαγὴ καταστάσεως, δηλαδή δέν μετατρέπεται τό σῶμα π.χ. ἀπό στερεό σέ ὑγρό ἢ ἀπό ὑγρό σέ ἀτμό κλπ., ἡ θερμοκρασία τοῦ σώματος αὐξάνει. Τό ἀντίθετο ἀκριβῶς συμβαίνει ὅταν ἀφαιρεῖται θερμότητα ἀπό ἓνα σῶμα.

Γιά νά ὑπολογισθεῖ πόση θερμότητα πρέπει νά προσδοθεῖ ἢ ἀφαιρεθεῖ, ὥστε νά ἐπιτευχθοῦν οἱ καθορισμένες θερμοκρασιακές διαφορές, γιά τήν ἐπιθυμητή ψύξη ἢ θέρμανση, πρέπει νά εἶναι γνωστές ὁρισμένες σταθερές τοῦ ἀντίστοιχου ἐργαζόμενου μέσου.

Υπάρχουν συνήθως δύο τρόποι θερμάνσεως ή ψύξεως ενός μέσου. Ο πρώτος τρόπος είναι θέρμανση καί ψύξη με σταθερό όγκο του αντίστοιχου μέσου. Ο δεύτερος τρόπος είναι θέρμανση καί ψύξη με σταθερή πίεση. Στίς τεχνικές εφαρμογές χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά ο δεύτερος τρόπος. Η μεταβολή που γίνεται με σταθερή πίεση λέγεται **ισόθλιπτη**. Η μεταβολή που γίνεται με σταθερό όγκο λέγεται **ισόογκη**.

Ισόογκη μεταβολή είναι π.χ. η θέρμανση ενός αερίου που είναι κλεισμένο σε ένα δοχείο σταθερού όγκου (σχ. 1.12α).



Σχ. 1.12α.
Πρόσδοση θερμότητας.

Αν τό αέριο έχει μάζα m kg, στήν οποία προσδίδεται ένα μικρό ποσό θερμότητας Q_{12} , ώστε νά ανέβει ή θερμοκρασία της από T_1 σέ T_2 :

$$Q_{12v} = m \cdot c_v (T_2 - T_1) \quad (1.23)$$

Τό μέγεθος c_v ονομάζεται **ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερό όγκο**. Η ίδια σχέση, όταν γραφεί γιά τή μονάδα τής μάζας, δίνει:

$$\frac{Q_{12v}}{m} = q_{12v} = c_v (T_2 - T_1)$$

Από τή σχέση αυτή προκύπτει, γιά τό c_v , ότι:

$$c_v = \frac{q_{12v}}{T_2 - T_1} \quad (1.24)$$

Οι μονάδες του μεγέθους c_v είναι μονάδες ενέργειας ανά μονάδα μάζας καί ανά βαθμό θερμοκρασίας, δηλαδή:

$$\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \right]$$

Η τιμή του μεγέθους c_v εξαρτάται από τό σώμα καί τήν κατάσταση στήν οποία βρίσκεται τό σώμα. Όταν αλλάζει ή θερμοκρασία του σώματος αλλάζει καί ή τιμή του c_v .

Ἄν ὑπολογισθοῦν ποσά θερμότητας γιὰ μεγαλύτερες διαφορές θερμοκρασίας, πρέπει νὰ ὑπολογισθοῦν καὶ διάφορες τιμές γιὰ τὸ c_v .

Ἐπειδὴ τὸ c_v ἀλλάζει μὲ τὴν ἀλλαγὴ θερμοκρασίας ὁ πρὸ ἀκριβῆς ὁρισμὸς τοῦ μεγέθους αὐτοῦ εἶναι:

$$c_v = \left(\frac{dq}{dT} \right)_v \quad (1.25)$$

Ὁ δείκτης v δείχνει ὅτι ὁ ὄγκος μένει σταθερός.

Οἱ τιμές τοῦ c_v προσδιορίζονται συνήθως ἀπὸ πειράματα καὶ δίνονται σὲ πίνακες ἢ διαγράμματα.

Γιὰ ἓνα σύστημα p, v, T ὅταν ἡ μεταβολὴ εἶναι ἰσόογκη ($dv = 0$) τὸ πρῶτο θερμοδυναμικὸ ἀξίωμα δίνει:

$$dq = du + pdv$$

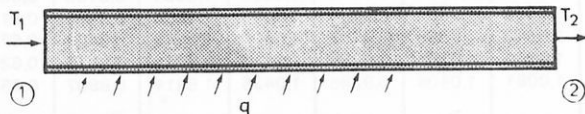
$$\tilde{q} \quad (dq)_v = du \quad (1.26)$$

Ἄν ὅμως χρησιμοποιηθεῖ καὶ ὁ ὁρισμὸς τῆς εἰδικῆς θερμοχωρητικότητας ὑπὸ σταθερὸ ὄγκο c_v (σχέση 1.25) τότε:

$$(du)_v = c_v dT \quad (1.27)$$

Μπορεῖ λοιπὸν ἂν εἶναι γνωστὸ τὸ μέγεθος c_v νὰ ὑπολογισθεῖ καὶ ἡ μεταβολὴ τῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας γιὰ συγκεκριμένη θερμοκρασιακὴ διαφορά.

Στὶς τεχνικὲς ἐφαρμογές ὅμως σπάνια χρησιμοποιεῖται θέρμανση ἢ ψύξη ὑπὸ σταθερὸ ὄγκο. Σὲ αὐτές οἱ μεταβολές γίνονται ὑπὸ σταθερὴ πίεση. Συνήθως χρησιμοποιοῦνται διατάξεις, ὅπως αὐτὴ πού φαίνεται στὸ σχῆμα 1.12β.



Σχ. 1.12β.

Ροὴ αἰρίου ὑπὸ σταθερὴ πίεση καὶ θέρμανση.

Γιὰ τὴν περίπτωση αὐτὴ χρησιμοποιεῖται τὸ μέγεθος τὸ ὁποῖο ὀνομάζεται **εἰδική θερμοχωρητικότητα ὑπὸ σταθερὴ πίεση**. Ἡ ἀντίστοιχη σχέση γιὰ τὸν ὑπολογισμὸ τοῦ ποσοῦ θερμότητας εἶναι:

$$Q_{12p} = m \cdot c_p (T_2 - T_1)$$

Γιὰ τὴ μονάδα μάζας προκύπτει πάλι ὅτι:

$$\frac{Q_{12p}}{m} = q_{12p} = c_p (T_2 - T_1)$$

καὶ

$$c_p = \frac{q_{12p}}{T_2 - T_1}$$

Γιά μικρές μεταβολές:

$$c_p = \left(\frac{dq_{12}}{dT} \right)_p \quad (1.28)$$

Οι μονάδες μετρήσεως του c_p είναι οι ίδιες με τις μονάδες του c_v .

Από τό πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα για άνοικτό σύστημα (σχέση 1.22) προκύπτει για μεταβολή με σταθερή πίεση ($dp = 0$) ότι:

$$dq = dh - vdp$$

ή

$$(dq)_p = dh \quad (1.29)$$

Σέ συνδυασμό με τή σχέση (1.28) προκύπτει ότι:

$$(dh)_p = c_p \cdot dT \quad (1.30)$$

Από τή σχέση αυτή μπορούν νά υπολογισθοῦν καί οι διαφορές ένθαλπίας, ἄν εἶναι γνωστές οι τιμές τῆς εἰδικῆς θερμοχωρητικότητας ὑπό σταθερή πίεση c_p .

Γιά τόν ὑπολογισμό τῶν ποσῶν θερμότητας γιά θέρμανση ἢ ψύξη, πρέπει νά εἶναι γνωστές ἀπό μετρήσεις οι τιμές τῆς ένθαλπίας ἢ ἐσωτερικῆς ἐνέργειας ἢ οι τιμές τῶν εἰδικῶν θερμοχωρητικότητων c_p καί c_v .

Στόν Πίνακα 1.12.1 δίνονται οι τιμές τῆς εἰδικῆς θερμοχωρητικότητας ὑπό σταθερή πίεση γιά διαφορετικά ἀέρια καί διαφορετικές θερμοκρασίες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.12.1.

Εἰδική μέση θερμοχωρητικότητα ἀερίων ὑπό σταθερή πίεση. Οἱ τιμές εἶναι σέ kJ/kg °C.

°C	Αέρας	N ₂	O ₂	CO	H ₂ O	CO ₂	SO ₂
0	1,0033	1,0387	0,9148	1,0397	1,8584	0,8165	0,6083
25	1,0036	1,0387	0,9164	1,0399	1,8608	0,8299	0,6153
50	1,0042	1,0389	0,9182	1,0403	1,8640	0,8429	0,6224
100	1,0059	1,0396	1,9230	1,0416	1,8718	0,8677	0,6365
150	1,0081	1,0408	0,9288	1,0435	1,8814	0,8907	0,6503
200	1,0111	1,0426	0,9354	1,0462	1,8924	0,9122	0,6634
250	1,0145	1,0450	0,9425	1,0496	1,9046	0,9321	0,6700
300	1,0185	1,0480	0,9499	1,0537	1,9177	0,9509	0,6878
350	1,0229	1,0516	0,9574	1,0583	1,9316	0,9685	0,6988
400	1,0278	1,0556	0,9649	1,0634	1,9460	0,9850	0,7090
450	1,0328	1,0601	0,9721	1,0688	1,9608	1,0005	0,7186
500	1,0380	1,0648	0,9792	1,0745	1,9760	1,0152	0,7274
550	1,0434	1,0698	0,9860	1,0803	1,9915	1,0291	0,7357
600	1,0488	1,0750	0,9925	1,0862	2,0074	1,0422	0,7434
650	1,0542	1,0802	0,9987	1,0921	2,0236	1,0546	0,7505
700	1,0595	1,0855	1,0047	1,0979	2,0400	1,0663	0,7572
750	1,0648	1,0907	1,0103	1,1036	2,0566	1,0775	0,7634
800	1,0700	1,0960	1,0157	1,1092	2,0733	1,0880	0,7692
850	1,0751	1,1011	1,0209	1,1148	2,0901	1,0981	0,7747
900	1,0800	1,1062	1,0258	1,1201	2,1070	1,1076	0,7798

(συνεχίζεται)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.12.1.

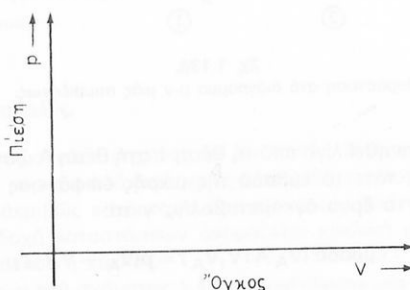
Ειδική μέση θερμοχωρητικότητα αερίων υπό σταθερή πίεση. Οι τιμές είναι σε $\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$.

$^{\circ}\text{C}$	Αέρας	N_2	O_2	CO	H_2O	CO_2	SO_2
950	1,0848	1,1112	1,0305	1,11254	2,1239	1,1167	0,7846
1000	1,0895	1,1160	1,0350	1,1304	2,1408	1,1253	0,7891
1100	1,0985	1,1254	1,0434	1,1402	2,1744	1,1413	0,7975
1200	1,1069	1,1343	1,0511	1,1492	2,2075	1,1560	0,8050
1300		1,1426	1,0583	1,1577	2,2399	1,1693	0,8117
1400		1,1504	1,0651	1,1656	2,2716	1,1816	0,8179
1500		1,1578	1,0715	1,1730	2,3024	1,1928	0,8235
1600		1,1647	1,0775	1,1799	2,3322	1,2032	0,8286
1700		1,1711	1,0832	1,1863	2,3610	1,2128	0,8334
1800		1,1772	1,0888	1,1924	2,3889	1,2217	0,8378
1900		1,1829	1,0941	1,1980	2,4157	1,2299	0,8419
2000		1,1883	1,0993	1,2034	2,4416	1,2376	0,8457

1.13 Διάγραμμα p-v.

Όταν ένα σύστημα p,v,T π.χ. ένα αέριο, αλλάζει συνεχώς καταστάσεις μέσα σε μία μηχανή ή συσκευή, τότε είναι δύσκολο να έχει κανείς μία σωστή εικόνα για τις μεταβολές αυτές.

Για την καλύτερη κατανόηση των μεταβολών αυτών χρησιμοποιούνται πολλές φορές κατάλληλα διαγράμματα πάνω στα οποία γίνονται οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις.

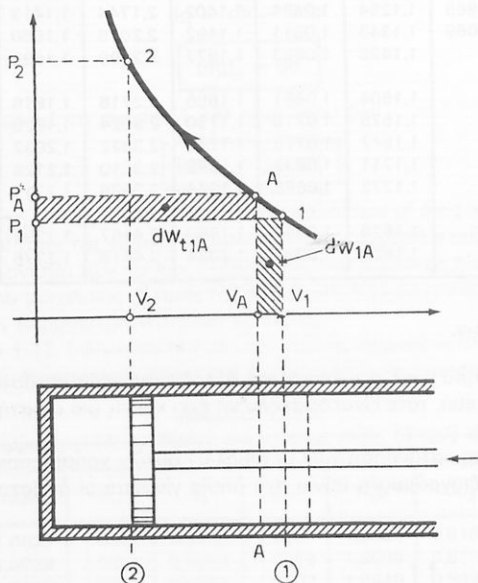


Σχ. 1.13α.

Διάγραμμα με άξονες p (πίεση) και v (όγκος).

Υπάρχουν διάφοροι τύποι διαγραμμάτων. Ένας από αυτούς είναι και ο τύπος του διαγράμματος στον οποίο ως άξονες χρησιμοποιούνται τα μεγέθη πίεση p και όγκος V (σχ. 1.13α). Πολλές φορές αντί για τον ολικό όγκο V χρησιμοποιείται και ο όγκος της μονάδας μάζας, δηλαδή ο ειδικός όγκος v.

Στό p - v διάγραμμα του σχήματος 1.13β παριστάνεται η μεταβολή μιάς μάζας αερίου, σέ συνδυασμό με την αντίστοιχη θέση του έμβολου τό όποιο τήν περιορίζει μέσα στόν κύλινδρο. Στή θέση 1 τό αέριο έχει όγκο V_1 καί p_1 . Στή συνέχεια γίνεται μία γρήγορη συμπίεση καί τό αέριο καταλήγει σέ τελικό όγκο V_2 καί πίεση p_2 . Οι καταστάσεις του αερίου κατά μήκος τής συμπίεσεως, παριστάνονται από τήν καμπύλη 1-2 στό p - v διάγραμμα.



Σχ. 1.13β.

Παράσταση στό διάγραμμα p - v μιάς συμπίεσεως.

Όταν τό έμβολο κινηθεί λίγο από τή θέση 1 στή θέση A ώστε ή μετακίνηση 1A νά είναι πολύ μικρή, τότε τό έμβαδό τής μικρής έπιφάνειας (V_A A1 V_1 V_A) στό διάγραμμα p - v δίνει τό έργο όγκομεταβολής, γιατί:

$$dW_{1A} = \text{έμβαδό } (V_A \text{ A1 } V_1 V_A) = p(V_A - V_1) = p \cdot dv$$

Αντίστοιχα τό έμβαδό τής μικρής έπιφάνειας (p_1 p_A A1 p_1) δίνει τό τεχνικό έργο, γιατί:

$$dW_{t1A} = \text{έμβαδό } (p_1 p_A \text{ A1 } p_1) = V(p_1 - p_A) = vdp$$

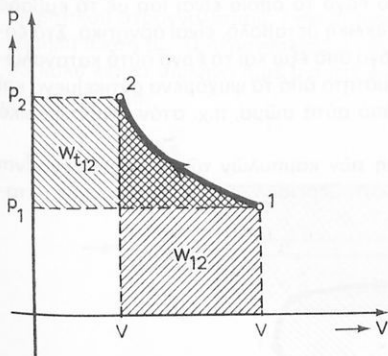
Προκύπτει λοιπόν ότι τό έμβαδό του διαγράμματος p - v κάτω από μιά καμπύλη δίνει τά έξής δύο μεγέθη του σχήματος 1.13γ.

Τό έμβαδό μεταξύ καμπύλης καί όριζόντιου άξονα όγκου v παριστάνει τό έργο

όγκομεταβολής της μεταβολής. Τό έμβαδό μεταξύ καμπύλης και άξονα πίεσεως p παριστάνει τό τεχνικό έργο της μεταβολής.

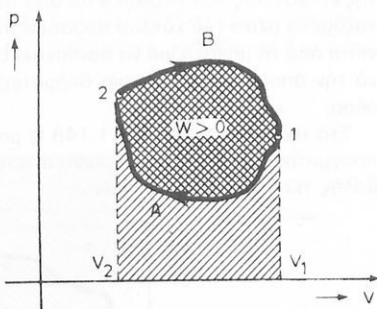
Τό διάγραμμα p - v μιάς μεταβολής αερίου σέ έμβολοφόρο μηχανή μπορεί νά μετρηθεί-καταγραφεί καί πειραματικά μέ κατάλληλο όργανο τό όποιο μετρά - καταγράφει τήν πίεση καί τή διαδρομή του έμβόλου. Στην περίπτωση αυτό τό μετρημένο πειραματικό διάγραμμα λέγεται **δυναμοδεικτικό διάγραμμα** ή διάγραμμα **ένδεικτη**.

Στό διάγραμμα του σχήματος 1.12γ ή μεταβολή 12 προκαλεί έλάττωση του όγκου από v_1 σέ v_2 . Άρα ή μεταβολή dv είναι άρνητική. Έπειδή ή πίεση p είναι μέγεθος θετικό, τό στοιχειώδες έργο καθώς καί όλόκληρο τό έργο είναι άρνητικό.



Σχ. 1.13γ.

Παράσταση έργου όγκομεταβολής W_{12} καί τεχνικού έργου W_{t12} της μεταβολής 12 στό διάγραμμα p - v .



Σχ. 1.14α.

Δεξιόστροφη κυκλική μεταβολή μέ παραγωγή έργου.

1.14 Κυκλικές μεταβολές.

Στίς περισσότερες σχεδόν μηχανές καί συσκευές, τό εργαζόμενο μέσο, συνήθως αέριο ή άτμός, περνάει από διαδοχικές μεταβολές καταστάσεων καί τελικά καταλήγει στην ίδια άκριβώς κατάσταση από τήν όποία ξεκίνησε.

Μιά τέτοια διαδοχή καταστάσεων όνομάζεται κυκλική μεταβολή ή καί άπλά θερμοδυναμικός κύκλος ή κύκλος.

Στό διάγραμμα p - v του σχήματος 1.14α παριστάνεται μία τέτοιου είδους κυκλική μεταβολή.

Τό σύστημα (άέριο) ξεκινάει από άρχική κατάσταση 1, ύφίσταται διαδοχικές μεταβολές κατά μήκος της καμπύλης 1A2, φθάνει στό σημείο 2, όπου έχει τόν έλάχιστο όγκο καί άκολουθεί τή μεταβολή 2B1 μέχρι τό άρχικό σημείο 1.

Στό τμήμα της μεταβολής 1A2 προσδίδεται στό άέριο έργο από έξω, γιατί τό έμβαδό της έπιφάνειας (V_1 1A2 V_2 , V_1) είναι άρνητικό. Κατά τή μεταβολή 2B1 παράγεται έργο από τό άέριο ίσο μέ τό έμβαδό της έπιφάνειας (V_2 2B1 V_1 , V_2). Όταν τό άέριο επανέρχεται στην άρχική κατάσταση 1, συνολικά έχει παραχθεί έργο ίσο μέ τό

έμβαδό της επιφάνειας που είναι μέσα στην καμπύλη της κυκλικής μεταβολής. Το έργο αυτό δεν έχει παραχθεί δωρεάν, γιατί κατά μήκος όλων των μεταβολών το αέριο ζεσταίνεται ή ψύχεται αντίστοιχα. Ός σύνολο έχει καταναλωθεί ένα ποσό θερμότητας για να παραχθεί μηχανικό έργο. Στο διάγραμμα $p-v$ παριστάνονται μόνο τα ποσά μηχανικού έργου.

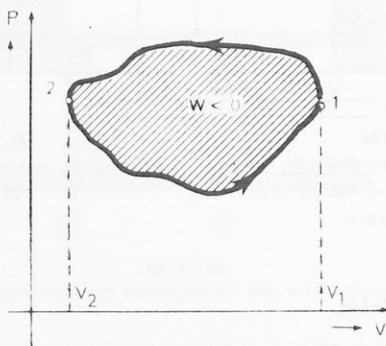
Ο κύκλος του σχήματος 1.14α είναι δεξιόστροφος και είναι κύκλος παραγωγής έργου. Στην περίπτωση αυτή στο θερμοδυναμικό σύστημα (π.χ. μηχανή αυτοκινήτου) προσφέρεται θερμότητα από έξω (καύση καυσίμου).

Ένα μέρος από τη θερμότητα μετατρέπεται σε μηχανικό έργο.

Στις **ψυκτικές διατάξεις** ή **φορά** του κύκλου είναι **αριστερόστροφη** (σχ. 1.14β).

Στις περιπτώσεις αυτές το συνιστάμενο έργο το οποίο είναι ίσο με το έμβαδό της επιφάνειας που περικλείεται από την κυκλική μεταβολή, είναι αρνητικό. Στο εργαζόμενο μέσο του κύκλου προσδίδεται έργο από έξω και το έργο αυτό καταναλώνεται από τη μηχανή για να αφαιρέσει θερμότητα από τα ψυχόμενα αντικείμενα και να την απορρίψει σε κάποιο θερμότερο από αυτά σώμα, π.χ. στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Στα σχήματα 1.14α και 1.14β η μορφή των καμπυλών των κύκλων δεν είναι πραγματική. Σε άλλη παράγραφο δίνεται λεπτομερειακή μορφή της κυκλικής μεταβολής των ψυκτικών διατάξεων.



Σχ. 1.14β.

Αριστερόστροφη κυκλική μεταβολή. Ψυκτικός κύκλος.

1.15 Στραγγαλισμός πίεσεως.

Όταν διατίθεται ένα αέριο ή ένα υγρό με υψηλή πίεση, τότε το αέριο ή το υγρό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κινήσει κάποια κατάλληλη μηχανή και να παραγάγει μηχανικό έργο.

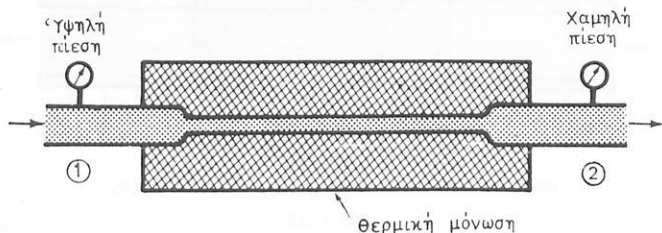
Αυτό όμως δεν συμβαίνει πάντοτε. Π.χ. το αέριο όξυγόνο το οποίο εύρεται σε μία φιάλη και χρησιμοποιείται για όξυγονοκόλληση, έχει πίεση, αν η φιάλη είναι γεμάτη, περίπου 150 bar. Τελικά το αέριο όξυγόνο από αυτή τη μεγάλη πίεση καταλήγει στον αυλό συγκολλήσεως, όπου η πίεσή του είναι περίπου 2 bar. Η μείωση της πίεσεως του όξυγόνου από 150 bar σε 2 bar γίνεται μέσα στο μειωτήρα πίεσεως χωρίς το αέριο να παραγάγει μηχανικό έργο.

Μιά τέτοια «καταστροφή» πίεσεως αερίου ή υγρού χωρίς παραγωγή μηχανικού έργου, ονομάζεται **στραγγαλισμός πίεσεως**.

Όταν ο στραγγαλισμός γίνεται έτσι, ώστε το αέριο να είναι θερμικά μονωμένο από το περιβάλλον από το οποίο δεν παίρνει άλλα και δεν δίνει θερμότητα, τότε ο στραγγαλισμός είναι και **άδιαβατικός**.

Η μεταβολή της ύψηλης πίεσεως ενός ρευστού, με στραγγαλισμό, χρησιμοποιείται σε όλες σχεδόν τις ψυκτικές διατάξεις και έχει μεγάλη σημασία για τη λειτουργία τους. Είναι απαραίτητο λοιπόν να εξετασθεί αυτή η μεταβολή λεπτομερέστερα.

Το σχήμα 1.15 δείχνει την αντίστοιχη σχηματική παράσταση, μιάς διατάξεως άδιαβατικού στραγγαλισμού. Στην είσοδο επικρατεί ύψηλη πίεση p_1 και στην έξοδο χαμηλή πίεση p_2 . Ο στραγγαλισμός της πίεσεως μπορεί να γίνει με ένα κομμάτι από πολύ λεπτό σωλήνα ή με μία στένωση από ρυθμιστική βαλβίδα, με ένα πορώδες υλικό κλπ.



Σχ. 1.15.

Άδιαβατικός στραγγαλισμός αερίου. Άνοικτο σύστημα.

Για την εξέταση του φαινομένου από την άποψη της θερμοδυναμικής, δεν έχει σημασία πώς ακριβώς γίνεται ο στραγγαλισμός.

Η διάταξη στραγγαλισμού δεν παράγει και δεν καταναλώνει έργο. Συνεπώς για το άνοικτο σύστημα του σχήματος 1.15 το τεχνικό έργο είναι ίσο με μηδέν. Επειδή η μεταβολή είναι και άδιαβατική, το ποσό θερμότητας το οποίο συναλλάσσεται με το εργαζόμενο σώμα είναι και αυτό ίσο με μηδέν.

Δηλαδή:

$$\begin{aligned} Q_{12} &= 0 \\ W_{12} &= 0 \end{aligned}$$

Από το πρώτο θερμοδυναμικό άξιομα για άνοικτο σύστημα (σχέση 1.22) προκύπτει για την περίπτωση αυτή ότι:

$$h_2 - h_1 = 0$$

ή

$dh = 0$

(1.31)

Ο άδιαβατικός στραγγαλισμός λοιπόν γίνεται χωρίς να μεταβάλλεται η τιμή ένθαλπιας. Είναι δηλαδή μία μεταβολή **ισενθαλπική**.

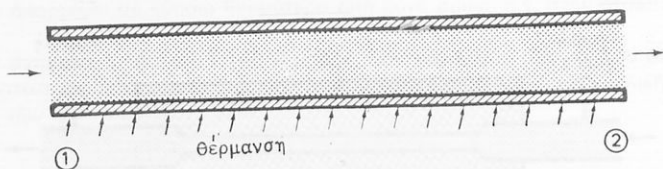
Ἡ διαπίστωση αὐτὴ δὲν ἰσχύει καὶ ἀντίστροφα. Δηλαδή μία ἰσενθαλπικὴ μεταβολὴ δὲν εἶναι ὅπωςδήποτε ἀδιαβατικός στραγγαλισμός. Μπορεῖ καὶ ἄλλου εἴδους μεταβολές νά ἀφήνουν τὴν ἐνθαλπία ἀμετάβλητη.

Ἡ διαπίστωση αὐτὴ εἶναι πολὺ χρήσιμη γιὰ τὴ χάραξη τοῦ θερμοδυναμικοῦ κύκλου τῶν ψυκτικῶν διατάξεων.

1.16 Ἰσόθλιπτη μεταβολή.

Ἡ ἰσόθλιπτη μεταβολὴ ἀναφέρεται σὲ κλειστό ἢ σὲ ἀνοικτὸ σύστημα.

Τὸ σχῆμα 1.16α, δείχνει σχηματικὰ τὴν ἰσόθλιπτη μεταβολή (θέρμανση) ἐνός ἀερίου. Στὴ θέση 1 ἐπικρατεῖ θερμοκρασία T_1 καὶ πίεση p_1 . Στὴ θέση 2 ἐπικρατεῖ μεγαλύτερη θερμοκρασία T_2 , ἀλλὰ ἴδια πίεση $p_2 = p_1$.



Σχ. 1.16α.

Ἰσόθλιπτη μεταβολή (θέρμανση) ἀνοικτοῦ συστήματος.

Ἐνδιαφέρον σὲ κάθε μεταβολὴ παρουσιάζουν πάντοτε ἡ θερμότητα καὶ τὸ μηχανικὸ ἔργο. Δηλαδή γιὰ κάθε μεταβολὴ πρέπει νά εἶναι γνωστὸ τὸ ποσό θερμότητας καὶ τὸ ποσό μηχανικοῦ ἔργου πού πρέπει νά δοθεῖ ἢ ἀφαιρεθεῖ ἀπὸ τὸ ἐργαζόμενο μέσο γιὰ νά μπορεῖ νά γίνη ἡ μεταβολή.

α) Ἀνοικτὸ σύστημα.

Γιὰ τὴν ἰσόθλιπτη μεταβολὴ ἀνοικτοῦ συστήματος τὰ μεγέθη Θερμότητα καὶ Μηχανικὸ Ἔργο ἔχουν ὑπολογισθεῖ σὲ προηγούμενες παραγράφους. Ἀπὸ τὴν παράγραφο 1.12 εἶναι γνωστὸ (σχέση 1.29) τὸ ποσό θερμότητας πού ἀπαιτεῖται. Δηλαδή:

$$(q_{12})_p = h_2 - h_1 \quad (1.32)$$

Ἐπειδὴ δὲν παράγεται, ἀλλὰ καὶ δὲν προσδίδεται τεχνικὸ ἔργο ἔχομε:

$$(w_{t12})_p = 0 \quad (1.33)$$

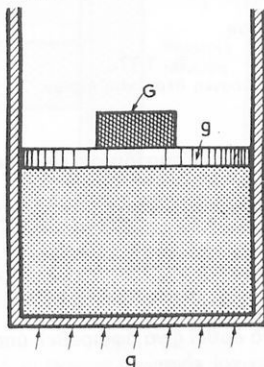
β) Κλειστὸ σύστημα.

Ἡ ἰσόθλιπτη μεταβολὴ κλειστοῦ συστήματος δὲν ἔχει τεχνικὲς ἐφαρμογές. Χρησιμοποιεῖται ὅμως γιὰ ἐργαστηριακοὺς σκοποὺς ὅταν γίνονται μετρήσεις τῶν θερμοδυναμικῶν δεδομένων τῶν διαφόρων ἀτμῶν, αερίων κλπ. Τὸ σχῆμα 1.16β δίνει τὴν ἀντίστοιχη σχηματικὴ παράσταση. Πρόκειται γιὰ ἓνα ἔμβολο τὸ ὁποῖο κινεῖται μέσα σὲ ἓνα κύλινδρο χωρὶς τριβή. Ἐπάνω στοῦ ἔμβολου τοποθετοῦνται σταθερὰ βάρη. Ἐπειδὴ ἡ ἐπιφάνεια τοῦ ἔμβολου εἶναι ἀμετάβλητη καὶ τὰ βάρη σταθερά, ἡ πίεση τὴν ὁποία ἐξασκοῦν πάνω στοῦ ἀέριο εἶναι καὶ αὐτὴ σταθερὴ καὶ ἀνε-

ξάρτητη από τη θέση του έμβολου.

Όταν προστίθεται ή αφαιρείται θερμότητα, αλλάζει ο όγκος του αερίου και το έμβολο με τα βάρη μετακινείται. Το γεγονός αυτό υποχρεώνει το αέριο να παράγει ή να καταναλώνει το αντίστοιχο μηχανικό έργο. Ο υπολογισμός του μηχανικού έργου γίνεται πολύ εύκολα, γιατί η πίεση μένει σταθερή. Στην παράγραφο 1.8 (σχέση 1.12) έχει γίνει ήδη ο υπολογισμός του έργου όγκομεταβολής. Για την περίπτωση του σχήματος 1.16β προκύπτει ότι:

$$(w_{12})_p = p (v_2 - v_1) \quad (1.34)$$



Σχ. 1.16β.

Ίσόθλιπη μεταβολή (θέρμανση) κλειστού συστήματος.

Από το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα για κλειστό σύστημα p, v, T όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 1.11 (σχέση 1.20), προκύπτει ότι:

$$(q_{12})_p = (u_2 - u_1) + (v_2 - v_1)p$$

ή

$$(q_{12})_p = (u_2 + pv_2) - (u_1 + pv_1) \quad (1.35)$$

Αν όμως χρησιμοποιηθεί ο ορισμός της ένθαλπιας της παραγράφου 1.10 (σχέση 1.19) τότε η σχέση (1.35) είναι:

$$(q_{12})_p = h_2 - h_1 \quad (1.32)$$

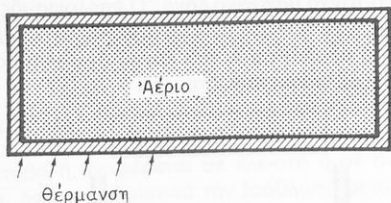
Προκύπτει δηλαδή και πάλι η σχέση (1.32).

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι στην ισόθλιπη μεταβολή το ποσό θερμότητας δίνεται από τις διαφορές ένθαλπιας του συστήματος.

1.17 Ίσόογκη μεταβολή.

Τό είδος αυτό της μεταβολής δεν βρίσκει ουσιαστική εφαρμογή στις τεχνικές εγκαταστάσεις και μηχανές. Ίδιαίτερα στις ψυκτικές διατάξεις, χρησιμοποιείται μόνο σε μία περίπτωση, ή οποία όμως δεν περιγράφεται στο βιβλίο αυτό, γιατί αφορά

μηχανές παραγωγής ψυκτικής ισχύος σέ πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Συγκεκριμένα πρόκειται γιά μηχανές Philips οι οποίες λειτουργοῦν μέ τό θερμοδυναμικό κύκλο τοῦ Stirling.



Σχ. 1.17.

Ίσoογκη θέρμανση αερίου.

Ἡ ἰσόογκη μεταβολή γιά κλειστά συστήματα εἶναι πολύ ἀπλή. Τό σχῆμα 1.17 δείχνει τό εἶδος τῆς μεταβολῆς.

Προφανῶς ἔργο ὀγκομεταβολῆς δέν παράγεται, γιὰτί ὁ ὀγκος δέν μεταβάλλεται. Ἔτσι λοιπόν:

$$(w_{12})_v = 0$$

Ἡ θερμότητα πού πρέπει νά δοθεῖ ἢ νά ἀφαιρεθεῖ, ὑπολογίζεται ἀμέσως ἀπό τό πρῶτο θερμοδυναμικό ἀξίωμα καί εἶναι:

$$(q_{12})_v = u_2 - u_1$$

Συνήθως στά διάφορα τεχνικά ἐγχειρίδια δέν δίνεται τιμή τῆς ἐσωτερικῆς ἐνέργειας u , ἀλλά μόνο ἡ τιμή τῆς ἐνθαλπίας h . Ὄταν χρησιμοποιήσουμε τόν ὀρισμό τῆς ἐνθαλπίας [παράγραφος 1.10, σχέση (1.19)] ἡ σχέση αὐτή γίνεται:

$$(q_{12})_v = (h_2 - h_1) + v(p_2 - p_1)$$

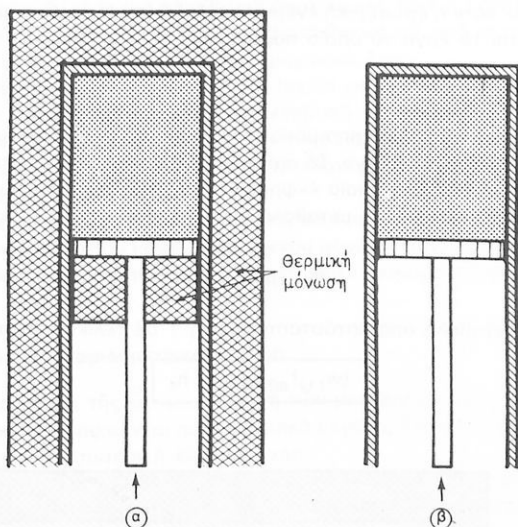
Μέχρι τώρα ἐξετάσαμε τήν ἰσόογκη μεταβολή κλειστοῦ συστήματος. Ὑπάρχει καί ἰσόογκη μεταβολή ἀνοικτοῦ συστήματος ἡ ὁποία ὁμως δέν ἔχει μεγάλο τεχνικό ἐνδιαφέρον καί γι' αὐτό δέν θά ἐξετασθεῖ σέ αὐτό τό βιβλίο.

1.18 Ἀδιαβατική μεταβολή.

Τό εἶδος αὐτό τῆς μεταβολῆς εἶναι ἴσως τό σημαντικότερο γιά τίς τεχνικές ἐφαρμογές. Ὅπως φαίνεται ἀπό τό ὄνομα τῆς μεταβολῆς πρόκειται γιά μεταβολή στήν ὁποία τό ἐργαζόμενο σῶμα δέν παίρνει, ἀλλά καί δέν ἀποβάλλει θερμότητα.

Γιά νά πραγματοποιηθεῖ μιὰ ἀδιαβατική μεταβολή θά πρέπει τά ὅρια τοῦ συστήματος νά εἶναι ἀδιαβατικά, πράγμα τό ὁποῖο σημαίνει ὅτι τά τοιχώματα τῆς ἀντίστοιχης μηχανῆς θά ἔχουν τέλεια θερμική μόνωση.

Στό σχῆμα 1.18α φαίνονται δύο συστήματα κυλίνδρου-ἐμβόλου. Στό α ὑπάρχει πολύ καλή (θεωρητικά πρέπει νά εἶναι τέλεια) θερμική μόνωση, ἐνῶ στό β ἡ μετα-



Σχ. 1.18α.

Άδιαβατική μεταβολή. α) Θερμικά μονωμένο σύστημα. β) Ταχεία μεταβολή.

βολή γίνεται πολύ γρήγορα ώστε η θερμότητα να μην προλαβαίνει να μεταδοθεί από το αέριο του κυλίνδρου στο περιβάλλον και αντίστροφα.

Φυσικά και οι δύο τρόποι δεν εξασφαλίζουν απολύτως άδιαβατική μεταβολή, αλλά κατά προσέγγιση.

Για την άδιαβατική μεταβολή πρέπει να υπολογισθούν μόνο τα ποσά μηχανικού έργου τα οποία απαιτούνται, γιατί δεν συναλλάσσεται θερμότητα με το σύστημα. Καί εδώ θα γίνει διάκριση για άνοικτο και για κλειστό σύστημα.

α) Κλειστό σύστημα.

Από το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα (σχέση 20) προκύπτει ότι:

$$0 = du + dw$$

ή για την μεταβολή 12 ότι:

$$0 = (u_2 - u_1) + w_{12}$$

Από αυτήν προκύπτει ότι:

$$(w_{12})_{ad} = u_1 - u_2$$

(1.36)

Η σχέση αυτή δείχνει ότι το έργο το οποίο προσδίδεται σε μία συμπίεση αύξανει την έσωτερική ενέργεια του αερίου. Αντίστροφα, αν γίνεται αποτόνωση και

παράγεται έργο, τότε ή έσωτερική ενέργεια του αέριου έλαττώνεται τόσο άκριβώς όσο έλαττώνεται τό έργο τό όποίο παράγεται.

β) Άνοικτό σύστημα.

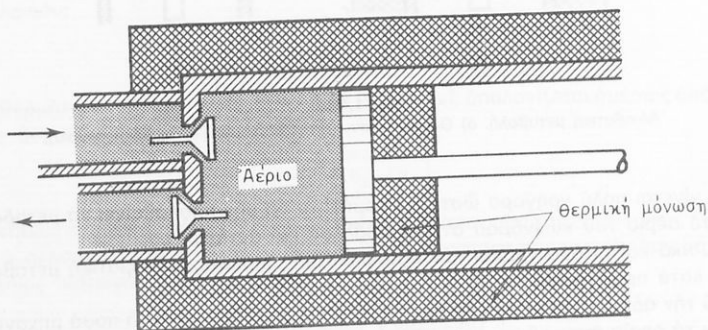
Καί στό άνοικτό σύστημα χρησιμοποιείται τό πρώτο θερμοδυναμικό άξίωμα για να υπολογισθεί τό τεχνικό έργο. Τό σχήμα 1.18β δείχνει ένα συμπιεστή αέριου.

Άπό τή σχέση (1.22) ή όποία έκφράζει τό πρώτο θερμοδυναμικό άξίωμα για άνοικτά συστήματα, έπειδή ή μεταβολή είναι άδιαβατική και έπομένως $dh = 0$, προκύπτει ότι:

$$0 = dh + dw_t$$

ή για μεγάλη μεταβολή από κατάσταση άρχική 1 σέ τελική κατάσταση 2 τότε:

$$(w_{t12})_{ad} = h_1 - h_2 \quad (1.37)$$



Σχ. 1.18β.

Άδιαβατική συμπίεση σέ άνοικτό σύστημα.

Η σχέση αυτή έχει πολύ μεγάλη σημασία για τό θερμοδυναμικό υπολογισμό των μηχανών. Τίς περισσότερες φορές, οι μηχανές υποτίθεται ότι λειτουργούν σέ πρώτη προσέγγιση, ως άδιαβατικές. Για να υπολογισθεί τό έργο πού παράγουν ή τό έργο πού απαιτείται για να κινηθούν άρκει να χρησιμοποιηθεί ή σχέση (1.37). Άν δηλαδή, είναι γνωστή ή ένθαλπία στή θέση έξόδου και στή θέση είσόδου της μηχανής, τότε τό θεωρητικό μηχανικό έργο της μηχανής βρίσκεται άμέσως από τήν άφαίρεση των δύο μεγεθών.

Υπενθυμίζεται και πάλι ή συνθήκη ή όποία ισχύει για τό πρόσημο του μηχανικού έργου:

Έργο θετικό: Παράγεται έργο από τό σύστημα.

Έργο άρνητικό: Δίνεται έργο στό σύστημα άπ' έξω.

Όταν γίνεται άδιαβατική συμπίεση τότε δίνεται μηχανικό έργο από έξω. Η ένθαλπία στό τέλος της συμπίεσεως (θέση 2) είναι μεγαλύτερη από τήν ένθαλπία

στήν ἀρχή (θέση 1) καί φυσικά τό τεχνικό ἔργο ἀπό τή σχέση (1.37) προκύπτει ἀρνητικό. Ἀντίθετα, ἂν γίνει μιά ἀδιαβατική ἀποτόνωση, τότε ἡ ἐνθαλπία στήν ἀρχή εἶναι μεγαλύτερη ἀπό ὅτι στό τέλος, ἡ διαφορά θετική καί, ἀπό τή σχέση (1.37), τό τεχνικό ἔργο θετικό, δηλαδή παράγεται μηχανικό ἔργο.

Πρέπει νά τονισθεῖ ὅτι ἡ σχέση (1.37) ἰσχύει γιά ἀνοικτό ἀδιαβατικό σύστημα, καί δέν ἰσχύει φυσικά γιά ὁποιαδήποτε μεταβολή. Ἐπειδή ὅμως οἱ περισσότερες μεταβολές τῶν τεχνικῶν ἐγκαταστάσεων εἶναι ἀδιαβατικές καί ἐπειδή ἡ παραπάνω σχέση χρησιμοποιεῖται πολύ, χρησιμοποιεῖται λανθασμένα βέβαια, καί γιά κλειστά ἀδιαβατικά συστήματα.

Οἱ τιμές τῆς ἐνθαλπίας οἱ ὁποῖες ἀπαιτοῦνται στή σχέση (1.37) εὐρίσκονται ἀπό πίνακες ἢ διαγράμματα τοῦ κάθε ἐργαζόμενου μέσου. Ὑπάρχουν, στό κεφάλαιο ὅπου περιγράφονται τά συνηθισμένα ψυκτικά μέσα, παρόμοια διαγράμματα καί πίνακες.

1.19 Θερμικά καί θερμιδομετρικά μεγέθη.

Γιά τήν περιγραφή τῆς καταστάσεως ἡ τῶν μεταβολῶν ἐνός θερμοδυναμικοῦ συστήματος, χρησιμοποιοῦνται πολλά φυσικά μεγέθη, ὅπως ἡ πίεση, ἡ θερμοκρασία, ἡ ἐνθαλπία, ἡ ἐσωτερική ἐνέργεια κλπ.

Σέ κάθε κατάσταση τοῦ συστήματος, τά μεγέθη αὐτά ἔχουν μιά συγκεκριμένη τιμή ἡ ὁποία ἐξαρτᾶται ἀκριβῶς ἀπό τήν κατάσταση στήν ὁποία εὐρίσκεται τό σύστημα.

Τά φυσικά αὐτά μεγέθη ἀπό τήν ἀποψη ἐνέργειας διακρίνονται σέ δύο κατηγορίες:

- Σέ μεγέθη τά ὁποῖα περιγράφουν τήν κατάσταση τοῦ συστήματος χωρίς νά ἀναφέρονται στήν ἐνέργεια πού ἔχει τό σύστημα. Τά μεγέθη αὐτά λέγονται **θερμικά**. Τέοια μεγέθη εἶναι π.χ. ἡ πίεση p , ἡ θερμοκρασία T , ὁ εἰδικός ὄγκος v .

- Σέ μεγέθη τά ὁποῖα ἐξαρτῶνται ἀπό τήν ἐνέργεια τήν ὁποία ἔχει τό σύστημα. Τά μεγέθη αὐτά λέγονται **θερμιδομετρικά**.

Στίς μεταβολές πού ἐξετάσθηκαν στίς προηγούμενες παραγράφους χρησιμοποιήθηκαν στούς ὑπολογισμούς πού ἔγιναν καί τά δύο μεγέθη.

Πρέπει νά σημειωθεῖ ὅτι ἡ διάκριση αὐτή γίνεται γιά τά μεγέθη ἐκεῖνα τά ὁποῖα ἔχουν τιμή πού ἐξαρτᾶται ἀπό τήν κατάσταση τοῦ συστήματος ἢ, ὅπως λέγονται, γιά τά **καταστατικά μεγέθη**.

Σημειώνουμε ὅτι τά ποσά θερμότητας ἢ μηχανικοῦ ἔργου πού ἀπαιτοῦνται γιά νά γίνει μιά μεταβολή συστήματος **δέν** εἶναι καταστατικά μεγέθη, γιατί ἡ τιμή πού ἔχουν ἐξαρτᾶται ἀπό τό εἶδος τῆς μεταβολῆς καί ὄχι ἀπό τήν κατάσταση τοῦ συστήματος.

Τά μεγέθη διακρίνονται ἀκόμα:

- Σέ **ἐκτατικά** καί
- σέ **ἐντατικά**.

Ἐκτατικά εἶναι τά μεγέθη ἐκεῖνα τῶν ὁποίων ἡ τιμή ἐξαρτᾶται ἀπό τή μάζα τοῦ συστήματος. Ἡ ἐσωτερική ἐνέργεια π.χ. εἶναι ἐκτατικό μέγεθος. Ἡ μάζα 1 kg ἔχει ἐσωτερική ἐνέργεια u , καί μάζα $m\text{ kg}$, ἐσωτερική ἐνέργεια $U = m \cdot u$.

Δηλαδή ἡ τιμή τῆς εἶναι ἀνάλογη μέ τή μάζα τοῦ συστήματος. Τό ἴδιο ἰσχύει καί

για άλλα μεγέθη, π.χ. για την ένθαλπία και τον όγκο του συστήματος.

Έντατικά είναι εκείνα τα μεγέθη τα οποία έχουν τιμή ανεξάρτητη από τη μάζα του συστήματος. Παράδειγμα σχετικό είναι τα μεγέθη πίεση p , θερμοκρασία T , και ειδικός όγκος v .

Πρέπει να τονισθεί ιδιαίτερα η ιδιομορφία του όγκου. Ο όγκος από ολόκληρο το σύστημα V είναι έκτατικό μέγεθος. Ο ειδικός όγκος, δηλαδή ο όγκος της μονάδας μάζας v είναι έντατικό μέγεθος.

1.20 Άτμοποίηση.

Μέχρι τώρα δεν αναφερθήκαμε στην αλλαγή καταστάσεως, δηλαδή στη μεταβολή του εργαζόμενου σώματος από υγρή κατάσταση σε κατάσταση ατμού ή αντίθετα. Οι αλλαγές όμως αυτές παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον για τις ψυκτικές διατάξεις, γιατί χρησιμοποιούνται από κάθε ψυκτικό κύκλο. Πρέπει λοιπόν να εξετασθούν και οι μεταβολές του είδους αυτού.

Αυτό το οποίο προσδιορίστηκε ήδη ως κατάσταση, πιο σωστά ονομάζεται **φάση**. Υπάρχουν τριών ειδών φάσεις:

- Στερεά.
- Υγρή και
- ατμού ή αερίου.

Τα περισσότερα φυσικά σώματα μπορούν να έχουν και τα τρία είδη των φάσεων, ανάλογα με τις συνθήκες πίεσεως και θερμοκρασίας που εύρισκονται.

Η μετάβαση ενός σώματος από τη μία φάση στην άλλη απαιτεί συναλλαγή ενέργειας. Πρέπει δηλαδή να δοθεί ή να αφαιρεθεί ενέργεια από το σώμα για να γίνει ή αλλαγή της φάσεως. Η μορφή της ενέργειας ή όποια απαιτείται για την αλλαγή της φάσεως μπορεί να είναι θερμική ή μηχανική ανάλογα με το είδος της μεταβολής. Στις συνηθισμένες τεχνικές εφαρμογές ή αλλαγή φάσεως γίνεται με πρόσδοση ή αφαίρεση θερμότητας.

Το πιο συνηθισμένο είδος αλλαγής το οποίο χρησιμοποιείται είναι η ισόθλιπτη αλλαγή φάσεως. Γι' αυτό η αλλαγή φάσεως ή όποια περιγράφεται στην παράγραφο αυτή αφορά την ισόθλιπτη αλλαγή φάσεως με συναλλαγή θερμότητας.

Πρίν γίνει η λεπτομερειακή εξέταση του φαινομένου της αλλαγής φάσεως, πρέπει να γίνει μία διευκρίνιση με τη βοήθεια του σχήματος 1.20α.

Στό άριστερό μέρος υπάρχει ένα δοχείο το οποίο περιέχει ένα υγρό, π.χ. νερό. Το δοχείο είναι ανοιχτό και συκοινωνεί με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Έπάνω στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού έπιδρα ή πίεση του ατμοσφαιρικού αέρα, δηλαδή τα μόρια του αέρα (άζώτου, οξυγόνου κλπ.). Έρχονται σε επαφή με τα μόρια του νερού.

Στό δοχείο αυτό χορηγείται αρκετή θερμότητα ώστε να αρχίσει να παράγεται λίγος ατμός («άχνός»). Ο ατμός που παράγεται με τον τρόπο αυτό είναι αναμιγμένος με τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Ακριβώς επάνω στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού (στάθμη) υπάρχει τόσο υδρατμός όσο και αέρας.

Τό είδος αυτό της αλλαγής φάσεως λέγεται **εξάτμιση**. Εξάτμιση λοιπόν είναι ή αλλαγή φάσεως από υγρό σε ατμό ή όποια γίνεται με την παρουσία ξένου αερίου.

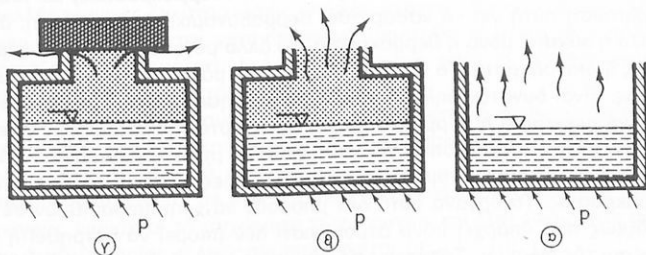
Στό σχήμα 1.20α (β) χορηγείται πολύ μεγαλύτερο ποσό θερμότητας στό υγρό

καί ἐπομένως παράγεται πολύ μεγαλύτερη ποσότητα ατμοῦ. Ἡ ποσότητα ατμοῦ εἶναι τόσο μεγάλη καί ἡ παραγωγή της τόσο ἔντονη, ὥστε ἂν καί τὸ δοχεῖο εἶναι ἀνοιχτό, μέσα στοῦ δοχεῖο δέν ὑπάρχει ἀέρα.

Ἡ ἀλλαγὴ αὐτὴ φάσεως ὀνομάζεται **ἀτμοποίηση**. Ἀτμοποίηση λοιπὸν εἶναι ἡ ἀλλαγὴ φάσεως ἀπὸ ὑγρὸ σέ ἀτμὸ, ἡ ὁποία γίνεται μόνο μέ παρουσία τοῦ σώματος τὸ ὁποῖο ἀλλάζει φάση. Δέν ὑπάρχει στὴν περίπτωσιν αὐτὴ ἄλλο ἀδρανὲς ἀέριον τὸ ὁποῖο νὰ συμμετέχει στὴν ἀλλαγὴ φάσεως.

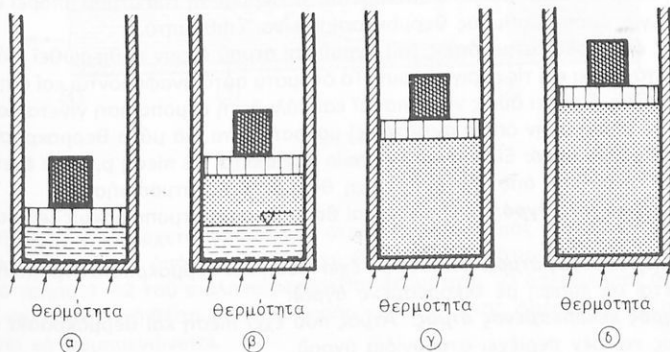
Εἰδικὰ στὴν περίπτωσιν τοῦ σχήματος 1.20α (β) τὸ φαινόμενο εἶναι ἀτμοποίηση σέ ἀτμοσφαιρική πίεση.

Τέλος στὸ σχῆμα 1.20α (γ) ἐπάνω στοῦ ἀνοιγματος τοῦ δοχείου ὑπάρχει ἓνα βάρος. Μέ τὸν τρόπο αὐτὸ ἡ ἀτμοποίηση γίνεται σέ πίεση μεγαλύτερη ἀπὸ τὴν ἀτμοσφαιρική.



Σχ. 1.20α.

Ἀλλαγὴ φάσεως ἀπὸ ὑγρὸ σέ ἀτμὸ. α) Ἐξάτμιση. β) Ἀτμοποίηση σέ ἀτμοσφαιρική πίεση. γ) Ἀτμοποίηση σέ ὑψηλὴ πίεση.



Σχ. 1.20β.

Ἰσόθλιπτη ἀτμοποίηση σέ κλειστὸ σύστημα.

Στὶς ψυκτικές διατάξεις χρησιμοποιεῖται μόνο ἡ ἰσόθλιπτη ἀτμοποίηση. Στὸ σχῆμα 1.20β δίνεται μιὰ σχηματικὴ περιγραφὴ ἰσόθλιπτης ἀτμοποιήσεως σέ κλειστὸ σύστημα.

Στὴ θέσιν (α) τὸ σύστημα περιέχει μόνο ὑγρὸ. Ἀρχίζει ἡ πρόσδοση θερμότητας καί ἔτσι ἡ θερμοκρασία τοῦ ὑγροῦ αὐξάνει.

Ἡ αὔξηση αὐτῆ τῆς θερμοκρασίας συνεχίζεται μέχρι νά ἐμφανισθεῖ ἡ πρώτη φυσαλίδα ἀτμοῦ. Ἀπό τό σημεῖο αὐτό καί μετά, ὅσο δηλαδή μέσα στό δοχεῖο ὑπάρχουν ταυτόχρονα ὑγρό καί ἀτμός, ἡ **θερμοκρασία μένει σταθερή**.

Μετά τήν ἐμφάνιση τῆς πρώτης φυσαλίδας ἀτμοῦ, συνεχίζεται νά προσδίδεται θερμότητα στό σύστημα. Ἡ θερμότητα ὅμως αὐτή τώρα δέν αὐξάνει τή θερμοκρασία τοῦ συστήματος, ἀλλά χρησιμοποιεῖται ἀπό αὐτό γιά τήν ἀλλαγὴ τῆς φάσεως τοῦ ὑγροῦ σέ ἀτμό.

Στό σχῆμα 1.20β (β) ἡ ἀτμοποίηση ἔχει προχωρήσει καί μέσα στό δοχεῖο ὑπάρχει ὑγρό καί ἀτμός. Ἡ πρόσδοση θερμότητας συνεχίζεται καί τελικά ἀτμοποιεῖται καί ἡ τελευταία σταγόνα ὑγροῦ [σχ. 1.20β (γ)].

Σέ ὅλη τή διάρκεια τῆς ισόθλιπτης ἀτμοποιήσεως ἡ θερμοκρασία μένει σταθερή. Δηλαδή ἡ **ἀτμοποίηση** εἶναι ταυτόχρονα καί **ισοθερμοκρασιακή** καί **ισόθλιπη**. Στήν περίπτωση αὐτή γιά νά καθορισθεῖ θερμοδυναμικά ἡ κατάσταση, ἀρκεῖ νά δοθεῖ μόνο ἡ πίεση ἢ μόνο ἡ θερμοκρασία. Τό ἄλλο μέγεθος μπορεῖ νά εὑρεθεῖ ἀπό πίνακες ἢ διαγράμματα. Τό γεγονός αὐτό ἰσχύει μόνο ὅταν συνυπάρχουν καί οἱ δύο φάσεις. Εἶναι δυνατόν δηλαδή νά γίνεται μέτρηση πιέσεως μέ μανόμετρο καί ἀπό αὐτό νά προκύπτει ἡ θερμοκρασία. Τό εἶδος αὐτό τῆς μετρήσεως γίνεται συχνά στίς ψυκτικές διατάξεις ὅπου γιά κάθε ψυκτικό μέσο χρησιμοποιοῦνται εἰδικά μανόμετρα τά ὁποῖα εἶναι βαθμολογημένα σέ μονάδες πιέσεως, ἀλλά καί σέ μονάδες θερμοκρασίας. Τά ὄργανα αὐτά δέν μποροῦν νά χρησιμοποιηθοῦν σέ θέσεις τῆς διατάξεως πού ὑπάρχει μόνο ἀτμός, γιατί δέν μπορεῖ νά μετρηθεῖ ἡ θερμοκρασία μέσω τῆς πιέσεως. Σέ τέτοιες περιπτώσεις μπορεῖ νά μετρηθεῖ ἀπλῶς μόνο ἡ πίεση.

Ἄν στό σχῆμα 1.20β (γ) συνεχισθεῖ ἡ πρόσδοση θερμότητας, τότε ὁ ἀτμός αὐξάνει τή θερμοκρασία του καί διαστέλλεται. Ἡ ἔθρμανση τοῦ ἀτμοῦ μπορεῖ νά συνεχισθεῖ γιά ὅσους βαθμούς θερμοκρασίας εἶναι ἐπιθυμητό.

Γιά τίς διάφορες καταστάσεις τοῦ ὑγροῦ καί ἀτμοῦ ἔχουν καθιερωθεῖ διάφορα ὀνόματα τά ὁποῖα καί τίς περιγράφουν. Τά ὀνόματα αὐτά ἀναφέρονται καί ἐξηγοῦνται παρακάτω. Πρέπει ὅμως νά τονισθεῖ καί πάλι ὅτι ἡ ἀτμοποίηση γίνεται ισόθλιπη καί σέ πίεση στήν ὁποία ἀντιστοιχεῖ μονοσήμαντα μιά μόνο θερμοκρασία T :

1) **Υπόψυκτο ὑγρό**: Εἶναι ὑγρό τό ὁποῖο εὐρίσκεται σέ πίεση p , ἀλλά ἔχει θερμοκρασία μικρότερη ἀπό τήν ἀντίστοιχη θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως.

2) **Κεκορεσμένο ὑγρό**: Ἐχει πίεση καί θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως (εὐρίσκεται σέ ἐπαφή μέ ἀτμό).

3) **Κεκορεσμένος ἀτμός**: Ἀτμός πού ἔχει πίεση καί θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως (εὐρίσκεται σέ ἐπαφή μέ κεκορεσμένο ὑγρό).

4) **Ξηρός κεκορεσμένος ἀτμός**: Ἀτμός πού ἔχει πίεση καί θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως καί δέν περιέχει σταγονίδια ὑγροῦ.

5) **Υπέρθερμος ἀτμός**: Ἀτμός μέ πίεση ἀτμοποιήσεως, ἀλλά ἡ θερμοκρασία εἶναι μεγαλύτερη ἀπό τή θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως.

Ὅταν στόν ἀτμό συνεχισθεῖ ἡ πρόσδοση θερμότητας ὥστε ἡ θερμοκρασία του νά αὐξηθεῖ πολύ καί νά γίνει πολύ υπέρθερμος, τότε μπορεῖ νά χρησιμοποιηθεῖ τό ὄνομα ἀέριο ἀντὶ γιά ἀτμός.

Ἀέριο λοιπόν εἶναι ἀτμός ὁ ὁποῖος ἀπέχει ἀρκετά ἀπό τό σημεῖο ἀτμοποιήσεως. Τό ὀξυγόνο τῆς ἀτμόσφαιρας π.χ. ὑγροποιεῖται ὅταν ἡ θερμοκρασία του γίνει -183°C καί ἡ πίεσή του ἀτμοσφαιρική.

“Όσα αναφέρθηκαν κατά την ατμοποίηση, με τη βοήθεια του σχήματος 1.20β, ισχύουν καί αντίστροφα. “Αν δηλαδή γίνει αρχή από υπέρθερμο ατμό, όπως στο σχήμα 1.20β (γ) καί αφαιρείται συνεχώς θερμότητα, τότε θά εμφανισθεί τελικά ή αρχική κατάσταση όπως στο σχήμα 1.20β (α).

“Η εξήγηση του φαινομένου της ατμοποίησης έγινε γιά κλειστό σύστημα.

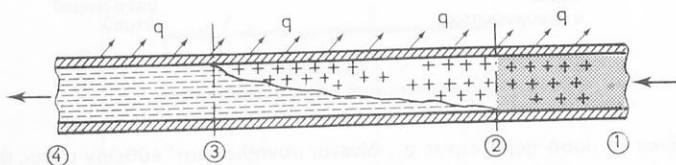
Γιά τόν υπολογισμό των ποσών θερμότητας, ισχύουν φυσικά όσα έχουν αναπτυχθεί σέ προηγούμενες παραγράφους γιά τις αντίστοιχες μεταβολές καί συστήματα.

1.21 Συμπύκνωση.

Σέ πολλές τεχνικές εγκαταστάσεις υπάρχει ανάγκη συμπυκνώσεως των ατμών. “Η ανάγκη αυτή εμφανίζεται, γιαντί πρέπει νά αποκτηθεί τό υλικό σέ μορφή υγρού ή γιαντί χρειάζεται ή θερμότητα ή όποία αφαιρείται κατά τή συμπύκνωση ή γιαντί χρειάζονται καί τά δύο ταυτόχρονα.

Στις ψυκτικές διατάξεις συγκεκριμένα, εμφανίζεται ή ανάγκη της συμπυκνώσεως των ατμών του ψυκτικού μέσου γιά νά χρησιμοποιηθεί τό υγρό ψυκτικό μέσο ξανά μέσα στον ψυκτικό κύκλο.

“Η συμπύκνωση γίνεται σέ ανοιχτό σύστημα. “Υπάρχει δηλαδή ροή ατμού μέσα από άγωγούς, ψύχονται τά τοιχώματα των άγωγών καί έτσι αφαιρείται θερμότητα από τόν ατμό ό όποιος τελικά συμπυκνώνεται (σχ. 1.21α).



Σχ. 1.21α.

Συμπύκνωση υπέρθερμου ατμού.

Στή θέση 1 εισέρχεται υπέρθεμος ατμός, δηλαδή ατμός ό όποιος έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη από την αντίστοιχη θερμοκρασία ατμοποίησης.

Στό τμήμα 1 - 2 του σωλήνα αφαιρείται θερμότητα. “Ο υπέρθεμος ατμός ψύχεται καί τελικά στή θέση 2 γίνεται ξηρός, κεκορεσμένος. Δηλαδή είναι έτοιμος νά αρχίσει νά συμπυκνώνεται.

“Από τή θέση 2 μέχρι τή θέση 3 αφαιρείται καί πάλι θερμότητα καί ό ατμός συμπυκνώνεται. Σέ όλο τό τμήμα του σωλήνα μεταξύ των σημείων 2 καί 3, όπου συνυπάρχει ατμός καί υγρό, ή θερμοκρασία παραμένει σταθερή. Καθώς ό ατμός κινείται από τή θέση 2 προς τή θέση 3 όλο καί μεγαλύτερη ποσότητα ατμού συμπυκνώνεται. Τελικά στό σημείο 3 έχει συμπυκνωθεί όλη ή μάζα του ατμού καί στό τμήμα του σωλήνα 3 - 4 ρέει υγρό.

Καί στό τμήμα 3 - 4 αφαιρείται όμως θερμότητα. “Ετσι τό υγρό τό όποιο στή θέση 3 είναι κεκορεσμένο γίνεται στή συνέχεια υπόψυκτο.

“Αν σχεδιασθεί ή θερμοκρασία ή όποία έπικρατεί μέσα στό σωλήνα κατά μήκος

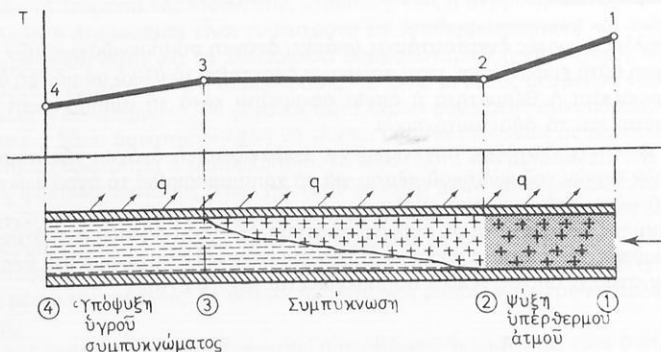
αυτοῦ τότε γιὰ τὴν περίπτωση τῆς συμπακνώσεως ἐμφανίζεται ἡ κατάσταση ὅπως στὸ σχῆμα 1.21β.

Γιὰ τὸν ὑπολογισμό τῶν ποσῶν θερμότητας πρέπει νὰ εἶναι γνωστές οἱ τιμές τῶν ἐνθαλπιῶν τοῦ μέσου τὸ ὁποῖο συμπακνώνεται. Ἐπειδὴ ἡ μεταβολὴ εἶναι ἰσόθλιπτη, ἀπὸ τὴ σχέση (1.32) προκύπτει γιὰ τὰ ἀντίστοιχα ποσὰ θερμότητας ὅτι:

Ψύξη ὑπέρθερμου ἀτμοῦ: $q_{12} = h_2 - h_1$

Συμπύκνωση: $q_{23} = h_3 - h_2$

Ὑπόψυξη ὑγροῦ: $q_{34} = h_4 - h_3$



Σχ. 1.21β.

Θερμοκρασία κατὰ μήκος συμπακνώσεως.

Εἰδικὰ τὸ ποσὸ θερμότητας q_{23} δίνεται συνήθως κατ' εὐθείαν στοὺς ἀντίστοιχους πίνακες μέ τὴν ὀνομασία θερμότητα ἀτμοποίησης.

Γιὰ συμπύκνωση σέ κλειστὸ σύστημα ἰσχύουν τὰ ἴδια μέ ὅσα ἀναφέρθηκαν στὴν προηγούμενη παράγραφο γιὰ τὴν ἀτμοποίηση.

Ὅταν ἡ ἀλλαγὴ φάσεως ἀφορᾷ κλειστὸ σύστημα, τότε τὰ ποσὰ θερμότητας ὑπολογίζονται ἀπὸ τὶς ἀντίστοιχες τιμές ἐσωτερικῶν ἐνεργείων. Ὅταν βέβαια πρόκειται γιὰ μεταβολὴ ὑπὸ σταθερὸ ὄγκο.

Ὅταν ἡ ἀλλαγὴ φάσεως ἀφορᾷ ἀνοικτὸ σύστημα καὶ φυσικὰ ἰσόθλιπτη μεταβολή, τότε τὰ ἀντίστοιχα ποσὰ θερμότητας ὑπολογίζονται ἀπὸ τὶς διαφορὲς ἐνθαλπίας.

Σέ κάθε ἰσόθλιπτη ἀλλαγὴ φάσεως, τὸ χαρακτηριστικὸ μέγεθος τὸ ὁποῖο καθορίζει τὸ σημεῖο στὸ ὁποῖο γίνεται ἡ ἀλλαγὴ, εἶναι ἡ πίεση. Ἡ κάθε ὁμως τιμὴ πιέσεως εἶναι συνυφασμένη μέ τὴν ἀντίστοιχη τιμὴ θερμοκρασίας ἡ ὁποία ἐπικρατεῖ σέ ὅλη τὴ διάρκειά τῆς ἀλλαγῆς φάσεως. Ὅταν π.χ. γίνεται ἀτμοποίηση ἢ συμπύκνωση νεροῦ μέ πίεση p 760 mm στήλης ὕδραργύρου, ἡ θερμοκρασία μένει σταθερὴ καὶ ἴση μέ 100°C .

Γι' αὐτὸ πολλές φορές ἀναφέρεται ἡ ἀντίστοιχη τῆς πιέσεως θερμοκρασία ἀντὶ νὰ ἀναφερθεῖ ἡ πίεση στὴν ὁποία γίνεται ἡ ἀλλαγὴ φάσεως. Σέ ἓνα οἰκιακὸ ψυγεῖο π.χ., σέ κάποια χρονικὴ στιγμὴ μπορεῖ νὰ γίνεται συμπύκνωση ψυκτικοῦ μέσου

στούς $+ 55^{\circ}\text{C}$ καί σέ ἄλλη θέση τοῦ ψυγείου (στό χώρο καταψύξεως) ἀτμοποίηση τοῦ ψυκτικοῦ μέσου στούς $- 28^{\circ}\text{C}$.

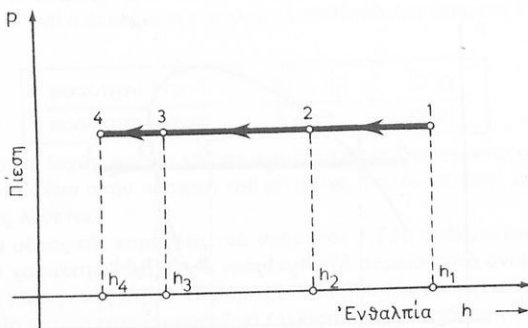
1.22 Διάγραμμα πιέσεως - ἐνθαλπίας $p - h$.

Γιά νά εἶναι εὐκόλη ἡ παρακολούθηση τῶν μεταβολῶν τίς ὁποῖες ὑφίσταται τό ψυκτικό μέσο μέσα σέ μία ψυκτική διάταξη, χρησιμοποιεῖται ἕνα κατάλληλο διάγραμμα.

Μέχρι τώρα ἔχει ἀναφερθεῖ τό διάγραμμα μέ ἄξονες πίεση p καί ὄγκο V . Τό καινούργιο διάγραμμα διατηρεῖ τόν ἄξονα τῶν πιέσεων p , ἀλλά στή θέση τοῦ ἄξονα τῶν ὀγκων V , ὑπάρχει ὁ ἄξονας τοῦ μεγέθους ἐνθαλπίας h .

Τό γεγονός αὐτό ἐπιβάλλεται ἀπό τήν εὐκολία τήν ὁποία δίνει στούς ὑπολογισμούς τῶν ψυκτικῶν κύκλων.

Ἐνα τέτοιο διάγραμμα παριστάνεται στό σχῆμα 1.22α. Γιά νά φανεῖ ἡ εὐκολία τήν ὁποία δίνει στίς παραστάσεις τῶν μεταβολῶν, οἱ ὁποῖες ἀφοροῦν τίς ψυκτικές διατάξεις, ἔχει παρασταθεῖ σέ αὐτό ἡ συμπύκνωση ἡ ὁποία ἐξετάσθηκε στήν προηγούμενη παράγραφο.

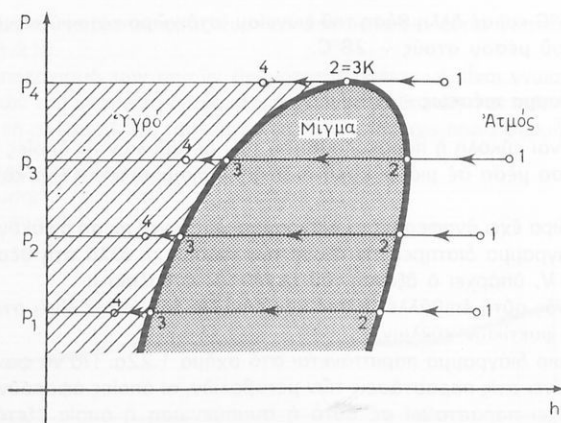


Σχ. 1.22α.
Διάγραμμα $h - p$.

Ἡ συμπύκνωση 1234 εἶναι ἰσόθλιπτη μεταβολή καί συνεπῶς ὅλα τά σημεῖα της εὐρίσκονται ἐπάνω σέ μία εὐθεία σταθερῆς πίεσεως, δηλαδή σέ μία γραμμὴ κάθετη στὸν ἄξονα τῶν p . Τά ποσά θερμότητας κάθε μεταβολῆς μποροῦν νά εὑρεθοῦν ἀπὸ τὸν ἄξονα τῶν ἐνθαλπιῶν.

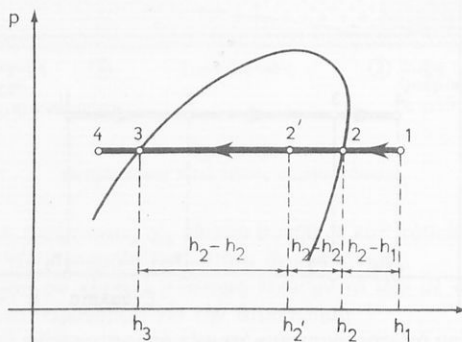
Ἄν ἐπαναληφθεῖ τό πείραμα τοῦ σχήματος 1.22α γιὰ πολλές διαφορετικές πιέσεις, τότε προκύπτει ἡ κατάσταση πού παρουσιάζει τό σχῆμα 1.22β. Ἄν τά σημεῖα 2 καί 3 ἐνωθοῦν μεταξὺ τους μέ μία καμπύλη τότε τό διάγραμμα χωρίζεται σέ τρεῖς βασικές περιοχές. Τό ἀριστερό μέρος περιγράφει τήν ὑγρὴ φάση καί τό δεξιό καί ἐπάνω μέρος τῆς φάσης τοῦ ἀτμοῦ. Στό ἐσωτερικὸ τῆς καμπύλης εὐρίσκεται ἡ περιοχή τοῦ μίγματος ὑγροῦ - ἀτμοῦ.

Στό σχῆμα 1.22γ εἶναι σχεδιασμένη ἡ μεταβολὴ συμπυκνώσεως τοῦ σχήματος 1.21β. Ἀπὸ τὸν ὑπέρθερμο ἀτμὸ καταστάσεως 1 ἀφαιρεῖται ποσὸ θερμότητας ἴσο



Σχ. 1.22β.

Άλλαγές καταστάσεως για $p = \text{σταθερό}$.



Σχ. 1.22γ.

Σημείο 2' μερικής συμπυκνώσεως.

μέ τη διαφορά ένθαλπιων:

$$q_{12} = h_2 - h_1$$

Ο ατμός από υπέρθερμος γίνεται κεκορεσμένος.

Στή συνέχεια αφαιρείται η θερμότητα που δίνει η διαφορά $(h_2 - h_1)$. Σύμφωνα με το διάγραμμα ο αρχικό ατμός από την κατάσταση 2 έχει φθάσει στην κατάσταση 2'. Τί είναι όμως η κατάσταση 2' ακριβώς;

Τό σημείο 2' είναι ένδιάμεση κατάσταση μεταξύ του ξηρού κεκορεσμένου ατμού καταστάσεως 2 και του κεκορεσμένου υγρού καταστάσεως 3. Η ένδιάμεση

κατάσταση στην προκειμένη περίπτωση πρέπει να έννοηθεί ως μίγμα των καταστάσεων 2 και 3. Δηλαδή ένα μέρος από τον ατμό καταστάσεως 2 έχει συμπυκνωθεί και έχει γίνει υγρό κεκορεσμένο, καταστάσεως 3.

Η θέση του σημείου 2' ανάμεσα στα σημεία 2 και 3 δείχνει ακριβώς την αναλογία του μίγματος. "Όσο το σημείο 2' είναι πιο κοντά στο σημείο 2, τόσο περισσότερο ατμό έχει το μίγμα. "Όσο το σημείο 2' πλησιάζει στο σημείο 3 του κεκορεσμένου υγρού, τόσο περισσότερο υγρό έχει το μίγμα.

Από την κατάσταση ξηρού κεκορεσμένου ατμού 2 όπου άρχισε η συμπύκνωση, μέχρι το σημείο 2' όπου έχει γίνει μερική συμπύκνωση, έχει αφαιρεθεί ποσό θερμότητας. Δηλαδή:

$$q_{2'2} = h_{2'} - h_2$$

Για να γίνει πλήρης συμπύκνωση του μίγματος, για να «φθάσει» δηλαδή το σημείο 2' του διαγράμματος στο σχήμα 1.22γ στη θέση του σημείου 3 πρέπει να αφαιρεθεί επί πλέον ποσό θερμότητας $q_{2'3}$. Δηλαδή:

$$q_{2'3} = h_3 - h_{2'}$$

Στο σημείο 2' ένα μέρος από την αρχική ποσότητα ατμού έχει γίνει υγρό. Το υγρό στη θέση 2' και ο ατμός δίνονται από τα ευθύγραμμα τμήματα 2'3 και 2'2. Δηλαδή:

$\frac{\text{ποσότητα ατμού}}{\text{ποσότητα υγρού}} = \frac{h_3 - h_{2'}}{h_{2'} - h_2} = \frac{(2'3)}{(2'2)}$	(1.38)
---	--------

Η σχέση αυτή ισχύει και για την ατμοποίηση, γιατί αναφέρεται σε μία κατάσταση 2' που είναι μέσα στην περιοχή του μίγματος ή στην περιοχή υγρού ατμού, όπως συνήθως λέγεται.

Στο επάνω μέρος της καμπύλης του σχήματος 1.22β υπάρχει ένα σημείο 2 = 3 το οποίο έχει χαρακτηριστεί με το γράμμα Κ. Το σημείο αυτό ονομάζεται **κρίσιμο σημείο**. "Αν η πίεση ενός ατμού είναι μικρότερη από την πίεση που αντιστοιχεί στο κρίσιμο σημείο τότε ο ατμός μπορεί να υγροποιηθεί με ισόθλιπτη αφαίρεση θερμότητας.

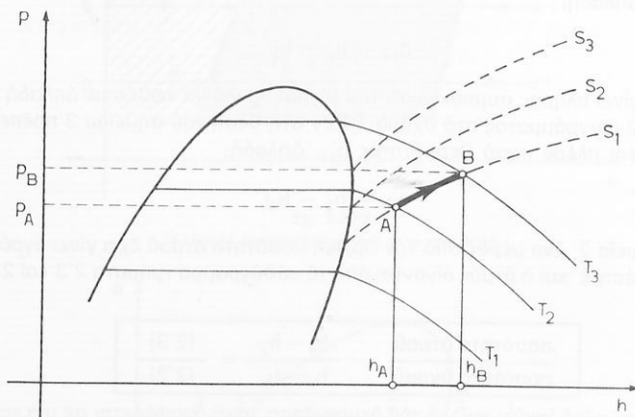
"Αν όμως ο ατμός εύρσκεται σε αρχική κατάσταση με πίεση μεγαλύτερη από την πίεση του κρίσιμου σημείου ή της κρίσιμης πιέσεως, όπως λέγεται, τότε η ισόθλιπτη ψύξη **δέν** μπορεί να υγροποιήσει τον ατμό.

Για να γίνουν οι υπολογισμοί των ποσών θερμότητας με το διάγραμμα $p - h$ πρέπει να υπάρχει διάγραμμα για το αντίστοιχο εργαζόμενο μέσο.

Για να υπάρχει ακρίβεια στις τιμές οι οποίες εύρσκονται από το διάγραμμα, γίνεται και μία άλλη συμπλήρωση. Η συμπλήρωση αυτή αφορά τον άξονα πιέσεων p . Τα μέρη των ψυκτικών διατάξεων άλλοτε έχουν ψυκτικό μέσο σε χαμηλή πίεση και άλλοτε σε υψηλή. Η διαφορά πιέσεως των δύο μερών είναι σημαντική. "Αν η κλίμακα πιέσεων στο διάγραμμα $p - h$ είναι γραμμική, δέν είναι εύκολη ή ανάγνωση στις χαμηλές πιέσεις. Για να υπερνικηθεί η δυσκολία αυτή χρησιμοποιείται λογαριθμική κλίμακα πιέσεων. Η αλλαγή αυτή στη χρήση του διαγράμματος δέν παρουσιάζει καμιά διαφορά.

Στήν περιοχή του ατμού στά διαγράμματα για τα διάφορα ψυκτικά μέσα, εκτός από τις γραμμές σταθερής πίεσης χαράσσονται και άλλες καμπύλες οι οποίες υποβοηθούν τους υπολογισμούς.

Στό σχήμα 1.22δ δίνονται σχηματικά οι πιο συνηθισμένες από αυτές. Δηλαδή οι καμπύλες σταθερής θερμοκρασίας ή ισοθερμοκρασιακές T και οι καμπύλες των αδιαβατικών μεταβολών S . Έδω πρέπει να τονισθεί ότι οι καμπύλες S στην ουσία αναφέρονται σε άλλο θερμοδυναμικό μέγεθος, στην έντροπία. Σε πρώτη όμως προσέγγιση μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την παράσταση αδιαβατικών μεταβολών. Στο διάγραμμα έχει παρασταθεί για παράδειγμα η μεταβολή AB .



Σχ. 1.22δ.

Παράσταση ισοθερμοκρασιακών T και καμπυλών αδιαβατικής μεταβολής S (στην ουσία ισεντροπικών).

Επειδή η μεταβολή αυτή AB γίνεται κατά μήκος της καμπύλης S , είναι ουσιαστικά αδιαβατική. Για ένα ανοικτό σύστημα στην περίπτωση αυτή το έργο δίνεται από τη σχέση (1.37).

Η μεταβολή λοιπόν AB είναι μία αδιαβατική συμπίεση ή όποια για να γίνει απαιτείται να δοθεί από έξω, προς το συμπιεζόμενο ατμό, τεχνικό έργο w_{tAB} το οποίο είναι ίσο με:

$$w_{tAB} = h_A - h_B \quad (1.39)$$

Η θερμοκρασία στην αρχή της συμπίεσεως είναι T_2 και η πίεση του ατμού p_A . Στο τέλος της συμπίεσεως η θερμοκρασία είναι T_3 και η πίεση p_B .

Για να συμπληρωθεί η περιγραφή όλων των μεταβολών που χρειάζονται για έναν ψυκτικό κύκλο πρέπει να περιγραφεί ο στραγγαλισμός υγρού.

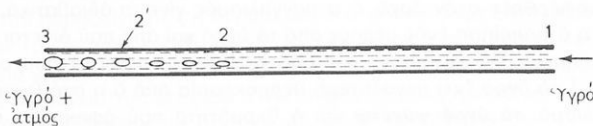
1.23 Στραγγαλισμός υγρού.

Καί στην παράγραφο αυτή ο όρος στραγγαλισμός ύπονοεί την «καταστροφή»

κάποιας ύψηλης πίεσεως χωρίς αντίστοιχη παραγωγή μηχανικού έργου, όπως θα έπρεπε ίσως να γινόταν.

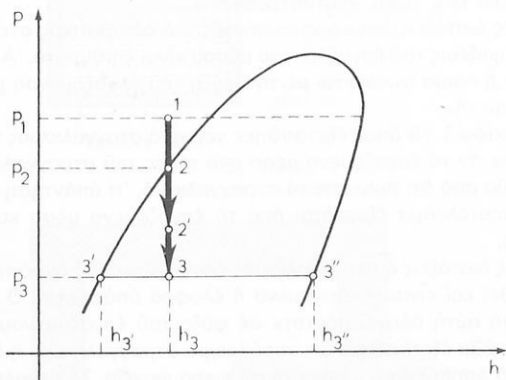
Έδω θα εξετασθεί πίο συγκεκριμένα ο στραγγαλισμός τής πίεσεως ενός ύγρου τó όποιο περνάει από ύψηλή σέ χαμηλή πίεση.

Στό σχήμα 1.23α φαίνεται μία διάταξη, όπως χρησιμοποιείται στα μικρά οικιακά ψυγεία. Από άποψη θερμοδυναμικής ο στραγγαλισμός θεωρείται άδιαβατικός. Έπομένως, όπως ύπολογίσθηκε στην παράγραφο 1.15, ή μεταβολή αυτή είναι ταυτόχρονα και ίσενθαλπική.



Σχ. 1.23α.

Στραγγαλισμός ύγρου σε τριχοειδές σωληνάκι. Στο σημείο 2 αρχίζει ή ατμοποίηση του ύγρου.



Σχ. 1.23β.

Στραγγαλισμός ύγρου καταστάσεις 1.

Τό ύγρο στην είσοδο έχει ύψηλή πίεση p_1 και στην έξοδο χαμηλή πίεση p_3 . Σέ ένα ενδιάμεσο σημείο ή πίεση είναι p_2 .

Αν γιά να παρασταθεί ή μεταβολή χρησιμοποιηθεί τό διάγραμμα πίεσεως - ήνθαλπίας τότε προκύπτει ή κατάσταση του σχήματος 1.23β.

Τό ύγρο στην είσοδο έχει πίεση p_1 και χαρακτηριστικό σημείο 1. Καθώς ρέει μέσα στη διάταξη στραγγαλισμού, ή πίεσή του μειώνεται συνεχώς ενώ ή ήνθαλπία παραμένει σταθερή. Γι' αυτό, τό χαρακτηριστικό σημείο τής μεταβολής κινείται πάνω στην ίσενθαλπική εύθεια 122'3.

Τό ύγρο σέ ένα σημείο του σωλήνα φθάνει στην κατάσταση 2 και στη συνέχεια στην 2' και καταλήγει στην 3. Από τό σημείο όμως 2 και μετά, όπως προκύπτει από τό σχήμα 1.23β, τό αρχικό ύγρο εύρίσκεται πλέον μέσα στην περιοχή ύγρου άπ- τμού. Τό γεγονός αυτό δηλώνει, ότι από τό σημείο 2 και μετά, μέσα στό σωλήνα

δέν ρέει μόνο υγρό, αλλά και άτμος. Ένα μέρος δηλαδή του υγρού ατμοποιείται.

Όσο ή πίεση πέφτει προς την έξοδο του σωλήνα, τόσο περισσότερο ποσοστό από την αρχική μάζα του υγρού ατμοποιείται. Τελικά στην έξοδο, όπου επικρατεί ή κατάσταση του σημείου 3, έχει ατμοποιηθεί τόσο υγρό ως ποσοστό από την αρχική μάζα όσο δείχνει ή αναλογία:

$$\frac{\text{άτμος}}{\text{όλική μάζα}} = \frac{(33')}{(3'3'')} = \frac{h_3 - h_{3'}}{h_{3''} - h_{3'}}$$

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή, ο στραγγαλισμός γίνεται άδιαβατικά. Τώρα τό πώς γίνεται ή ατμοποίηση ενός μέρους από τό υγρό και από ποϋ δίνεται ή θερμότητα ατμοποίησεως θά τό καταλάβομε από τό διάγραμμα του σχήματος 1.23β.

Στή θέση 1 τό υγρό έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία από ό,τι στή θέση 3. Κατά τό στραγγαλισμό, τό **υγρό ψύχεται** και ή θερμότητα που αφαιρείται από αυτό προσδίδεται σέ μέρος του υγρού για να αλλάξει φάση και να ατμοποιηθεί.

Μπορούμε λοιπόν να ποϋμε ότι στον άδιαβατικό στραγγαλισμό, μέ άλλαγή φάσεως, τό εργαζόμενο σϋμα ψύχεται. Η ψύξη γίνεται, γιατί υπήρχε στην αρχή ύψηλή πίεση ή όποία στό τέλος «καταστρέφεται».

Στίς ψυκτικές διατάξεις όπου χρησιμοποιείται ο άδιαβατικός στραγγαλισμός, τό φαινόμενο της ψύξεως του εργαζόμενου μέσου είναι επιθυμητό. Αντίθετα, ή μερική ατμοποίηση ή όποία συνδέεται μέ την ψύξη του εργαζόμενου μέσου δέν είναι καθόλου επιθυμητή.

Στήν παράγραφο 1.15 όπου εξετάσθηκε γενικά ο σταγγαλισμός πιέσεως αερίου δέν αναφέρθηκε αν τό εργαζόμενο μέσο στό τέλος του στραγγαλισμού, είναι πιό ζεστό ή πιό κρύο από ότι πριν από τό στραγγαλισμό. Η άπάντηση δέν είναι μονοσήμαντη. Τό αποτέλεσμα εξαρτάται από τό εργαζόμενο μέσο και τίς συνθήκες στραγγαλισμού.

Στίς ψυκτικές διατάξεις ο στραγγαλισμός εφαρμόζεται σέ υγρό τό όποιο μόλις έχει συμπυκνωθεί και είναι κεκορεσμένο ή έλαφρά υπόψυκτο. Ο στραγγαλισμός στην περίπτωση αυτή οδηγεί πάντοτε σέ ψύξη του εργαζόμενου σώματος.

Στό σχήμα 1.23α εξετάσθηκε ως παράδειγμα στραγγαλισμού ή διάταξη τριχοειδούς σωλήνα, ή όποία χρησιμοποιείται σέ μικρά ψυγεία. Σέ μεγαλύτερα χρησιμοποιούνται κατάλληλες βαλβίδες μέ βελονοειδές στέλεχος και κατάλληλη έδρα. Και έδω ο ύπολογισμός της θερμοδυναμικής μεταβολής είναι ο ίδιος.

1.24 Ψυκτικός κύκλος.

Ψυκτικός κύκλος είναι ο θερμοδυναμικός κύκλος μέ τόν όποιο λειτουργοϋν οι ψυκτικές διατάξεις. Δηλαδή είναι τό σύνολο των διαδοχικών μεταβολών τίς όποιες υφίσταται τό ψυκτικό μέσο. Πριν από τη θερμοδυναμική περιγραφή του ψυκτικού κύκλου, δίνεται μία περιγραφή του τρόπου παραγωγής ψυκτικής ισχύος.

Στό σχήμα 1.24α υπάρχει ένα δοχείο τό όποιο συγκοινωνεί μέ την ατμόσφαιρα. Μέσα στό δοχείο υπάρχει υγρό ψυκτικό μέσο, π.χ. ψυκτικό μέσο R12.

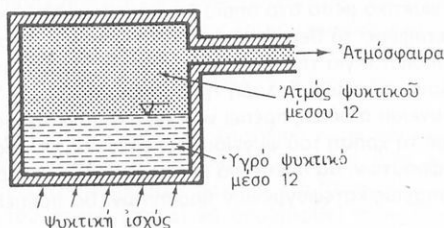
Έπειδή τό δοχείο συγκοινωνεί μέ την ατμόσφαιρα, ή πίεση μέσα στό δοχείο είναι ίση μέ την ατμοσφαιρική πίεση. Η πίεση προέρχεται από τόν άτμό του ψυκτικού μέσου ο όποιος δμως συνεχώς ρέει προς την ατμόσφαιρα.

Έπειδή ή πίεση μέσα στό δοχείο δέν μπορεϊ να είναι μικρότερη από την ατμο-

σφαιρική, παράγεται συνεχώς νέα ποσότητα ατμού από τό υγρό τό όποιο συνεχώς έλαττώνεται. Για τήν παραγωγή όμωσ ατμού από τό υγρό, δηλαδή για τήν ατμοποίηση, άπαιτείται νά δοθεί στό υγρό ή θερμότητα ατμοποιήσεως. Ή θερμότητα αυτή δίνεται από τό περιβάλλον στά τοιχώματα του δοχείου καί από αυτά στό υγρό ψυκτικό μέσο.

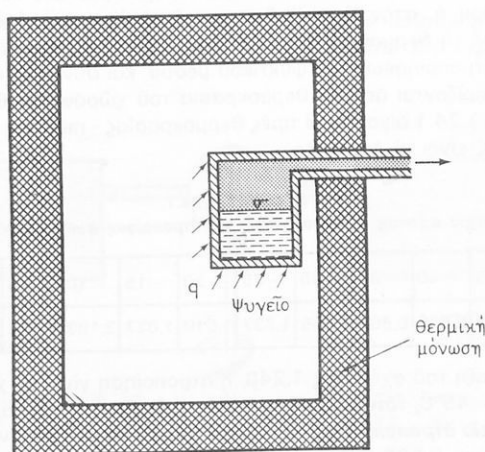
Ή ατμοποίηση γίνεται σέ ατμοσφαιρική πίεση καί ή θερμοκρασία πού έπικρατεί στό ψυκτικό μέσο προκύπτει μονοσήμαντα από τήν πίεση αυτή. Για τό ψυκτικό μέσο R12 του παραδείγματος ή θερμοκρασία ατμοποιήσεως είναι περίπου -30°C .

Μέ τόν τρόπο αυτό τής ατμοποιήσεως υγρού ψυκτικού μέσου, επιτυγχάνεται ή δημιουργία μιās ψυχρής επιφάνειας, μέ θερμοκρασία περίπου -30°C , δηλαδή ή έξωτερική επιφάνεια του δοχείου. Στήν επιφάνεια αυτή προσδίδεται συνεχώς θερμότητα, ή όποία αφαιρείται από τόν άέρα του περιβάλλοντος.



Σχ. 1.24α.

Ατμοποίηση ψυκτικού μέσου.



Σχ. 1.24β.

Στοιχειώδης διάταξη ψυγείου.

Αν τό δοχείο αυτό διαμορφωθεί γεωμετρικά κατάλληλα καί τοποθετηθεί μέσα σέ ένα κιβώτιο τό όποιο έχει θερμική μόνωση, τότε αποτελεί ένα θάλαμο - ψυγείο (σχ. 1.24β).

Ἡ διάταξη αὐτὴ εἶναι ἐξαιρετικὰ ἀπλή στὴν κατασκευὴ τῆς. Στὴν οὐσία δὲν ἀπαιτεῖ τὴν ὑπαρξὴ ψυκτικῆς διατάξεως. Ἐχει ὅμως ἓνα σημαντικό μειονέκτημα· λειτουργεῖ μόνο ἂν ὑπάρχει ψυκτικὸ μέσο στοῦ δοχεῖο. Ὄταν τὸ ψυκτικὸ μέσο τελειώσει θὰ πρέπει νὰ ἀνικαταστασθεῖ μὲ νέα ποσότητα. Ἡ λειτουργία ψυγείων μὲ τὸν τρόπο αὐτὸ δὲν συμφέρει οἰκονομικά, γιατί τὰ ψυκτικά μέσα στοιχίζουν ἀκριβὰ. Πρέπει λοιπὸν νὰ εὑρεθεῖ τρόπος ὥστε νὰ χρησιμοποιεῖται συνεχῶς τὸ ἴδιο ψυκτικὸ μέσο. Γιά νὰ γίνει αὐτό, πρέπει νὰ «πληρώνεται» μηχανικὴ ἐνέργεια γιὰ τὴ λειτουργία τοῦ ψυγείου.

Γιά λόγους **οἰκονομικῆς** λειτουργίας ἀπαιτεῖται ἡ κατασκευὴ καὶ λειτουργία τῶν ψυκτικῶν μηχανῶν. Ἀπὸ ἀπόψεως φυσικῆς λύσεως τοῦ προβλήματος ἀρκεῖ ἡ διάταξη τοῦ σχήματος 1.24β.

Στὴ διάταξη αὐτὴ ἡ θερμότητα ποὺ ἀφαιρεῖται ἀπὸ τὸ χῶρο τοῦ ψυγείου προσδίδεται στοῦ ὑγροῦ ψυκτικὸ μέσο στοῦ ὁποῖο ἀτμοποιεῖται. Ὁ ὑλίκος φορέας ποὺ παραλαμβάνει καὶ μεταφέρει τὴ θερμότητα εἶναι τὸ ψυκτικὸ μέσο. Τὸ φυσικὸ φαινόμενο ποὺ χρησιμοποιεῖται γιὰ τὴν «ἀποθήκευση» τῆς θερμότητας ποὺ ἀπομακρύνεται, εἶναι ἡ ἀλλαγὴ φάσεως, δηλαδὴ ἡ ἀτμοποίηση.

Σὲ ἓνα χῶρο ψυγείου ὁ ἀέρας πρέπει νὰ ἔχει μιά συγκεκριμένη χαμηλὴ θερμοκρασία, ἀνάλογα μὲ τὴ χρῆση τοῦ ψυγείου. Ἄν εἶναι π.χ. ψυγεῖο διατηρήσεως νωπῶν λαχανικῶν ἢ φρούτων, θὰ πρέπει νὰ ἔχει θερμοκρασία περίπου $+4^{\circ}\text{C}$. Ἄν εἶναι ψυγεῖο διατηρήσεως κατεψυγμένων προϊόντων, θὰ πρέπει νὰ ἔχει -18°C ἢ καὶ λιγότερο.

Γιά νὰ πάει ἡ θερμότητα ἀπὸ τὸν ἀέρα τοῦ ψυγείου στοῦ ὑγροῦ ψυκτικὸ μέσο, θὰ πρέπει τὸ ὑγρὸ ψυκτικὸ μέσο νὰ εἶναι περισσότερο κρῦο ἀπὸ τὸν ἀέρα τοῦ θαλάμου τοῦ ψυγείου ἢ, στὴν ἰδανικὴ θεωρητικὴ περίπτωση, νὰ ἔχει τὸ πολὺ ἴση θερμοκρασία μὲ τὴ θερμοκρασία τοῦ χώρου. Τὸ συμπέρασμα λοιπὸν εἶναι ὅτι ἡ θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως τοῦ ψυκτικοῦ μέσου, καὶ συνεπῶς καὶ ἡ πίεση ἀτμοποιήσεως, καθορίζονται ἀπὸ τὴ θερμοκρασία τοῦ χώρου τοῦ θαλάμου.

Στὸν Πίνακα 1.24.1 δίνονται οἱ τιμὲς θερμοκρασίας - πίεσεως γιὰ ψυκτικὸ μέσο R12. Οἱ πιέσεις εἶναι οἱ ἀπόλυτες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.24.1.

Ἀντιστοιχία πίεσεως - θερμοκρασίας γιὰ ἀτμοποίηση ψυκτικοῦ μέσου R12

$^{\circ}\text{C}$	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10
bar	0,392	0,505	0,642	0,807	1,005	1,237	1,510	1,827	2,193	2,612	3,089	3,629	4,238

Ἄν στὴ διάταξη τοῦ σχήματος 1.24β, ἡ ἀτμοποίηση γίνει σὲ χαμηλότερη θερμοκρασία, π.χ. -45°C , τότε μέσα στοῦ δοχεῖο τοῦ ψυκτικοῦ μέσου ἢ ὅπως ὀνομάζεται στοῦ **στοιχείο ἀτμοποιήσεως**, θὰ πρέπει σύμφωνα μὲ τὸν Πίνακα 1.24.1 νὰ ἐξασφαλισθεῖ πίεση 0,505 bar.

Γιά νὰ γίνεται εὐκόλα ἡ ρύθμιση τῆς πίεσεως καὶ τῆς ἀτμοποιήσεως πρέπει νὰ ὑπάρχει κάποιο σύστημα ἀναρροφῆσεως τοῦ παραγόμενου ἀτμοῦ. Τὴν ἀναρρόφηση αὐτὴ τὴν κάνει ἓνας συμπιεστής ὁ ὁποῖος καὶ ἐξυπηρετεῖ ὅπως ἀναφέρεται ἀμέσως ἄλλον σκοπὸ.

Ὁ ἀτμὸς τοῦ ψυκτικοῦ μέσου γιὰ νὰ χρησιμοποιηθεῖ καὶ πάλι στὴν ἐγκατάστα-

ση, πρέπει νά επανέλθει στην υγρή φάση. Πρέπει συνεπώς νά γίνει συμπύκνωση, ατμού. Γιά νά γίνει όμως συμπύκνωση, πρέπει νά αφαιρεθεί από τόν ατμό ή θερμότητα συμπυκνώσεως. Ἡ ἀφαίρεση θερμότητας μπορεῖ νά γίνει μόνο ὅταν ὑπάρχει κάποιο ἄλλο σύστημα, στό ὁποῖο θά δοθεῖ ἡ θερμότητα. Τέτοιο ὅμως σύστημα δέν μπορεῖ νά εἶναι τίποτε ἄλλο ἀπό τό «περιβάλλον», δηλαδή τόν ἀτμοσφαιρικό ἀέρα ἢ κάποιο ρεῖμα νεροῦ μέ θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Τό πρόβλημα εἶναι τό ἑξῆς:

Πρέπει ἀπό ατμό μέ χαμηλή θερμοκρασία -30°C νά ἀφαιρεθεῖ θερμότητα συμπυκνώσεως καί νά δοθεῖ στό περιβάλλον, π.χ. στόν ἀέρα, μέ θερμοκρασία $+35^{\circ}\text{C}$.

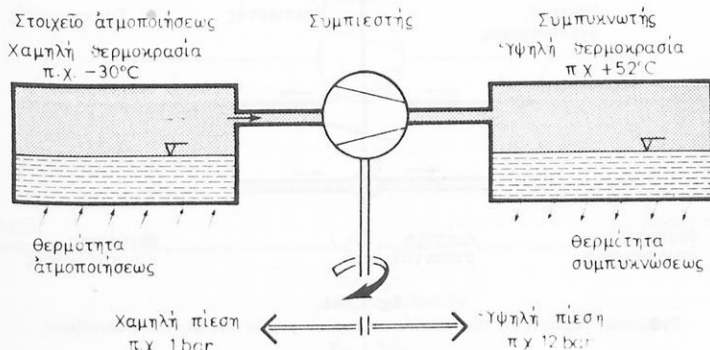
Καί τέτοιο δέν μπορεῖ νά γίνει μόνο του, γιατί θερμότητα δέν φεύγει μόνη της ἀπό κρύο σῶμα μέ θερμοκρασία -30°C γιά νά πάει σέ σῶμα θερμότερο μέ θερμοκρασία $+35^{\circ}\text{C}$. Πρέπει λοιπόν νά χρησιμοποιηθεῖ μιά μηχανή.

Ἡ μηχανή πού χρησιμοποιεῖται εἶναι ἕνας συμπιεστής ψυκτικοῦ μέσου, ὁ ὁποῖος ἀναρροφᾷ τόν κρύο ατμό χαμηλῆς πίεσεως καί τόν συμπιέζει σέ ὑψηλή πίεση, π.χ. σέ ἀπόλυτη πίεση 13 bar. Μέ τόν τρόπο αὐτό, ὅταν «πληρώνεται» μηχανική ἐνέργεια γιά τή λειτουργία τοῦ συμπιεστή, αὐξάνεται ἡ πίεση τοῦ ατμοῦ τοῦ ψυκτικοῦ μέσου.

Αὕτῃ ἀκριβῶς ἡ αὐξηση τῆς πίεσεως ἐπιτρέπει τώρα νά γίνει ἡ συμπύκνωση τοῦ ατμοῦ. Ὄταν ὑπάρχει π.χ. ατμός ψυκτικοῦ μέσου R12 σέ ἀπόλυτη πίεση 13 bar, ἡ συμπύκνωση γίνεται σέ θερμοκρασία $+52^{\circ}\text{C}$ περίπου. Ἐτσι ἡ θερμότητα συμπυκνώσεως τοῦ ατμοῦ μπορεῖ νά ἀπορριφθεῖ στόν ἀτμοσφαιρικό ἀέρα, θερμοκρασίας π.χ. $+35^{\circ}\text{C}$.

Συμπέρασμα.

Ὁ συμπιεστής ἀνεβάζει τήν πίεση τοῦ ατμοῦ γιά νά αὐξηθεῖ ἡ θερμοκρασία συμπυκνώσεως σέ τιμὴ μεγαλύτερη ἀπὸ τή θερμοκρασία τοῦ περιβάλλοντος.



Σχ. 1.24γ.

Τμήμα ψυκτικῆς διατάξεως.

Μέχρι τώρα ἔχουν χρησιμοποιηθεῖ τά ἑξῆς μέρη (σχ. 1.24γ) τῆς ψυκτικῆς διατάξεως:

- Στοιχείο ἀτμοποίησης.

- Συμπιεστής.
- Συμπυκνωτής.

Μέ τον τρόπο αυτό το ψυκτικό μέσο δέν χάνεται, αλλά συμπιέζεται μέ τό συμπίεστή καί ύγροποιείται ξανά.

Ἡ διάταξη ὅμως καί πάλι δέν εἶναι πλήρης, γιατί τό ψυκτικό μέσο δέν ἐπιστρέφει ξανά στό στοιχείο ἀτμοποιήσεως ὅπου ἀκριβῶς χρειάζεται.

Πρέπει λοιπόν νά γίνει μία συμπλήρωση τῆς διατάξεως ἡ ὁποία ἐπιτρέπει τήν ἐπιστροφή αὐτή.

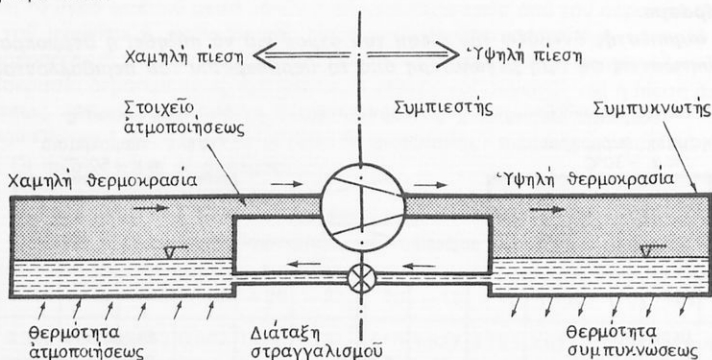
Ἐπειδὴ ἡ πίεση στό συμπυκνωτή εἶναι ὑψηλή, ἐνῶ στό στοιχείο ἀτμοποιήσεως ἀντίθετα χαμηλή, ἡ ροή μπορεῖ νά πραγματοποιηθεῖ χωρὶς πρόσθετη ἐνέργεια. Πρέπει ὅμως νά ληφθεῖ ὑπόψη ὅτι τό συμπύκνωμα εἶναι ζεστό (π.χ. + 52°C) καί πρέπει πρῶτα νά κρυώσει προτοῦ διοχετευθεῖ στό στοιχείο ἀτμοποιήσεως.

Ἐπίσης πρέπει ἡ ἐπιστροφή τῆς μάζας νά εἶναι ἐλεγχόμενη καί νά συμφωνεῖ μέ τήν παροχή μάζας τοῦ συμπίεστη. Ὅση ποσότητα συμπιέζει ὁ συμπίεστής πρὸς τό συμπυκνωτή τόση ποσότητα πρέπει νά ἐπιστρέφει ἀπὸ τό συμπυκνωτή πρὸς τό στοιχείο ἀτμοποιήσεως.

Ἡ διάταξη λοιπόν ἐπιστροφῆς τοῦ ψυκτικοῦ μέσου στό στοιχείο ἀτμοποιήσεως πρέπει νά ἐκτελεῖ βασικά τίς ἐξῆς ἐργασίες:

- Στραγγαλισμό πίεσεως (καί ταυτόχρονη ψύξη συμπυκνώματος).
- Ρύθμιση παροχῆς μάζας.

Οἱ διατάξεις αὐτές ἐξετάζονται λεπτομερέστερα σέ ἄλλο κεφάλαιο τοῦ βιβλίου. Γιά τόν ψυκτικό κύκλο πού ἐξετάζεται τώρα, ἡ διάταξη αὐτή εἶναι ἀπλῶς μία διάταξη ἀδιαβατικοῦ στραγγαλισμοῦ ὑγροῦ, ὅπως ἔχει περιγραφεῖ λεπτομερῶς στήν παράγραφο 1.23.



Σχ. 1.246.

Σχηματική παράσταση τῶν τεσσάρων κυρίων μερῶν τῆς ψυκτικῆς διατάξεως.

Τά κύρια λοιπόν μέρη σέ μία τυπική διάταξη ψύξεως (σχ. 1.24δ) εἶναι:

- Στοιχείο ἀτμοποιήσεως.
- Συμπίεστής.
- Συμπυκνωτής.
- Διάταξη στραγγαλισμοῦ.

Γιά νά περιγραφούν στοιχειωδῶς οἱ συνθήκες λειτουργίας μιᾶς ψυκτικῆς διατάξεως πρέπει νά αναφερθοῦν τουλάχιστον τὰ ἑξῆς χαρακτηριστικά μεγέθη:

- Θερμοκρασία ἀτμοποίησης.
- Θερμοκρασία συμπυκνώσεως.
- Ἴσχύς συμπίεσθ.

Ἀπό ὅσα ἀναφέραμε σ' αὐτὴ τὴν παράγραφο προκύπτει ὅτι:

- **Ἡ θερμοκρασία ἀτμοποίησης** καθορίζεται οὐσιαστικά ἀπὸ τὴ θερμοκρασία ἀέρα τοῦ ψυχόμενου χώρου.
- **Ἡ θερμοκρασία συμπυκνώσεως** καθορίζεται βασικά ἀπὸ τὴ θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- **Ἡ ἰσχύς συμπίεσθ** καθορίζεται ἀπὸ τὸ μέγεθος τῆς ἐγκαταστάσεως.

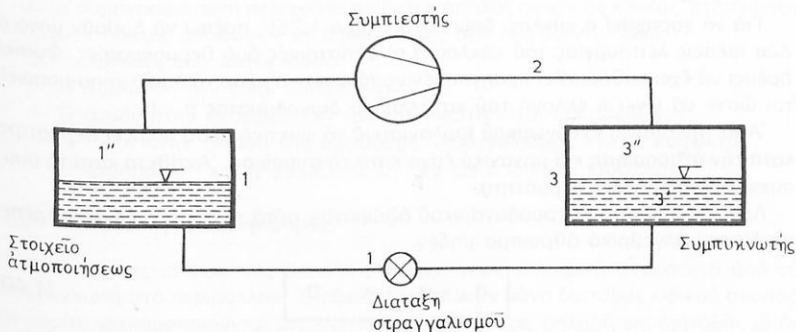
1.25 Παράσταση ψυκτικοῦ κύκλου στὸ διάγραμμα $p - h$.

Ὁ ψυκτικὸς κύκλος τὸν ὁποῖο διαγράφει τὸ ψυκτικὸ μέσο πρέπει νά παριστάνεται στὸ διάγραμμα $p - h$ γιὰ νά μποροῦν νά γίνουν οἱ ἀναγκαῖοι ὑπολογισμοὶ τῶν διαφορῶν μεγεθῶν.

Ὅταν ἐγινε ἡ ἀνάπτυξη τοῦ διαγράμματος $p - h$ καὶ στὴ συνέχεια, ὅταν ἐξετάσθηκε ὁ στραγγαλισμὸς ὑγροῦ, ἀναπτύχθηκαν οἱ μερικές μεταβολές καταστάσεως οἱ ὁποῖες συνθέτουν τὸν ψυκτικὸ κύκλο.

Ἐδῶ γίνεται ἡ σύνθεση τῶν μεταβολῶν αὐτῶν γιὰ νά μπορεῖ νά παραχθεῖ ὁ ψυκτικὸς κύκλος στὸ διάγραμμα $p - h$.

Στὸ σχῆμα 1.25α χαρακτηρίζονται οἱ διαφορετικὲς καταστάσεις τοῦ ψυκτικοῦ μέσου μὲ ἀντίστοιχους ἀριθμοὺς. Οἱ ἀριθμοὶ μὲ ἓναν τόνο ἀναφέρονται στὸ κεκορεσμένο ὑγρὸ, οἱ ἀριθμοὶ μὲ δύο τόνους στὸν ἀντίστοιχο ἀτμό.



Σχ. 1.25α.

Χαρακτηρισμός καταστάσεων ψυκτικοῦ μέσου.

Ὁ συμπίεσθς ἔχει στὴν ἀναρρόφησή του ξηρὸ κεκορεσμένο ἀτμὸ καταστάσεως 1''. Τὸ σημεῖο 1'' στὸ διάγραμμα εὑρίσκεται ἐπάνω στὴ γραμμὴ σταθερῆς πίεσεως p_A ἡ ὁποία ἀντιστοιχεῖ στὴν πίεση ἀτμοποίησης καὶ στὴ θέση ξηροῦ κεκορεσμένου ἀτμοῦ, δηλαδή στὴ θέση ὅπου τελειώνει ἡ ἀτμοποίηση τοῦ ὑγροῦ σὲ πίεση p_A .

Ἡ συμπίεση τοῦ ἀτμοῦ εἶναι ἡ μεταβολή $1''2$. Εἶναι ἀδιαβατική συμπίεση καί συνεπῶς εὐρίσκεται ἐπάνω στήν καμπύλη S ἡ ὁποία περνάει ἀπό τό σημεῖο $1''$. Τό σημεῖο 2 εὐρίσκεται στήν τομή τῆς καμπύλης S πού περνάει ἀπό τό ἀρχικό σημεῖο $1''$, καί τῆς ἰσοθλιπτῆς p_{Σ} ἡ ὁποία ἀντιστοιχεῖ στήν πίεση συμπακνώσεως τῆς διατάξεως.

Ὁ ἀτμός στή θέση 2 εἶναι, φυσικά, ὑπέρθερμος. Ὁ ἀτμός τῆς καταστάσεως αὐτῆς, μέσα στό συμπακνωτή, ψύχεται στήν ἀρχή μέχρι τήν κατάσταση $3''$ καί γίνεται ξηρός κεκορεσμένος. Στή συνέχεια ἀρχίζει ἡ συμπύκνωση τοῦ ἀτμοῦ ἡ ὁποία τελειώνει στό σημεῖο $3'$.

Στό σημεῖο $3'$ τό συμπύκνωμα εἶναι ὑγρό κεκορεσμένο. Στή συνέχεια στραγγαλίζεται ἀδιαβατικά μέχρι τήν κατάσταση 1 .

Ἡ κατάσταση 1 εἶναι μίγμα ἀπό κεκορεσμένο ὑγρό καταστάσεως $1'$ καί ἀπό κεκορεσμένο ἀτμό καταστάσεως $1''$.

Στό στοιχείο ἀτμοποιήσεως τό ὑγρό μέρος τοῦ ψυκτικοῦ μέσου ἀτμοποιεῖται καί τελικά ἡ μάζα τοῦ ψυκτικοῦ μέσου ἀποκτᾷ τήν κατάσταση $1''$, καί ἀναρροφᾶται ξανά ἀπό τό συμπιεστή.

Μετά τή χάραξη τοῦ κύκλου στό διάγραμμα $p - h$ εἶναι εὐκόλο νά γίνει καί ὁ ἐνεργειακός ἰσολογισμός.

Ἡ συναλλαγή τῆς θερμότητας μέ τό ψυκτικό μέσο γίνεται μόνο στό στοιχείο ἀτμοποιήσεως καί στό συμπακνωτή.

Μηχανικό ἔργο δίνεται μόνο στό συμπιεστή.

Τά ἀντίστοιχα ποσά αὐτῶν τῶν μεγεθῶν εἶναι ἤδη γνωστά. Δηλαδή:

$$\begin{aligned} \text{— Ἀτμοποίηση:} & \quad q_{11''} = h_{1''} - h_1 = q_A \\ \text{— Συμπύκνωση:} & \quad q_{23'} = h_{3'} - h_2 = q_{\Sigma} \\ \text{— Συμπίεση:} & \quad w_{1''2} = h_{1''} - h_2 = w_t \end{aligned}$$

Γιά νά χαραχθεῖ ὁ κύκλος, ὅπως στό σχῆμα 1.25β, πρέπει νά δοθοῦν μόνο οἱ δύο πιέσεις λειτουργίας τοῦ κύκλου ἢ οἱ ἀντίστοιχες δύο θερμοκρασίες. Φυσικά πρέπει νά ἔχει καθορισθεῖ προηγουμένως τό ψυκτικό μέσο τό ὁποῖο χρησιμοποιεῖται ὥστε νά γίνει ἡ ἐκλογή τοῦ κατάλληλου διαγράμματος $p - h$.

Ἀπό τήν ἀποψη ἐνεργειακοῦ ἰσολογισμοῦ τό ψυκτικό μέσο παίρνει θερμότητα κατὰ τήν ἀτμοποίηση καί μηχανικό ἔργο κατὰ τήν συμπίεση. Ἀντίθετα κατὰ τήν συμπύκνωση ἀποβάλλει θερμότητα.

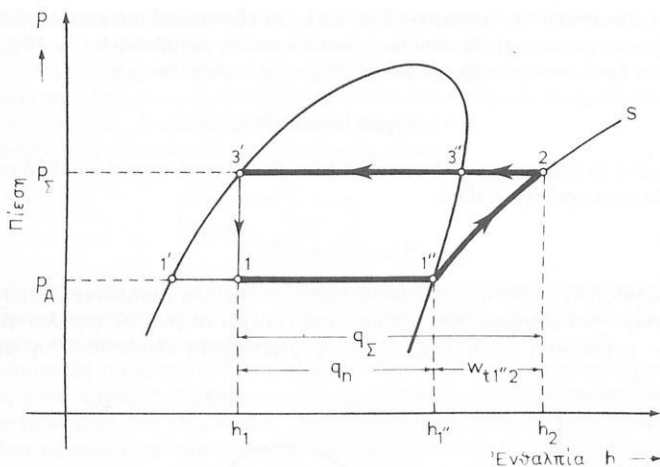
Λόγω τοῦ πρώτου θερμοδυναμικοῦ ἀξιώματος, αὐτά τά ποσά ἐνέργειας πρέπει νά δίνουν ἀλγεβρικό ἄθροισμα μηδέν.

$$q_A + q_{\Sigma} + w_t = 0 \quad (1.40)$$

Ἄν ἡ σχέση αὕτη γραφεῖ μόνο μέ τίς ἀπόλυτες τιμές τῶν μεγεθῶν, τότε:

$$|q_{\Sigma}| = |q_A| + |w_t| \quad (1.41)$$

Δηλαδή ἡ θερμότητα ἡ ὁποία ἀπορρίπτεται στό συμπακνωτή, εἶναι μεγαλύτερη ἀπό τή θερμότητα ἡ ὁποία δίνεται στό στοιχείο ἀτμοποιήσεως. Τό πόσο μεγαλύτερη εἶναι καθορίζεται ἀκριβῶς ἀπό τό μηχανικό ἔργο τό ὁποῖο χρησιμοποιεῖται γιά τή λειτουργία τῆς ἐγκαταστάσεως. Τό ἔργο τελικά μετατρέπεται σέ θερμότητα καί ἀπορρίπτεται ἀπό τό συμπακνωτή.



Σχ. 1.25β.

Ψυκτικός κύκλος στο διάγραμμα $p - h$.

Ἡ ψυκτική διάταξη συνεπῶς καταναλώνει μηχανικό ἔργο τὸ ὁποῖο «καταστρέφει», τὸ μετατρέπει σέ θερμότητα καί μόνο μέ τή δαπάνη αὐτή τοῦ ἔργου μπορεῖ νά ἀφαιρεθεῖ θερμότητα ἀπὸ τὸ χῶρο χαμηλῆς θερμοκρασίας τοῦ ψυγείου καί νά ἀποβάλλεται στὸ «περιβάλλον» τὸ ὁποῖο ἔχει μεγαλύτερη θερμοκρασία.

Στὴν παράγραφο αὐτή περιγράφεται ὁ θεωρητικός ψυκτικός κύκλος. Στὴν πράξη ὑπάρχουν πολλές ἀποκλίσεις οἱ ὁποῖες ὅμως δέν ἐξετάζονται ἐδῶ.

Οἱ κυριότερες ἀπὸ αὐτές εἶναι:

- Ἡ συμπίεση δέν εἶναι ἀδιαβατική.
- Ὁ ἀτμός στὴν ἀναρρόφηση τοῦ συμπιεστή εἶναι ὑπέρθερμος.
- Τὸ ὑγρὸ στὴν εἵσοδο τῆς διατάξεως στραγγαλισμοῦ εἶναι ὑπόψυκτο.
- Ἡ ἀτμοποίηση καί ἡ συμπύκνωση δέν εἶναι ἰδανικά ἰσόθελπτες.

1.26 Συντελεστής συμπεριφοράς.

Σχεδόν ὅλες οἱ ψυκτικές διατάξεις ἀπορρίπτουν τελικά τή θερμότητα ἀπὸ τὸ συμπυκνωτὴ στὸ περιβάλλον. Ἐξαίρεση ἀποτελοῦν μόνο διατάξεις εἰδικοῦ σκοποῦ οἱ ὁποῖες χρησιμοποιοῦνται ὡς «ἀντλίες θερμότητας», δηλαδή ὡς διατάξεις οἱ ὁποῖες ἀφαιροῦν θερμότητα ἀπὸ μάζες μέ χαμηλὴ θερμοκρασία καί τή δίνουν σέ μάζες μέ ὑψηλότερη θερμοκρασία.

Τὸ περιβάλλον στὸ ὁποῖο ἀπορρίπτεται θερμότητα ἔχει μιά θερμοκρασία ἢ ὁποία λίγο πολὺ εἶναι καθορισμένη. Ἄν εἶναι καλοκαίρι τότε ἡ θερμοκρασία αὐτὴ εἶναι ὑψηλότερη, ἂν εἶναι χειμῶνας χαμηλότερη.

Ἄς υποθέσουμε ὅτι ἡ λειτουργία ἐγκαταστάσεως ἐξετάζεται τὸ καλοκαίρι. Στὸ σχῆμα 1.26 ἡ πίεση συμπυκνώσεως p_{Σ} καθορίζεται ἀπὸ τή θερμοκρασία τοῦ περιβάλλοντος.

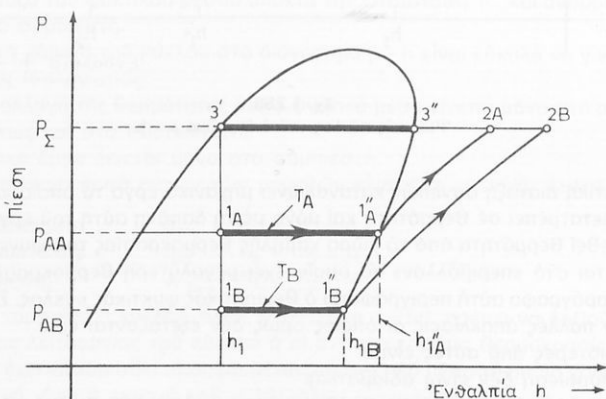
“Αν η εγκατάσταση λειτουργεί έτσι ώστε να εξυπηρετεί μία χαμηλή θερμοκρασία T_A για την οποία η ατμοποίηση γίνεται κατά τη μεταβολή $1_A \rightarrow 1''_A$, τότε τό μηχανικό έργο πού χρειάζεται για τό συμπιεστή είναι ίσο μέ:

$$w_{tA} = h_{1''A} - h_{2A}$$

Γιά αυτή τή λειτουργία, η θερμότητα ή όποία άπάγεται από τό ψυκτικό μέσο στο στοιχείο ατμοποίησης είναι:

$$q_{AA} = h_{1A} - h_{1''A}$$

“Αν όμως η εγκατάσταση πρέπει νά εξυπηρετήσει μία χαμηλότερη θερμοκρασία στο θάλαμο τοῦ ψυγείου, τότε ή ατμοποίηση πρέπει νά γίνει σέ χαμηλότερη πίεση. Στήν περίπτωση αυτή (σχ. 1.26) ή ατμοποίηση ακολουθεί τή μεταβολή $1_B \rightarrow 1''_B$.



Σχ. 1.26.

Κύκλοι για διαφορετικές χαμηλές θερμοκρασίες.

Είναι φανερό ότι, στή χαμηλότερη θερμοκρασία ατμοποίησης τό ψυκτικό μέσο άπορροφά λιγότερη θερμότητα. Πράγματι τό ποσό θερμότητας για τήν ατμοποίηση πού δίνεται τώρα είναι:

$$q_{AB} = h_{1B} - h_{1''B}$$

Έξ άλλου, για τή λειτουργία μέ χαμηλότερη θερμοκρασία ατμοποίησης, απαιτείται καί περισσότερο μηχανικό έργο, άφοῦ πρέπει ή συμπύεση νά άρχίσει από χαμηλότερη πίεση. Έτσι στήν περίπτωση αυτή τό μηχανικό έργο πού απαιτείται είναι:

$$w_{tB} = h_{1''B} - h_{2B}$$

Άπό όσα αναφέραμε είναι φανερό, ότι τό μηχανικό έργο δέν άποδίδει πάντοτε

τό ίδιο αποτέλεσμα. Όσο περισσότερο απέχουν οι θερμοκρασίες (ή οι πιέσεις) ατμοποίησης και συμπυκνώσεως τόσο δυσκολότερα γίνονται τα πράγματα και τόσο περισσότερο μηχανικό έργο απαιτείται. Για να υπάρχει ένα μέτρο συγκρίσεως της δυσκολίας αυτής ή, καλύτερα, για να υπολογίζεται το μηχανικό έργο το οποίο καταναλώνεται για τη λειτουργία της εγκαταστάσεως, εισάγεται ένας ειδικός αδιάστατος συντελεστής, ο **συντελεστής συμπεριφοράς** $C P$.

Ο όρισμός του συντελεστή συμπεριφοράς είναι:

$$C P = \left| \frac{q_A}{w_t} \right| \quad (1.42)$$

Είναι αριθμός θετικός, και δείχνει το ποσό θερμότητας που «άντλείται» από τη χαμηλή θερμοκρασία την οποία εξυπηρετεί η εγκατάσταση, για κάθε μονάδα μηχανικού έργου την οποία καταναλώνει.

Οι αριθμητικές τιμές του $C P$ δεν είναι σταθερές. Όταν η θερμοκρασία ατμοποίησης είναι κοντά στη θερμοκρασία συμπυκνώσεως τότε προκύπτουν τιμές αρκετά μεγαλύτερες από τη μονάδα. Όσο απομακρύνονται οι θερμοκρασίες τόσο ο συντελεστής συμπεριφοράς μικραίνει. Για εγκαταστάσεις π.χ. στις οποίες γίνεται η υγροποίηση υδρογόνου (-250°C) ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς είναι $C P < 0,1$ ενώ ο πραγματικός συντελεστής συμπεριφοράς είναι $C P < 0,01$.

Για εγκαταστάσεις οι οποίες ψύχουν νερό για κλιματιστικές συσκευές ($+4^{\circ}\text{C}$), ο αντίστοιχος θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς είναι της τάξεως μεγέθους $C P \cong 10$ ενώ ο πραγματικός περίπου 3,5.

Ο συντελεστής συμπεριφοράς ο οποίος δίνεται από τη σχέση (1.42) είναι ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς ο οποίος προκύπτει από το θεωρητικό ψυκτικό κύκλο.

Ο πραγματικός συντελεστής συμπεριφοράς δεν υπολογίζεται, προσδιορίζεται πειραματικά.

Η αριθμητική τιμή του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς εξαρτάται κυρίως από το ψυκτικό μέσο, τη θερμοκρασία ατμοποίησης και τη θερμοκρασία συμπυκνώσεως.

Για τις ίδιες θερμοκρασίες ατμοποίησης και συμπυκνώσεως, αν χρησιμοποιηθεί άλλο ψυκτικό μέσο, θα προκύψουν άλλες τιμές για το συντελεστή συμπεριφοράς.

Εκτός από τους τρεις παράγοντες που αναφέραμε παραπάνω, η τιμή του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς εξαρτάται ακόμα και από την υπόψυξη του συμπυκνώματος καθώς και από την υπερθέρμανση του ατμού στο τέλος της ατμοποίησης.

Η ποιότητα μιας εγκαταστάσεως από την ενεργειακή άποψη, χαρακτηρίζεται από το συντελεστή συμπεριφοράς. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του, τόσο καλύτερη είναι η εγκατάσταση. Δηλαδή τόσο λιγότερη ενέργεια καταναλώνει για το ίδιο αποτέλεσμα.

Ο συντελεστής συμπεριφοράς δεν είναι βαθμός αποδόσεως όπως στις μηχανές παραγωγής έργου, π.χ. κινητήρες Diesel. Ο βαθμός αποδόσεως σε αυτές είναι αριθμός πάντοτε μικρότερος από τη μονάδα. Ο συντελεστής συμπεριφοράς αντίθετα μπορεί να είναι μικρότερος ή και μεγαλύτερος από τη μονάδα.

1.27 Ψυκτική ισχύς.

Βασικό χαρακτηριστικό μέγεθος κάθε ψυκτικής διατάξεως είναι η **ψυκτική ισχύς**, τό ποσό δηλαδή θερμότητας τό όποιο ή έγκατάσταση αφαιρεί στή μονάδα του χρόνου από τό μέσο ή τό χώρο τόν όποιο ψύχει. Τό μέγεθος αυτό μετρείται φυσικά σέ μονάδες ισχύος, άφού ή θερμότητα δέν είναι τίποτε άλλο από μία μορφή ένέργειας.

Ή ψυκτική ισχύς λοιπόν μετρείται μέ kW. Δέν πρέπει όμως νά συγχέεται μέ τή μηχανική ισχύ του συμπιεστή ή όποία μετρείται μέ τίς ίδιες μονάδες.

Στόν ύπολογισμό τών διαφόρων ποσών θερμότητας καί του μηχανικού έργου, ό όποϊος γίνεται π.χ. μέ τή βοήθεια του διαγράμματος p - h, όπως στήν παράγραφο 1.25, τά διάφορα ποσά ένέργειας αναφέρονται στή μονάδα μάζας 1 kg του ψυκτικού μέσου.

Άν μία έγκατάσταση π.χ. λειτουργεί μέ ψυκτικό μέσο R12 καί έχει θερμοκρασία συμπυκνώσεως $T = 52^{\circ}\text{C}$ καί θερμοκρασία άτμοποιήσεως $T_A = -20^{\circ}\text{C}$, τότε από τούς αντίστοιχους πίνακες ή τό διάγραμμα p - h προκύπτει γιά τίς καταστάσεις του κύκλου του σχήματος 1.25β ότι:

$$\begin{aligned}h_3 &= 265 \text{ kJ/kg} = h_1 \\h_1'' &= 397 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Γιά κάθε 1 kg ψυκτικού μέσου τό όποιο άτμοποιείται στό στοιχείο άτμοποίησης, αφαιρείται από τόν ψυχόμενο χώρο ποσό θερμότητας q_A .

$$q_A = q_{11''} = h_{11''} - h_1 = 132 \text{ kJ/kg}$$

Τό μέγεθος αυτό, δηλαδή ή ανά μονάδα μάζας ψυκτικού μέσου ποσότητα θερμότητας, ή όποία προσδίδεται στό στοιχείο άτμοποίησης, λέγεται **ψυκτική ικανότητα**.

Ή ψυκτική ικανότητα είναι μικρότερη από τή θερμότητα άτμοποίησης. Γιά τή θερμότητα άτμοποίησης 1 kg ύγρου παίρνει θερμότητα καί γίνεται άτμός.

Γιά τήν ψυκτική ικανότητα τό 1 kg έχει ήδη άρχίσει τήν άτμοποίηση μέσα στή διάταξη στραγγαλισμού. Όταν τό 1 kg εισέρχεται στό στοιχείο άτμοποίησης τό 1 kg είναι μίγμα άτμου καί ύγρου. Ψυκτική ικανότητα είναι τό ποσό θερμότητας τό όποιο άτμοποιεί τό υπόλοιπο ύγρό του άρχικού 1 kg.

Γιά νά ύπολογισθεί ή ψυκτική ισχύς από τήν ψυκτική ικανότητα ή όποία προκύπτει από τό διάγραμμα, πρέπει νά είναι γνωστή ή παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου μέσα στήν έγκατάσταση. Τό μέγεθος αυτό συμβολίζεται συνήθως μέ m καί έχει μονάδες [kg/s].

Ή ψυκτική ισχύς συμβολίζεται μέ q_ψ καί έχει μονάδες kW.

Ή σχέση λοιπόν ή όποία συνδέει τήν ψυκτική ισχύ μέ τήν ψυκτική ικανότητα είναι:

$$q_\psi = m \cdot q_A \quad (1.43)$$

Άνάλογη σχέση ισχύει καί γιά τή μηχανική ισχύ.

Άπό τό διάγραμμα p - h προκύπτει τό μηχανικό έργο w_r , τό έργο δηλαδή τό

όποιο απαιτείται για κάθε ένα 1 kg ψυκτικού μέσου σέ μονάδες [kJ/kg]. Άν λοιπόν ή ισχύς συμβολίζεται μέ N καί έχει μονάδες [kW] ισχύει ότι:

$$N = m \cdot w_t \quad (1.44)$$

Πολλές φορές οί σχέσεις (1.43) καί (1.44) χρησιμοποιούνται αντίστροφα. Για τόν προσδιορισμό δηλαδή τής απαιτούμενης παροχής μάζας m του ψυκτικού μέσου τής εγκατάστασως ώστε νά έπιτευχθεί ή απαιτούμενη ψυκτική ισχύ.

Παλιότερα χρησιμοποιούνταν καί άλλες μονάδες για ή μέτρηση αυτών των μεγεθών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΨΥΚΤΙΚΑ ΜΕΣΑ

2.1 Γενικά.

Τά ψυκτικά μέσα είναι τό «έργαζόμενο σώμα» τῶν θερμодυναμικῶν κύκλων. Εἶναι ὁ ὑλικός φορέας ὁποῖος παραλαμβάνει ποσά θερμότητας ἀπό θέσεις μέ χαμηλότερη θερμοκρασία, ὅπου εἶναι ἀνεπιθύμητα, καί τά μεταφέρει σέ θέσεις μέ ὑψηλότερη θερμοκρασία ὅπου καί τά ἀπορρίπτει.

Κατά καιροῦς ἔχουν χρησιμοποιηθεῖ διάφορα ὑγρά-ἀτμοί ὡς ψυκτικά μέσα. Στίς πρῶτες ψυκτικές ἐγκαταστάσεις περασμένου αἰῶνα καθῶς καί στίς ἀρχές τοῦ εἰκοστοῦ, χρησιμοποιήθηκαν ὡς ψυκτικά μέσα οὐσίες ὅπως τό θειικό ὄξύ, τό διοξείδιο τοῦ ἀνθρακα, τό διοξείδιο τοῦ θείου κλπ. Τά μέσα αὐτά ἔχουν πλέον ἐγκαταληφθεῖ, γιατί δέν πληροῦν βασικές προδιαγραφές ἀσφαλείας, οἱ ὁποῖες ἰσχύουν σήμερα καί γιατί προκαλοῦν πολύ γρήγορα φθορά στίς ἐγκαταστάσεις.

Στά παλιότερα χρόνια, ἡ τεχνολογία ὑποχρεώθηκε νά χρησιμοποιήσει τά ὑλικά αὐτά, γιατί δέν ὑπῆρχαν ἄλλα πιά κατάλληλα. Τό μόνο ἴσως ψυκτικό μέσο τό ὁποῖο χρησιμοποιήθηκε ἀπό πολύ νωρίς καί χρησιμοποιεῖται εὐρύτατα ἀκόμα καί σήμερα, εἶναι ἡ ἀμμωνία.

Γενικά ὅμως τά ψυκτικά μέσα τά ὁποῖα χρησιμοποιοῦνται σήμερα, κατασκευάσθηκαν βιομηχανικά καί χρησιμοποιήθηκαν στίς Η.Π.Α. στίς ἀρχές τῆς δεκαετίας τοῦ 1930. Τά πιά συνηθισμένα ἀπό αὐτά εἶναι, ἀπό χημικῆς ἀπόψεως, χλωριωμένοι ἢ φθοριωμένοι ὑδρογονάνθρακες. Παρουσίαζαν πολλά πλεονεκτήματα καί ὀρισμένα ἀπό αὐτά τά ψυκτικά μέσα μέχρι καί πρίν ἀπό λίγα χρόνια θεωροῦνταν τέλεια.

Τά τελευταῖα ὅμως χρόνια ἔχουν γίνει παρατηρήσεις στόν ἐξωτερικό φλοιό τῆς ἀτμόσφαιρας οἱ ὁποῖες παρατηρήσεις ἔδειξαν ὅτι ὁ προστατευτικός φλοιός ὄζοντος καταστρέφεται ἀπό τά ψυκτικά μέσα τά ὁποῖα διαρρέουν στήν ἀτμόσφαιρα. Πρέπει νά τονισθεῖ ὅμως ὅτι σημαντικές ποσότητες ψυκτικοῦ μέσου στήν ἀτμόσφαιρα διαρρέουν ἀπό τά διάφορα ἀεροζόλ (σπρέϋ) τά ὁποῖα χρησιμοποιοῦν τά ψυκτικά μέσα γιά τήν ἐκτόξευση τῶν διαφόρων ἀρωμάτων, ἀποσμητικῶν, χρωμάτων κλπ. καί ὄχι ἀπό τίς ἴδιες τίς ψυκτικές ἐγκαταστάσεις. Στό μέλλον θά περιορισθοῦν οἱ χρησιμοποιούμενες ποσότητες ψυκτικῶν μέσων.

Ἡ ἐκλογή τοῦ κατάλληλου ψυκτικοῦ μέσου γιά μιά ἐγκατάσταση, δέν γίνεται μόνο μέ θερμодυναμικά κριτήρια. Ἀποφαστικό ρόλο παίζουν ἐπίσης καί ἄλλες ιδιότητες τοῦ ψυκτικοῦ μέσου, ὅπως ἡ τοξικότητα, ἡ ἀναφλεξιμότητα, τό ἱξῶδες κλπ.

Κανένα ψυκτικό μέσο δέν εἶναι τέλειο.

Γιά τήν ἐκλογή τοῦ κατάλληλου ψυκτικοῦ μέσου προσέχομε πολύ τό εἶδος τῶν μετάλλων τά ὁποῖα χρησιμοποιοῦνται στήν ψυκτική ἐγκατάσταση. Γιά νά ἐκλεγεῖ

π.χ. ή άμμωνία (NH_3) ως ψυκτικό μέσο, ή έγκατάσταση θά πρέπει νά έχει μόνο σιδερένια ή χαλύβδινα μέρη. Ό χαλκός, τό άλουμίνιο κλπ. καταστρέφονται σχεδόν άμέσως από τήν άμμωνία.

Επίσης προσέχομε τίς ύψηλές θερμοκρασίες οι όποιες επικρατούν π.χ. μέσα στά τοιχώματα τών έμβολοφόρων συμπίεστών. Πρέπει τό ψυκτικό μέσο νά είναι κατάλληλο γι' αυτές. Δέν πρέπει νά παθαίνει χημική διάσπαση έστω και σέ μικρά ί-χνη, γιατί μπορεί νά έλευθερωθει χλώριο ή φθόριο, τό όποιο θά προκαλέσει πάρα πολύ γρήγορα τή φθορά.

Άλλος σημαντικός παράγοντας γιά τήν έκλογή του ψυκτικού μέσου είναι ή συνεργασία του μέ τό λάδι λιπάνσεως. Όπως όλες οι μηχανές, έτσι και οι συμπίεστες ψυκτικών μέσων γιά νά λειτουργήσουν πρέπει νά λιπαίνονται. Μέσα λοιπόν στό συμπίεστή, στήν έλαιολεκάνη του ή και άλλοι, τό ψυκτικό μέσο έρχεται σέ έπαφή μέ τό λάδι. Από τήν έπαφή αυτή τό ψυκτικό μέσο διαλύεται μέσα στό λάδι, και άτμοί ή και σταγόνες λαδιου φεύγουν μέ τό ψυκτικό μέσο πρós τό συμπυκνωτή. Έκεί αναμιγνύονται μέ τό συμπυκνωμένο υγρό ψυκτικό μέσο και στή συνέχεια ή μεγαλύτερες ποσότητες λαδιου κυκλοφορούν σέ όλη τήν έγκατάσταση. Τό ψυκτικό μέσο πρέπει λοιπόν νά είναι τέτοιο, ώστε νά διαλύει τό λάδι σέ όλες τίς θέσεις τής ψυκτικής διατάξεως.

Άλλη ιδιότητα του ψυκτικού μέσου είναι ή ικανότητα νά διαλύει νερό (ύγρασία). Τό ψυκτικό μέσο γενικά δέν δέχεται νερό, γιατί στίς χαμηλές θερμοκρασίες τό νερό ξεχωρίζει από τό ψυκτικό μέσο και σχηματίζει παγοκρύσταλλους. Αυτό συμβαίνει συνήθως στή θέση στραγγαλισμού ή όποία μέ τό σχηματισμό του πάγου φράσσει έντελώς, ύστερα από όρισμένο χρόνο λειτουργίας και διακόπτει τή λειτουργία τής έγκαταστάσεως.

Τά συνηθισμένα ψυκτικά μέσα γιά μικρές διατάξεις είναι τό R12 και τό R22. Τά προτιμούμε γιατί παρουσιάζουν σχετικά μικρές πιέσεις, γιατί είναι άκίνδυνα από τοξικής άπόψεως και γιατί ή καμπύλη υγρού - άτμου στό διάγραμμα p - h εύρίσκεται σέ εύνοϊκή περιοχή θερμοκρασιών. Οι διατάξεις αυτές χρησιμοποιούνται συνήθως σέ οικιακά ψυγεία και καταψύκτες καθώς και σέ έμπορικά ψυγεία μέσα σέ κατστήματα. Έκεί δέν μπορεί νά χρησιμοποιηθεί τοξικό ψυκτικό μέσο, π.χ. άμμωνία, από φόβο διαρροής.

Τά R12 και R22 χρησιμοποιούνται και γιά μεγαλύτερες διατάξεις. Μεγαλύτερη όμως έφαρμογή έχει ή άμμωνία.

Όσον άφορά τήν ονομασία τών ψυκτικών μέσων επικρατεί κάποια σύγχυση. Είναι περισσότερο γνωστά μέ έμπορικά όνόματα εταιριών και έναν άριθμό. Π.χ. οι όνομασίες FREON12, FRIGEN 12, ARCTON 12, GENETRON 12, ALGOFRENE 12 κλπ. χαρακτηρίζουν όλες τό ίδιο χημικό προϊόν CF_2Cl_2 , και προέρχονται από διάφορες χημικές εταιρίες οι όποιες τό κατασκευάζουν. Όμως τό έπίσημο όνομα του ψυκτικού αυτού μέσου είναι άπλώς **ψυκτικό μέσο R12**. Τό ίδιο ισχύει και γιά άλλα ψυκτικά μέσα.

Βασικό χαρακτηριστικό μέγεθος του ψυκτικού μέσου είναι και ή θερμότητα άτμοποιήσεως. Όσο μεγαλύτερη είναι ή θερμότητα άτμοποιήσεως τόσο μεγαλύτερη είναι ή ψυκτική ικανότητα. Όταν τό ψυκτικό μέσο έχει μεγάλη ψυκτική ικανότητα, έπιφέρει οικονομία στήν παροχή μάζας m' γιά μιά δεδομένη ψυκτική ισχύ και συνεπώς μικρότερη έγκατάσταση από άπόψεως όγκου.

Τά πιά συνηθισμένα ψυκτικά μέσα θά εξετασθοῦν λεπτομερώς στίς ἐπόμενες παραγράφους. Ἐκεῖ δίνονται οἱ πίνακες καί τά διαγράμματα τῶν θερμοδυναμικῶν ιδιοτήτων.

2.2 Ὀνομασία ψυκτικῶν μέσων.

Ἐκτός ἀπό τήν ἀμμωνία, τά ὑπόλοιπα ἀπό τά ἐν χρήσει ψυκτικά μέσα προέρχονται βασικά ἀπό τό μεθάνιο (CH_4) ἢ αἰθάνιο (C_2H_6) μέ ἀντικατάσταση τῶν ατόμων ὑδρογόνου ἀπό ἄτομα χλωρίου ἢ φθορίου. Τά ψυκτικά μέσα δημιουργοῦνται ἀνάλογα μέ τό βαθμό ἀντικαταστάσεως καί τό ἀρχικό μόριο.

Τά ψυκτικά μέσα ὀνομάζονται μέ τό λατινικό γράμμα R, ἀπό τή λέξη Refrigerant = (ψυκτικό μέσο), τό ὁποῖο ἀκολουθεῖται ἀπό ἕναν διψήφιο ἢ τριψήφιο ἀριθμό καί σέ εἰδικές περιπτώσεις, καί ἀπό ἕνα γράμμα τοῦ λατινικοῦ ἀλφαβήτου. Παραδείγματα τέτοιων ὀνομάτων εἶναι τά ἑξῆς: R12, R13, R142b κλπ.

Τά ψηφία τά ὁποῖα ἀκολουθοῦν τό ἀρχικό γράμμα προκύπτουν ἀπό ἕναν κώδικα πού ἐξηγεῖται ἀμέσως ἀπό τή χημική σύνθεση τοῦ ψυκτικοῦ μέσου. Ἐπομένως ὁ ἀριθμός καθορίζει μονοσήμαντα καί τή χημική ἔνωση.

Γιά παράγωγα τῆς σειρᾶς μεθανίου (CH_4) ἢ αἰθανίου (C_2H_6) τά ὁποῖα ἔχουν στό μόριό τους ἄτομα ὑδρογόνου H, φθορίου F καί χλωρίου Cl, ὁ γενικός χημικός τύπος ἔχει τή μορφή:



Ἐπειδή ὁ ἄνθρακας εἶναι τετρασθενής καί τά ἄλλα στοιχεῖα μονοσθενή, πρέπει γιά τήν περίπτωση αὐτή νά ἰσχύει ἡ σχέση:

$$n + p + q = 2m + 2$$

Ἄν λοιπόν τό μεγέθη n, m καί p καθορισθοῦν, τότε ἡ τιμή τοῦ q , δηλαδή τό πόσα ἄτομα χλωρίου περιέχει τό μόριο, προκύπτει ἀπό τή σχέση αὐτή. Γιά τό λόγο αὐτό ὁ ἀριθμός ατόμων χλωρίου δέν ἀναφέρεται στήν ὀνομασία τῶν ψυκτικῶν μέσων.

Ἡ ὀνομασία ἑνός ψυκτικοῦ μέσου δίνεται μέ μιά παράσταση τῆς μορφῆς:

$$\text{R } x\psi z$$

ὅπου: $x\psi z$ ψηφία τά ὁποῖα ὀρίζονται ἀπό τή σύνθεση τοῦ μορίου τοῦ ψυκτικοῦ μέσου, δηλαδή ἀπό τοὺς ἀκέрайους ἀριθμούς m, n, p ὡς ἑξῆς:

$x = m - 1$: Δηλαδή τό πρῶτο ψηφίο δείχνει τόν ἀριθμό ατόμων ἄνθρακα μειωμένο κατά ἕνα.

$\psi = n + 1$: Δηλαδή τό δεύτερο ψηφίο δείχνει τόν ἀριθμό ατόμων ὑδρογόνου αὐξημένο κατά ἕνα.

$z = p$: Δηλαδή τό τρίτο ψηφίο δείχνει τόν ἀριθμό ατόμων φθορίου.

Ὅταν τό πρῶτο ψηφίο ἔχει τιμή $x = 0$ τότε παραλείπεται. Δηλαδή τά ψυκτικά μέσα πού ἔχουν ἕνα μόνο ἄτομο ἄνθρακα (σειρά μεθανίου) ἔχουν $x = 0$ καί συνεπῶς ἔχουν διψήφιο ἀριθμό μετά τό R.

Παραδείγματα.

α) Ψυκτικό μέσο CFCl_3 (τριχλωροφθορομεθάνιο):

Η χημική σύστασή του είναι:



Δηλαδή: $m = 1$, $n = 0$, $p = 1$

Γιά τις τιμές x, ψ, z προκύπτει ότι:

$$x = 1 - 1 = 0, \quad \psi = 0 + 1 = 1, \quad z = 1$$

Η ονομασία του λοιπόν είναι: **R11**.

β) Ψυκτικό μέσο CF_2Cl_2 (διχλωροδιφθορομεθάνιο):

Η χημική σύστασή του είναι:



Δηλαδή: $m = 1$, $n = 0$, $p = 2$

Γιά τις τιμές x, ψ, z προκύπτει ότι:

$$x = 1 - 1 = 0, \quad \psi = 0 + 1 = 1, \quad z = 2$$

Η ονομασία του λοιπόν είναι: **R12**.

Πρόκειται στην προκειμένη περίπτωση για το ψυκτικό μέσο το οποίο χρησιμοποιείται εύρύτατα στις μικρομεσαίες εγκαταστάσεις ψύξεως.

γ) Ψυκτικό μέσο $\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$ (τριχλωροτριφθοραιθάνιο):

Χημική σύσταση:



Δηλαδή: $m = 2$, $n = 0$, $p = 3$

Γιά τις τιμές x, ψ, z προκύπτει ότι:

$$x = 2 - 1 = 1, \quad \psi = 0 + 1 = 1, \quad z = 3$$

Η ονομασία του λοιπόν είναι: **R113**.

Ο κανόνας ο οποίος αναφέρθηκε δεν ισχύει φυσικά για την αμμωνία (NH_3). Η αμμωνία αναφέρεται με το όνομά της ή με τον κωδικό αριθμό R717.

Παρακάτω θα αναφέρουμε τις ιδιότητες ενός ψυκτικού μέσου με τον κωδικό αριθμό **R502**.

Πρέπει να τονισθεί ότι όλα τα ψυκτικά μέσα των οποίων ο χαρακτηριστικός αριθμός αρχίζει από **5** είναι **μίγματα** δύο άλλων ψυκτικών μέσων και μάλιστα μίγματα με μία συγκεκριμένη αναλογία ώστε το ψυκτικό μέσο-μίγμα να είναι **αζεotropικό**. Αζεotropικά λέγονται εκείνα τα μίγματα τα οποία ατμοποιούνται όπως τα κοινά υγρά. Σε όλη δηλαδή τη διάρκεια της ισόθλιπτης ατμοποίησης ή θερμοκρασία παραμένει σταθερή. Στα αζεotropικά μίγματα ή σύσταση του υγρού και

του ατμού είναι ή ίδια. Πρέπει να τονισθεί ότι αυτά τα δύο φαινόμενα δέν παρατηρούνται στά κοινά μίγματα. Σέ ένα κοινό μίγμα όταν γίνεται ισόθλιπη ατμοποίηση ή θερμοκρασία ανεβαίνει συνεχώς καί ο ατμός περιέχει περισσότερο από τό πιό πτητικό ύλικό.

Τά συνηθισμένα άζεοτροπικά μίγματα είναι:

- R500: Άζεοτροπικό μίγμα R12 καί R152a
- R502: Άζεοτροπικό μίγμα R12 καί R115
- R503: Άζεοτροπικό μίγμα R23 καί R13
- R504: Άζεοτροπικό μίγμα R32 καί R115

Έκείνο τό όποιο χρησιμοποιείται περισσότερο είναι τό R502.

2.3 Μονάδες μετρήσεως.

Οί μονάδες μετρήσεως τών τεχνικών μεγεθών τά όποια ένδιαφέρουν τίς ψυκτικές διατάξεις είναι:

α) Θερμοκρασία: °C, βαθμός έκατονταβάθμιας κλίμακας ή Κελσίου.

β) Πίεση: bar = 10^5 N/m²

γ) Ένέργεια: kJ = 10^3 Nm

δ) Ίσχύς: kW = kJ/s

ε) Μάζα: kg

Μέ αυτές τίς μονάδες πρέπει να γίνονται όλοι οί ύπολογισμοί.

Τά θερμοδυναμικά δεδομένα όμως τά όποια ύπάρχουν στή διεθνή βιβλιογραφία άναφέρονται δυστυχώς τίς περισσότερες φορές μέ παλιότερες μονάδες μετρήσεως. Οί παλιότερες αυτές μονάδες είναι διαφορετικές στήν Εύρώπη, διαφορετικές στήν Άγγλία καί στίς Η.Π.Α. Έτσι τό πρόβλημα γίνεται άκόμα περισσότερο πολύπλοκο.

Στήν Ελλάδα δυστυχώς έχει επικρατήσει ή συνήθεια ύπολογισμού τών μεγεθών τών ψυκτικών καί κλιματιστικών έγκαταστάσεων σέ άγγλοσαξονικές μονάδες. Γι' αυτό στήν παράγραφο αυτή δίνονται οί άντιστοιχίες καί οί τρόποι μετατροπής.

Όσον άφορά τή θερμοκρασία ύπάρχουν πίνακες (Πίνακας 1.3), τούς όποιους έχομε δεϊ, μετατροπής από κλίμακα Κελσίου σέ κλίμακα Φαρενάϊτ καί άντίστροφα.

Πρίν δοθούν οί άντίστοιχοι συντελεστές μετατροπής άναφέρονται καί οί παλιότερες μονάδες γιά τίς όποιες δίνονται οί τιμές:

α) Θερμοκρασία:	°F	Βαθμοί Φαρενάϊτ
β) Πίεση:	atm	Φυσική ατμόσφαιρα
	at	Τεχνική ατμόσφαιρα ή άπλως ατμόσφαιρα
	mmHg	Χιλιοστά στήλης
	ή Tor	ύδραργύρου
	psi	lbs/in ²
	inHg	Ίντσες στήλης ύδραργύρου

γ) Ένέργεια:	kcal BTU	
δ) Ίσχύς:	kcal/h BTU/h RT PS HP	Ψυκτικός τόννος Ίππος μετρικός Ίππος αγγλοσαξωνικός
ε) Μάζα:	lb	

Οί μονάδες αυτές άρκοϋν για τήν περιγραφή τών θερμoδυναμικών ιδιοτήτων τών ψυκτικών μέσων.

Στή συνέχεια τής παραγράφου αύτής δίνονται οί συντελεστές μετατροπής τών μονάδων:

α) Θερμοκρασία:

Άν T_C ή Θερμοκρασία σέ βαθμούς Κελσίου
καί T_F ή Θερμοκρασία σέ βαθμούς Φαρενάϊτ
τότε:

$$T_C = (T_F - 32) \cdot (5/9)$$

καί

$$T_F = 32 + (9/5) \cdot T_C$$

Στήν παράγραφο 1.3 έχει δοθεί πίνακας μετατροπής (Πίνακας 1.3).

β) Πίεση:

Μετατροπή από	σέ	πολλαπλασίασε μέ:
atm	bar	1,013
at	bar	0,980
mmHg	bar	$1,333 \cdot 10^{-3}$
psi	bar	0,0689
inHg	bar	0,0338

Υπενθυμίζονται καί πάλι όσα αναφέρθηκαν για απόλυτη καί μανομετρική πίεση στήν παράγραφο 1.8.

Όσον άφορά τή μέτρηση κενού όρισμένα αναφέρονται στό τέλος τής παραγράφου αύτής.

γ) Ένέργεια:

Μετατροπή από	σέ	πολλαπλασίασε μέ
kcal	kJ	4,184
BTU	kJ	1,051

δ) Ίσχύς:

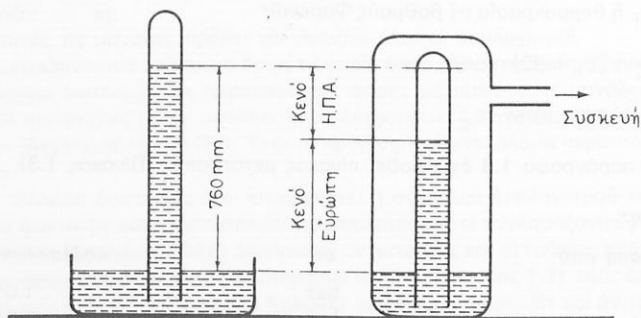
Μετατροπή από	σέ	πολλαπλασίασε μέ
kcal/h	kW	1,163
BTU/h	kW	0,293
RT	kW	3,519
PS	kW	0,736
HP	kW	0,746

ε) Μάζα:

Μετατροπή από	σέ	πολλαπλασίασε μέ
lb	kg	0,454

Πρέπει να προσέξουμε ιδιαίτερα τη μέτρηση της πίεσεως όταν πρόκειται για μέτρηση **κενοῦ**. Όταν δηλαδή η απόλυτη πίεση είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική.

Στήν ειδική αυτή περίπτωση η τιμή της πίεσεως δίνεται με την αριθμητική τιμή της **απόλυτης** πίεσεως ή με μέτρηση σχετικά με την ατμοσφαιρική πίεση. Στήν πρώτη περίπτωση δεν παρουσιάζεται καμιά δυσκολία. Στή δεύτερη περίπτωση όμως η μέτρηση στην Εύρωπη και στις Η.Π.Α. διαφέρει (σχ. 2.3).

**Σχ. 2.3.**

Διαφορετικός τρόπος μετρήσεως κενού μεταξύ ευρωπαϊκών χωρών και Η.Π.Α.

Πρέπει τό γεγονός αυτό να τονισθεί ιδιαίτερα για να αποφεύγονται λάθη. Εύτυχως με την εισαγωγή της απόλυτης πίεσεως σε bar αποφεύγεται πιά η σύγχυση στους θερμοδυναμικούς πίνακες. Παραμένει όμως τό πρόβλημα στην τεχνολογία, όπως π.χ. κατά την αρχική δημιουργία κενού των ψυκτικών εγκαταστάσεων.

2.4 Ψυκτικό μέσο R12.

Τά συνηθισμένα μέσα που χρησιμοποιούνται για να καλύψουν τις τρέχουσες τεχνολογικές εφαρμογές είναι:

NH₃, R11, R12, R13, R21, R22, R113, R114, R502

Στις περισσότερες συσκευές, αφού υπερτερούν σε αριθμό οι μικρομεσαίες ψυκτικές διατάξεις, χρησιμοποιείται το R12.

Οι θερμοδυναμικές ιδιότητες του R12 δίνονται με πίνακες και διάγραμμα p - h.

Οι πίνακες αναφέρονται πάντοτε στις θερμοδυναμικές ιδιότητες του κεκορεσμένου υγρού και κεκορεσμένου ατμού. Τιμές θερμοδυναμικών μεγεθών για υπέρθερμο ατμό, μπορούν να ληφθούν μόνο από τα διαγράμματα.

Ειδικά για το R12, έπειδή έχει μεγάλη εφαρμογή και στην Ελλάδα και υπάρχουν εγκαταστάσεις με βιβλιογραφία Άμερικανική, καθώς και με Ευρωπαϊκή, δίνονται πίνακες και διαγράμματα και για τα δύο συστήματα μονάδων.

Στην ουσία πρόκειται για τις ίδιες τιμές οι οποίες δίνονται σε διαφορετικά συστήματα μονάδων. Άν όμως γίνουν ακριβείς μετατροπές και συγκρίσεις, ένδεχομένως να υπάρχουν μικροδιαφορές οι οποίες οφείλονται στη διαφορετική προέλευση των ψυκτικών μέσων.

Τα ψυκτικά μέσα ανάλογα με το έργοστάσιο κατασκευής και τη μέθοδο παρασκευής μπορεί να περιέχουν διαφορετικά ίχνη από άλλες ουσίες οι οποίες προκαλούν τις μικροδιαφορές.

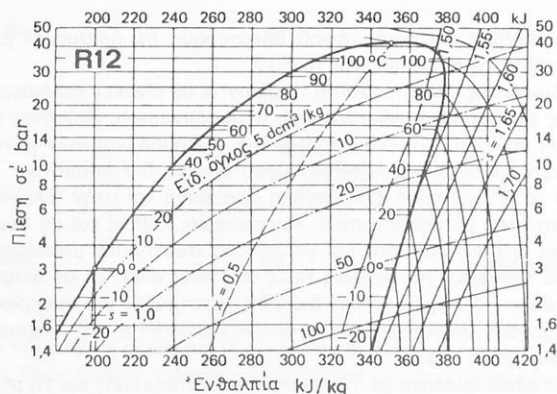
Στόν Πίνακα 2.4.1 δίνονται οι τιμές του R12 για κεκορεσμένο υγρό και κεκορεσμένο ατμό, σε διεθνές σύστημα μονάδων.

Στό σχήμα 2.4a δίνεται το αντίστοιχο διάγραμμα πίεσης - ένθαλπιας σε μετρικές μονάδες διεθνούς συστήματος. Εκτός από τις καμπύλες οι οποίες έχουν ήδη ε-

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.1.

Ψυκτικό μέσο R12 Πίνακας ατμού - υγρού.

Θερμοκρασία T °C	Πίεση p bar	Ειδικός όγκος		Ένθαλπία		Θερμότητα ατμοποίησης r kJ/kg
		υγρού v l/kg	ατμού h' l/kg	υγρού h kJ/kg	ατμού h' kJ/kg	
-50	0,392	0,647	384,11	155,06	329,30	174,24
-45	0,505	0,653	303,59	159,45	331,69	172,24
-40	0,642	0,659	242,72	163,58	334,07	170,22
-35	0,807	0,665	196,12	168,27	336,44	168,17
-30	1,005	0,672	160,01	172,72	338,80	166,08
-25	1,237	0,678	131,73	177,20	341,15	163,95
-20	1,510	0,685	109,34	181,70	343,48	161,78
-15	1,827	0,693	91,45	186,23	345,78	159,55
-10	2,191	0,700	77,03	190,78	348,06	157,28
-5	2,612	0,708	65,29	195,38	350,52	154,94
0	3,089	0,716	55,68	200,00	352,54	152,54
5	3,629	0,725	47,74	204,66	354,72	150,06
10	4,238	0,734	41,13	209,35	356,68	147,51
15	4,921	0,743	35,60	214,10	358,96	144,86
20	5,682	0,753	30,94	218,88	361,01	142,13
25	6,529	0,764	26,99	223,72	363,00	139,28
30	7,465	0,775	23,63	228,62	364,94	136,32
35	8,498	0,786	20,75	233,58	366,80	133,22
40	9,634	0,799	18,26	238,62	368,60	129,98
45	10,878	0,812	16,11	243,75	370,31	126,56
50	12,236	0,827	14,24	248,96	371,92	122,96
55	13,717	0,842	12,60	254,29	373,43	119,14
60	15,326	0,859	11,17	259,75	374,82	115,07
65	17,070	0,877	9,90	265,35	376,07	110,72
70	18,957	0,897	8,78	271,13	377,16	106,03
75	20,995	0,920	7,77	277,10	378,05	100,95
80	23,191	0,946	6,87	283,32	378,71	95,39
85	25,554	0,975	6,06	289,84	379,08	89,24
90	28,092	1,010	5,32	296,74	379,08	82,34
95	30,814	1,053	4,64	304,14	378,57	74,43
100	33,799	0,000	0,00	000,00	00,000	00,000



Σχ. 2.4α.

Διάγραμμα πίεσης - ενθαλπίας για R12.

ξηγηθεί στην παράγραφο 1.22 υπάρχουν σχεδιασμένες και γραμμές σταθερού ειδικού όγκου καθώς επίσης και η γραμμή $x = 0,5$ ή όποια αντιστοιχεί σέ ατμοποίηση της τής μισής αρχικής μάζας.

Ο Πίνακας 2.4.1 είναι κατάλληλος για μία γενική έποπτεία των ιδιοτήτων του ψυκτικού μέσου R12. Δέν είναι όμως καί τόσο λεπτομερές για τεχνικές εφαρμογές, γιατί τό βήμα θερμοκρασίας είναι 5°C. Τό διάγραμμα του σχήματος 2.4α επίσης είναι πολύ μικρό καί δέν μπορεί νά χρησιμοποιηθεί για άκριβεις ύπολογισμούς ψυκτικών κύκλων. Είναι καί αυτό κατάλληλο μόνο για μία πρώτη γενική έποπτεία των μεγεθών καί μεταβολών. Για περισσότερο λεπτομερείς ύπολογισμούς δίνεται ό Πίνακας 2.4.2 καί τό αντίστοιχο διάγραμμα του σχήματος 2.4β.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.2.
Ψυκτικό μέσο R12.

Θερμοκρασία T °C	Απόλυτη πίεση p at	Ειδικός όγκος		Πυκνότητα		Ένθαλπια		Θερμότητα ατμοποίησης $r = h'' - h'$ kcal/kg
		ατμού v' l/kg	ύγρου v'' m ³ /kg	ύγρου h' kg/l	ατμού h'' kg/m ³	ύγρου h' kcal/kg	ατμού h'' kcal/kg	
— 70	0,1258	0,6234	1,1259	1,604	0,888	85,84	128,88	42,99
— 69	0,1341	0,6246	1,0605	1,601	0,943	86,02	128,95	42,93
— 68	0,1429	0,6258	0,9998	1,598	1,000	86,20	129,06	42,86
— 67	0,1521	0,6270	0,9437	1,595	1,060	86,39	129,19	42,80
— 66	0,1618	0,6281	0,8911	1,592	1,122	86,57	129,30	42,73
— 65	0,1721	0,6289	0,8413	1,590	1,189	86,75	129,41	42,66
— 64	0,1829	0,6301	0,7954	1,587	1,257	86,94	129,54	42,60
— 63	0,1941	0,6313	0,7528	1,584	1,328	87,12	129,65	42,53
— 62	0,2059	0,6325	0,7125	1,581	1,403	87,31	129,77	42,46
— 61	0,2183	0,6337	0,6749	1,578	1,482	87,50	129,89	42,39
— 60	0,2315	0,6349	0,6394	1,575	1,564	87,68	130,00	42,32

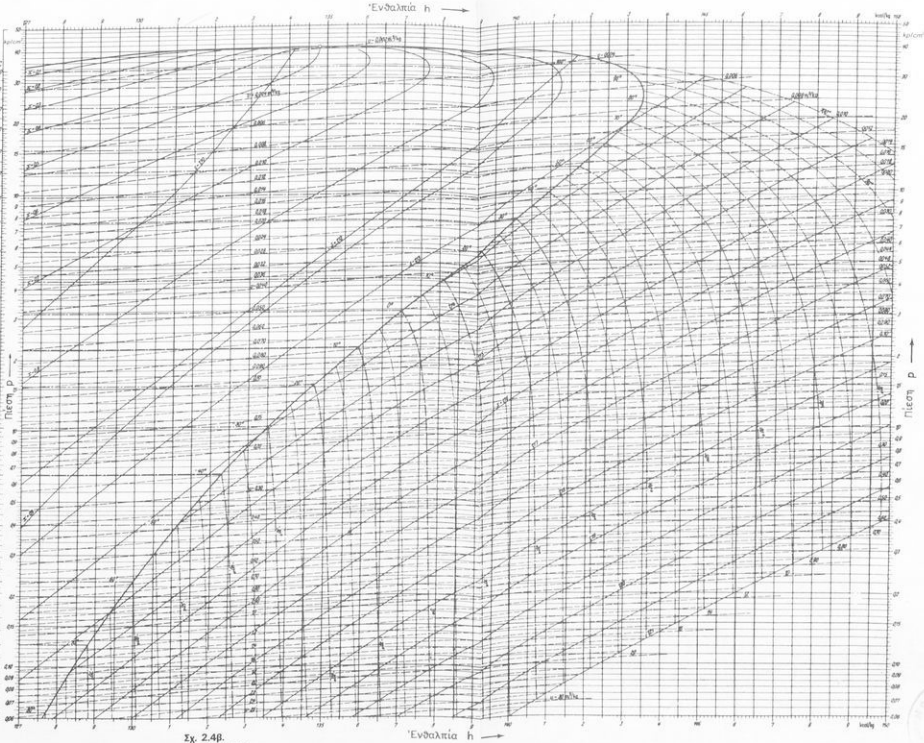
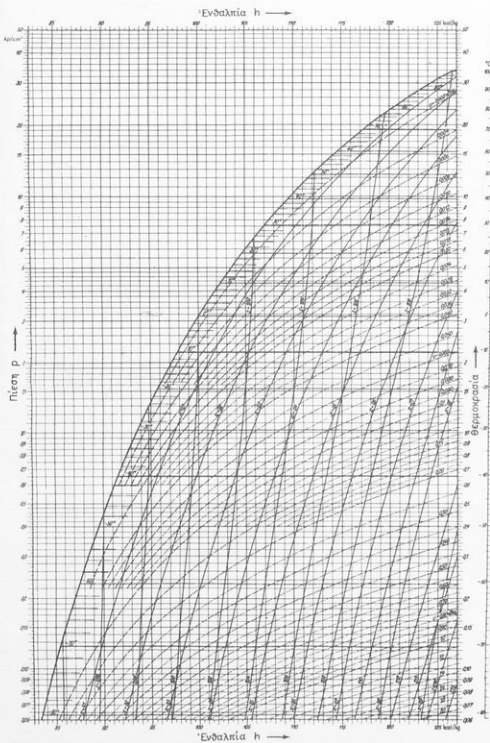
(συνεχίζεται)

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.2.
Ψυκτικό μέσο R12.

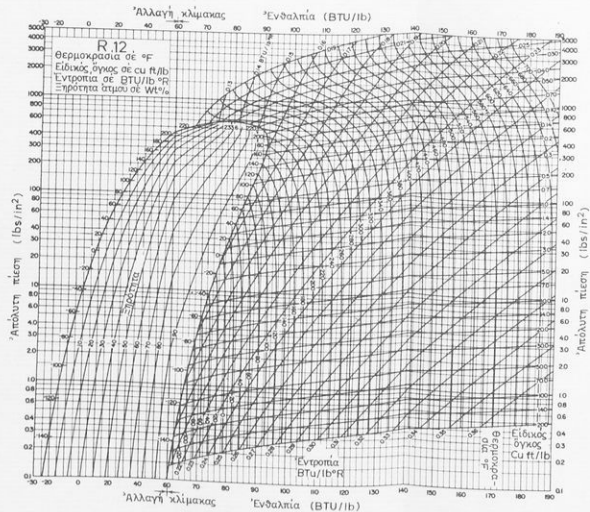
Θερμοκρασία T °C	Απόλυτη πίεση p at	Ειδικός όγκος		Πυκνότητα		Ένθαλπία		Θερμότητα ατμοποίησης $r = h'' - h'$ kcal/kg
		άτμου v l/kg	ύγρου v'' m ³ /kg	ύγρου ρ kg/l	άτμου ρ'' kg/m ³	ύγρου h' kcal/kg	άτμου h'' kcal/kg	
— 59	0,2451	0,6361	0,6064	1,572	1,649	87,87	130,12	42,25
— 58	0,2595	0,6373	0,5752	1,569	1,738	88,06	130,24	42,18
— 57	0,2744	0,6386	0,5461	1,566	1,831	88,25	130,36	42,11
— 56	0,2900	0,6394	0,5188	1,564	1,927	88,44	130,48	42,04
— 55	0,3065	0,6406	0,4930	1,561	2,028	88,63	130,59	41,96
— 54	0,3236	0,6418	0,4687	1,558	2,134	88,82	130,71	41,89
— 53	0,3414	0,6431	0,4461	1,555	2,242	89,01	130,83	41,82
— 52	0,3602	0,6443	0,4246	1,552	2,355	89,20	130,95	41,75
— 51	0,3797	0,6456	0,4043	1,549	2,473	89,39	131,06	41,67
— 50	0,3999	0,6468	0,3854	1,546	2,595	89,59	131,18	41,59
— 49	0,4212	0,6481	0,3673	1,543	2,723	89,78	131,30	41,52
— 48	0,4432	0,6493	0,3504	1,540	2,854	89,97	131,42	41,45
— 47	0,4662	0,6502	0,3344	1,538	2,990	90,17	131,54	41,37
— 46	0,4900	0,6515	0,3193	1,535	3,132	90,36	131,65	41,29
— 45	0,5150	0,6527	0,3050	1,532	3,279	90,56	131,77	41,21
— 44	0,5409	0,6540	0,2914	1,529	3,432	90,76	131,89	41,13
— 43	0,5678	0,6553	0,2787	1,526	3,588	90,95	132,01	41,06
— 42	0,5958	0,6566	0,2665	1,523	3,752	91,15	132,13	40,98
— 41	0,6247	0,6579	0,2551	1,520	3,920	91,35	132,24	40,89
— 40	0,6551	0,6592	0,2441	1,517	4,097	91,55	132,36	40,81
— 39	0,6865	0,6605	0,2337	1,514	4,279	91,75	132,48	40,73
— 38	0,7189	0,6618	0,2239	1,511	4,466	91,95	132,60	40,65
— 37	0,7523	0,6631	0,2146	1,508	4,660	92,15	132,72	40,57
— 36	0,7875	0,6645	0,2057	1,505	4,862	92,35	132,83	40,48
— 35	0,8238	0,6658	0,1973	1,502	5,069	92,55	132,95	40,40
— 34	0,8610	0,6671	0,1894	1,499	5,280	92,76	133,07	40,31
— 33	0,9000	0,6684	0,1818	1,496	5,501	92,96	133,19	40,23
— 32	0,9400	0,6698	0,1747	1,493	5,724	93,16	133,30	40,14
— 31	0,9818	0,6711	0,1678	1,490	5,960	93,37	133,43	40,06
— 30	1,0245	0,6725	0,1613	1,487	6,200	93,57	133,54	39,97
— 29	1,0688	0,6739	0,1551	1,484	6,447	93,78	133,66	39,88
— 28	1,1149	0,6752	0,1492	1,481	6,702	93,98	133,77	39,79
— 27	1,1622	0,6766	0,1436	1,478	6,964	94,19	133,90	39,71
— 26	1,2109	0,6780	0,1382	1,475	7,236	94,40	134,01	39,61
— 25	1,2616	0,6793	0,1331	1,472	7,513	94,61	134,13	39,52
— 24	1,3140	0,6807	0,1282	1,469	7,800	94,81	134,24	39,43
— 23	1,3678	0,6821	0,1235	1,466	8,097	95,02	134,36	39,34
— 22	1,4227	0,6835	0,1190	1,463	8,403	95,23	134,47	39,24
— 21	1,4805	0,6854	0,1147	1,459	8,718	95,44	134,59	39,15
— 20	1,5396	0,6868	0,1107	1,456	9,034	95,65	134,71	39,06
— 19	1,6005	0,6882	0,1067	1,453	9,372	95,87	134,83	38,96
— 18	1,6627	0,6897	0,1030	1,450	9,709	96,08	134,95	38,87
— 17	1,7275	0,6911	0,09938	1,447	10,06	96,29	135,06	38,77
— 16	1,7940	0,6925	0,09597	1,444	10,42	96,50	135,17	38,67
— 15	1,8622	0,6940	0,09268	1,441	10,79	96,72	135,29	38,57
— 14	1,9321	0,6954	0,08952	1,438	11,17	96,93	135,40	38,47
— 13	2,0050	0,6973	0,08650	1,434	11,56	97,15	135,52	38,37
— 12	2,0793	0,6988	0,08361	1,431	11,96	97,36	135,63	38,27
— 11	2,1555	0,7003	0,08082	1,428	12,37	97,58	135,75	38,17
— 10	2,2342	0,7018	0,07813	1,425	12,80	97,80	135,87	38,07
— 9	2,3148	0,7032	0,07558	1,422	13,23	98,02	135,98	37,96
— 8	2,3984	0,7047	0,07313	1,419	13,68	98,23	136,09	37,86
— 7	2,4833	0,7062	0,07078	1,416	14,13	98,45	136,20	37,75
— 6	2,5712	0,7077	0,06852	1,413	14,60	98,67	136,32	37,65
— 5	2,6602	0,7092	0,06635	1,410	15,08	98,89	136,43	37,54
— 4	2,7531	0,7107	0,06427	1,407	15,57	99,11	136,54	37,43
— 3	2,8479	0,7127	0,06226	1,403	16,07	99,33	136,65	37,32
— 2	2,9439	0,7143	0,06028	1,400	16,59	99,56	136,77	37,21
— 1	3,0446	0,7158	0,05844	1,397	17,11	99,78	136,88	37,10
0	3,1465	0,7173	0,05667	1,394	17,65	100,00	136,99	36,99

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.2.
Ψυκτικό μέσο R12.

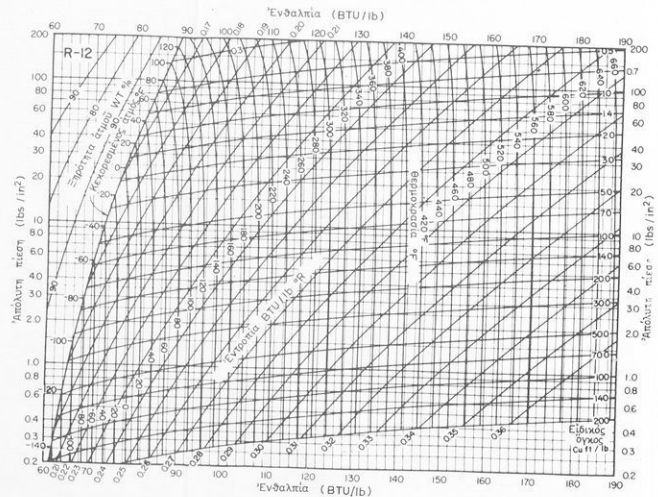
Θερμοκρασία T °C	Απόλυτη πίεση p at	Είδικός όγκος		Πυκνότητα		Ένθαλπία		Θερμότητα ατμοποίησης $r = h'' - h'$ kcal/kg
		ατμού v' l/kg	υγρού v'' m ³ /kg	υγρού ρ' kg/l	ατμού ρ'' kg/m ³	υγρού h' kcal/kg	ατμού h'' kcal/kg	
+ 1	3,2511	0,7189	0,05496	1,391	18,20	100,22	137,10	36,88
+ 2	3,3583	0,7205	0,05330	1,388	18,76	100,45	137,21	36,76
+ 3	3,4676	0,7220	0,05168	1,385	19,35	100,67	137,32	36,65
+ 4	3,5804	0,7241	0,05012	1,381	19,95	100,90	137,43	36,53
+ 5	3,6959	0,7257	0,04863	1,378	20,56	101,12	137,54	36,42
+ 6	3,8135	0,7273	0,04721	1,375	21,18	101,35	137,65	36,30
+ 7	3,9348	0,7289	0,04583	1,372	21,82	101,58	137,76	36,18
+ 8	4,0582	0,7310	0,04450	1,368	22,47	101,80	137,86	36,06
+ 9	4,1853	0,7326	0,04323	1,365	23,13	102,03	137,97	35,94
+ 10	4,3135	0,7342	0,04204	1,362	23,79	102,26	138,08	35,82
+ 11	4,4466	0,7358	0,04086	1,359	24,48	102,49	138,18	35,69
+ 12	4,5828	0,7380	0,03970	1,355	25,19	102,72	138,29	35,57
+ 13	4,7209	0,7396	0,03858	1,352	25,92	102,95	138,39	35,44
+ 14	4,8621	0,7413	0,03751	1,349	26,66	103,18	138,49	35,31
+ 15	5,0076	0,7435	0,03648	1,345	27,41	103,42	138,61	35,19
+ 16	5,1550	0,7452	0,03547	1,342	28,19	103,65	138,70	35,05
+ 17	5,3067	0,7468	0,03449	1,339	28,99	103,88	138,81	34,93
+ 18	5,4605	0,7491	0,03354	1,335	29,87	104,12	138,91	34,79
+ 19	5,6172	0,7507	0,03263	1,332	30,65	104,35	139,01	34,66
+ 20	5,7786	0,7524	0,03175	1,329	31,50	104,59	139,12	34,53
+ 21	5,9432	0,7547	0,03089	1,325	32,38	104,82	139,21	34,39
+ 22	6,1112	0,7570	0,03005	1,321	33,28	105,06	139,31	34,25
+ 23	6,2825	0,7587	0,02925	1,318	34,19	105,29	139,40	34,11
+ 24	6,4584	0,7605	0,02848	1,315	35,11	105,53	139,50	33,97
+ 25	6,6363	0,7628	0,02773	1,311	36,07	105,77	139,61	33,84
+ 26	6,8175	0,7645	0,02700	1,308	37,04	106,01	139,70	33,69
+ 27	7,0020	0,7669	0,02629	1,304	38,04	106,25	139,79	33,54
+ 28	7,1933	0,7692	0,02560	1,300	39,06	106,49	139,89	33,40
+ 29	7,3863	0,7710	0,02494	1,297	40,10	106,73	139,98	33,25
+ 30	7,5810	0,7734	0,02433	1,293	41,11	106,97	140,08	33,11
+ 31	7,7826	0,7758	0,02371	1,289	42,18	107,21	140,16	32,95
+ 32	7,9897	0,7782	0,02309	1,285	43,31	107,45	140,25	32,80
+ 33	8,2003	0,7800	0,02250	1,282	44,45	107,69	140,34	32,65
+ 34	8,4087	0,7825	0,02192	1,278	45,62	107,94	140,43	32,49
+ 35	8,6264	0,7849	0,02136	1,274	46,81	108,18	140,51	32,33
+ 36	8,8475	0,7874	0,02083	1,270	48,01	108,43	140,61	32,18
+ 37	9,0726	0,7893	0,02030	1,267	49,25	108,67	140,69	32,02
+ 38	9,2989	0,7918	0,01980	1,263	50,51	108,92	140,77	31,85
+ 39	9,5351	0,7943	0,01931	1,259	51,79	109,16	140,85	31,69
+ 40	9,7707	0,7968	0,01882	1,255	53,13	109,41	140,94	31,53
+ 41	10,014	0,7994	0,01835	1,251	54,49	109,66	141,02	31,36
+ 42	10,257	0,8019	0,01789	1,247	55,90	109,91	141,10	31,19
+ 43	10,511	0,8045	0,01744	1,243	57,34	110,16	141,18	31,02
+ 44	10,763	0,8071	0,01700	1,239	58,83	110,41	141,25	30,84
+ 45	11,023	0,8104	0,01656	1,234	60,38	110,66	141,33	30,67
+ 46	11,283	0,8130	0,01614	1,230	61,95	110,91	141,40	30,49
+ 47	11,553	0,8157	0,01573	1,226	63,57	111,15	141,48	30,31
+ 48	11,828	0,8190	0,01533	1,221	65,24	111,42	141,56	30,14
+ 49	12,108	0,8217	0,01494	1,217	66,94	111,67	141,64	29,97
+ 50	12,386	0,8244	0,01459	1,213	68,56	111,94	141,73	29,79
+ 55	13,868	0,8410	0,01316	1,189	75,98	113,25	142,13	28,88
+ 60	15,481	0,8568	0,01167	1,167	85,69	114,57	142,49	27,92
+ 65	17,216	0,8741	0,01036	1,114	96,52	115,92	142,82	26,90
+ 70	19,096	0,8936	0,00919	1,119	108,81	117,29	143,09	25,80
+ 75	21,125	0,9149	0,00814	1,093	122,85	118,69	143,31	24,62
+ 80	23,290	0,9398	0,00723	1,064	138,31	120,13	143,46	23,33
+ 85	25,620	0,9680	0,00639	1,033	156,49	121,61	143,51	21,90
+ 90	28,107	1,0009	0,00564	0,999	177,30	123,12	143,41	20,29
+ 95	30,771	1,0416	0,00497	0,960	201,20	124,69	143,11	18,42
+ 100	33,614	1,0952	0,00437	0,913	228,83	126,36	142,51	16,15
+ 105	36,654	1,1736	0,00359	0,852	278,48	128,13	141,51	13,38
+ 110	39,874	1,3513	0,00266	0,742	374,93	131,44	138,89	7,45
+ 115,5 (krit.)	40,879	1,7934	0,00179	0,558	557,59	134,75	134,75	0



Σχ. 2.4β.
Ψυκτικό μέσο R12.



Σχ. 2.4γ.
Ψυκτικό μέσο R12.



Σχ. 2.4δ.
Ψυκτικό μέσο R12.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.3.
Ψυκτικό μέτρο R12 — Μονάδες Η.Π.Α.

69

Θερμοκρασία °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ένθαλπία Btu/lb			Θερμοκρασία °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ένθαλπία Btu/lb		
	psia				άτμος	υγρό	άτμος		psia				άτμος	υγρό	άτμος
	psia	psig	V _g	l/v _f	h _f	h _g	h _g		psia	psig	V _g	l/v _f	h _f	h _g	
-152	0.13799	29.6402*	197.58	104.52	-23.106	60.628	60.628	55	66.743	52.047	0.60453	84.544	20.634	82.924	82.924
-150	0.13539	29.6409*	197.65	104.52	-22.697	60.637	60.637	56	67.853	53.157	0.59495	84.544	20.859	83.027	83.027
-145	0.19933	29.51537*	139.83	103.95	-21.674	61.365	61.365	57	68.977	54.281	0.58554	84.185	21.086	83.119	83.119
-140	0.25623	29.39951*	110.46	103.54	-20.652	61.896	61.896	58	70.115	55.419	0.57632	84.305	21.312	83.215	83.215
-135	0.32641	29.25663*	88.023	103.13	-19.631	62.430	62.430	59	71.267	56.571	0.56727	84.065	21.539	83.312	83.312
-130	0.41224	29.08187*	70.730	102.71	-18.609	62.968	62.968	60	72.433	57.737	0.55839	83.944	21.766	83.409	83.409
-125	0.51641	28.86978*	57.283	102.29	-17.587	63.509	63.509	61	73.613	58.917	0.54967	83.823	21.993	83.505	83.505
-120	0.64190	28.61420*	46.741	101.87	-16.565	64.052	64.052	62	74.807	60.111	0.54112	83.701	22.221	83.601	83.601
-115	0.79200	28.30869*	38.410	101.45	-15.541	64.598	64.598	63	76.016	61.320	0.53273	83.580	22.448	83.696	83.696
-110	0.97034	27.94558*	31.777	101.02	-14.518	65.145	65.145	64	77.239	62.543	0.52450	83.457	22.676	83.792	83.792
-105	1.1809	27.5169*	26.458	100.59	-13.492	65.696	65.696	65	78.477	63.781	0.51642	83.335	22.905	83.887	83.887
-100	1.4280	27.0138*	22.164	100.15	-12.466	66.248	66.248	66	79.729	65.033	0.50848	83.212	23.133	83.982	83.982
-95	1.7163	26.4268*	18.674	99.715	-11.438	66.801	66.801	67	80.996	66.300	0.50070	83.089	23.362	84.077	84.077
-90	2.0509	25.7456*	15.821	99.274	-10.409	67.353	67.353	68	82.278	67.583	0.49305	82.965	23.591	84.171	84.171
-85	2.4371	24.9993*	13.474	98.830	-9.3782	67.911	67.911	69	83.576	68.880	0.48555	82.841	23.821	84.266	84.266
-80	2.8807	24.0560*	11.533	98.382	-8.3451	68.467	68.467	70	84.888	70.192	0.47818	82.717	24.050	84.359	84.359
-75	3.3879	22.0234*	9.9184	97.930	-7.3101	69.023	69.023	71	86.216	71.520	0.47094	82.592	24.281	84.453	84.453
-70	3.9651	21.8482*	8.7475	97.475	-6.2730	69.580	69.580	72	87.559	72.863	0.46383	82.467	24.511	84.546	84.546
-65	4.6139	20.5164*	7.4347	97.015	-5.2336	70.137	70.137	73	88.918	74.222	0.45686	82.341	24.741	84.639	84.639
-60	5.3575	19.0133*	6.4774	96.553	-4.1919	70.693	70.693	74	90.292	75.596	0.45000	82.215	24.973	84.732	84.732
-55	6.1874	17.3237*	5.6656	96.086	-3.1477	71.249	71.249	75	91.682	76.986	0.44327	82.089	25.204	84.825	84.825
-50	7.1168	15.4313*	4.9242	95.616	-2.1011	71.805	71.805	76	93.087	78.391	0.43666	81.962	25.435	84.916	84.916
-45	8.1540	13.3196*	4.3828	95.141	-1.0519	72.359	72.359	77	94.509	79.813	0.43016	81.835	25.667	85.008	85.008
-40	9.3076	10.9768*	3.8750	94.661	0.0000	72.913	72.913	78	95.946	81.250	0.42378	81.707	25.899	85.100	85.100
-35	10.586	8.367*	3.4273	94.178	1.0546	73.484	73.484	79	97.400	82.704	0.41751	81.579	26.132	85.191	85.191
-30	11.999	5.490*	3.0585	93.690	2.1120	74.015	74.015	80	98.870	84.174	0.41135	81.450	26.365	85.282	85.282
-28	12.604	4.229*	2.9214	93.493	2.5358	74.234	74.234	81	100.36	85.66	0.40530	81.322	26.598	85.373	85.373
-26	13.233	2.979*	2.7917	93.296	2.9601	74.454	74.454	82	101.86	87.16	0.39935	81.192	26.832	85.463	85.463
-24	13.886	1.649*	2.6691	93.098	3.3848	74.673	74.673	83	103.38	88.68	0.39351	81.063	27.065	85.553	85.553
-22	14.564	0.270*	2.5529	92.899	3.8100	74.891	74.891	84	104.92	90.22	0.38776	80.932	27.300	85.643	85.643
-20	15.267	0.571	2.4429	92.699	4.2357	75.110	75.110	85	106.47	91.77	0.38212	80.802	27.534	85.732	85.732
-18	15.996	1.300	2.3387	92.499	4.6618	75.328	75.328	86	108.04	93.34	0.37657	80.671	27.769	85.821	85.821
-16	16.753	2.057	2.2399	92.298	5.0875	75.545	75.545	87	109.63	94.93	0.37111	80.539	28.005	85.910	85.910
-14	17.536	2.840	2.1481	92.096	5.5157	75.762	75.762	88	111.23	96.53	0.36575	80.407	28.241	86.001	86.001
-12	18.348	3.652	2.0572	91.893	5.9434	75.979	75.979	89	112.85	98.15	0.36047	80.275	28.477	86.086	86.086
-10	19.189	4.493	1.9727	91.689	6.3716	76.196	76.196	90	114.49	99.79	0.35529	80.142	28.713	86.174	86.174
-8	20.059	5.363	1.8924	91.485	6.8003	76.411	76.411	92	117.82	103.12	0.34818	79.974	29.187	86.348	86.348
-6	20.960	6.264	1.8161	91.280	7.2296	76.627	76.627	93	121.22	106.59	0.34024	79.805	29.660	86.521	86.521
-4	21.891	7.195	1.7436	91.074	7.6594	76.842	76.842	94	124.70	110.00	0.33294	79.634	30.140	86.691	86.691
-2	22.854	8.158	1.6745	90.867	8.0898	77.057	77.057	96	128.24	113.54	0.32569	79.461	30.619	86.861	86.861
0	23.849	9.153	1.6089	90.659	8.5207	77.271	77.271	100	131.86	117.16	0.30794	78.785	31.100	87.029	87.029
2	24.878	10.182	1.5463	90.450	8.9522	77.485	77.485	102	135.56	120.86	0.29957	78.508	31.583	87.196	87.196
4	25.939	11.243	1.4867	90.240	9.3843	77.698	77.698	104	139.33	124.63	0.29106	78.228	32.067	87.362	87.362
6	27.036	12.347	1.4290	90.030	9.8165	77.911	77.911	106	143.18	128.48	0.28303	77.946	32.553	87.523	87.523
8	28.167	13.471	1.3758	89.818	10.250	78.123	78.123	108	147.11	132.41	0.27524	77.662	33.041	87.684	87.684
10	29.335	14.639	1.3241	89.606	10.684	78.335	78.335	110	151.11	136.41	0.26769	77.376	33.531	87.844	87.844
12	30.539	15.843	1.2748	89.392	11.118	78.546	78.546	112	155.19	140.49	0.26037	77.087	34.023	88.001	88.001
14	31.780	17.084	1.2278	89.178	11.554	78.757	78.757	114	159.36	144.66	0.25328	76.795	34.517	88.156	88.156
16	33.060	18.364	1.1828	88.962	11.989	78.966	78.966	116	163.61	148.91	0.24641	76.501	35.012	88.310	88.310
18	34.378	19.682	1.1399	88.746	12.426	79.176	79.176	120	172.35	157.65	0.23326	75.906	36.013	88.610	88.610
20	35.736	21.040	1.0988	88.529	12.863	79.385	79.385	122	176.85	162.15	0.22698	75.604	36.516	88.757	88.757
22	37.135	22.439	1.0596	88.310	13.300	79.593	79.593	124	181.43	166.73	0.22089	75.299	37.021	88.902	88.902
24	38.574	23.878	1.0220	88.091	13.739	79.800	79.800	126	186.10	171.40	0.21497	74.991	37.529	89.044	89.044
26	40.056	25.360	0.98612	87.870	14.178	80.007	80.007	128	190.86	176.16	0.20922	74.680	38.040	89.184	89.184
28	41.580	26.884	0.95173	87.649	14.618	80.214	80.214	130	195.71	181.01	0.20364	74.367	38.553	89.321	89.321
30	43.148	28.452	0.91881	87.426	15.058	80.419	80.419	132	200.67	185.94	0.19821	74.050	39.069	89.456	89.456
32	44.760	30.064	0.88722	87.202	15.500	80.624	80.624	134	205.67	190.97	0.19294	73.732	39.588	89.588	89.588
34	46.417	31.721	0.85702	86.977	15.942	80.828	80.828	136	210.71	196.09	0.18782	73.406	40.103	89.718	89.718
36	48.120	33.424	0.82803	86.751	16.384	81.031	81.031	138	216.01	201.31	0.18283	73.079	40.634	89.844	89.844
38	49.869	35.173	0.80023	86.524	16.828	81.234	81.234	140	221.32	206.62	0.17799	72.748	41.162	89.967	89.967
40	51.667	36.971	0.77676	86.290	17.273	81.436	81.436	142	226.66	212.00	0.17324	72.416	41.690	90.087	90.087
42	53.518	38.817	0.75557	86.056	17.718	81.637	81.637	144	232.03	217.46	0.16858	72.083	42.219	90.207	90.207
44	55.420	40.711	0.73441	85.822	18.164	81.837	81.837	146	237.43	222.99	0.16396	71.749	42.748	90.327	90.327
46	57.373	42.657	0.71448	85.588	18.611	82.037									

Στόν Πίνακα 2.4.2 και στο διάγραμμα του σχήματος 2.4β χρησιμοποιείται ως μονάδα πίεσεως ή τεχνική ατμόσφαιρα at και ως μονάδα ενέργειας ή χιλιοθερμίδα kcal. Αυτό πρέπει να το έχουμε υπόψη μας κατά τους υπολογισμούς.

Για να γίνει ο υπολογισμός σε αγγλοσαξωνικές μονάδες, δίνονται ο Πίνακας 2.4.3 και τα διαγράμματα (σχ. 2.4γ και 2.4δ).

Το πρώτο από τα διαγράμματα αναφέρεται σε ολόκληρη την περιοχή του ψυκτικού μέσου R12 και το δεύτερο δίνει, με μεγαλύτερη λεπτομέρεια, την περιοχή του υπέρθερμου ατμού όπου γίνεται η συμπίεση.

Πρέπει να τονισθεί ότι πολλοί από τους πίνακες και τα διαγράμματα έχουν διαφορετική αρχή μετρήσεως ενθαλπίας. Έτσι, μόνο **διαφορές** ενθαλπίας πρέπει να μεταφέρονται από ένα τύπο διαγράμματος ή από έναν πίνακα σε άλλο. Τίς ίδιες τιμές ενθαλπίας έχουν οι έξι ομάδες:

- Πίνακας 2.4.1 και σχήμα 2.4α.
- Πίνακας 2.4.2 και σχήμα 2.4β.
- Πίνακας 2.4.3 και σχήμα 2.4γ και 2.4δ.

2.5 Ψυκτικό μέσο 717 (NH₃).

Έχει πολύ μεγάλη εφαρμογή κυρίως σε μεσαίες και μεγάλες εγκαταστάσεις.

Για να γίνουν οι απαιτούμενοι υπολογισμοί δίνονται τα θερμοδυναμικά μεγέθη. Λόγω της μεγάλης διαδόσεώς του πρέπει να δοθούν οι τιμές των θερμοδυναμικών μεγεθών τόσο σε μετρικό όσο και σε αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων.

Ο Πίνακας 2.5.1 αναφέρεται σε μετρικές μονάδες. Έχει όμως ως μονάδα πίεσεως την τεχνική ατμόσφαιρα at και ως μονάδα ενέργειας τη χιλιοθερμίδα.

Το ίδιο από απόψεως μονάδων ισχύει και για τα δύο διαγράμματα των σχημάτων 2.5α και 2.5β. Το διάγραμμα του σχήματος 2.5α είναι καταλληλότερο για τις χαμηλές θερμοκρασίες και φυσικά και τις πιέσεις, ενώ το διάγραμμα στο σχήμα 2.5β είναι κατάλληλο για θερμοκρασίες πάνω από 0°C.

Ο Πίνακας 2.5.2 είναι για αγγλοσαξωνικές μονάδες. Πρέπει να σημειωθεί ότι η θερμοκρασιακή κλίμακα σε βαθμούς Φάρενάϊτ είναι λεπτομερέστερη από την κλίμακα εκατονταβαθμίου, γιατί κάθε διαφορά ενός βαθμού Φάρενάϊτ αντιστοιχεί περίπου σε διαφορά μισού (άκριβώς 5/9) βαθμού Κελσίου.

Τό αντίστοιχο με τον Πίνακα 2.5.2 διάγραμμα με αγγλοσαξωνικές μονάδες, είναι τό διάγραμμα του σχήματος 2.5γ.

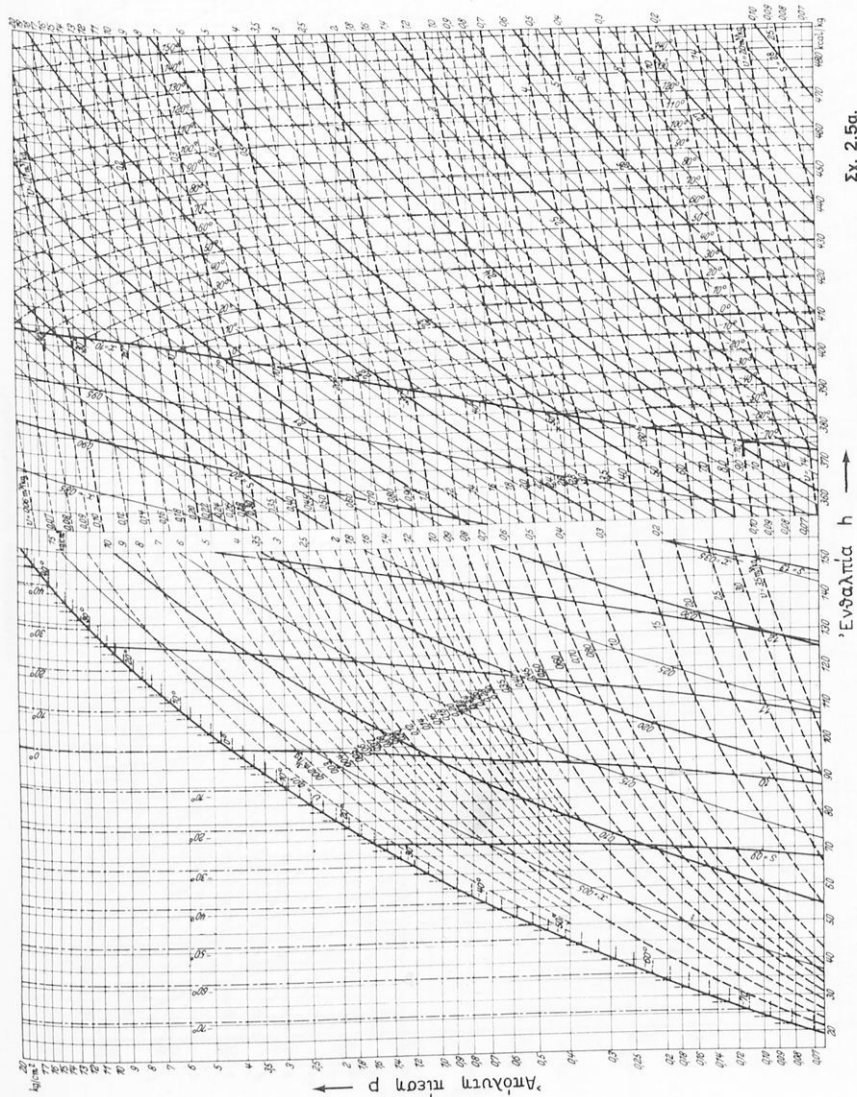
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5.1.
Ψυκτικό Μέσο 717 (NH₃)

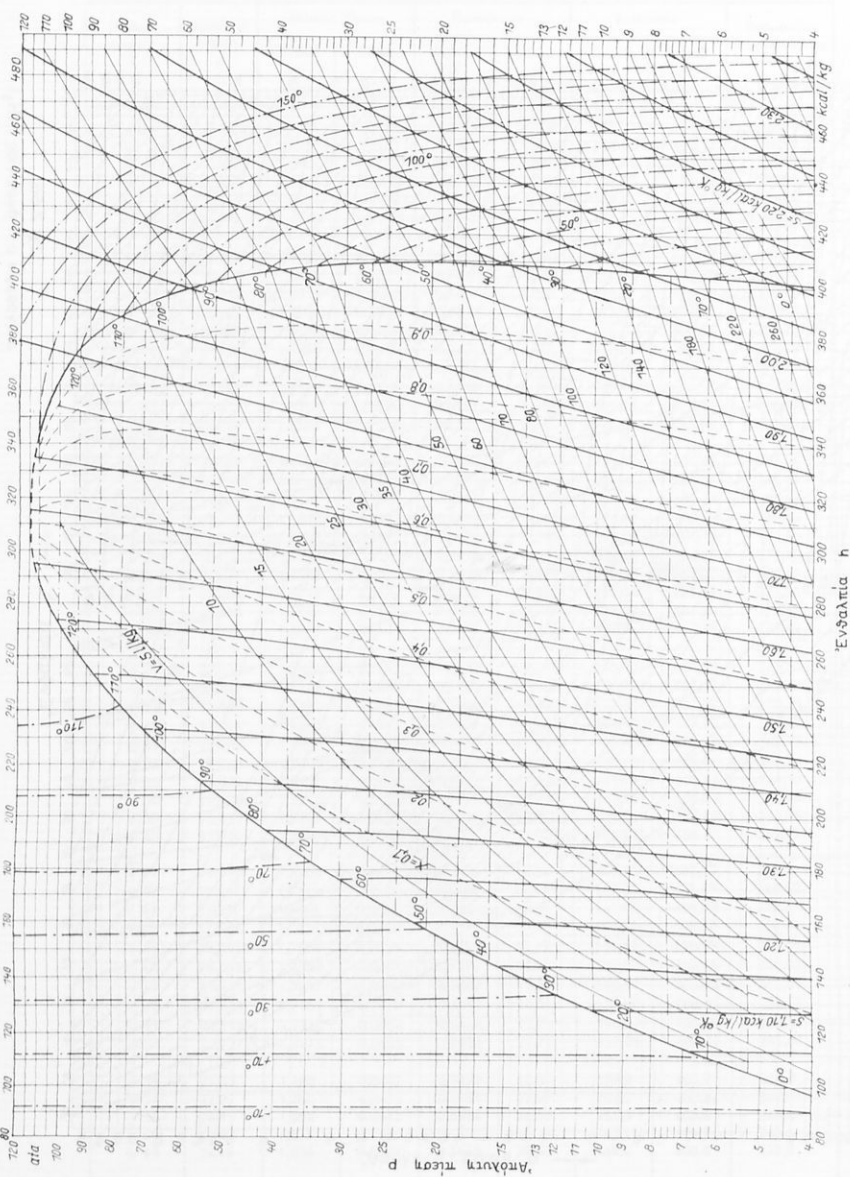
Θερμο- κρασία T °C	Απόλυτη πίεση p kg/cm ²	Ειδικός Όγκος		Πυκνότητα		Ένθαλπία		Θερμότητα ατμοποίησης r = h'' - h' kcal/kg
		ύγρου v' l/kg	ατμού v'' m ³ /kg	ύγρου ρ' kg/l	ατμού ρ'' kg/m ³	ύγρου h' kcal/kg	ατμού h'' kcal/kg	
-75	0,0765	1,368	12,89	0,7310	0,0775	20,9	373,5	352,6
-70	0,1114	1,3788	9,009	0,7253	0,1110	25,9	375,7	349,8
-68	0,1287	1,3832	7,870	0,7230	0,1271	27,9	376,6	348,7
-66	0,1485	1,3876	6,882	0,7207	0,1453	29,9	377,4	347,5
-64	0,1706	1,3920	6,044	0,7184	0,1655	32,0	378,3	346,3
-62	0,1954	1,3965	5,324	0,7161	0,1878	34,0	379,1	345,1
-60	0,2233	1,4010	4,699	0,7138	0,2128	36,0	380,0	344,0
-58	0,2543	1,4056	4,161	0,7114	0,2403	38,1	380,8	342,7
-56	0,2889	1,4103	3,693	0,7091	0,2708	40,2	381,7	341,5
-54	0,3272	1,4150	3,288	0,7067	0,3041	42,2	382,5	340,3
-52	0,3697	1,4197	2,933	0,7044	0,3409	44,2	383,3	339,1
-50	0,4168	1,4245	2,623	0,7020	0,3812	46,3	384,1	337,8
-48	0,4686	1,4293	2,351	0,6996	0,425	48,4	384,9	336,6
-46	0,5256	1,4242	2,112	0,6972	0,473	50,4	385,7	335,3
-44	0,5882	1,4392	1,901	0,6948	0,526	52,5	386,5	334,0
-42	0,6568	1,4442	1,715	0,6924	0,583	54,6	387,3	332,7
-40	0,7318	1,4493	1,550	0,6900	0,645	56,8	388,1	331,3
-39	0,7719	1,4519	1,4752	0,6888	0,678	57,82	388,49	330,67
-38	0,8137	1,4545	1,4045	0,6875	0,712	58,88	388,88	329,99
-37	0,8573	1,4571	1,3377	0,6863	0,748	59,94	389,27	329,31
-36	0,9028	1,4597	1,2746	0,6851	0,785	61,01	389,65	328,63
-35	0,9503	1,4623	1,2151	0,6839	0,823	62,08	390,03	327,95
-34	0,9999	1,4649	1,1589	0,6826	0,863	63,15	390,41	327,26
-33	1,0515	1,4676	1,1058	0,6814	0,905	64,21	390,79	326,57
-32	1,1052	1,4703	1,0555	0,6801	0,948	65,28	391,17	325,88
-31	1,1610	1,4730	1,0080	0,6789	0,992	66,35	391,54	325,19
-30	1,2190	1,4757	0,9630	0,6777	1,038	67,42	391,91	324,49
-29	1,279	1,4784	0,9204	0,6764	1,086	68,49	392,28	323,79
-28	1,342	1,4811	0,8801	0,6752	1,136	69,56	392,64	323,08
-27	1,407	1,4839	0,8418	0,6739	1,188	70,63	393,00	322,37
-26	1,475	1,4867	0,8056	0,6726	1,242	71,71	393,36	321,66
-25	1,546	1,4895	0,7712	0,6714	1,297	72,78	393,72	320,94
-24	1,619	1,4923	0,7386	0,6701	1,354	73,86	394,07	320,22
-23	1,695	1,4951	0,7076	0,6688	1,413	74,93	394,42	319,49
-22	1,774	1,4980	0,6782	0,6676	1,474	76,01	394,77	318,76
-21	1,856	1,5008	0,6502	0,6663	1,538	77,09	395,12	318,03
-20	1,940	1,5037	0,6236	0,6650	1,604	78,17	395,46	317,29
-19	2,027	1,5066	0,5983	0,6637	1,672	79,25	395,80	316,55
-18	2,117	1,5096	0,5742	0,6624	1,742	80,33	396,13	315,80
-17	2,211	1,5125	0,5513	0,6611	1,814	81,41	396,46	315,05
-16	2,309	1,5155	0,5295	0,6598	1,889	82,50	396,79	314,29
-15	2,410	1,5185	0,5087	0,6585	1,966	83,59	397,12	313,53
-14	2,514	1,5215	0,4889	0,6572	2,046	84,68	397,44	312,76
-13	2,621	1,5245	0,4700	0,6559	2,128	85,76	397,75	311,99
-12	2,732	1,5276	0,4520	0,6546	2,213	86,85	398,06	311,21
-11	2,847	1,5307	0,4348	0,6533	2,300	87,94	398,37	310,43
-10	2,966	1,5338	0,4184	0,6520	2,390	89,03	398,67	309,64
-9	3,089	1,5369	0,4028	0,6507	2,483	90,12	398,97	308,85
-8	3,216	1,5400	0,3878	0,6493	2,579	91,21	399,27	308,06
-7	3,347	1,5432	0,3735	0,6480	2,678	92,30	399,56	307,25
-6	3,481	1,5464	0,3599	0,6467	2,779	93,40	399,85	306,45
-5	3,619	1,5496	0,3469	0,6453	2,883	94,50	400,14	305,64
-4	3,761	1,5528	0,3344	0,6440	2,991	95,59	400,42	304,83
-3	3,908	1,5561	0,3225	0,6426	3,102	96,69	400,70	304,01
-2	4,060	1,5594	0,3111	0,6413	3,216	97,79	400,98	303,19
-1	4,217	1,5627	0,3002	0,6399	3,332	98,89	401,25	302,36
0	4,379	1,5660	0,2897	0,6386	3,452	100,00	401,52	301,52
+ 1	4,545	1,5694	0,2797	0,6372	3,576	101,10	401,78	300,68
+ 2	4,716	1,5727	0,2700	0,6358	3,703	102,21	402,04	299,84
+ 3	4,892	1,5761	0,2608	0,6345	3,834	103,32	402,30	298,99
+ 4	5,073	1,5796	0,2520	0,6331	3,969	104,43	402,55	298,13

(συνεχίζεται)

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5.1.
Ψυκτικό Μέσο 717 (NH₃)

Θερμο- κρασία T °C	Απόλυτη πίεση p at	Ειδικός Όγκος		Πυκνότητα		Ένθαλπία		Θερμότητα ατμοποίησης $r = h'' - h'$ kcal/kg
		υγρού v' l/kg	ατμού v'' m ³ /kg	υγρού ρ' kg/l	ατμού ρ'' kg/m ³	υγρού h' kcal/kg	ατμού h'' kcal/kg	
+ 5	5,259	1,5831	0,2435	0,6317	4,108	105,54	402,80	297,26
+ 6	5,450	1,5866	0,2353	0,6303	4,250	106,65	403,04	296,39
+ 7	5,647	1,5901	0,2275	0,6289	4,396	107,76	403,27	295,51
+ 8	5,849	1,5936	0,2200	0,6275	4,546	108,87	403,50	294,63
+ 9	6,057	1,5972	0,2128	0,6261	4,700	109,99	403,73	293,74
+ 10	6,271	1,6008	0,2058	0,6247	4,859	111,11	403,95	292,84
+ 11	6,490	1,6045	0,1992	0,6233	5,022	112,23	404,17	291,94
+ 12	6,715	1,6081	0,1927	0,6218	5,189	113,35	404,38	291,03
+ 13	6,946	1,6118	0,1866	0,6204	5,361	114,47	404,59	290,12
+ 14	7,183	1,6156	0,1806	0,6190	5,537	115,59	404,79	289,20
+ 15	7,427	1,6193	0,1749	0,6175	5,718	116,72	404,99	288,27
+ 16	7,677	1,6231	0,1694	0,6161	5,904	117,85	405,19	287,34
+ 17	7,933	1,6270	0,1642	0,6146	6,094	118,98	405,38	286,40
+ 18	8,196	1,6308	0,1591	0,6132	6,289	120,11	405,57	285,46
+ 19	8,465	1,6347	0,1542	0,6117	6,489	121,24	405,75	284,51
+ 20	8,741	1,6386	0,1494	0,6103	6,694	122,38	405,93	283,55
+ 21	9,024	1,6426	0,1449	0,6088	6,904	123,52	406,10	282,58
+ 22	9,314	1,6466	0,1405	0,6073	7,119	124,66	406,27	281,61
+ 23	9,611	1,6507	0,1363	0,6058	7,339	125,80	406,43	280,63
+ 24	9,915	1,6546	0,1322	0,6043	7,564	126,94	406,59	279,65
+ 25	10,225	1,6588	0,1283	0,6028	7,795	128,09	406,75	278,66
+ 26	10,544	1,6630	0,1245	0,6013	8,031	129,24	406,89	277,66
+ 27	10,870	1,6672	0,1209	0,5998	8,273	130,39	407,03	276,65
+ 28	11,204	1,6714	0,1174	0,5983	8,521	131,54	407,17	275,64
+ 29	11,546	1,6757	0,1140	0,5968	8,775	132,69	407,30	274,62
+ 30	11,895	1,6800	0,1107	0,5952	9,034	133,84	407,43	273,59
+ 31	12,252	1,6844	0,1075	0,5937	9,300	135,00	407,55	272,55
+ 32	12,617	1,6888	0,1045	0,5921	9,573	136,16	407,67	271,50
+ 33	12,991	1,6932	0,1015	0,5906	9,852	137,32	407,78	270,45
+ 34	13,374	1,6977	0,0986	0,5890	10,138	138,48	407,88	269,39
+ 35	13,765	1,7023	0,0959	0,5875	10,431	139,65	407,97	268,32
+ 36	14,165	1,7069	0,0932	0,5859	10,731	140,82	408,06	267,24
+ 37	14,573	1,7115	0,0906	0,5843	11,038	141,99	408,15	266,15
+ 38	14,990	1,7162	0,0881	0,5827	11,353	143,16	408,23	265,06
+ 39	15,415	1,7209	0,0857	0,5811	11,675	144,34	408,30	263,96
+ 40	15,850	1,7257	0,0833	0,5795	12,005	145,52	408,37	262,85
+ 41	16,294	1,7305	0,0810	0,5779	12,34	146,70	408,43	261,73
+ 42	16,747	1,7354	0,0788	0,5762	12,69	147,88	408,49	260,60
+ 43	17,210	1,7404	0,0767	0,5746	13,04	149,06	408,54	259,47
+ 44	17,682	1,7454	0,0746	0,5729	13,40	150,24	408,58	258,33
+ 45	18,165	1,7504	0,0726	0,5713	13,77	151,43	408,61	257,18
+ 46	18,658	1,7555	0,0707	0,5696	14,15	152,62	408,64	256,02
+ 47	19,161	1,7607	0,0688	0,5680	14,54	153,81	408,66	254,85
+ 48	19,673	1,7659	0,0670	0,5663	14,94	155,00	408,68	253,67
+ 49	20,195	1,7712	0,0652	0,5646	15,34	156,20	408,70	252,48
+ 50	20,727	1,7775	0,0635	0,5628	15,75	157,38	408,72	251,34
+ 52	21,83	1,788	0,0602	0,5591	16,59	159,8	408,7	248,9
+ 54	22,97	1,800	0,0572	0,5554	17,47	162,2	408,8	246,6
+ 56	24,15	1,812	0,0543	0,5516	18,39	164,6	408,8	244,2
+ 58	25,37	1,825	0,0515	0,5478	19,35	167,1	408,7	241,6
+ 60	26,66	1,838	0,0489	0,5440	20,35	169,6	408,6	238,0
+ 62	27,98	1,851	0,0464	0,5402	21,41	172,2	408,5	236,3
+ 64	29,36	1,864	0,0441	0,5364	22,53	174,8	408,3	233,5
+ 66	30,77	1,877	0,0420	0,5326	23,73	177,4	408,0	230,6
+ 68	32,25	1,891	0,0399	0,5288	25,01	180,0	407,7	227,7
+ 70	33,77	1,905	0,0379	0,5248	26,36	182,7	407,3	224,6

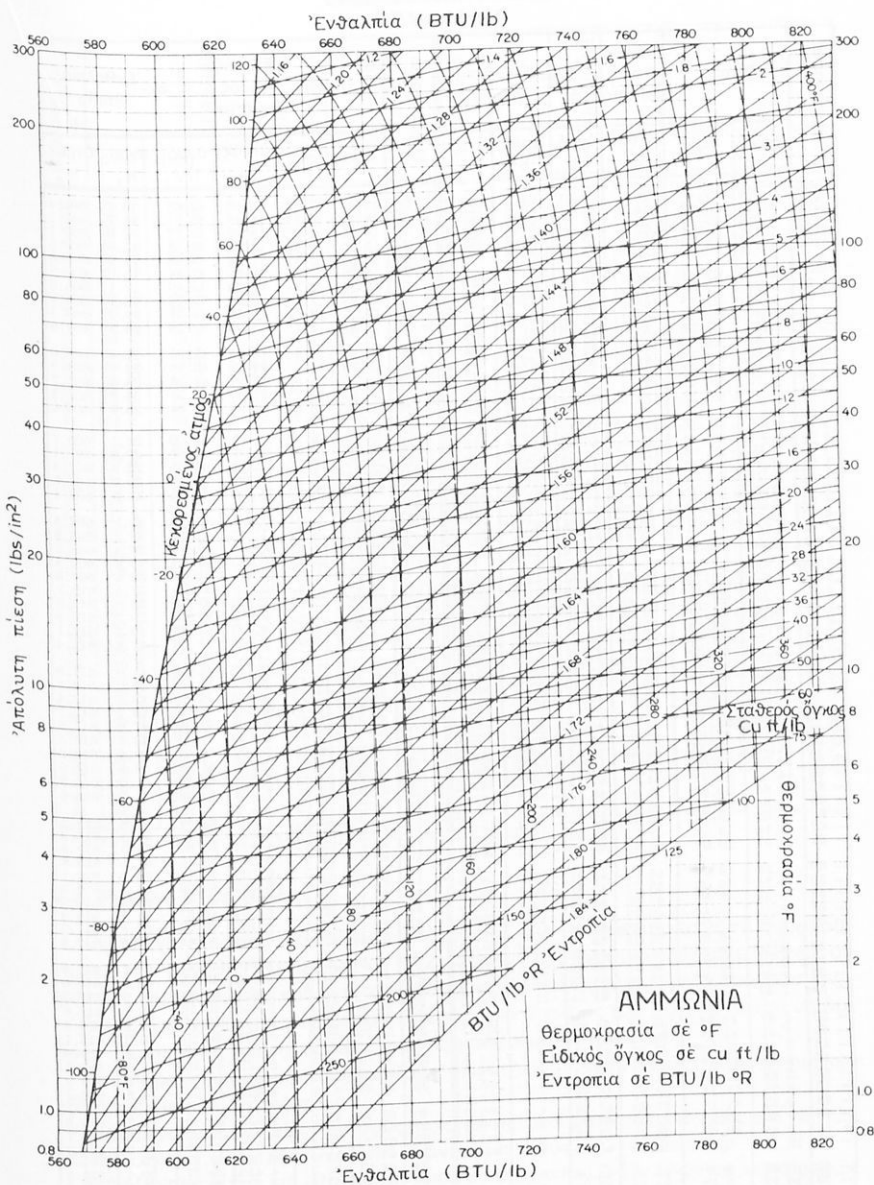




Ένθαλπια h

Σχ. 2.5β.

Διάγραμμα p - h άμμωνίας (NH_3).



Σχ. 2.5γ.
Ψυκτικό μέσο 717 (NH₃).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5.2.
Ψυκτικό Μέσο 717 (NH₃)
Μονάδες Η.Π.Α.

Θερμοκρασία °F	Πίεση		Είδικός δγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ένθαλπία Btu/lb			Θερμοκρασία °F	Πίεση		Είδικός δγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ένθαλπία Btu/lb		
	psia	psig			άτμος V _g	ύγρο 1/V _f	άτμος h _g		ύγρο h _f	psia			psig	άτμος V _g	ύγρο 1/V _f
-105	0.996	27.9*						-30	13.90	1.6*	18.97	42.65	10.7	601.4	
-104	1.041	27.8*	223.2	45.71	-68.5	570.3		-29	14.30	0.8*	18.48	42.61	11.7	601.7	
-103	1.087	27.7*	214.2	45.67	-67.5	570.7		-28	14.71	0.0	18.00	42.57	12.8	602.1	
-102	1.135	27.6*	205.7	45.63	-66.4	571.2		-27	15.12	0.4	17.54	42.54	13.9	602.5	
-101	1.184	27.5*	197.6	45.59	-65.4	571.6		-26	15.55	0.8	17.09	42.48	14.9	602.8	
			189.8	45.55	-64.3	572.1		-25	15.98	1.3	16.66	42.44	16.0	603.2	
-100	1.24	27.4*	182.4	45.52	-63.3	572.5		-24	16.24	1.7	16.24	42.40	17.1	603.6	
-99	1.29	27.3*	175.3	45.47	-62.2	572.9		-23	16.88	2.2	15.83	42.35	18.1	603.9	
-98	1.34	27.2*	168.5	45.43	-61.2	573.4		-22	17.34	2.6	15.43	42.31	19.2	604.3	
-97	1.40	27.1*	162.1	45.40	-60.1	573.8		-21	17.81	3.1	15.05	42.26	20.3	604.6	
-96	1.46	26.9*	155.9	45.36	-59.1	574.3									
-95	1.52	26.8*	150.0	45.32	-58.0	574.7		-20	18.30	3.6	14.68	42.22	21.4	605.0	
-94	1.59	26.7*	144.3	45.28	-57.0	575.1		-19	18.79	4.1	14.32	42.18	22.4	605.3	
-93	1.65	26.6*	138.9	45.24	-55.9	575.6		-18	19.30	4.6	13.97	42.13	23.5	605.7	
-92	1.72	26.4*	133.8	45.20	-54.9	576.0		-17	19.81	5.1	13.62	42.09	24.6	606.1	
-91	1.79	26.3*	128.9	45.16	-53.8	576.5		-16	20.34	5.6	13.29	42.04	25.6	606.4	
-90	1.86	26.1*	124.1	45.12	-52.8	576.9		-15	20.88	6.2	12.97	42.00	26.7	606.7	
-89	1.94	26.0*	119.6	45.08	-51.7	577.3		-14	21.43	6.7	12.66	41.96	27.8	607.1	
-88	2.02	25.8*	115.3	45.04	-50.7	577.8		-13	21.99	7.3	12.36	41.91	28.9	607.5	
-87	2.10	25.6*	111.1	45.00	-49.6	578.2		-12	22.56	7.9	12.06	41.87	30.0	607.8	
-86	2.18	25.5*	107.1	44.96	-48.6	578.6		-11	23.15	8.5	11.78	41.82	31.0	608.1	
-85	2.27	25.3*	103.3	44.92	-47.5	579.1									
-84	2.35	25.1*	99.68	44.88	-46.5	579.5		-10	23.74	9.0	11.50	41.78	32.1	608.5	
-83	2.45	24.9*	96.17	44.84	-45.4	579.9		-9	24.35	9.7	11.23	41.74	33.2	608.8	
-82	2.54	24.7*	92.81	44.80	-44.4	580.4		-8	24.97	10.3	10.97	41.69	34.3	609.2	
-81	2.64	24.5*	89.59	44.76	-43.3	580.8		-7	25.61	10.9	10.71	41.65	35.4	609.5	
								-6	26.26	11.6	10.47	41.60	36.4	609.8	
-80	2.74	24.3*	86.50	44.73	-42.2	581.2		-5	26.92	12.2	10.23	41.56	37.5	610.1	
-79	2.84	24.1*	83.54	44.68	-41.2	581.6		-4	27.59	12.9	9.991	41.52	38.6	610.5	
-78	2.95	23.9*	80.69	44.64	-40.1	582.1		-3	28.28	13.6	9.763	41.47	39.7	610.8	
-77	3.06	23.7*	77.96	44.60	-39.1	582.5		-2	28.98	14.3	9.541	41.43	40.7	611.1	
-76	3.18	23.5*	75.33	44.56	-38.0	582.9		-1	29.69	15.0	9.326	41.38	41.8	611.4	
-75	3.29	23.2*	72.81	44.52	-37.0	583.3									
-74	3.42	23.0*	70.39	44.48	-35.9	583.8		0	30.42	15.7	9.116	41.34	42.9	611.8	
-73	3.54	22.7*	68.06	44.44	-34.9	584.2		1	31.16	16.5	8.912	41.29	44.0	612.1	
-72	3.67	22.4*	65.82	44.40	-33.8	584.6		2	31.92	17.2	8.714	41.25	45.1	612.4	
-71	3.80	22.2*	63.67	44.36	-32.8	585.0		3	32.69	18.0	8.521	41.20	46.2	612.7	
								4	33.47	18.8	8.333	41.16	47.2	613.0	
-70	3.94	21.9*	61.60	44.32	-31.7	585.5		5	34.27	19.6	8.150	41.11	48.3	613.3	
-69	4.08	21.6*	59.61	44.28	-30.7	585.9		6	35.09	20.4	7.971	41.07	49.4	613.6	
-68	4.23	21.3*	57.69	44.24	-29.6	586.3		7	35.92	21.2	7.798	41.01	50.5	613.9	
-67	4.38	21.0*	55.85	44.19	-28.6	586.7		8	36.77	22.1	7.629	40.98	51.6	614.3	
-66	4.53	20.7*	54.08	44.15	-27.5	587.1		9	37.63	22.9	7.464	40.93	52.7	614.6	
-65	4.69	20.4*	52.37	44.11	-26.5	587.5									
-64	4.85	20.0*	50.73	44.07	-25.4	588.0		10	38.51	23.8	7.304	40.89	53.8	614.9	
-63	5.02	19.7*	49.14	44.03	-24.4	588.4		11	39.40	24.7	7.148	40.84	54.9	615.2	
-62	5.19	19.4*	47.62	43.99	-23.3	588.8		12	40.31	25.6	6.996	40.80	56.0	615.5	
-61	5.37	19.0*	46.15	43.95	-22.2	589.2		13	41.24	26.5	6.847	40.75	57.1	615.8	
-60	5.55	18.6*	44.73	43.91	-21.2	589.6		14	42.18	27.5	6.703	40.71	58.2	616.1	
-59	5.74	18.2*	43.37	43.87	-20.1	590.0		15	43.14	28.4	6.562	40.66	59.2	616.3	
-58	5.93	17.8*	42.05	43.83	-19.1	590.4		16	44.12	29.4	6.425	40.61	60.3	616.6	
-57	6.13	17.4*	40.79	43.78	-18.0	590.8		17	45.12	30.4	6.291	40.57	61.4	616.9	
-56	6.33	17.0*	39.56	43.74	-17.0	591.2		18	46.13	31.4	6.161	40.52	62.5	617.2	
-55	6.54	16.6*	38.38	43.70	-15.9	591.6		19	47.16	32.5	6.034	40.48	63.6	617.5	
-54	6.75	16.2*	37.24	43.66	-14.8	592.1									
-53	6.97	15.7*	36.15	43.62	-13.8	592.4		20	48.21	33.5	5.910	40.43	64.7	617.8	
-52	7.20	15.3*	35.09	43.58	-12.7	592.9		21	49.28	34.6	5.789	40.38	65.8	618.0	
-51	7.43	14.8*	34.06	43.54	-11.7	593.2		22	50.36	35.7	5.671	40.34	66.9	618.3	
								23	51.47	36.8	5.556	40.29	68.0	618.6	
-50	7.67	14.3*	33.08	43.49	-10.6	593.7		24	52.59	37.9	5.443	40.25	69.1	618.9	
-49	7.91	13.8*	32.12	43.45	-9.6	594.0		25	53.73	39.0	5.334	40.20	70.2	619.1	
-48	8.16	13.3*	31.20	43.41	-8.5	594.4		26	54.90	40.2	5.227	40.15	71.3	619.4	
-47	8.42	12.8*	30.31	43.37	-7.4	594.9		27	56.08	41.4	5.123	40.10	72.4	619.7	
-46	8.68	12.2*	29.45	43.33	-6.4	595.2		28	57.28	42.6	5.021	40.06	73.5	619.9	
-45	8.95	11.7*	28.62	43.28	-5.3	595.6		29	58.50	43.8	4.922	40.01	74.6	620.2	
-44	9.23	11.1*	27.82	43.24	-4.3	596.0									
-43	9.51	10.6*	27.04	43.20	-3.2	596.4		30	59.74	45.0	4.825	39.96	75.7	620.5	
-42	9.81	10.0*	26.29	43.16	-2.1	596.8		31	61.00	46.3	4.730	39.91	76.8	620.7	
-41	10.10	9.3*	25.56	43.12	-1.1	597.2		32	62.29	47.6	4.637	39.86	77.9	621.0	
								33	63.59	48.9	4.547	39.82	79.0	621.2	
-40	10.41	8.7*	24.86	43.08	0.0	597.6		34	64.91	50.2	4.459	39.77	80.1	621.5	
-39	10.72	8.1*	24.18	43.04	1.1	598.0		35	66.26	51.6	4.373	39.72	81.2	621.7	
-38	11.04	7.4*	23.53	42.99	2.1	598.3		36	67.63	52.9	4.289	39.67	82.3	622.0	
-37	11.37	6.8*	22.89	42.95	3.2	598.7		37	69.02	54.3	4.207	39.63	83.4	622.2	
-36	11.71	6.1*	22.27	42.90	4.3	599.1		38	70.43	55.7	4.126	39.58	84.6	622.5	
-35	12.05	5.4*	21.68	42.86	5.3	599.5		39	71.87	57.2	4.048	39.54	85.7	622.7	
-34	12.41	4.7*	21.10	42.82	6.4	599.9									
-33	12.77	3.9*	20.54	42.78	7.4	600.2		40	73.32	58.6	3.971	39.49	86.8	623.0	
-32	13.14	3.2*	20.00	42.73	8.5	600.6		41	74.80	60.1	3.897	39.44	87.9	623.2	
-31	13.52	2.4*	19.48	42.69	9.6	601.0		42	76.31	61.6	3.823	39.39	89.0	623.4	
								43	77.83	63.1	3.752	39.34	90.1	623.7	

(συνεχίζεται)

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5.2.
Ψυκτικό Μέσο 717 (NH₃)
Μονάδες Η.Π.Α.

77

Μονάδες Η.Π.Α.																	
Θερμοκρασία °F	Πίεση		Είδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ένθαλπία Btu/lb			Θερμοκρασία °F	Πίεση		Είδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ένθαλπία Btu/lb				
	psia	psig			άτμος V _g	υγρό 1/V _f	υγρό h _f		άτμος h _g	psia			psig	άτμος V _g	υγρό 1/V _f	υγρό h _f	άτμος h _g
44	79.38	64.7	3.682	39.29	91.2	623.9	86†	169.2	154.5	1.772	37.16	138.9	631.5				
45	80.96	66.3	3.614	39.24	92.3	624.1	87	172.0	157.3	1.744	37.11	140.1	631.7				
46	82.55	67.9	3.547	39.19	93.5	624.4	88	174.8	160.1	1.716	37.05	141.2	631.8				
47	84.18	69.5	3.481	39.14	94.6	624.6	89	177.7	163.0	1.688	37.00	142.4	631.9				
48	85.82	71.1	3.418	39.10	95.7	624.8	90	180.6	165.9	1.661	36.95	143.5	632.0				
49	87.49	72.8	3.355	39.05	96.8	625.0	91	183.6	168.9	1.635	36.89	144.7	632.1				
							92	186.6	171.9	1.609	36.84	145.8	632.2				
							93	189.6	174.9	1.584	36.78	147.0	632.3				
							94	192.7	178.0	1.559	36.73	148.2	632.5				
50	89.19	74.5	3.294	39.00	97.9	625.2											
51	90.91	76.2	3.234	38.95	99.1	625.5											
52	92.66	78.0	3.176	38.90	100.2	625.7											
53	94.43	79.7	3.119	38.85	101.3	625.9	95	195.8	181.1	1.534	36.67	149.4	632.6				
54	96.23	81.5	3.063	38.80	102.4	626.1	96	198.9	184.2	1.510	36.62	150.5	632.6				
55	98.06	83.4	3.008	38.75	103.5	626.3	97	202.1	187.4	1.487	36.56	151.7	632.8				
56	99.91	85.2	2.954	38.70	104.7	626.5	98	205.3	190.6	1.464	36.51	152.9	632.9				
57	101.8	87.1	2.902	38.65	105.8	626.7	99	208.6	193.9	1.441	36.45	154.0	632.9				
58	103.7	89.0	2.851	38.60	106.9	626.9											
59	105.6	90.9	2.800	38.55	108.1	627.1	100	211.9	197.2	1.419	36.40	155.2	633.0				
							101	215.2	200.5	1.397	36.34	156.4	633.1				
60	107.6	92.9	2.751	38.50	109.2	627.3	102	218.6	203.9	1.375	36.29	157.6	633.2				
61	109.6	94.9	2.703	38.45	110.3	627.5	103	222.0	207.3	1.354	36.23	158.7	633.3				
62	111.6	96.9	2.656	38.40	111.5	627.7	104	225.4	210.7	1.334	36.18	159.9	633.4				
63	113.6	98.9	2.610	38.35	112.6	627.9	105	228.9	214.2	1.313	36.12	161.1	633.5				
64	115.7	101.0	2.565	38.30	113.7	628.0	106	232.5	217.8	1.293	36.06	162.3	633.5				
65	117.8	103.1	2.520	38.25	114.8	628.2	107	236.0	221.3	1.274	36.01	163.5	633.6				
66	120.0	105.3	2.477	38.20	116.0	628.4	108	239.7	225.0	1.254	35.95	164.6	633.6				
67	122.1	107.4	2.435	38.15	117.1	628.6	109	243.3	228.6	1.235	35.90	165.8	633.7				
68	124.3	109.6	2.393	38.10	118.3	628.8											
69	126.5	111.8	2.352	38.05	119.4	628.9	110	247.0	232.3	1.217	35.84	167.0	633.7				
							111	250.8	236.1	1.198	35.78	168.2	633.8				
70	128.8	114.1	2.312	38.00	120.5	629.1	112	254.5	239.8	1.180	35.72	169.4	633.8				
71	131.1	116.4	2.273	37.95	121.7	629.3	113	258.4	243.7	1.163	35.67	170.6	633.9				
72	133.4	118.7	2.235	37.90	122.8	629.4	114	262.2	247.5	1.145	35.61	171.8	633.9				
73	135.7	121.0	2.197	37.84	124.0	629.6	115	266.2	251.5	1.128	35.55	173.0	633.9				
74	138.1	123.4	2.161	37.79	125.1	629.8	116	270.1	255.4	1.112	35.49	174.2	634.0				
75	140.5	125.8	2.125	37.74	126.2	629.9	117	274.1	259.4	1.095	35.43	175.4	634.0				
76	143.0	128.3	2.089	37.69	127.4	630.1	118	278.2	263.5	1.079	35.38	176.6	634.0				
77	145.4	130.7	2.055	37.64	128.5	630.2	119	282.3	267.6	1.063	35.32	177.8	634.0				
78	147.9	133.2	2.021	37.58	129.7	630.4											
79	150.5	135.8	1.988	37.53	130.8	630.5	120	286.4	271.7	1.047	35.26	179.0	634.0				
80	153.0	138.3	1.955	37.48	132.0	630.7	121	290.6	275.9	1.032	35.20	180.2	634.0				
							122	294.8	280.1	1.017	35.14	181.4	634.0				
81	155.6	140.9	1.923	37.43	133.1	630.8	123	299.1	284.4	1.002	35.08	182.6	634.0				
82	158.3	143.6	1.892	37.37	134.3	631.0	124	303.4	288.7	0.987	35.02	183.9	634.0				
83	161.0	146.3	1.861	37.32	135.4	631.1	125	307.8	293.1	0.973	34.96	185.1	634.0				
84	163.7	149.0	1.831	37.26	136.6	631.3											
85	166.4	151.7	1.801	37.21	137.8	631.4											

* in στήλης ύδραργύρου. Κενόν Η.Π.Α. (β. παράγρ. 2.3)

2.6 Ψυκτικό μέσο R22.

Έχει μεγάλη εφάρμογή και για το λόγο αυτό δίνονται λεπτομερώς τα θερμοδυναμικά του μεγέθη. Σχετικά με το R12 και την NH₃ έχει μεγαλύτερες πιέσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες και είναι κατάλληλο για διατάξεις χαμηλών θερμοκρασιών.

Για τα υπόλοιπα ψυκτικά μέσα δέν επιτρέπει ο χώρος του βιβλίου αυτού να δοθούν με τις ίδιες λεπτομέρειες από θερμοδυναμικής απόψεως.

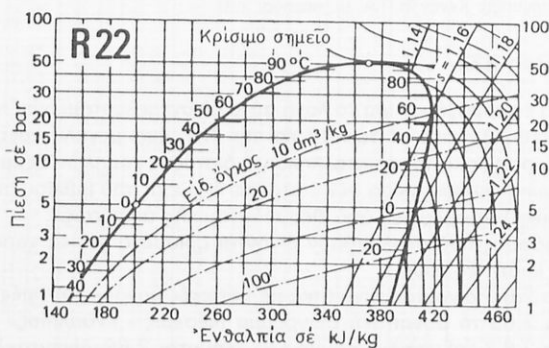
Στις παραγράφους που ακολουθούν δίνονται ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά και όρισμένες ιδιότητές τους.

Στόν Πίνακα 2.6.1 δίνονται συνοπτικά με μετρικές μονάδες οι τιμές για το R22 και στο σχήμα 2.6α το συνοπτικό διάγραμμα πίεσης - ένθαλπιας.

Στόν Πίνακα 2.6.2 και στο διάγραμμα του σχήματος 2.6β, δίνονται λεπτομερώς οι τιμές του R22 πάλι σε μετρικό σύστημα. Στόν Πίνακα 2.6.3 και στα σχήματα 2.6γ και 2.6δ χρησιμοποιείται το σύστημα μονάδων των Η.Π.Α.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6.1.
Ψυκτικό μέσο R22

Θερμοκρασία T °C	Πίεση p bar	Είδικός Όγκος		Ένθαλπία		Θερμότητα ατμοποίησης r kJ/kg
		υγρού v' l/kg	ατμού v'' l/kg	υγρού h' kJ/kg	ατμού h'' kJ/kg	
-20	2,455	0,740	92,93	176,33	397,07	220,74
-18	2,650	0,744	86,44	178,66	397,92	219,26
-16	2,856	0,747	80,49	180,99	398,75	217,76
-14	3,057	0,751	75,03	183,34	399,58	216,24
-12	3,306	0,754	70,01	185,69	400,38	214,69
-10	3,550	0,758	65,40	188,06	401,18	213,12
-8	3,807	0,762	61,15	190,43	401,96	211,53
-6	4,078	0,766	57,24	192,81	402,73	209,92
-4	4,364	0,770	53,62	195,20	403,48	208,28
-2	4,664	0,774	50,28	197,59	404,21	206,62
0	4,980	0,778	47,18	200,00	404,93	204,93
2	5,311	0,782	44,32	202,41	405,63	203,22
4	5,659	0,786	41,66	204,83	406,32	201,49
6	6,023	0,790	39,19	207,25	406,99	199,74
8	6,404	0,795	36,89	209,67	407,64	197,97
10	6,803	0,799	34,75	212,10	408,27	196,17
12	7,220	0,804	32,76	214,54	408,88	194,34
14	7,656	0,809	30,91	216,98	409,48	192,50
16	8,112	0,814	29,17	219,44	410,06	190,62
18	8,586	0,819	27,56	221,88	410,61	188,73
20	9,081	0,824	26,04	224,34	411,15	186,81
25	10,411	0,837	22,66	230,50	412,39	181,89
30	11,880	0,852	19,78	236,70	413,49	176,79
35	13,496	0,867	17,31	242,93	414,43	171,50
40	15,269	0,884	15,17	249,21	415,19	165,98
45	17,209	0,902	13,32	255,57	415,76	160,19
50	19,327	0,923	11,70	262,03	416,11	154,08
55	21,635	0,945	10,29	268,62	416,20	147,58
60	24,146	0,970	9,03	275,40	415,99	140,59
65	26,873	0,999	7,92	282,44	415,40	132,96



Σχ. 2.6α.

Ψυκτικό μέσο R22. Διάγραμμα πίεσης - ένθαλπιας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6.2.
Ψυκτικό μέσο R22.

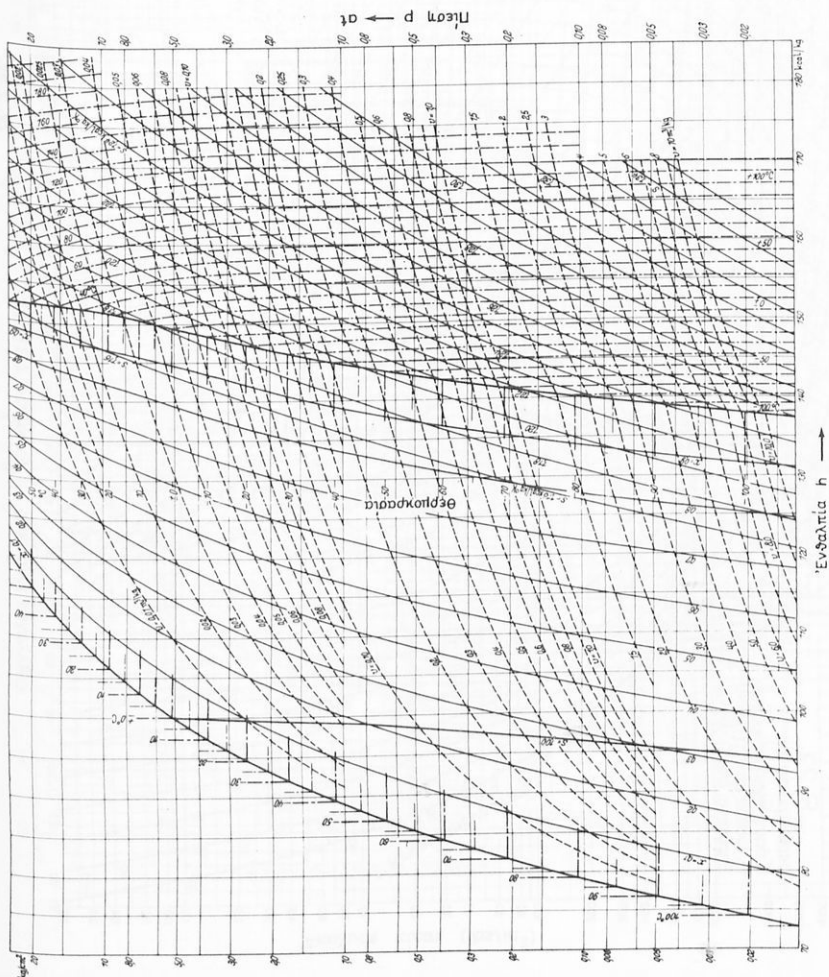
Θερμοκρασία T °C	Απόλυτη πίεση p at	Ειδικός όγκος		Πυκνότητα		Ένθαλπία		Θερμότητα άτμοποίησης $r = h'' - h'$ kcal/kg
		υγρού v' l/kg	άτμου v'' m ³ /kg	υγρού kg/l	άτμου kg/m ³	υγρού h' kcal/kg	άτμου h'' kcal/kg	
— 100	0,0210	0,6409	8,340	1,560	0,1199	74,12	137,92	63,80
— 98	0,0243	0,6429	6,980	1,555	0,1433	74,63	138,16	63,53
— 96	0,0292	0,6450	5,890	1,550	0,1868	75,14	138,40	63,26
— 94	0,0348	0,6470	4,985	1,545	0,2006	75,63	138,62	62,99
— 92	0,0410	0,6490	4,250	1,540	0,2353	76,12	138,84	62,72
— 90	0,0489	0,6510	3,634	1,536	0,2752	76,63	139,14	62,51
— 88	0,0575	0,6530	3,117	1,531	0,3208	77,14	139,34	62,20
— 86	0,0670	0,6550	2,709	1,526	0,3691	77,65	139,58	61,93
— 84	0,0781	0,6570	2,330	1,522	0,4292	78,15	139,81	61,66
— 82	0,0910	0,6592	2,030	1,517	0,4926	78,65	140,05	61,40
— 80	0,1050	0,6612	1,775	1,512	0,5634	79,14	140,29	61,15
— 78	0,1213	0,6632	1,547	1,507	0,6464	79,65	140,54	60,89
— 76	0,1400	0,6653	1,363	1,503	0,7337	80,14	140,77	60,63
— 74	0,1605	0,6675	1,206	1,498	0,8292	80,64	141,01	60,37
— 72	0,1832	0,6693	1,060	1,494	0,9434	81,15	141,26	60,11
— 70	0,2088	0,6714	0,940	1,489	1,064	81,64	141,49	59,85
— 68	0,2370	0,6735	0,885	1,484	1,130	82,15	141,74	59,59
— 66	0,267	0,6756	0,746	1,480	1,341	82,64	141,96	59,32
— 64	0,303	0,6778	0,661	1,475	1,513	83,15	142,21	59,06
— 62	0,341	0,6801	0,592	1,470	1,689	83,65	142,44	58,79
— 60	0,382	0,6824	0,535	1,465	1,869	84,15	142,74	58,59
— 58	0,428	0,6849	0,481	1,460	2,079	84,65	142,91	58,26
— 56	0,479	0,6874	0,434	1,455	2,304	85,16	143,16	58,00
— 54	0,534	0,6897	0,393	1,450	2,545	85,67	143,40	57,73
— 52	0,593	0,6923	0,355	1,444	2,817	86,18	143,65	57,47
— 50	0,660	0,6950	0,323	1,439	3,096	86,70	143,90	57,20
— 48	0,730	0,6977	0,293	1,433	3,413	87,21	144,15	56,94
— 46	0,807	0,7005	0,267	1,427	3,745	87,72	144,39	56,67
— 44	0,891	0,7030	0,244	1,422	4,098	88,25	144,63	56,38
— 42	0,979	0,7058	0,223	1,416	4,484	88,75	144,85	56,10
— 40	1,076	0,7086	0,205	1,411	4,878	89,27	145,12	55,85
— 38	1,182	0,7113	0,188	1,405	5,319	89,77	145,29	55,52
— 36	1,295	0,7142	0,173	1,400	5,780	90,32	145,56	55,24
— 34	1,414	0,7173	0,158	1,395	6,329	90,85	145,79	54,94
— 32	1,542	0,7205	0,146	1,388	6,849	91,37	146,02	54,65
— 30	1,679	0,7235	0,135	1,382	7,407	91,90	146,25	54,35
— 28	1,824	0,7270	0,125	1,375	8,000	92,45	146,48	54,03
— 26	1,978	0,7304	0,116	1,369	8,621	93,00	146,71	53,71
— 24	2,14	0,7337	0,108	1,363	9,259	93,51	146,91	53,40
— 22	2,32	0,7370	0,100	1,356	10,00	94,04	147,12	53,08
— 20	2,51	0,7405	0,0929	1,350	10,76	94,58	147,35	52,77

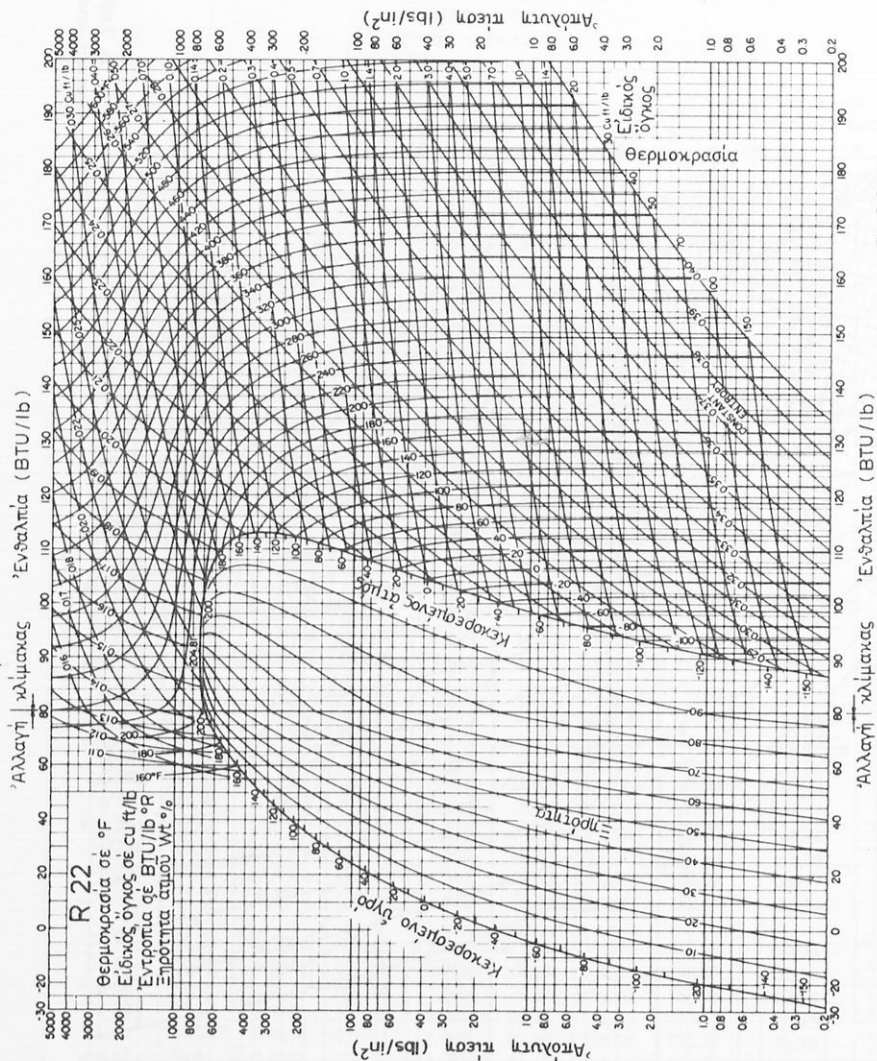
Συνεχίζεται

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6.2.
Ψυκτικό μέσο R22.

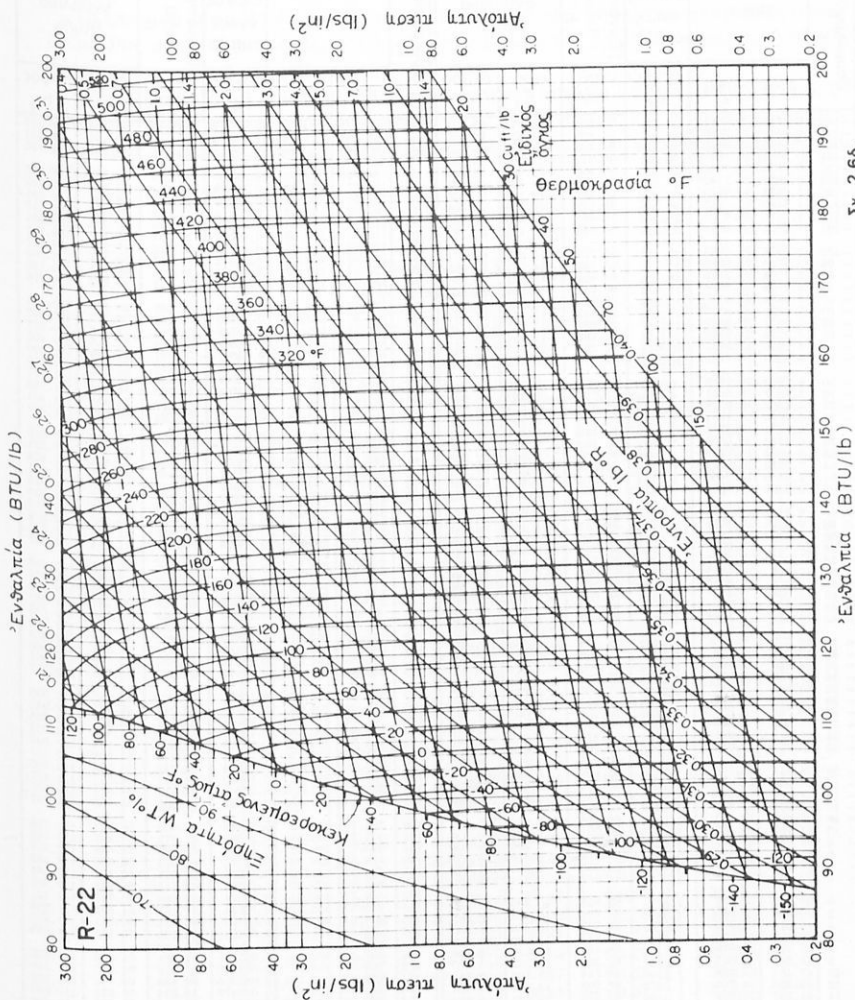
Θερμοκρασία T °C	Απόλυτη πίεση p at	Ειδικός όγκος		Πυκνότητα		Ένθαλπία		Θερμότητα ατμοποίησης $r = h'' - h'$ kcal/kg
		ύγρου v' l/kg	άτμου v'' m ³ /kg	ύγρου kg/l	άτμου kg/m ³	ύγρου h' kcal/kg	άτμου h'' kcal/kg	
— 18	2,70	0,7437	0,0864	1,344	11,57	95,12	147,58	52,46
— 16	2,92	0,7472	0,0805	1,338	12,43	95,65	147,80	52,15
— 14	3,14	0,7508	0,0751	1,331	13,32	96,18	148,02	51,84
— 12	3,37	0,7545	0,0700	1,325	14,29	96,70	148,23	51,53
— 10	3,63	0,7582	0,0654	1,318	15,29	97,25	148,45	51,20
— 8	3,89	0,7620	0,0611	1,312	16,37	97,78	148,63	50,85
— 6	4,17	0,7658	0,0572	1,305	17,48	98,31	148,83	50,52
— 4	4,46	0,7697	0,0536	1,299	18,66	98,87	149,03	50,16
— 2	4,77	0,7739	0,0502	1,292	19,92	99,43	149,23	49,80
0	5,10	0,7785	0,0471	1,285	21,23	100,00	149,43	49,43
+ 2	5,44	0,7823	0,0443	1,278	22,57	100,58	149,63	49,05
+ 4	5,82	0,7867	0,0416	1,271	24,04	101,16	149,81	48,65
+ 6	6,18	0,7912	0,0390	1,264	25,64	101,77	150,01	48,24
+ 8	6,57	0,7957	0,0367	1,257	27,25	102,40	150,20	47,80
+ 10	6,99	0,8004	0,0346	1,249	28,90	103,02	150,36	47,40
+ 12	7,42	0,8050	0,0326	1,242	30,67	103,60	150,52	46,92
+ 14	7,87	0,8096	0,0307	1,235	32,57	104,25	150,72	46,47
+ 16	8,34	0,8145	0,0289	1,228	34,60	104,87	150,87	46,00
+ 18	8,83	0,8194	0,0273	1,220	36,63	105,50	151,00	45,50
+ 20	9,35	0,8244	0,0258	1,213	38,76	106,13	151,13	45,00
+ 22	9,89	0,8294	0,0243	1,206	41,15	106,78	151,27	44,49
+ 24	10,45	0,8345	0,0230	1,198	43,48	107,38	151,38	43,96
+ 26	11,03	0,8398	0,0217	1,190	46,08	108,10	151,54	43,44
+ 28	11,63	0,8455	0,0206	1,183	48,54	108,75	151,65	42,90
+ 30	12,26	0,8501	0,0194	1,176	51,55	109,44	151,78	42,34
+ 32	12,92	0,8570	0,0184	1,167	54,34	110,10	151,87	41,77
+ 34	13,60	0,8632	0,0174	1,158	57,47	110,77	151,97	41,20
+ 36	14,30	0,8695	0,0165	1,150	60,61	111,43	152,03	40,60
+ 38	15,02	0,8760	0,0156	1,141	64,10	112,10	152,07	39,97
+ 40	15,79	0,8830	0,0148	1,132	67,57	112,77	152,12	38,35
+ 42	16,58	0,8900	0,0140	1,123	71,43	113,45	152,19	38,74
+ 44	17,39	0,8972	0,0133	1,114	75,19	114,13	152,23	38,10
+ 46	18,23	0,9049	0,0126	1,105	79,37	114,82	152,26	37,44
+ 48	19,10	0,9132	0,0120	1,095	83,33	115,51	152,29	39,78
+ 50	20,00	0,9214	0,0113	1,085	88,50	116,27	152,37	36,10
+ 52	20,93	0,9303	0,0107	1,0750	93,457	116,97	152,43	35,46
+ 54	21,886	0,9395	0,0100	1,0644	100,000	117,65	152,47	34,82
+ 56	22,879	0,9491	0,0093	1,0536	107,526	118,32	152,50	34,18
+ 58	23,905	0,9591	0,0086	1,0426	116,279	118,99	152,53	33,54
+ 60	24,969	0,9696	0,0079	1,0314	126,582	119,66	152,56	32,90

Σχ. 2.6β.
ΨΥΚΤΙΚΟ ΜΕΣΟ R22.





Σχ. 2.6γ.
 Ψυκτικό μέσο R22.



Σχ. 2.66.

Ψυκτικό μέσο R22. Περιοχή υπέρθερμου άτμου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6.3.

Ψυκτικό μέσο R22

Μονάδες Η.Π.Α.

Θερμοκρασία °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ένθαλπία Btu/lb			Θερμοκρασία °C	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ένθαλπία Btu/lb			
	psia	psig			ατμός v _g	ύγρο 1/V _f	ύγρο h _f		ατμός h _g				psia	psig	ατμός v _g	ύγρο 1/V _f
-150	0.27163	29.36816	141.23	98.236	-25.974	87.521	44	89.177	74.481	0.61448	78.770	22.558	108.472	108.472		
-145	0.34499	29.20861	111.34	97.800	-24.851	88.100	46	92.280	77.584	0.59422	78.526	23.129	108.634	108.634		
-140	0.44692	29.01126	88.532	97.363	-23.725	88.681	48	95.463	80.767	0.57476	78.280	23.701	108.795	108.795		
-135	0.56584	28.76914	70.981	96.922	-22.596	89.263	50	98.727	84.031	0.55606	78.033	24.275	108.953	108.953		
-130	0.71060	28.47441	57.356	96.480	-21.463	89.848	52	102.07	87.38	0.53808	77.784	24.851	109.109	109.109		
-125	0.88551	28.11829	46.692	96.035	-20.326	90.433	54	105.40	90.81	0.52078	77.534	25.429	109.263	109.263		
-120	1.0954	27.69101	38.280	95.587	-19.185	91.020	56	109.02	94.32	0.50414	77.282	26.005	109.415	109.415		
-115	1.3455	27.1818	31.594	95.137	-18.038	91.608	58	112.62	97.93	0.48813	77.028	26.589	109.564	109.564		
-110	1.6417	26.5788	26.242	94.684	-16.885	92.196	60	116.31	101.62	0.47272	76.773	27.172	109.712	109.712		
-105	1.9903	25.8689	21.930	94.228	-15.728	92.783	62	120.09	105.39	0.45788	76.515	27.757	109.857	109.857		
-100	2.3983	25.0383	18.433	93.770	-14.564	93.371	64	123.96	109.26	0.44358	76.257	28.344	110.000	110.000		
-95	2.8798	24.6688	17.222	93.585	-14.097	93.606	66	127.92	113.22	0.42993	75.996	28.932	110.140	110.140		
-90	2.7724	24.2765	16.104	93.401	-13.628	93.840	68	131.97	117.28	0.41653	75.733	29.523	110.278	110.278		
-85	2.9768	23.8604	15.072	93.215	-13.158	94.075	70	136.12	121.43	0.40373	75.469	30.116	110.414	110.414		
-80	3.1934	23.4193	14.118	93.030	-12.688	94.309	72	140.37	125.67	0.39139	75.202	30.710	110.547	110.547		
-75	3.4229	22.9522	13.235	92.843	-12.216	94.544	74	144.71	130.01	0.37949	74.934	31.307	110.677	110.677		
-70	3.6657	22.4579	12.417	92.657	-11.743	94.777	76	149.15	134.45	0.36800	74.664	31.906	110.805	110.805		
-65	3.9234	21.9352	11.659	92.469	-11.268	95.011	78	153.69	138.99	0.35691	74.391	32.506	110.930	110.930		
-60	4.1936	21.3829	10.955	92.282	-10.793	95.244	80	158.33	143.63	0.34621	74.116	33.109	111.052	111.052		
-55	4.4800	20.7998	10.302	92.093	-10.316	95.478	82	163.07	148.37	0.33582	73.843	33.714	111.171	111.171		
-50	4.7822	20.1846	9.6949	91.905	-9.838	95.710	84	167.92	153.21	0.32588	73.574	34.322	111.288	111.288		
-45	5.1007	19.5361	9.1301	91.715	-9.359	95.943	86	172.87	158.17	0.31623	73.298	34.931	111.401	111.401		
-40	5.4363	18.8528	8.6043	91.525	-8.878	96.175	88	177.93	163.23	0.30690	72.994	35.543	111.512	111.512		
-35	5.7896	18.1354	8.1145	91.335	-8.397	96.406	90	183.09	168.40	0.29789	72.708	36.158	111.619	111.619		
-30	6.1614	17.3766	7.6579	91.144	-7.914	96.637	92	188.37	173.67	0.28917	72.418	36.774	111.723	111.723		
-25	6.5522	16.5809	7.2318	90.952	-7.429	96.868	94	193.76	179.06	0.28073	72.127	37.394	111.824	111.824		
-20	6.9628	15.7449	6.8339	90.760	-6.944	97.098	96	199.26	184.56	0.27257	71.833	38.016	111.921	111.921		
-15	7.3939	14.8671	6.4621	90.568	-6.457	97.328	98	204.87	190.18	0.26467	71.536	38.640	112.015	112.015		
-10	7.8463	13.9460	6.1144	90.374	-5.968	97.557	100	210.61	195.91	0.25702	71.236	39.267	112.105	112.105		
-5	8.3208	12.9800	5.7891	90.180	-5.479	97.786	102	216.45	201.76	0.24962	70.933	39.897	112.192	112.192		
0	8.8180	11.9677	5.4844	89.986	-4.987	98.014	104	222.42	207.72	0.24244	70.626	40.530	112.274	112.274		
5	9.3388	10.9074	5.1989	89.791	-4.495	98.241	106	228.50	213.81	0.23549	70.317	41.166	112.353	112.353		
10	9.8839	9.7975	4.9312	89.595	-4.001	98.468	108	234.71	220.02	0.22875	70.005	41.804	112.427	112.427		
15	10.454	8.636	4.6799	89.399	-3.506	98.694	110	241.04	226.35	0.22222	69.689	42.446	112.498	112.498		
20	11.051	7.422	4.4440	89.202	-3.009	98.920	112	247.50	232.80	0.21589	69.369	43.091	112.564	112.564		
25	11.674	6.154	4.2224	89.004	-2.511	99.144	114	254.08	239.38	0.20974	69.046	43.739	112.626	112.626		
30	12.324	4.829	4.0140	88.806	-2.012	99.369	116	260.79	246.10	0.20378	68.719	44.391	112.682	112.682		
35	13.004	3.445	3.8179	88.607	-1.511	99.592	118	267.63	252.93	0.19800	68.388	45.046	112.733	112.733		
40	13.712	2.002	3.6334	88.407	-1.009	99.816	120	274.60	259.91	0.19238	68.054	45.702	112.782	112.782		
45	14.451	0.498	3.4596	88.207	-0.505	100.036	122	281.71	267.01	0.18692	67.714	46.368	112.824	112.824		
50	15.222	0.526	3.2957	88.006	0.000	100.257	124	288.95	274.25	0.18163	67.371	47.034	112.860	112.860		
55	16.024	1.328	3.1412	87.805	0.506	100.477	126	296.33	281.63	0.17648	67.023	47.705	112.891	112.891		
60	16.850	2.163	2.9954	87.602	1.014	100.696	128	303.84	289.14	0.17147	66.670	48.380	112.917	112.917		
65	17.728	3.032	2.8578	87.399	1.524	100.914	130	311.50	296.80	0.16661	66.312	49.059	112.936	112.936		
70	18.633	3.937	2.7278	87.195	2.035	101.132	132	319.29	304.60	0.16187	65.949	49.743	112.949	112.949		
75	19.573	4.877	2.6049	86.991	2.547	101.348	134	327.23	312.54	0.15727	65.581	50.432	112.955	112.955		
80	20.549	5.853	2.4887	86.785	3.061	101.564	136	335.32	320.63	0.15279	65.207	51.125	112.955	112.955		
85	21.564	6.868	2.3767	86.579	3.576	101.778	138	343.56	328.86	0.14843	64.826	51.824	112.947	112.947		
90	22.617	7.921	2.2746	86.372	4.093	101.992	140	351.94	337.25	0.14418	64.440	52.528	112.931	112.931		
95	23.711	9.015	2.1760	86.165	4.611	102.204	142	360.48	345.79	0.14004	64.047	53.238	112.908	112.908		
100	24.845	10.149	2.0826	85.956	5.131	102.415	144	369.17	354.48	0.13600	63.647	53.955	112.877	112.877		
105	26.020	11.324	1.9940	85.747	5.652	102.626	146	378.02	363.32	0.13207	63.240	54.677	112.836	112.836		
110	27.239	12.543	1.9090	85.537	6.175	102.835	148	387.03	372.33	0.12823	62.825	55.406	112.787	112.787		
115	28.501	13.805	1.8302	85.326	6.699	103.043	150	396.19	381.50	0.12448	62.402	56.143	112.728	112.728		
120	29.809	15.113	1.7544	85.114	7.224	103.250	152	405.52	390.83	0.12083	61.970	56.887	112.658	112.658		
125	31.162	16.466	1.6825	84.901	7.751	103.455	154	415.02	400.32	0.11726	61.529	57.637	112.577	112.577		
130	32.563	17.867	1.6141	84.683	8.280	103.658	156	424.68	409.97	0.11376	61.079	58.399	112.485	112.485		
135	34.011	19.315	1.5493	84.473	8.810	103.863	158	434.51	419.82	0.11035	60.617	59.168	112.381	112.381		
140	35.509	20.813	1.4872	84.258	9.341	104.065	160	444.53	429.83	0.10701	60.145	59.948	112.263	112.263		
145	37.057	22.361	1.4283	84.042	9.874	104.265	162	454.71	440.01	0.10374	59.660	60.737	112.131	112.131		
150	38.657	23.961	1.3723	83.825	10.409	104.463	164	465.07	450.37	0.10054	59.163	61.538	111.984	111.984		
155	40.309	25.613	1.3189	83.606	10.945	104.665	166	475.61	460.92	0.09737	58.651	62.351	111.820	111.820		
160	42.014	27.318	1.2680	83.387	11.483	104.860	168	486.34	471.65	0.09430	58.125	63.178	111.639	111.639		
165	43.775	29.079	1.2195	83.167	12.022	105.056	170	497.26	482.56	0.09127	57.581	64.019	111.438	111.438		
170	45.591	30.895	1.1732	82.946	12.562	105.250	172	508.37	493.67	0.088295	57.019	64.875	111.216	111.216		
175	47.464	32.768	1.1290	82.724	13.104	105.442	174	519.67	504.97	0.08536	56.438	65.750	110.970	110.970		
180	49.396	34.700	1.0869	82.501	13.648	105.633	176	531.17	516.							

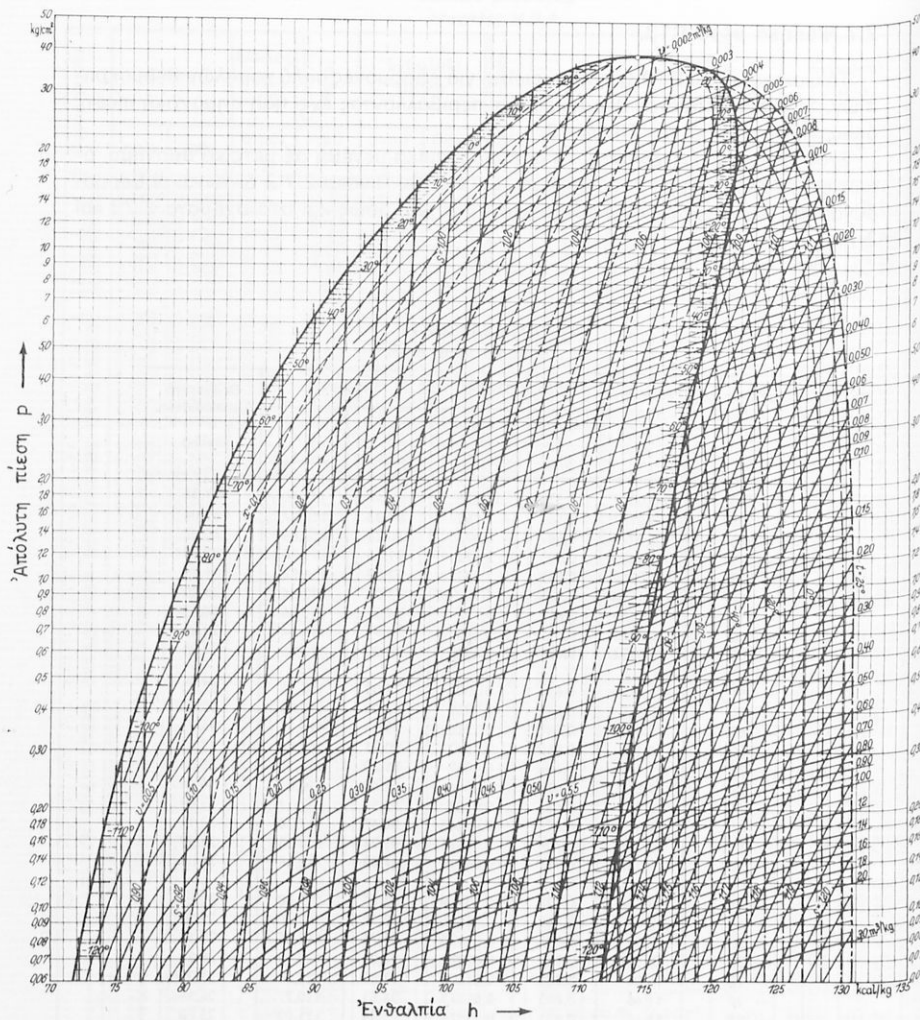
2.7 Ψυκτικό μέσο R13.

Τό ψυκτικό μέσο R13 χρησιμοποιείται για εφαρμογές πολύ χαμηλών θερμοκρασιών. Στις συνηθισμένες θερμοκρασίες περιβάλλοντος έχει ήδη σημαντική πίεση, όπως φαίνεται από τον Πίνακα 2.7.1.

Στόν Πίνακα 2.7.1 δίνονται τα θερμοδυναμικά μεγέθη σε μετρικό σύστημα, όπως και στο διάγραμμα του σχήματος 2.7α. Στόν Πίνακα 2.7.2 δίνονται οι θερμοδυναμικές ιδιότητες σε αγγλοσαξονικό σύστημα, όπως και στα σχήματα 2.7β και 2.7γ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7.1.
Ψυκτικό μέσο R13.

Θερμοκρασία T °C	Απόλυτη πίεση p at	Ειδικός Όγκος		Ένθαλπία		Θερμότητα άτμοποιήσεως $r = h'' - h'$ kcal/kg
		υγρού v' l/kg	άτμου v'' m ³ /kg	υγρού h' kcal/kg	άτμου h'' kcal/kg	
— 140	0,0087	0,576	12,378	68,46	109,90	41,44
— 135	0,0157	0,581	7,112	69,33	110,37	41,04
— 130	0,0271	0,587	4,273	70,24	110,86	40,62
— 125	0,448	0,593	2,673	71,15	111,34	40,19
— 120	0,0714	0,599	1,732	72,09	111,84	39,75
— 115	0,1100	0,605	1,158	73,04	112,34	39,30
— 110	0,1643	0,612	0,798	74,01	112,84	38,83
— 105	0,2391	0,619	0,563	74,99	113,34	38,35
— 100	0,3392	0,626	0,4070	76,00	113,85	37,85
— 95	0,4705	0,634	0,3005	77,03	114,36	37,33
— 90	0,640	0,642	0,2259	78,08	114,86	36,78
— 85	0,854	0,649	0,1728	79,13	115,36	36,23
— 80	1,120	0,658	0,1342	80,21	115,86	35,65
— 75	1,446	0,666	0,1057	81,30	116,35	35,05
— 70	1,841	0,675	0,0844	82,40	116,84	34,44
— 65	2,313	0,685	0,0681	83,52	117,32	33,80
— 60	2,873	0,695	0,05542	84,67	117,78	33,11
— 55	3,528	0,706	0,04555	85,84	118,23	32,39
— 50	4,287	0,717	0,03774	87,03	118,66	31,63
— 45	5,164	0,728	0,03148	88,25	119,08	30,83
— 40	6,17	0,741	0,02642	89,49	119,48	29,99
— 35	7,31	0,754	0,02230	90,74	119,85	29,11
— 30	8,59	0,769	0,01889	92,01	120,19	28,18
— 25	10,04	0,785	0,01608	93,30	120,50	27,20
— 20	11,66	0,802	0,01373	94,61	120,77	26,16
— 15	13,46	0,821	0,01175	95,94	121,02	25,08
— 10	15,45	0,842	0,01010	97,27	121,22	23,95
— 5	17,66	0,866	0,00868	98,61	121,37	22,76
— 0	20,09	0,894	0,00747	100,00	121,48	21,48
+ 5	22,76	0,923	0,00642	101,44	121,51	20,07
+ 10	25,69	0,962	0,00549	102,99	121,42	18,43
+ 15	28,91	1,011	0,00463	104,74	121,16	16,42
+ 20	32,41	1,079	0,003829	106,75	120,59	13,84
+ 25	36,24	1,193	0,002990	109,29	119,33	10,04
+ 28,8	39,36	1,712	0,001721	113,94	113,94	0,00

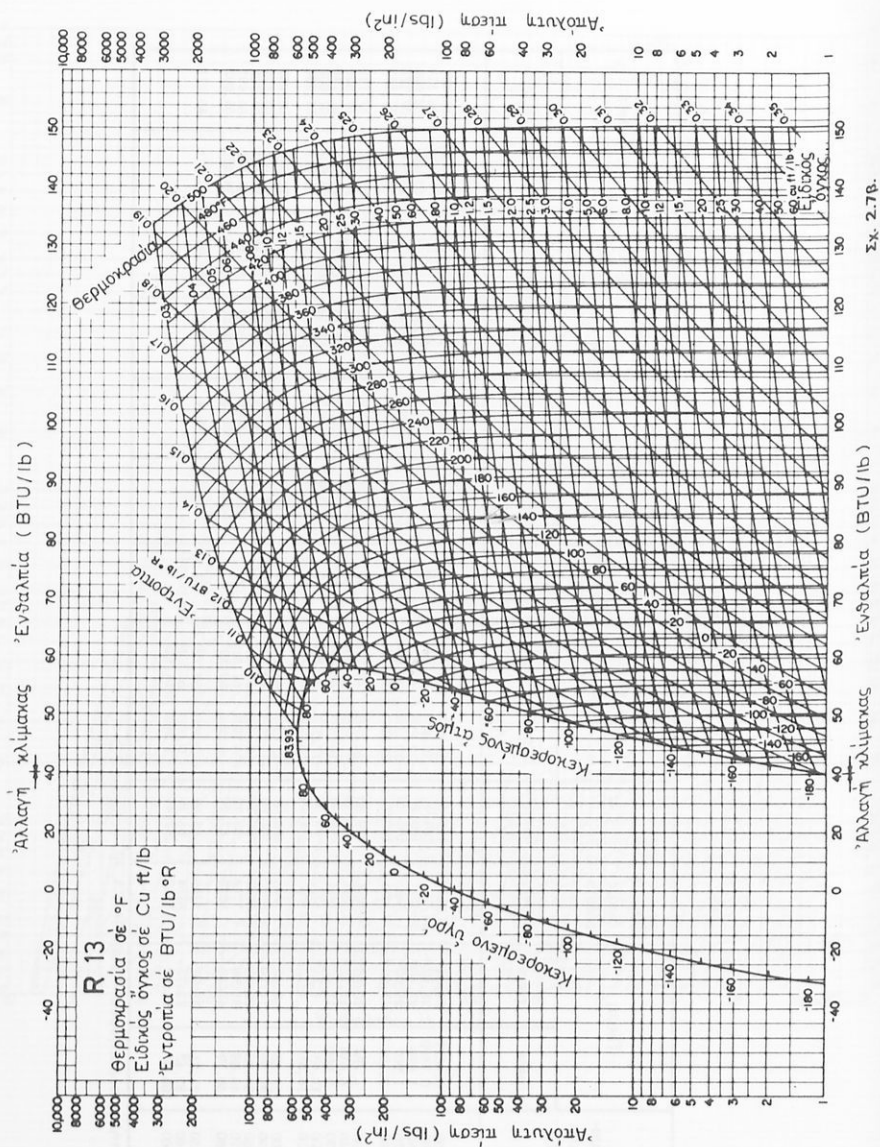


Σχ. 2.7α.
Ψυκτικό μέσο R13.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7.2.
Ψυκτικό μέσο R13
Μονάδες Η.Π.Α.

Θερμο- κρασία °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ένθαλπία Btu/lb		Θερμο- κρασία °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ένθαλπία Btu/lb	
	psia	psig			ύγρο h _f	ατμός h _g		psia	psig			ύγρο h _f	ατμός h _g
-200	0.4328	29.04*	61.33	105.6	-34.551	38.545	-20	126.4	111.7	0.2930	80.71	4.809	55.477
-190	0.7460	28.40*	36.74	104.4	-32.439	39.600	-10	150.1	135.4	.2454	78.86	7.484	56.114
-180	1.238	27.40*	22.99	103.2	-30.298	40.672	0	176.8	162.1	.2066	76.98	10.052	56.690
-170	1.967	25.92*	14.942	102.0	-28.208	41.696	10	206.8	192.1	.17443	74.91	12.096	57.175
-160	3.104	23.60*	9.750	100.8	-26.083	42.725	20	240.4	225.7	.14732	72.73	15.443	57.543
-150	4.464	20.83*	6.976	99.60	-24.010	43.773	30	277.9	263.2	0.12437	70.22	18.247	57.719
-140	6.455	16.78*	4.950	98.33	-21.902	44.794	40	313.6	302.9	.09485	67.27	21.370	57.820
-130	9.080	11.43*	3.605	96.99	-19.792	45.804	45	342.9	324.9	.08465	66.27	23.079	57.748
-120	12.48	4.51*	2.681	95.39	-17.671	46.802	50	365.9	351.2	.07934	64.68	24.651	57.609
-110	16.81	2.11	2.031	94.34	-15.527	47.789	55	390.8	376.1	.07945	62.97	26.418	57.364
-100	22.23	7.53	1.5642	93.02	-13.387	48.751	60	417.0	402.3	0.07189	61.09	28.310	56.987
-90	28.82	14.19	1.2232	91.66	-11.241	49.700	65	444.5	429.8	.06468	58.96	30.322	56.456
-80	36.98	22.28	0.9689	90.17	-9.082	50.620	70	473.4	458.7	.05767	56.46	32.515	55.708
-70	46.68	31.98	0.7766	88.73	-6.843	51.519	75	503.7	489.0	.05027	53.36	35.110	54.482
-60	58.19	43.49	0.6289	87.26	-4.604	52.389	80	535.5	520.8	.04131	48.85	38.527	52.002
-50	71.71	57.01	0.5139	85.69	-2.320	53.226	83.93 (Critical)	561.3	546.6	0.02772	36.08	45.271	45.271
-40	87.43	72.73	.4234	84.10	0.000	54.023							
-30	105.6	90.90	.3512	82.44	2.363	54.416							

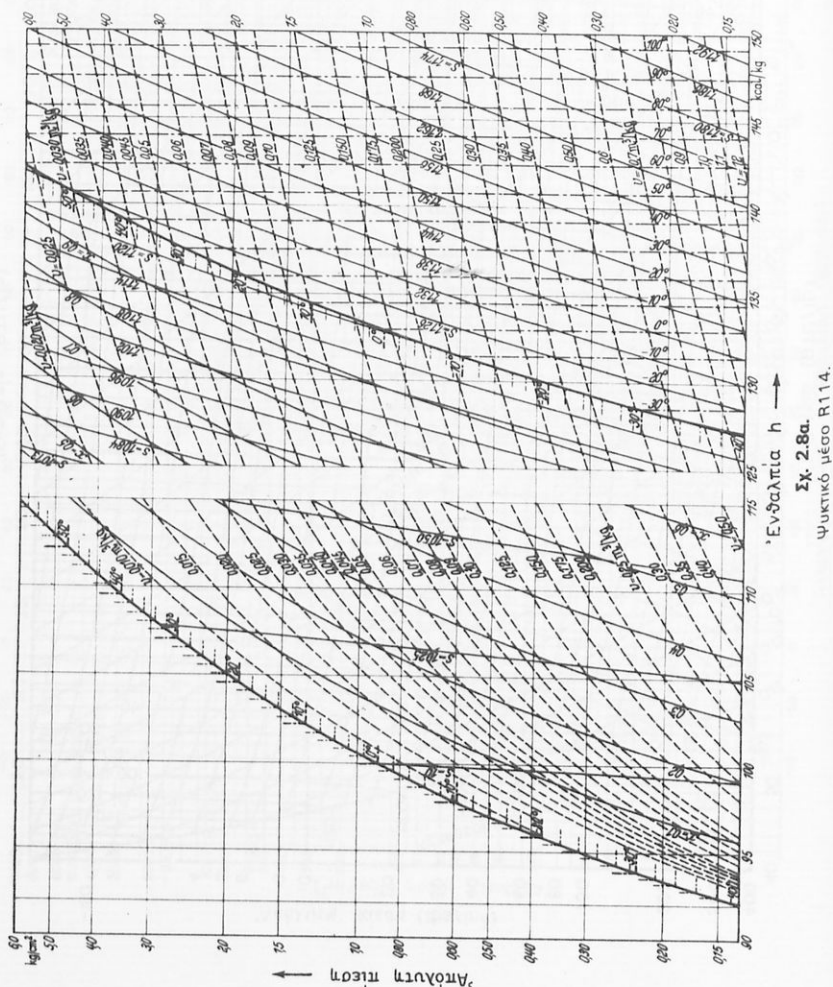
* in στήλης ύδαρνούρου. Κενόν Η.Π.Α. (β. παράγρ. 2.3)



2.8 Ψυκτικό μέσο R114.

Τό R114 είναι ψυκτικό μέσο με χαμηλές πιέσεις σε συνηθισμένες θερμοκρασίες. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε για ψυγεία με μικρούς ερμητικούς συμπιεστές, αλλά αντικαταστάθηκε αργότερα από το R12. Σήμερα χρησιμοποιείται μόνο σε εγκαταστάσεις με στροβιλοσυμπιεστές.

Στό σχήμα 2.8α φαίνεται το διάγραμμα $p-h$, στον Πίνακα 2.8.1 οι τιμές των θερμοδυναμικών μεγεθών και στα σχήματα 2.8β και 2.8γ το διάγραμμα $p-h$, σε άγγλοσαξονικές μονάδες.

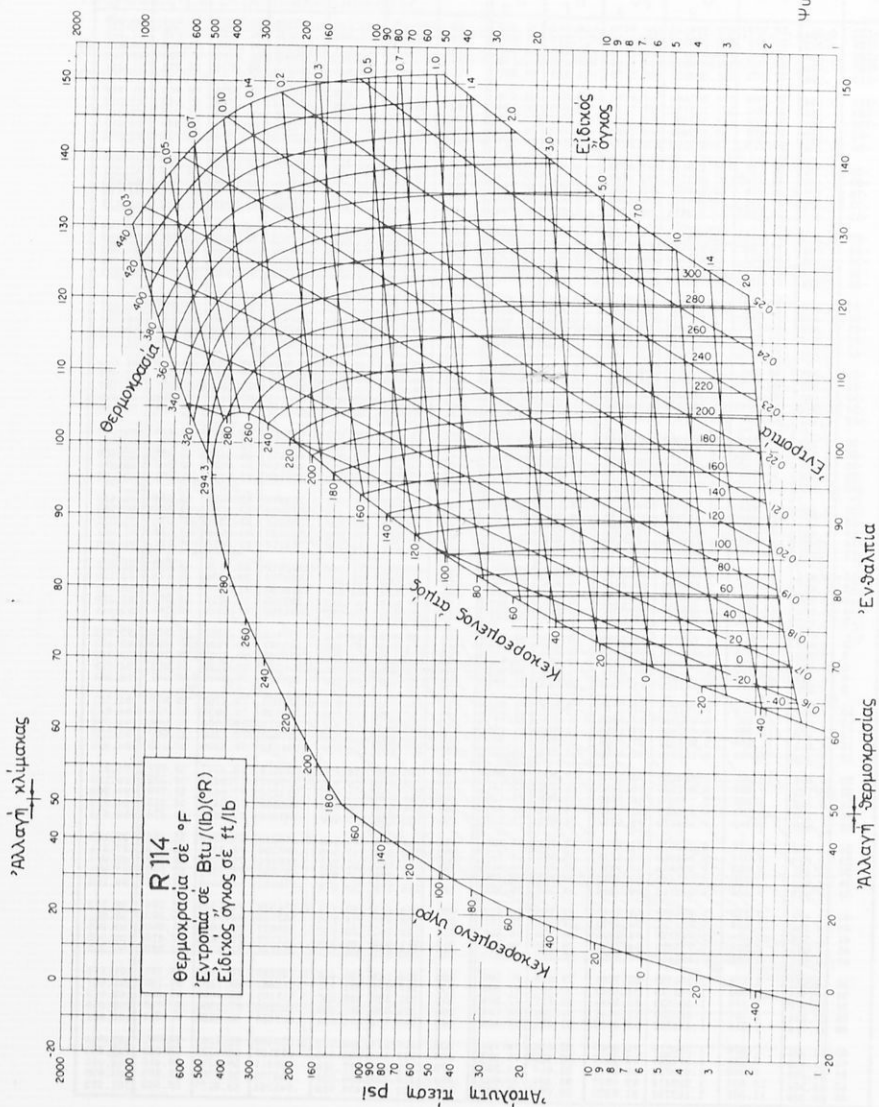


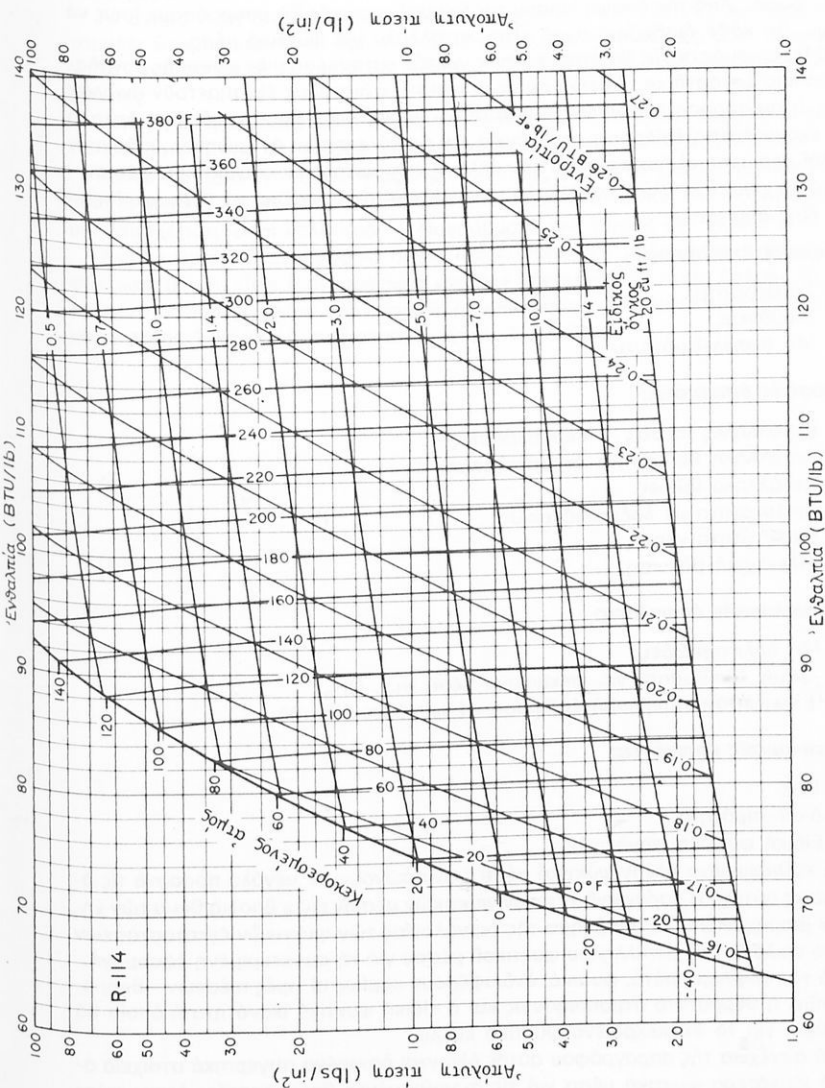
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.8.1.

Ψυκτικό μέσο R14.

91

Θερμοκρασία °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ένθαλπία Btu/lb			Θερμοκρασία °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ένθαλπία Btu/lb		
	psia	psig*			άτμος	υγρό	h _f		psia	psig			V _g	1/V _g	h _f
					V _g	1/V _g	h _f	h _g					V _g	1/V _g	h _f
-135	0.034	29.852	603.348523	109.8970	-18.182	51.282	70	27.261	12.561	1.142969	91.6512	24.444	80.277		
-130	-0.045	29.830	463.333639	109.5052	-17.277	51.908	72	28.282	13.582	1.103851	91.4416	24.926	80.574		
-125	-0.058	29.802	559.388410	109.1114	-16.368	52.540	74	29.311	14.631	1.066355	91.2310	25.409	80.871		
-120	-0.076	29.767	681.929952	108.7157	-15.453	53.178	76	30.410	15.710	1.030402	91.0196	25.893	81.168		
-115	-0.098	29.722	1221.666914	108.3179	-14.533	53.821	78	31.519	16.819	0.995918	90.8072	26.379	81.464		
-110	0.124	29.668	176.201685	107.9182	-13.607	54.470	80	32.659	17.959	0.962831	90.5939	26.865	81.760		
-105	-0.158	29.606	141.123750	107.5164	-12.676	55.124	82	33.829	19.129	0.931075	90.3796	27.353	82.056		
-100	-0.198	29.518	113.842731	107.1124	-11.740	55.783	84	35.032	20.332	0.900588	90.1643	27.843	82.352		
-95	-0.247	29.418	92.477644	106.7063	-10.797	56.448	86	36.266	21.566	0.871308	89.9481	28.333	82.647		
-90	-0.306	29.297	75.615391	106.2979	-9.848	57.117	88	37.533	22.833	0.843179	89.7308	28.825	82.942		
-85	0.377	29.153	62.218156	105.8873	-8.894	57.792	90	38.833	24.133	0.816148	89.5125	29.318	83.237		
-80	-0.462	28.981	51.503710	105.4744	-7.933	58.472	92	40.167	25.467	0.790164	89.2931	29.812	83.531		
-75	-0.561	28.778	42.880661	105.0591	-6.965	59.156	94	41.535	26.835	0.765180	89.0727	30.307	83.825		
-70	-0.679	28.543	35.898716	104.6414	-5.991	59.844	96	42.938	28.238	0.741149	88.8512	30.804	84.119		
-65	-0.817	28.258	30.126764	104.2211	-5.011	60.538	98	44.377	29.677	0.718028	88.6286	31.302	84.413		
-60	0.977	27.932	25.556162	103.7984	-4.023	61.235	100	45.851	31.151	0.695777	88.4049	31.801	84.706		
-55	-1.048	27.787	22.333843	103.3786	-3.026	61.935	102	47.362	32.662	0.674356	88.1800	32.301	84.998		
-50	-1.124	27.633	20.042404	102.9583	-2.028	62.641	104	48.910	34.210	0.653729	87.9540	32.803	85.290		
-45	-1.204	27.471	21.039402	102.5386	-1.028	63.349	106	50.495	35.795	0.633861	87.7268	33.305	85.582		
-40	-1.288	27.298	19.748155	102.1165	-0.248	64.057	108	52.119	37.419	0.614718	87.4985	33.809	85.873		
-35	0.378	27.116	18.549588	102.9450	-0.206	62.642	110	53.782	39.082	0.596269	87.2689	34.314	86.164		
-30	-1.378	26.923	17.436181	102.7730	-1.623	62.925	112	55.483	40.783	0.578485	87.0380	34.820	86.454		
-25	-1.572	26.720	16.401089	102.6006	-1.219	63.209	114	57.225	42.525	0.561335	86.8059	35.327	86.744		
-20	-1.678	26.505	15.438076	102.4278	-0.814	63.493	116	59.007	44.307	0.544793	86.5725	35.835	87.033		
-15	-1.789	26.279	14.541455	102.2545	-0.408	63.778	118	60.830	46.130	0.528835	86.3379	36.345	87.322		
-10	0.906	26.040	13.706038	102.0807	0.000	64.064	120	62.695	47.995	0.513434	86.1018	36.855	87.610		
-5	-2.030	25.788	12.927084	101.9065	0.409	64.350	122	64.602	49.902	0.498568	85.8644	37.367	87.897		
0	-2.160	25.523	12.200262	101.7318	0.819	64.637	124	66.551	51.851	0.484214	85.6257	37.880	88.184		
5	-2.297	25.244	11.521660	101.5566	1.230	64.924	126	68.544	53.864	0.470351	85.3855	38.394	88.470		
10	-2.441	24.951	10.887491	101.3810	1.643	65.212	128	70.581	55.881	0.456999	85.1439	38.909	88.755		
15	-2.593	24.642	10.294588	101.2049	2.057	65.500	130	72.662	57.962	0.444019	84.9008	39.425	89.040		
20	-2.752	24.319	9.740158	101.0283	2.472	65.789	132	74.789	60.089	0.431512	84.6562	39.943	89.324		
25	-2.919	23.979	9.220474	100.8512	2.888	66.078	134	76.961	62.261	0.419421	84.4113	40.461	89.608		
30	-3.094	23.622	8.733894	100.6737	3.306	66.367	136	79.179	64.479	0.407729	84.1624	40.981	89.890		
35	-3.277	23.248	8.277746	100.4956	3.725	66.657	138	81.444	66.744	0.396420	83.9131	41.501	90.172		
40	-3.470	22.857	7.849858	100.3170	4.145	66.948	140	83.757	69.057	0.385479	83.6622	42.023	90.453		
45	-3.671	22.446	7.448229	100.1379	4.567	67.239	142	86.118	71.318	0.374892	83.4099	42.546	90.733		
50	-3.882	22.017	7.071017	99.9583	4.990	67.530	144	88.527	73.627	0.364644	83.1554	43.070	91.012		
55	-4.103	21.568	6.716525	99.7782	5.414	67.822	146	90.986	75.986	0.354723	82.8994	43.595	91.291		
60	-4.334	21.098	6.383184	99.5976	5.839	68.114	148	93.495	78.295	0.345116	82.6416	44.121	91.568		
65	-4.575	20.607	6.069551	99.4164	6.266	68.407	150	96.054	80.654	0.335801	82.3820	44.648	91.845		
70	-4.827	20.094	5.774289	99.2347	6.694	68.700	152	98.665	83.065	0.326794	82.1206	45.176	92.120		
75	-5.090	19.559	5.504358	99.0524	7.124	69.008	154	101.327	85.427	0.318058	81.8572	45.705	92.398		
80	-5.364	19.000	5.234035	98.8696	7.555	69.287	156	104.042	87.789	0.309590	81.5918	46.236	92.669		
85	-5.650	18.417	4.986844	98.6862	7.987	69.581	158	106.810	90.148	0.301380	81.3246	46.767	92.941		
90	0.549	17.810	4.753614	98.5023	8.420	69.875	160	109.623	92.507	0.293419	81.0555	47.300	93.212		
95	0.686	17.177	4.533437	98.3178	8.850	70.170	162	112.508	94.866	0.285697	80.7839	47.824	93.483		
100	0.823	16.531	4.325473	98.1327	9.291	70.465	164	115.453	97.225	0.278205	80.5103	48.353	93.752		
105	0.960	15.886	4.128942	97.9471	9.729	70.760	166	118.426	100.000	0.270936	80.2346	48.904	94.019		
110	1.097	15.231	3.943119	97.7608	10.168	71.056	168	121.469	102.775	0.263880	79.9566	49.441	94.286		
115	1.234	14.576	3.767332	97.5740	10.608	71.351	170	124.570	105.550	0.257030	79.6763	49.979	94.551		
120	1.371	13.921	3.600955	97.3865	11.050	71.647	172	127.728	108.325	0.250379	79.3936	50.518	94.815		
125	1.508	13.266	3.443408	97.1985	11.483	71.943	174	130.944	111.100	0.243919	79.1084	51.059	95.078		
130	1.645	12.611	3.296147	97.0098	11.937	72.240	176	134.220	113.875	0.237643	78.8208	51.600	95.339		
135	1.782	11.956	3.152670	96.8205	12.383	72.537	178	137.556	116.650	0.231545	78.5306	52.143	95.599		
140	1.919	11.301	3.018507	96.6306	12.830	72.834	180	140.945	119.425	0.225618	78.2377	52.685	95.857		
145	2.056	10.646	2.891236	96.4407	13.278	73.131	182	144.410	122.200	0.219857	77.9422	53.222	96.113		
150	2.193	9.991	2.770402	96.2488	13.728	73.428	184	147.930	124.975	0.214254	77.6438	53.758	96.368		
155	2.330	9.336	2.655670	96.0569	14.179	73.725	186	151.512	127.750	0.208808	77.3425	54.295	96.622		
160	2.467	8.681	2.546670	95.8644	14.632	74.023	188	155.150	130.525	0.203506	77.0382	54.824	96.873		
165	2.604	8.026	2.443370	95.6712	15.085	74.320	190	158.866	133.300	0.198349	76.7309	55.354	97.123		
170	2.741	7.371	2.344558	95.4773	15.541	74.618	192	162.645	136.075	0.193300	76.4243	55.879	97.371		
175	2.878	6.716	2.250844	95.2827	15.997	74.916	194	166.487	138.850	0.188444	76.1066	56.398	97.617		
180	3.015	6.061	2.161657	95.0884	16.454	75.214	196	170.390	141.625	0.183686	75.7895	56.923	97.861		
185	3.152	5.406	2.076742	94.8914	16.914	75.518	198	174.372	144.400	0.179053	75.4689	57.437	98.102		
190	3.289	4.751	1.995861	94.6947	17.373	75.810	200	178.417	147.175	0.174539	75.1446	57.948	98.342		
195	3.426	4.096	1.918791	94.4973	17.837	76.108	202	182.528	150.000	0.170252	74.8171	58.459	98.583		
200	3.563	3.441	1.844369	94.2991	18.300	76.406	204	186.699	152.775	0.166174	74.4864	58.969	98.824		
205	3.700	2.786	1.775259	94.1002	18.765	76.704	206	190.930	155.550	0.162300	74.1527	59.479	99.065		
210	3.837	2.131	1.708417												





Σχ. 2.8γ.

Ψυκτικό μέσο R114, Περιοχή υπέρθερμου άτμού.

2.9 Θερμική σύγκριση ψυκτικῶν μέσων.

“Όπως εἶναι γνωστό, ὅλα τὰ ὑγρά σώματα ὅταν θερμανθοῦν, ἀτμοποιοῦνται καὶ ἀντίστροφα. Ἀπὸ τὴν ἀποψη λοιπόν τῆς θερμοδυναμικῆς θὰ μπορούσαμε ἴσως νὰ πούμε, ὅτι κάθε διαθέσιμο ὑγρὸ εἶναι κατάλληλο γιὰ ψυκτικὸ μέσο.

Ὁ ἰσχυρισμὸς αὐτὸς θὰ ἦταν σωστὸς γιὰ τὴν κατασκευὴ μιᾶς ψυκτικῆς μονάδας γιὰ κάποιο ἐργαστήριον. Ἐπειδὴ ὅμως οἱ ψυκτικὲς διατάξεις ἐξυπηρετοῦν ἀνάγκες ὅπως ἡ συντήρηση τροφίμων, κλιματισμὸς χώρων κλπ. δραστηριότητες δηλαδή πού ἔχουν ἄμεση ἐπίδραση στὴν ὑγεία καὶ ἀσφάλεια τῶν ἀνθρώπων, ὑπάρχουν πολλοὶ περιορισμοὶ ὅσον ἀφορᾷ τὴν ἐκλογὴ τῶν καταλλήλων ψυκτικῶν μέσων.

Γιὰ νὰ εἶναι ἕνα ὑλικὸ κατάλληλο γιὰ ψυκτικὸ μέσο, πρέπει νὰ ἀνταποκρίνεται στὶς ἑξῆς ἀπαιτήσεις:

α) Χημικὲς ἀπαιτήσεις:

- Σταθερότητα.
- Ἀδράνεια.
- Μὴ ἀναφλεξιμότητα.

β) Φυσικὲς ἀπαιτήσεις:

- Κατάλληλες πιέσεις — θερμοκρασίες.
- Κατάλληλη θερμότητα ἀτμοποιήσεως.
- Κατάλληλο ἰξῶδες.
- Διαλυτότητα μέ λάδι λιπάνσεως.
- Διαλυτότητα νεροῦ.
- Ἡλεκτρικὴ μόνωση.

γ) Φυσιολογικὲς ἀπαιτήσεις:

- Μὴ δηλητηριῶδες.
- Ὅσμῃ. Ἐπιθυμητὴ γιὰ ἐπικίνδυνα μέσα (π.χ. NH_3).
- Ἐλλειψη ἀπὸ ἐπιβλαβὴ ἐπίδραση σέ ψυχόμενα ἀγαθὰ.

δ) Οἰκονομικὲς ἀπαιτήσεις:

- Τιμὴ.
- Διαθεσιμότητα.
- Εἰδικὴ ψυκτικὴ ικανότητα.

Τὰ καθιερωμένα πλέον ψυκτικὰ μέσα ἐκπληρῶνουν σέ μεγάλο ποσοστὸ τὶς ἀπαιτήσεις αὐτές. Ἡ παραγωγὴ τέτοιων ψυκτικῶν μέσων εἶναι βασικὰ θέμα τῶν χημικῶν βιομηχανιῶν. Τὸ πρόβλημα τῆς τεχνολογίας τῶν ψυκτικῶν ἐγκαταστάσεων εἶναι ἡ ἐπιλογή τοῦ κατάλληλου ψυκτικοῦ μέσου γιὰ τὴ συγκεκριμένη ἐφαρμογὴ.

Γιὰ τὸ πρόβλημα αὐτό, φυσικά, ἐνδιαφέρουν κυρίως οἱ τιμές πιέσεων - θερμοκρασιῶν, ἡ θερμότητα ἀτμοποιήσεως καὶ ἡ εἰδικὴ ψυκτικὴ ικανότητα ἡ ὁποία θὰ προκύψει γιὰ τὸ συγκεκριμένον ψυκτικὸ κύκλο.

Στὴ συνέχεια τῆς παραγράφου αὐτῆς δίνονται ὁρισμένα συγκριτικὰ στοιχεῖα ἀπὸ τὰ κυριότερα ψυκτικὰ μέσα γιὰ τὶς συνηθισμένες θερμοκρασίες λειτουργίας ψυκτικῶν ἐγκαταστάσεων.

Ἀπὸ τὴν πλευρὰ συγκρίσεως τιμῶν πιέσεων - θερμοκρασίας ἴσως ὁ πιὸ γρήγο-

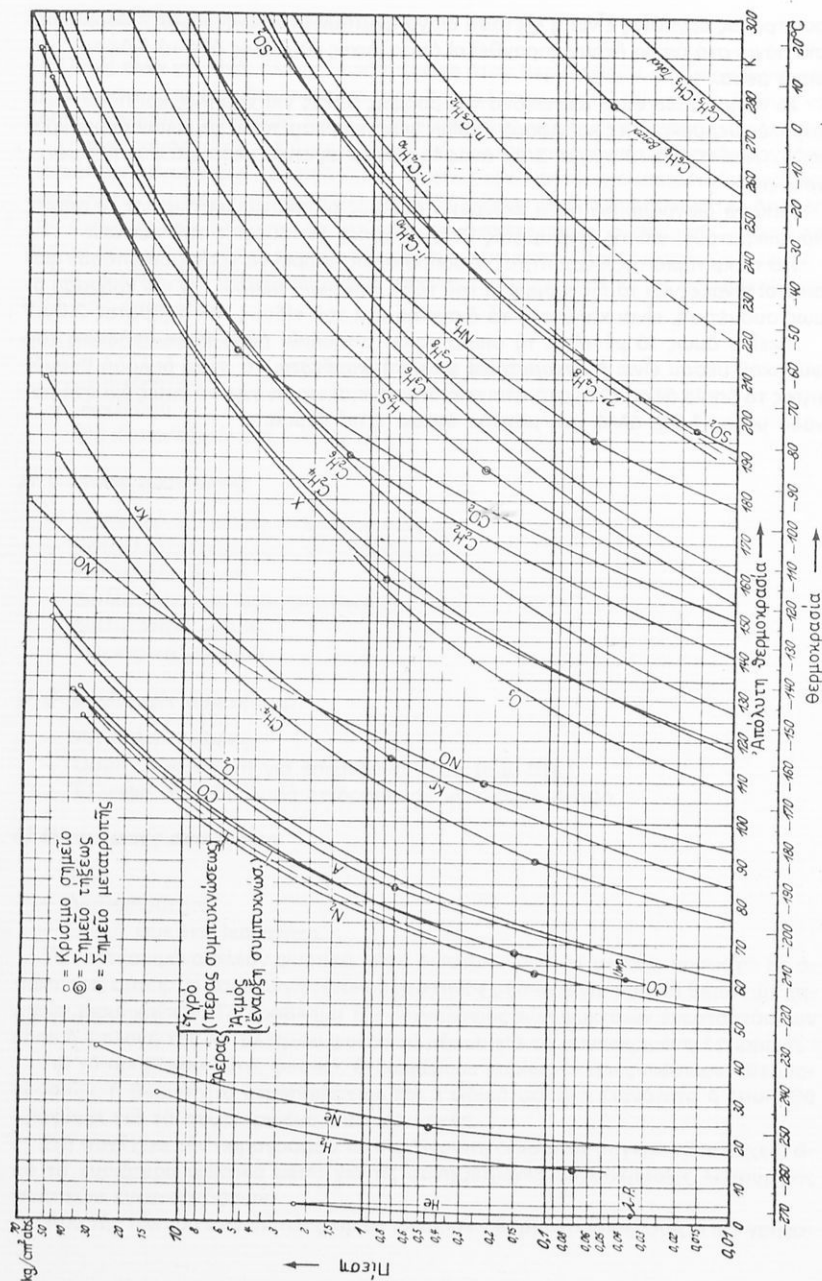
ρος τρόπος εργασίας είναι η εξέταση διαγραμμάτων μέ αξονες πίεση - θερμοκρασία πάνω στα όποια έχουν χαραχθεί οι αντίστοιχες καμπύλες από τα διάφορα ψυκτικά μέσα.

Τό σχήμα 2.9α δίνει μία εικόνα της μορφής αυτής για χαμηλές και πάρα πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και αφορά κυρίως ψυκτικά μέσω πολύ χαμηλών θερμοκρασιών. Αντίστοιχα τό σχήμα 2.9β αναφέρεται σέ ψυκτικά μέσα για συνηθισμένες χρήσεις.

Από τά διαγράμματα αυτά φαίνονται άμέσως οι πιέσεις λειτουργίας οι όποιες θά επικρατούν, για τίς επιθυμητές θερμοκρασίες λειτουργίας του κύκλου.

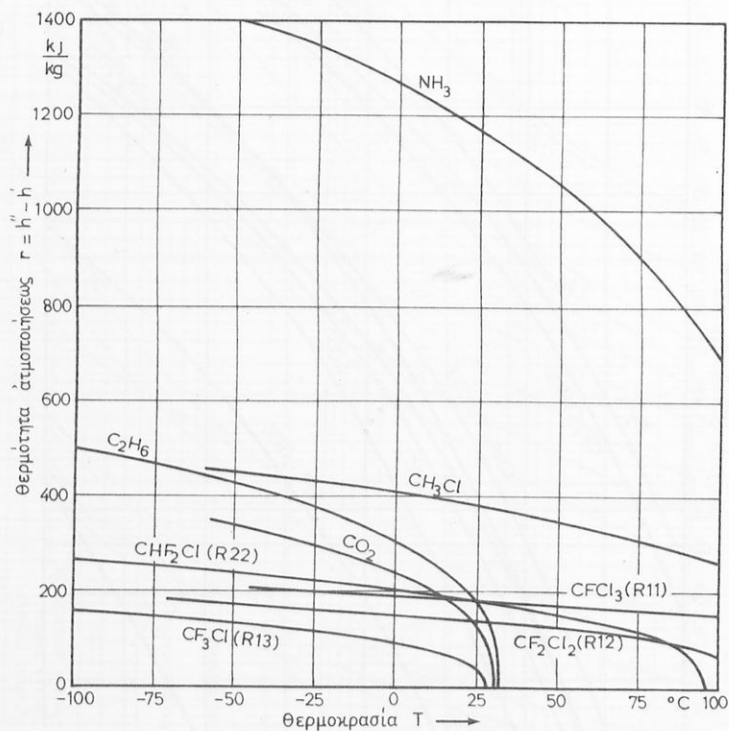
Γιά τό κριτήριο της θερμότητας άτμοποιήσεως μπορεί νά χρησιμοποιηθοῦν φυσικά οι πίνακες και τά διαγράμματα του κάθε ψυκτικού μέσου. Γιά πιό γρήγορη όμως συσχέτιση, είναι καλύτερα τά διαγράμματα του είδους του σχήματος 2.9γ.

Εκείνο όμως τό μέγεθος τό όποιο παίζει σπουδαίο ρόλο στην απόδοση του ψυκτικού μέσου είναι η **όγκομετρική ψυκτική ικανότητα**. Τό ποσό δηλαδή θερμότητας τό όποιο αφαιρείται στο στοιχείο άτμοποιήσεως, άνηγμένο όμως όχι στη μονάδα μάζης 1 kg, αλλά στη μονάδα όγκου 1 m³ άτμου.



Σχ. 2.9α.

Πίση κεκορεσμένου ατμού σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία.



Σχ. 2.9γ.

Θερμότητα ατμοποίησης διαφόρων ψυκτικών μέσων.

2.10 Όγκομετρική ψυκτική ικανότητα.

Ο συμπίεστος της ψυκτικής εγκαταστάσεως είναι μία μηχανή ή όποια σχεδόν πάντοτε λειτουργεί μέ σταθερό αριθμό περιστροφών. Σε κάθε περιστροφή του συμπίεστη αναρροφάται ένας σταθερός όγκος ατμού ψυκτικού μέσου ο οποίος συμπιέζεται σε μεγάλη πίεση και οδηγείται στο συμπυκνωτή.

Αν παραλείψουμε τις τυχόν μικρομεταβολές όσον αφορά το ψυκτικό μέσο στην αναρρόφηση του συμπίεστη, όταν ο **αριθμός στροφών** είναι **σταθερός** και ο **συμπίεστος έμβολοφόρος** μπορούμε να πούμε ότι:

Στήν αναρρόφηση του συμπίεστη ή παροχή όγκου ατμού είναι σταθερή.

Η διαπίστωση αυτή εξηγεί, γιατί η **όγκομετρική** ψυκτική ικανότητα καθορίζει τη συμπεριφορά του ψυκτικού μέσου και συνεπώς και την οικονομικότητα λειτουργίας του ψυκτικού κύκλου.

Για ένα δεδομένο ψυκτικό μέσο και συμπίεστη, όσο μικραίνει η θερμοκρασία ατμοποιήσεως τόσο μικραίνει και η πίεση του αντίστοιχου ατμού και συνεπώς και η πυκνότητά του. Έπειδή η παροχή όγκου V μένει σταθερή και η πυκνότητα του ατμού ρ έλαττώνεται, η παροχή μάζας m ή όποια είναι:

$$m = \rho \cdot V \quad (15)$$

έλαττώνεται.

Μέ τις συνθήκες λοιπόν αυτές ο συμπίεστος προωθεί προς το συμπυκνωτή μικρότερη παροχή μάζας ψυκτικού μέσου και η ψυκτική ισχύς έλαττώνεται.

Επαναλαμβάνεται και πάλι ότι:

Όγκομετρική ψυκτική ικανότητα είναι ή ψυκτική ικανότητα ανά μονάδα όγκου ατμού ψυκτικού μέσου.

Για τα συνηθισμένα ψυκτικά μέσα και τις συνηθισμένες συνθήκες λειτουργίας οι τιμές της δίνονται στους Πίνακες 2.10.1, 2.10.2 και 2.10.3.

Στους Πίνακες 2.10.1 ως 2.10.3 φαίνεται πολύ καθαρά και η σημασία της υπόψυξης του συμπυκνώματος στην ψυκτική ικανότητα.

Όσο ισχυρότερη είναι η υπόψυξη, τόσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία εισόδου στη διάταξη στραγγαλισμού και τόσο μεγαλύτερη ή όγκομετρική ψυκτική ικανότητα του ψυκτικού μέσου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.10.1.
Όγκομετρική ψυκτική ικανότητα ψυκτικού μέσου 717 (NH₃)
Μονάδες: [kcal/m³]

Θερμοκρασία ατμοποίησης °C	Θερμοκρασία στην είσοδο στεφανάλισμου [°C]																Θερμοκρασία ατμοποίησης °C	
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45		+50
-70	34,2	33,6	33,0	32,4	31,8	31,2	30,6	30,0	29,4	28,7	28,1	27,5	26,8	26,2	25,6	24,9	24,2	-70
-67,5	40,6	39,9	39,2	38,5	37,8	37,0	36,3	35,6	34,9	34,1	33,4	32,6	31,8	31,1	30,3	29,6	28,8	-67,5
-65	46,0	47,2	46,4	45,5	44,7	43,8	43,0	42,1	41,3	40,4	39,5	39,6	37,9	36,9	35,9	35,0	34,1	-65
-62,5	56,6	55,6	54,6	53,7	52,7	51,7	50,7	49,7	48,7	47,6	46,6	45,6	44,5	43,5	42,4	41,3	40,2	-62,5
-60	66,5	65,4	64,2	63,1	61,9	60,8	59,6	58,4	57,2	56,0	54,8	53,6	52,4	51,1	49,9	48,6	47,4	-60
-57,5	77,5	76,2	74,9	73,5	72,2	70,9	69,5	68,1	66,7	65,4	64,0	62,5	61,1	59,7	58,2	56,8	55,3	-57,5
-55	90,2	88,6	87,1	85,5	84,0	82,4	80,8	79,2	77,6	76,0	74,4	72,8	71,1	69,5	67,8	66,1	64,4	-55
-52,5	104,5	102,7	100,9	99,1	97,3	95,5	93,7	91,9	90,0	88,2	86,3	84,4	82,5	80,6	78,6	76,7	74,7	-52,5
-50	120,7	118,7	116,6	114,6	112,5	110,4	108,3	106,2	104,1	101,9	99,8	97,6	95,4	93,2	91,0	88,7	86,4	-50
-47,5	136,3	134,0	131,6	129,2	126,8	124,4	122,0	119,6	117,2	114,7	112,2	109,7	107,2	104,6	102,0	99,4	96,8	-47,5
-45	158,9	156,4	153,8	151,1	148,4	145,7	143,0	140,3	137,5	134,7	131,9	128,6	125,7	122,8	119,9	117,0	114,0	-45
-42,5	181,5	178,5	175,4	172,3	169,2	166,1	163,0	159,9	156,8	153,6	150,4	147,1	143,8	140,5	137,2	133,8	130,4	-42,5
-40	206,9	203,4	200,0	196,5	192,9	189,4	185,9	182,3	178,7	175,1	171,4	167,7	164,0	160,3	156,5	152,7	148,8	-40
-37,5	234,6	230,7	226,8	222,8	218,8	214,8	210,8	206,8	202,8	198,8	194,6	190,4	186,2	182,0	177,7	173,4	169,1	-37,5
-35	265,5	261,1	256,7	252,2	247,7	243,2	238,7	234,1	229,5	224,9	220,3	215,6	210,8	206,1	201,2	196,4	191,5	-35
-32,5	299,4	294,4	289,4	284,4	279,4	274,3	269,2	264,1	259,0	253,8	248,6	243,4	238,1	232,7	227,2	221,7	216,2	-32,5
-30	337,0	331,4	325,8	320,2	314,5	308,8	303,1	297,4	291,6	285,8	279,9	274,0	268,0	262,0	255,9	249,7	243,5	-30
-27,5	371,8	365,5	359,2	352,9	346,5	340,1	333,7	327,3	320,8	314,2	307,6	300,9	294,2	287,4	280,5	273,5	266,4	-27,5
-25	409,2	402,1	395,1	388,0	380,9	373,7	366,4	359,2	351,8	344,4	336,9	329,4	321,8	314,2	306,4	298,5	290,6	-25
-22,5	448,9	441,0	433,1	425,2	417,2	409,2	401,2	393,0	384,7	376,4	368,1	359,7	351,3	342,8	334,3	325,7	317,1	-22,5
-20	500,1	491,4	482,6	473,8	464,9	456,0	447,0	437,9	428,8	419,5	410,2	400,8	391,3	381,8	372,3	362,7	353,1	-20
-17,5	555,7	546,0	536,3	526,5	516,7	506,9	496,9	486,9	476,8	466,5	456,2	445,8	435,4	424,7	414,2	403,6	392,9	-17,5
-15	616,3	605,6	594,9	584,1	573,2	562,1	551,2	540,1	528,9	517,6	506,1	494,6	483,0	471,3	459,5	447,6	435,7	-15
-12,5	670,0	658,1	646,2	634,3	622,3	610,1	597,8	585,5	573,0	560,5	547,7	534,9	521,9	509,0	495,9	482,7	469,4	-12,5
-10	740,1	727,0	713,8	700,6	687,3	673,9	660,3	646,7	633,0	619,0	605,0	590,9	576,7	562,4	547,9	533,4	518,8	-10
-7,5	801,0	786,6	772,0	757,4	742,6	727,8	712,8	697,8	682,5	667,0	651,5	635,8	619,9	604,6	589,0	573,3	557,5	-7,5
-5	881,1	865,2	849,2	833,2	817,0	800,7	784,2	767,7	751,0	734,0	716,9	699,8	682,5	665,0	647,4	629,7	611,9	-5
-2,5	—	—	—	—	—	—	—	930,3	913,2	896,2	878,8	861,0	843,0	824,7	806,1	787,4	768,4	-2,5
0	—	—	—	—	—	—	—	1021,7	1002,5	983,1	963,5	943,8	924,0	903,9	883,7	863,3	842,7	0
+2,5	—	—	—	—	—	—	—	1117,7	1096,9	1075,7	1054,3	1032,8	1011,2	989,3	967,2	944,9	922,4	+2,5
+5	—	—	—	—	—	—	—	1220,8	1198,0	1175,0	1151,6	1128,2	1104,6	1080,7	1056,6	1032,3	1008,0	+5
+7,5	—	—	—	—	—	—	—	—	1306,6	1281,5	1256,2	1230,7	1205,0	1179,0	1152,8	1126,4	1099,7	+7,5
+10	—	—	—	—	—	—	—	—	1422,9	1395,7	1368,2	1340,4	1312,5	1284,3	1255,7	1227,0	1198,1	+10

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.10.2.
Όγκομετρική ψυκτική ικανότητα ψυκτικής μέσου R12
Μονάδες: [kcal/m³]

Θερμοκρασία άτμοποίησης °C	Θερμοκρασία στην είσοδο στραγγαλισμού [°C]																	Θερμοκρασία άτμοποίησης °C
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50	
-70	31,36	30,44	29,51	28,56	27,60	26,64	25,65	24,66	23,6	22,6	21,6	20,5	19,5	—	—	—	—	-70
-65	42,60	41,36	40,13	38,86	37,57	36,28	34,96	33,63	32,3	30,9	29,5	28,1	26,7	—	—	—	—	-65
-60	56,98	55,35	53,72	52,05	50,36	48,65	46,92	45,17	43,4	41,6	39,7	37,9	36,0	—	—	—	—	-60
-55	75,09	72,98	70,87	68,70	66,51	64,30	62,05	59,78	57,5	55,1	52,7	50,3	47,9	—	—	—	—	-55
-50	97,59	94,89	92,19	89,41	86,61	83,78	80,90	78,00	75,0	72,0	69,0	65,9	62,8	—	—	—	—	-50
-45	125,2	121,8	118,4	114,9	111,4	107,8	104,2	100,5	96,8	93,0	89,1	85,2	81,3	—	—	—	—	-45
-40	158,9	154,6	150,4	146,0	141,6	137,1	132,6	128,0	123,3	118,6	113,8	108,9	104,0	99,1	—	—	—	-40
-35	199,6	194,3	189,1	183,6	178,2	172,6	167,0	161,3	155,5	149,7	143,7	137,8	131,7	125,5	—	—	—	-35
-30	247,8	241,4	234,9	228,3	221,6	214,8	207,9	201,0	193,9	186,7	179,5	172,2	164,7	157,2	149,6	—	—	-30
-25	—	267,7	260,6	253,3	245,9	238,5	230,9	223,3	215,7	207,8	199,8	191,7	183,5	175,1	166,7	—	—	-25
-20	—	296,9	289,1	281,1	273,0	264,8	256,4	248,0	239,7	230,7	221,9	213,1	204,1	195,0	185,7	176,3	—	-20
-15	—	—	319,9	311,1	302,1	293,2	284,0	274,8	265,1	255,6	245,9	236,2	226,3	216,5	206,4	196,0	—	-15
-10	—	—	352,8	343,2	333,4	323,6	313,6	303,4	293,1	282,7	272,1	261,4	250,6	239,7	228,5	217,3	206,0	-10
-7,5	—	—	—	378,6	368,0	357,2	346,2	335,1	323,6	312,2	300,6	288,9	277,1	265,3	253,1	240,8	228,4	-7,5
-5	—	—	—	416,1	4,404	4,391,6	4,378,6	3,368,6	3,356,4	3,343,9	3,331,2	3,318,5	3,305,6	3,292,7	3,279,2	3,265,7	3,252,2	-5
-2,5	—	—	—	—	444,5	4,431,6	4,418,6	4,405,4	3,391,7	3,378,0	3,364,3	3,350,4	3,336,3	3,322,4	3,307,9	3,293,2	3,278,5	-2,5
0	—	—	—	—	487,5	4,473,5	4,459,3	4,444,9	4,430,2	4,415,3	4,400,4	3,385,3	3,369,9	3,354,5	3,338,8	3,323,8	3,308,6	0
+2,5	—	—	—	—	—	518,1	5,502,6	4,487,1	4,471,0	4,455,2	4,439,6	4,422,2	4,405,5	4,388,9	4,371,8	4,354,4	4,337,0	+2,5
+5	—	—	—	—	—	—	531,8	5,531,8	5,515,0	5,497,5	5,479,9	5,462,1	5,444,0	5,425,5	5,406,9	5,388,1	5,369,3	+5
+7,5	—	—	—	—	—	—	581,4	5,581,4	5,562,3	5,543,3	5,524,2	5,505,0	5,485,4	5,465,9	5,446,0	5,425,5	5,405,1	+7,5
+10	—	—	—	—	—	—	—	632,6	6,612,8	6,592,4	6,571,7	6,550,9	6,529,7	6,508,1	6,486,4	6,464,4	6,442,3	+10
+12,5	—	—	—	—	—	—	—	688,6	6,667,0	6,644,9	6,622,6	6,600,1	6,577,3	6,554,1	6,530,7	6,506,9	6,483,0	+12,5
+15	—	—	—	—	—	—	—	749,4	7,725,5	7,701,6	7,677,6	7,653,3	7,628,6	7,604,1	7,578,8	7,553,1	7,527,4	+15
+17,5	—	—	—	—	—	—	—	—	787,0	7,787,0	7,761,3	7,735,4	7,709,3	7,682,8	7,657,2	7,631,9	7,606,6	+17,5
+20	—	—	—	—	—	—	—	—	852,0	8,824,5	8,796,6	8,768,6	8,740,0	8,711,9	8,682,6	8,652,9	8,623,1	+20

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/2023

Παραπομπή: Ημερομηνία: 10/10/202

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.10.3.
Όγκομετρική ψυκτική ικανότητα ψυκτικού μέσου R22
Μονάδες: [kcal/m³]

Θερμοκρασία ατμοποίησης		Θερμοκρασία στην είσοδο στραγγαλισμού [°C]																						
°C		-55	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50	
-100	6.3	5.8	5.7	5.6	5.4	5.2	5.0	4.9	4.7	4.6	4.4	4.2	4.0	3.8	3.6	3.4	3.2	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0	
-95	9.8	9.1	8.9	8.7	8.4	8.1	7.9	7.6	7.4	7.1	6.8	6.6	6.3	6.0	5.7	5.4	5.1	4.8	4.4	4.1	3.8	3.4	3.0	
-90	14.8	14.1	13.7	13.4	12.6	12.2	11.9	11.5	11.1	10.8	10.4	9.9	9.5	9.1	8.6	8.2	7.7	7.2	6.8	6.3	5.9	5.4	5.0	
-85	21.6	21.1	20.6	19.6	19.0	18.5	18.0	17.4	16.9	16.4	15.8	15.2	14.6	14.0	13.4	12.7	12.0	11.4	10.7	10.0	9.3	8.6	8.0	
-80	30.9	30.2	29.5	28.7	28.0	27.3	26.5	25.8	24.2	23.5	22.7	21.8	21.0	20.1	19.2	18.3	17.4	16.4	15.5	14.5	13.6	12.6	11.7	
-75	43.3	42.3	41.3	40.3	39.3	38.2	37.2	36.2	35.1	34.1	33.0	31.9	30.8	29.6	28.4	27.1	25.8	24.6	23.3	22.0	20.6	19.2	17.8	
-70	59.7	58.3	56.9	55.6	54.2	52.8	51.3	49.9	48.5	47.1	45.6	44.1	42.5	41.0	39.3	37.6	35.8	34.6	33.3	32.0	30.7	29.2	27.6	
-65	80.5	78.7	76.9	75.0	73.2	71.3	69.4	67.5	65.6	63.7	61.8	59.8	57.7	55.5	53.3	51.1	48.7	46.4	44.0	41.6	39.2	36.7	34.2	
-60	107	105	99.8	97.4	94.9	92.4	89.9	87.4	84.9	82.4	79.8	77.0	74.2	71.2	68.3	65.2	62.1	59.0	55.9	52.6	49.4	46.1	42.8	
-55	140	137	134	131	128	125	121	118	115	112	108	105	101	97.8	94.0	89.2	85.1	81.0	76.8	72.4	68.0	63.7	59.4	
-50	—	—	—	173	169	165	161	157	153	149	144	140	136	131	127	122	117	112	107	101	95.4	89.7	84.0	
-45	—	—	—	222	217	211	206	201	196	191	185	180	175	169	163	157	150	144	137	131	124	118	111	
-40	—	—	—	272	266	260	253	247	240	234	227	221	213	205	198	190	182	174	166	158	149	141	132	
-35	—	—	—	334	326	318	310	302	294	285	277	268	259	249	239	229	219	209	199	189	178	168	157	
-30	—	—	—	403	393	383	373	363	353	343	331	320	309	297	285	273	260	248	235	222	209	196	183	
-25	—	—	—	—	478	466	454	442	430	418	405	391	377	363	348	334	319	304	288	273	258	243	228	
-20	—	—	—	—	—	568	554	539	525	510	494	477	461	444	426	408	390	372	354	335	316	297	278	
-15	—	—	—	—	—	667	650	633	615	596	577	556	534	511	488	464	439	414	389	364	339	314	289	
-10	—	—	—	—	—	—	762	742	722	695	671	647	621	594	566	538	510	482	454	426	397	369	341	
-5	—	—	—	—	—	—	—	908	883	856	839	801	773	742	713	683	653	621	590	558	526	494	462	
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
+5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
+10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
+15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
+20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
+25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
+30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
+35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
+40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
+45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
+50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

2.11 Σύγκριση αποδόσεως ψυκτικῶν μέσων.

Γιά νά γίνει σύγκριση τῆς αποδόσεως τῶν διαφόρων ψυκτικῶν μέσων πρέπει κατ' ἀρχήν νά ἀποκλεισθεῖ ἡ ἐπέμβαση τῶν μηχανικῶν ἀτελειῶν τῆς ἐγκαταστάσεως. Ἐτσι ἡ σύγκριση γίνεται μέ βάση τό θεωρητικό ψυκτικό κύκλο ὁ ὁποῖος χαράζεται στό διάγραμμα $p - h$ κάθε ψυκτικοῦ μέσου.

Γιά ὁμοιομορφία στή σύγκριση, πρέπει τά διάφορα ψυκτικά μέσα νά ἐξετασθοῦν γιά τό ἴδιο ζεῦγος τιμῶν θερμοκρασίας ἀτμοποιήσεως καί θερμοκρασίας συμπυκνώσεως.

Ἐπί πλέον ἡ σύγκριση πρέπει νά γίνει γιά τήν ἴδια ψυκτική ἰσχύ γιά ὅλα τά ἐξετάζόμενα ψυκτικά μέσα.

Οἱ προϋποθέσεις λοιπόν συγκρίσεως τῆς συμπεριφορᾶς τῶν διαφόρων ψυκτικῶν μέσων εἶναι:

- Θεωρητικός κύκλος.
- Προκαθορισμένες θερμοκρασίες ἀτμοποιήσεως, συμπυκνώσεως.
- Προκαθορισμένη ψυκτική ἰσχύς.

Ἀπό τίς συνθῆκες αὐτές προκύπτει ὁ Πίνακας 2.11.1. Ἀναφέρεται σέ ψυκτική ἰσχύ ἑνός ψυκτικοῦ τόννου (RT) ὅπου $1\text{ RT} \simeq 3,52\text{ kW}$. Ἡ σημαντικότερη στήλη στόν πίνακα ἴσως εἶναι ἡ τρίτη ἀπό τά δεξιά ὅπου δίνεται ἡ θεωρητική μηχανική ἰσχύς σέ PS γιά τήν ψυκτική ἰσχύ τοῦ 1RT.

Στόν Πίνακα 2.11.2 δίνονται ἀντίστοιχες τιμές γιά διαφορετικά ζεύγη θερμοκρασιῶν ἀτμοποιήσεως - συμπυκνώσεως. Τά ζεύγη αὐτά ἀντιπροσωπεύουν διάφορες τυπικές ἐγκαταστάσεις ψύξεως.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.11.1.
Σύνγκριση απόδόσεως ψυκτικών μέσων για παραγωγή ψυκτικής ισχύος 1 RT (3,52 kW)
Θερμοκρασία απόδοίσεως - 15°C (+ 5°F), θερμοκρασία συμπυκνώσεως + 30°C (86°F).

Συμβολο	Όνομασία	Χημικός τύπος	Ψυκτικό μέσο		Πίεση Ρ _{ατμ}	Πίεση Ρ _{ατμ}	Πίεση Ρ _{ατμ}	Ζέση Ζημυκνών- σεως Ρ ₂	Ζήτηση (Δόξος δόξ.)	Ψυκτική ικανότητα kj/kg	Παροχή μέγας ψυκτικ. μέσου kg/min	Παροχή ψυκτικ. ύπου	Είδος. δόξος άναρροφ. άτμου	Έκτομος από δύκος από συμπιεστή	Μηχανική ισχύς PS	Θερμ. συντελ.	CP ⁱⁿ	Τελική θερμο- κρασία συμπιέσεως
			Πίεση Ρ _{ατμ}	Πίεση Ρ _{ατμ}														
170	Αιθάνιο	CH ₃ CH ₃	15,5	46,5	2,86	136,3	1,55	5,62	33,1	3,10	1,98	2,41	50,0	—	—	—	—	—
744A	Όξείδιο 'Αζωτού	N ₂ O	20,7	64,8	3,03	198,1	1,06	1,17	17,5	1,12	1,33	3,60	—	—	—	—	—	—
744	Διοξείδιο 'Ανθρακ	CO ₂	22,3	72,5	3,15	129,0	1,64	2,74	16,8	1,63	1,87	2,56	66,1	—	—	—	—	—
381	Βρωμοφθορομεθάνιο	CBR F ₃	4,4	17,3	3,36	68,1	3,11	2,03	23,7	4,47	1,044	4,25	51,1	—	—	—	—	—
270	Προπυλένιο	CH ₃ CH = CH ₂	2,6	11,7	3,51	402,3	0,50	1,01	162,9	5,15	1,06	4,51	42,2	—	—	—	—	—
290	Προπάνιο	CH ₃ CH ₂ CH ₃	1,9	9,9	3,70	281,4	0,75	1,54	154,8	6,95	1,044	4,58	36,1	—	—	—	—	—
502	22/115 'Αζεοτροπικό μίγμα	—	2,5	12,3	3,75	106,3	1,99	1,63	51,2	6,13	1,094	4,37	37,2	—	—	—	—	—
22	Χλωροδιφθορομεθάνιο	CHClF ₂	2,0	11,1	4,03	162,8	1,30	1,10	77,4	6,03	1,025	4,66	53,3	—	—	—	—	—
115*	Χλωροπενταφθοροαιθάνιο	CClF ₂ CF ₃	1,7	9,5	3,89	67,7	3,12	2,47	48,1	9,00	1,186	4,02	30,0	—	—	—	—	—
717	'Αμμωνία	NH ₃	1,4	10,9	4,94	1103,3	0,191	0,32	508,8	5,84	1,002	4,76	98,9	—	—	—	—	—
500	12/152a 'Αζεοτροπικό μίγμα	—	1,2	7,9	4,12	141,0	1,50	1,32	93,6	8,41	1,024	4,65	40,6	—	—	—	—	—
12	Διχλωροδιφθορομεθάνιο	CCl ₂ F ₂	0,8	6,6	4,08	116,3	1,81	1,40	91,1	9,90	1,016	4,70	38,3	—	—	—	—	—
40	Μεθυλοχλωρίδιο	CH ₃ Cl	0,46	5,6	4,48	349,3	0,60	0,67	279,1	10,11	0,975	4,90	77,8	—	—	—	—	—
600a	'Ισοβουτάνιο	CH(CH ₃) ₃	-0,11	3,1	4,54	259,3	0,81	1,49	400,2	19,53	1,098	4,36	26,7	—	—	—	—	—
764	Διοξείδιο θείου	SO ₂	-0,20	3,6	5,63	328,9	0,64	0,44	400,8	15,44	0,981	4,87	88,3	—	—	—	—	—
630	Μεθυλαμίνη	CH ₃ NH ₂	-0,34	3,3	6,13	707,0	0,30	0,46	970,1	17,38	0,992	4,81	—	—	—	—	—	—
600	Βουτάνιο	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃	-0,46	1,9	5,07	299,1	0,71	1,24	623,0	26,37	0,966	4,95	31,1	—	—	—	—	—
114*	Διχλωροτετραφθοροαιθάνιο	CCl ₂ F ₂ CCl ₂ F ₂	-0,55	1,5	5,42	100,3	2,10	1,46	271	34,24	1,064	4,49	30,0	—	—	—	—	—
21	Διχλωροφθορομεθάνιο	CHCl ₂ F	-0,66	1,2	5,96	208,1	1,02	0,75	570	34,71	0,954	5,01	61,1	—	—	—	—	—
160	Αιθυλικό Χλωριο	CH ₃ CH ₂ Cl	-0,71	0,87	5,83	331,0	0,66	0,75	1065	42,17	0,919	5,21	41,1	—	—	—	—	—
631	Αιθυλαμίνη	C ₂ H ₅ NH ₂	-0,80	0,70	7,40	524,4	0,40	0,72	2017	65,70	0,867	5,52	—	—	—	—	—	—
11	Τριχλωροφθορομεθάνιο	CCl ₃ F	-0,83	0,25	6,19	155,3	1,36	0,93	762	62,08	0,951	5,03	43,9	—	—	—	—	—
610	Διαβρωτικό	C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅	-0,93	-0,17	8,20	293,7	0,72	1,03	2185	94,13	0,833	5,74	—	—	—	—	—	—
30	Μεθυνοχλωρίδιο	CH ₂ Cl ₂	-0,95	-0,33	8,60	313,0	0,68	0,51	3115	126,2	0,976	4,90	96,1	—	—	—	—	—
113*	Τριχλωροφθοροαιθάνιο	CCl ₂ FCClF ₂	-0,96	-0,48	8,02	124,9	1,69	1,09	1709	173,3	0,986	4,84	30,0	—	—	—	—	—
1130	Διχλωροαιθάνιο	CHCl = CHCl	-0,98	-0,55	8,42	265,8	0,79	0,63	3970	188,9	0,986	4,83	—	—	—	—	—	—
1120	Τριχλωροαιθάνιο	CHCl = CCl ₂	-1,02	-0,90	11,65	213,3	0,99	0,68	4321	852,9	0,994	4,82	—	—	—	—	—	—

* Για τα ψυκτικά μέσα 113, 114 και 115 υποτίθεται έλαφρώς υπέρθερος ατμός στην άναρρόφηση του συμπιεστή ώστε στην έξοδο του να προκύπτει άκριβώς κεκορεσμένος ατμός.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.11.2
Σύγκριση απόδοσης ψυκτικών μέσων για παραγωγή ψυκτικής ισχύος 1 RT (3.52 kW), με διαφορετικές θερμοκρασίες ατμοποίησης και συμπύκνωσης.

ΠΥΚΝΩΣΕΙΣ.

Ψυκτικό μέσο	Σύμβολο	Θερμοκρασία ατμοποίησης	Πίεση ατμοποίησης	Πίεση συμπύκνωσης	Σχέση συμπύκνωσης (λόγος όγκων)	Ψυκτική ικανότητα	Παροχή ψύξης ψυκτικού μέσου	Είδος όγκος ατμού	Εκτιμώμενος όγκος από συμπύκνωση	Μηχανική ισχύς συμπύκνωσης
		°C	atü	atü	—	kJ/kg	kg/min	l/kg	m ³ /h	PS
Α. — 90°C Ατμοποίηση, — 40°C Συμπύκνωση										
Αιθυλένιο	1150	-90	1,14	13,8	6,8	328,8	0,644	232,2	8,95	—
Όξείδιο Αζώτου N ₂ O	744A	-90	-0,03	8,6	9,6	303,5	0,694	362,1	15,10	—
Αιθάνιο	170	-90	-0,08	6,9	8,3	360,7	0,585	509,4	17,87	1,62
Μονοχλωροτριφθορομεθάνιο	13	-90	-0,39	5,1	9,6	106,5	1,980	225,1	26,74	1,70
Β. — 73,3°C Ατμοποίηση, — 22°C Συμπύκνωση										
Αιθάνιο	170	-73,3	1,17	8,5	4,3	357,7	0,590	241,6	8,55	1,55
Μονοχλωροτριφθορομεθάνιο	13	-73,3	0,53	6,4	4,8	108	1,955	97,4	11,46	1,15
Μονοχλωροδιφθορομεθάνιο	22	-73,3	-0,86	3,4	8,2	211,2	0,998	1150,6	68,96	1,08
Γ. — 60°C Ατμοποίηση — 15°C Συμπύκνωση										
Αιθυλένιο	1150	-60	6,68	28,1	3,8	268	0,789	71,2	3,36	—
Όξείδιο Αζώτου N ₂ O	744A	-60	3,50	20,7	4,8	270,7	0,780	82,4	3,86	1,62
Αιθάνιο	170	-60	2,84	15,5	4,3	304,9	0,694	143,6	5,96	1,32
Χλωροτριφθορομεθάνιο	13	-60	1,84	12,5	4,7	92,1	2,291	55,6	7,65	1,36
Βρωμοτριφθορομεθάνιο	13B1	-60	-0,13	4,4	6,0	109,3	1,928	120,5	13,93	—
Προπάνιο	290	-60	-0,60	1,9	6,8	340,5	0,621	923,9	34,35	1,13
Χλωροδιφθορομεθάνιο	22	-60	-0,65	2,0	7,9	196,3	1,075	536,9	34,63	1,20
Άμμωνία	717	-60	-0,81	1,4	10,7	1240,7	0,168	4700,9	47,99	1,26
Διχλωροδιφθορομεθάνιο	• 12	-60	-0,80	0,83	8,1	137,9	1,529	638,0	58,55	1,19

Συνεχίζεται

Συνεχίζεται

G. - 23,3°C 'Ατμοποίηση, με ψικτική λαχύ ως + 18,3° + 37,8°C, Συμπύκνωση

11	Τριχλωροφθορομεθάνιο	18,3	-0,90	6,2	12,2	167,2	1,261	1322,9	100,17	1,42
21	Διχλωροφθορομεθάνιο	18,3	-0,79	1,8	11,6	218,1	0,966	980,8	57,00	1,48
114	Διχλωροτετραφθοραιθάνιο	18,3	-0,71	2,2	10,2	113,7	1,855	447,0	49,68	1,46
12	Διχλωροδιφθορομεθάνιο	18,3	0,32	8,2	6,9	130,0	1,624	147,3	14,34	1,51
717	'Αμμωνία	18,3	0,63	13,9	8,9	1149,3	0,181	854,0	9,41	1,63
115	Χλωροπενταφθοραιθάνιο	18,3	0,96	11,8	6,5	84,7	2,495	75,5	11,32	1,65
22	Χλωροδιφθορομεθάνιο	18,3	1,16	13,8	6,8	176,6	1,193	126,1	9,02	1,58
502	22/115 'Αζοτροπικό Μίγμα	18,3	1,60	15,1	6,1	120,0	1,755	82,4	8,67	1,63

H. - 6,7°C 'Ατμοποίηση, + 26,7°C Συμπύκνωση

290	Προπάνιο	-6,7	2,87	9,0	2,6	300,2	0,703	118,6	5,00	—
22	Χλωροδιφθορομεθάνιο	-6,7	3,02	10,1	2,7	170,5	1,238	58,7	4,35	0,70
717	'Αμμωνία	-6,7	2,36	9,7	3,2	1129,8	0,186	369,0	4,13	0,68
500	12/152α 'Αζεοτροπικό Μίγμα	-6,7	1,92	7,2	2,8	149,1	1,415	70,5	5,98	0,69
12	Διχλωροδιφθορομεθάνιο	-6,7	1,48	5,9	2,8	123,3	1,710	68,7	7,05	0,69
40	Μεθυλοχλωρίδιο	-6,7	1,02	5,0	3,0	359,3	0,585	206,6	7,29	0,67
600α	'Ισοβουτάνιο	-6,7	0,25	2,8	3,0	277,9	0,757	292,2	13,30	—
764	Διοξείδιο Θείου	-6,7	0,18	3,2	3,5	336,1	0,626	280,3	10,55	—
600	Βουτάνιο	-6,7	0,22	1,6	3,2	317,7	0,662	451,4	18,00	—
114	Διχλωροτετραφθοραιθάνιο	-1,1	-0,35	1,3	3,54	108,4	1,946	192,3	22,41	0,71

I. + 4,4°C 'Ατμοποίηση, + 37,8°C Συμπύκνωση

290	Προπάνιο	+4,4	4,45	12,1	2,4	282,6	0,748	85,5	3,82	—
22	Χλωροδιφθορομεθάνιο	+4,4	4,81	13,7	2,5	160,3	1,315	41,2	3,25	0,69
717	'Αμμωνία	+4,4	4,12	13,9	2,9	1087,9	0,195	247,8	2,89	0,66
500	12/152α 'Αζεοτροπικό Μίγμα	+4,4	3,24	9,9	2,6	141,0	1,497	49,3	4,43	0,68
12	Διχλωροδιφθορομεθάνιο	+4,4	2,60	8,2	2,6	117,0	1,800	48,1	5,22	0,67
40	Μεθυλοχλωρίδιο	+4,4	2,01	7,2	2,7	346,7	0,608	143,0	5,22	0,64
600α	'Ισοβουτάνιο	+4,4	0,86	4,1	3,7	258,1	0,816	201,0	9,85	—
764	Διοξείδιο Θείου	+4,4	0,87	4,9	3,1	315,1	0,671	180,4	7,24	—
600	Βουτάνιο	+4,4	0,21	2,6	2,9	306,6	0,690	297,8	12,30	—
114	Διχλωροτετραφθοραιθάνιο	+11,1	0,03	2,2	3,0	104,0	2,032	127,4	15,55	0,91
21	Διχλωροφθορομεθάνιο	4,4	-0,17	1,8	3,2	209,3	1,007	257,8	15,58	0,64
11	Τριχλωροφθορομεθάνιο	4,4	-0,54	0,6	3,3	158,4	1,334	339,0	27,10	0,63
30	Μεθυλενοχλωρίδιο	4,4	-0,80	-0,10	3,9	311,6	0,676	1161,2	47,16	—
113	Τριχλωροφθορομεθάνιο	8,3	-0,85	-0,30	4,0	129,6	1,628	677,4	66,18	0,66
718	Νερό	4,4	-1,03	-0,97	7,8	2350,6	0,091	152638,0	821,99	—

2.12 Πεδία εφαρμογής ψυκτικών μέσων.

Από την πληθώρα ψυκτικών μέσων τά όποια υπάρχουν γιά τίς πιά συνηθισμένες εφαρμογές, χρησιμοποιοῦνται σχεδόν αποκλειστικά ὀρισμένα από αυτά.

Στήν παράγραφο αὐτή ἐξετάζονται ἀκριβῶς αὐτά τὰ πεδία εφαρμογῆς τῶν ψυκτικῶν μέσων τὰ ὅποια ἀπό θερμοδυναμικῆς ἀπόψεως ἔχουν ἤδη περιγραφεῖ.

Στήν περιοχή τῶν κοινῶν ψυκτικῶν ἐγκαταστάσεων ὑπάγονται οἱ ἐγκαταστάσεις οἱ ὁποῖες παράγουν ψυκτική ἰσχὺ σέ θερμοκρασίες ἀτμοποιήσεως ψυκτικοῦ μέσου, μέχρι καί -100°C .

Γιά περιοχές εφαρμογῆς μέ θερμοκρασίες παραγωγῆς ψυκτικῆς ἰσχύος κάτω ἀπό -100°C , ὑπάρχει εἰδικός κλάδος τῆς Τεχνολογίας τῆς Ψύξεως πού τίς μελετᾷ. Αὐτή ὀνομάζεται **Κρυογεννητική** (Cryogenics).

Ἡ περιοχή θερμοκρασιῶν μεταξύ -50°C καί -100°C χρησιμοποιεῖται σχεδόν αποκλειστικά σέ εφαρμογές χημικῶν βιομηχανιῶν καί σέ ὑγροποίηση φυσικῶν ἀερίων. Γιά νά ἐξυπηρετηθεῖ ἡ περιοχή αὐτή εἶναι ἀνάγκη νά χρησιμοποιηθοῦν διβάθμιες ἐγκαταστάσεις. Οἱ ἐγκαταστάσεις αὐτές περιλαμβάνουν στήν οὐσία δύο ψυκτικές ἐγκαταστάσεις. Ἡ πρώτη λειτουργεῖ μεταξύ τῆς χαμηλῆς θερμοκρασίας καί μιᾶς ἐνδιάμεσης, π.χ. -10°C στήν ὁποία γίνεται ἡ συμπύκνωση. Ἡ θερμότητα συμπυκνώσεως τῆς πρώτης ἐγκαταστάσεως εἶναι ἡ ψυκτική ἰσχὺς τῆς δεύτερης ἡ ὁποία λειτουργεῖ, π.χ. μεταξύ -10°C καί θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Ἡ διβάθμια ἐγκατάσταση χρησιμοποιεῖται, γιατί εἶναι ἀδύνατη ἡ λειτουργία μέ μονοβάθμια ἐγκατάσταση σέ μιὰ τόσο μεγάλη διαφορά θερμοκρασιῶν καί πιέσεων.

Οἱ περισσότερες ψυκτικές ἐγκαταστάσεις λειτουργοῦν σέ θερμοκρασίες πάνω ἀπό -50°C καί μποροῦν νά εἶναι μονοβάθμιες. Γιά τίς χαμηλότερες ὅμως θερμοκρασίες (-50° ὡς -30°C) πολλές φορές ἡ ἐγκατάσταση διβάθμιας διατάξεως δίνει οἰκονομικότερα ἀποτελέσματα.

Τά πιά συνηθισμένα ψυκτικά μέσα εἶναι τὰ παρακάτω καί χρησιμοποιοῦνται ὡς ἑξῆς:

1) **R12**. Ἔχει τῇ μεγαλύτερη ἐφαρμογή ἀπό ὅλα τὰ παράγωγα τῆς σειρᾶς μεθανίου - αἰθανίου. Χρησιμοποιεῖται στά οἰκιακά ψυγεῖα, στά μικρά καί μεσαῖα ἐπαγγελματικά ψυγεῖα, στίς μικρές αὐτόνομες κλιματιστικές συσκευές καί μονάδες καί στίς κλιματιστικές συσκευές ὀχημάτων.

2) **NH₃**. Χρησιμοποιεῖται σέ μεσαῖες, μεγάλες καί πολύ μεγάλες ἐγκαταστάσεις. Εἶναι πολύ φθινό ψυκτικό μέσο καί ἐπειδὴ ἔχει μεγάλη ψυκτική ἱκανότητα ἀπαιτεῖ μικρότερες διαστάσεις σωληνώσεων, συσκευῶν κλπ. Λόγω τῆς τοξικότητάς τήν ὁποία ἔχει δέν χρησιμοποιεῖται σέ εὐρεία κλίμακα.

3) **R22**. Χρησιμοποιεῖται γιά ἐπίτευξη «χαμηλῶν θερμοκρασιῶν» (-20°C ὡς -40°C) ἀντί γιά τό R12 τό ὁποῖο στήν περιοχή αὐτή ἔχει χαμηλές πιέσεις. Πολλές φορές ἀντικαθιστᾷ τό R12 γιά αὕξη τῆς ψυκτικῆς ἰσχύος (ἔχει ὀγκομετρική ψυκτική ἱκανότητα 60% περίπου μεγαλύτερη ἀπό τό R12) τῆς ὑπάρχουσας ἐγκαταστάσεως, ἂν ἡ μηχανική ἀντοχή τό ἐπιτρέπει. Φυσικά ἀπαιτεῖται κινητήρας μέ μεγαλύτερη ἰσχὺ καί ἰδιαίτερη προσοχή στή συμπεριφορά του μέ τό λάδι λιπάνσεως.

4) **R13**. Χρησιμοποιεῖται γιά ἐγκαταστάσεις πολύ χαμηλῶν θερμοκρασιῶν. Συνήθως χρησιμοποιεῖται στή βαθμίδα χαμηλῶν θερμοκρασιῶν διβαθμίων ἢ πολυβαθμίων ἐγκαταστάσεων. Πρέπει νά προσέχομε ὅταν ἡ ἐγκατάσταση δέν λειτουργεῖ, γιατί ἀναπτύσσονται ὑψηλές πιέσεις.

5) **R114.** Λόγω της μικρής όγκομετρικής ψυκτικής ικανότητας είναι κατάλληλο (όπως και το R113) για φυγοκεντρικούς συμπιεστές όπου απαιτούνται μεγάλες παροχές όγκου για ικανοποιητικό βαθμό αποδόσεως συμπιεστή.

Ειδικότερα για φυγοκεντρικούς συμπιεστές τα ψυκτικά μέσα είναι συνήθως τα R11, R113 και R114 και η επιλογή από αυτά γίνεται ανάλογα με τις θερμοκρασίες λειτουργίας.

Για χαμηλές θερμοκρασίες (-30°C) χρησιμοποιείται συχνά και το άζεοτροπικό μίγμα R502 το οποίο προέρχεται από ανάμιξη R22 (48,8%) και R115 (51,2%). Το μίγμα χρησιμοποιείται, γιατί έχει ψυκτική ικανότητα καλύτερη από την ψυκτική ικανότητα των δύο συνιστωσών.

Οι ιδιότητες των ψυκτικών μέσων που αναφέρθηκαν προκύπτουν λεπτομερώς από τον Πίνακα 2.11.2 όπου γίνεται σύγκριση της αποδόσεως των διαφόρων ψυκτικών μέσων.

Εκτός από τις ιδιότητες του πίνακα αυτού βασικό ρόλο στη συμπεριφορά του ψυκτικού μέσου σε κάθε εγκατάσταση, παίζει και η συνεργασία του με το λάδι λιπάνσεως.

2.13 Έπιτρεπόμενα ίχνη υγρασίας.

Για να λειτουργεί ικανοποιητικά μία ψυκτική εγκατάσταση πρέπει το ψυκτικό μέσο να περιέχει όσο το δυνατόν μικρότερα ποσά από ίχνη υγρασίας.

Κατά την κατασκευή και εγκατάσταση των ψυκτικών διατάξεων λαμβάνεται πάντοτε πρόνοια για την κατάλληλη αφαίρεση της υγρασίας πριν από την τοποθέτηση του ψυκτικού μέσου που και αυτό επίσης πρέπει να είναι απαλλαγμένο από υγρασία. Όμως η υγρασία τελικά φθάνει μέσα στο ψυκτικό μέσο από τον αέρα της ατμόσφαιρας.

Οι λόγοι που η υγρασία φθάνει τελικά στο ψυκτικό μέσο είναι:

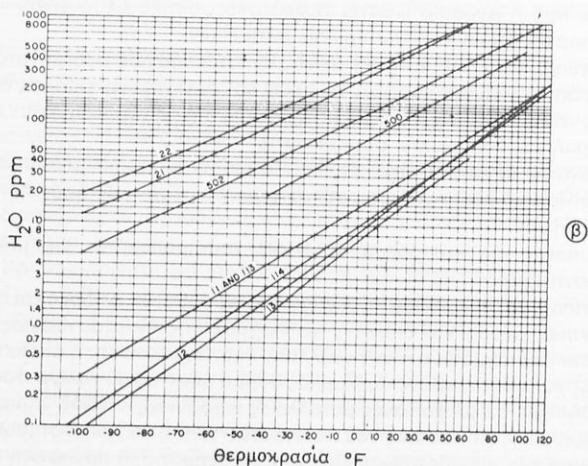
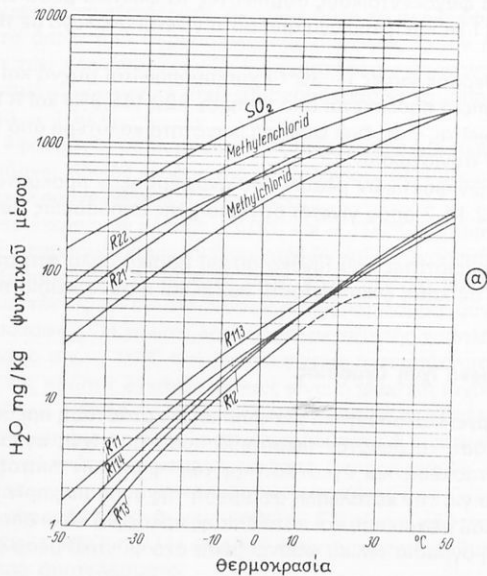
- Άνεπαρκής ξήρανση έσωτερικού συσκευών.
- Εισαγωγή κατά την κατασκευή της εγκαταστάσεως στο έργοτάξιο.
- Διαρροή στο τμήμα χαμηλής πίεσεως και ένδεχόμενη εισόδος αέρα (δταν η πίεση ατμοποίησης είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική).
- Διαρροή σε υδρόψυκτο συμπυκνωτή.
- Παραγωγή υδρατμού από χημική διάσπαση ψυκτικού μέσου και λαδιού.
- Υγρασία στο λάδι λιπάνσεως ή το ψυκτικό μέσο πριν από την τοποθέτηση στη διάταξη.
- Διάσπαση της κυτταρίνης ή οποία χρησιμοποιείται ως μονωτικό ηλεκτροκινητήρα.

Η υγρασία είναι ανεπιθύμητη, γιατί προκαλεί σοβαρές φθορές και σε μεγαλύτερες ποσότητες ακόμη και διακοπή λειτουργίας της εγκαταστάσεως. Οι φθορές προέρχονται από οξείδωση των μετάλλων, από επιχάλκωση, ή οποία γίνεται λόγω φθοράς της χάλκινης επιφάνειας (κυρίως σύρμα ηλεκτρικού τυλίγματος κινητήρων) και επικαθήσεως σε μη χάλκινες μεταλλικές επιφάνειες και από χημική βλάβη του υλικού ηλεκτρικής μονώσεως του τυλίγματος των ηλεκτροκινητήρων.

Η διακοπή λειτουργίας προκαλείται από το σχηματισμό πάγου στη στένωση της διατάξεως στραγγαλισμού ή οποία αποφράσσει τη ροή του ψυκτικού μέσου.

Για να μην εμφανίζονται οι δυσκολίες αυτές θα πρέπει το ψυκτικό μέσο να δια-

λύει μεγάλες ποσότητες υγρασίας σε όλες τις θερμοκρασίες. Όμως το μόνο ψυκτικό μέσο που διαλύει τεράστιες ποσότητες υγρασίας είναι η άμμωνία (NH_3). Τα άλλα διαλύουν μόνο ίχνη υγρασίας (σχ. 2.13α).



Σχ. 2.13α.

Διαλυτότητα υγρασίας (H_2O) σε υγρό ψυκτικό μέσο. α) Θερμοκρασίες °C. β) Θερμοκρασίες °F.

Ἡ ποσότητα H_2O δίνεται καί στά δύο διαγράμματα μέ τήν ἴδια μονάδα μετρήσεως, γιατί ppm (parts per million) σημαίνει «μέρη στό ἑκατομμύριο», δηλαδή εἶναι τό ἴδιο μέ mg/kg.

Ἀπό τά σχήματα αὐτά φαίνεται ἀμέσως ἡ διαφορά ἀνάμεσα στά ψυκτικά μέσα R12 καί R22 καί ἡ ὑπεροχή τοῦ R22.

Οἱ ἀκριβεῖς τιμές τῆς διαλυτότητας H_2O στά συνηθισμένα ψυκτικά μέσα στήν ὑγρή φάση δίνονται στόν Πίνακα 2.13.1.

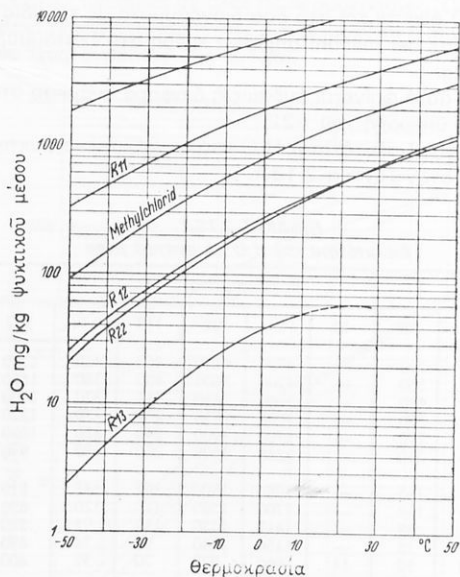
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.13.1.
Διαλυτότητα τοῦ H_2O σέ ψυκτικά μέσα

Θερμοκρασία °F	Ψυκτικό μέσο								Θερμοκρασία °C
	11	12	13	21	22	113	114	502	
160	460	700	—	4700	4100	460	450	1780	71.1
150	400	560	—	4200	3600	400	380	1580	65.6
140	340	440	—	3600	3150	344	320	1400	60.0
130	290	350	—	3200	2750	290	270	1220	54.4
120	240	270	—	2700	2400	240	220	1080	48.9
110	200	210	—	2350	2100	200	180	930	43.3
100	168	165	—	1980	1800	168	148	810	37.8
90	140	128	—	1700	1580	140	120	690	32.2
80	113	98	—	1410	1350	113	95	580	26.7
70	90	76	—	1150	1140	90	74	490	21.1
60	70	58	44	960	970	70	57	400	15.6
50	55	44	—	800	830	55	44	335	10.0
40	44	32	26	645	690	44	33	278	4.4
30	34	23.3	—	512	573	34	25	225	—1.1
20	26	16.6	14	398	472	26	18	180	—6.7
10	20	11.8	—	314	384	20	13	146	—12.2
0	15	8.3	7	260	308	15	10	115	—17.8
—10	11	5.7	—	205	244	11	7	90	—23.3
—20	8	3.8	3	158	195	8	5	69	—28.9
—30	6	2.5	—	118	152	6	3	53	—34.4
—40	4	1.7	1	90	120	—	2	40	—40.0
—50	3	1.1	—	66	91	—	1.5	30	—45.6
—60	2	0.7	—	49	68	—	1	22	—51.1
—70	1	0.4	—	35	50	—	0.6	16	—56.7
—80	0.8	0.3	—	25	37	—	0.4	11	—62.2
—90	0.5	0.1	—	17	27	—	0.2	8	—67.8
—100	0.3	0.1	—	12	19	—	0.1	5	—73.3

Ὅταν τά ψυκτικά μέσα εἶναι σέ μορφή ἀτμοῦ, μπορεῖ νά περιέχουν περισσότερη ἢ λιγότερη ὑγρασία ἀπό τήν ἀντίστοιχη ὑγρή φάση ἀνάλογα μέ τό εἶδος τοῦ ψυκτικοῦ μέσου. Στό σχῆμα 2.13β φαίνονται οἱ ἀντίστοιχες τιμές γιά συνηθισμένα ψυκτικά μέσα.

Ἀπό τή σύγκριση τῶν σχημάτων 2.13α καί 2.13β φαίνεται πόσο ἀλλάζουν οἱ τιμές ἀπό τήν ὑγρή στή φάση τοῦ ἀτμοῦ. Ἀκριβῶς τή μεταβολή αὐτή δίνει καί ὁ Πίνακας 2.13.2. Τό ψυκτικό μέσο R12 π.χ. ὅταν εἶναι ἀτμός, μπορεῖ νά ἔχει δεκαπλάσια περίπου ποσότητα ὑγρασίας ἀπό τό ἀντίστοιχο ὑγρό. Ἀντίθετα τό R22 ὅταν εἶναι ἀτμός, μπορεῖ νά περιέχει μόνο τό 1/3 περίπου ἀπό τήν περιεκτικότητα τοῦ ὑγροῦ.

Οἱ ἀπαιτήσεις γιά τήν καθαρότητα τοῦ ψυκτικοῦ μέσου μιᾶς ψυκτικῆς ἐγκατα-



Σχ. 2.13β.

Μέγιστη περιεκτικότητα υγρασίας σε ατμούς ψυκτικών μέσων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.13.2.

Περιεκτικότητα H_2 στον ατμό
Περιεκτικότητα H_2O στο υγρό.

Θερμοκρασία °F	Ψυκτικό μέσο						Θερμοκρασία °C
	11	12	22	113	114	502	
-40	—	17.1	0.203	—	52.2	0.40	-40
-20	71.0	15.3	.251	172.6	37.4	0.47	-28.9
0	62.4	13.1	.301	140.9	32.1	0.53	-17.8
20	57.9	11.9	.351	120.7	29.5	0.61	-6.7
30	—	11.2	0.378	111.4	26.9	0.65	-1.1
40	50.5	9.89	.390	99.3	24.7	0.66	4.4
50	—	9.0	.391	89.3	21.7	0.66	10.0
60	43.1	8.2	.401	79.0	19.7	0.66	15.6
70	—	7.5	0.404	68.6	17.6	0.66	21.1
80	34.8	6.3	.405	61.4	16.0	0.65	26.7
90	—	6.1	.397	54.6	14.4	0.64	32.2
100	30.1	5.5	.400	50.2	13.3	0.63	37.8

στάσεως κυμαίνονται ανάλογα με τό μέγεθος και τό είδος της. Παλιότερα για ψυκτικό R12 οι προδιαγραφόμενες τιμές ήταν μεταξύ 20 και 25 περίπου mgH_2O/kg R12. Οι σημερινές ανεκτές τιμές υγρασίας ως μέσος όρος από μετρήσεις που έγιναν σε πολλές εγκαταστάσεις δίνονται στον Πίνακα 2.13.3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.13.3.**Άνεκτές πμές υγρασίας ψυκτικού μέσου για διάφορες εφαρμογές.**

Είδος εφαρμογής	ρηρη Μέγιστη άνεκτη υγρασία		
	R12	R22	R502
Οικιακά ψυγεία και καταψύκτες Ψυγεία βιτρίνες Βιτρίνες κατεψυγμένων	10*	50 - 100	25
Κλιματιστικές	15	50 - 200	—
Κλιματιστικές παραθύρου και αυτόνομες	20	50 - 150	—
Κλιματιστικές αυτοκινήτων	60	—	—

* ή χαμηλότερα για εφαρμογές χαμηλών θερμοκρασιών.

“Όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία ατμοποίησης, τόσο λιγότερη υγρασία επιτρέπεται στο ψυκτικό μέσο (σχ. 2.13α και 2.13β).

Τά ψυκτικά μέσα τά όποια προμηθεύουν οι κατασκευάστριες εταιρίες περιέχουν ίχνη υγρασίας. Τά άνεκτά όρια για αυτά είναι θέμα προδιαγραφών οι όποιες δέν είναι πάντοτε οι ίδιες. “Όσο όμως λιγότερη υγρασία περιέχουν τόσο καλύτερα είναι.

Γιά τόν έλεγχο τής υγρασίας μέσα στις ψυκτικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται ειδικοί δείκτες οι όποιοι βρέχονται από τό ψυκτικό μέσο. Οι δείκτες είναι πίσω από ένα μικρό γυάλινο πώμα μέσα στό κύκλωμα του ψυκτικού μέσου και αλλάζουν χρώμα όταν ή υγρασία υπερβεί τό επιτρεπόμενο όριο. Συνήθως μέσα στις εγκαταστάσεις τοποθετούνται και ξηραντήρες οι όποιοι απομακρύνουν τήν υγρασία από τό ψυκτικό μέσο και τήν κατακρατούν διά προσροφήσεως. Τά υλικά πού χρησιμοποιούνται στους ξηραντήρες είναι τό silica gell, ό ζεόλιθος και ένεργοποιημένη alumina.

2.14 Συνεργασία μέ λάδι λιπάνσεως.

Τό λάδι είναι άπαραίτητο στή λειτουργία του συμπιεστή για τή μείωση των μηχανικών τριβών. Έπειδή ενδιαφέρει κυρίως ή λίπανση τής περιστρεφόμενης άτράκτου (ή στροφαλοφόρου άξονα) και τής επιφάνειας του κυλίνδρου, τό λάδι έρχεται όπωσδήποτε σε έπαφή μέ τό ψυκτικό μέσο. “Η διαλυτότητα μέ τό ψυκτικό μέσο είναι μία έπιθυμητή ιδιότητα ή όποία όμως δέν εξασφαλίζεται σε όλες τις θερμοκρασίες του κύκλου και για όλα τά ψυκτικά μέσα.

Τό λάδι στις ψυκτικές εγκαταστάσεις πρέπει να έκπληρώνει και άλλες απαιτήσεις έκτός από τήν έπιθυμητή λίπανση. Πρέπει, μέσα από τήν έλαιολεκάνη, να άπάγει θερμότητα προς τό κέλυφος του συμπιεστή, να έπιφέρει άπόσβεση στον παραγόμενο ήχο, να έχει ήλεκτρική μονωτική ικανότητα και να παραμένει λεπτόρευστο στις χαμηλές θερμοκρασίες.

Τό θέμα τής έπιλογής του κατάλληλου λαδιού είναι θέμα τής εταιρίας πού κατα-

σκευάζει τό συμπιεστή καί πρέπει νά ἀκολουθοῦνται κατά γράμμα οί παρεχόμενες ἀπό αὐτήν ὁδηγίες. Γιά μεγάλες ἐγκαταστάσεις τό πρόβλημα γίνεται περισσότερο ἔντονο, γιατί πρέπει νά ληφθοῦν ὑπ' ὄψη οί σωληνώσεις, οί διατάξεις ἀσφάλειας καί τὰ ἀποφρακτικά ὄργανα στά ὁποῖα μπορεῖ νά συσσωρεύεται λάδι.

Τό ἰξῶδες τοῦ λαδιοῦ δείχνει ἂν τό λάδι εἶναι λεπτόρευστο ἢ παχύρευστο. Μετρική μονάδα τοῦ μεγέθους εἶναι τό Stokes (St) ἢ ὁποῖα εἶναι $1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2/\text{s}$ ἢ συνήθως τό ἕνα ἑκατοστό της, δηλαδή τό Centistokes (cs). Μονάδα ἰξώδους στίς Η.Π.Α. εἶναι ἡ SSU (Saybolt Universal Viscosity). Οἱ τιμές γιά τὰ διάφορα ψυκτικά μέσα καί γιά τούς διάφορους τύπους συμπιεστῶν δίνονται στὸν Πίνακα 2.14.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.14.1.
Α. Μικρά συστήματα

Ψυκτικό μέσο	Εἶδος συμπιεστοῦ	Ἰξῶδες λαδιοῦ σέ 37,8°C (100°F)	
		SSU	cs
*Αμμωνία	Κοχλιόμορφος	280 - 300	60 - 65
*Αμμωνία	Παλινδρομικός	150 - 300	32 - 65
CO ₂	Παλινδρομικός	280 - 300*	60 - 65*
R11	Φυγοκεντρικός	280 - 300	60 - 65
R12	Παλινδρομικός	150 - 300	32 - 65
R12	Φυγοκεντρικός	280 - 300	60 - 65
R12	Περιστροφικός	280 - 300	60 - 65
R22	Παλινδρομικός	150 - 300	32 - 65
*Άλλοι τύποι ἀλογωνωμένων ψυκτικῶν μέσων	Φυγοκεντρικός	280 - 300	60 - 65
	Περιστροφικός	280 - 300	60 - 65
*Αλογωνωμένα ψυκτικά μέσα	Κοχλιόμορφος	150 - 300	32 - 65

Β. Βιομηχανικά συστήματα.
Συμπεστές ἀμμωνίας ἢ CO₂

Εἶδος συμπιεστή	Ἰξῶδες λαδιοῦ 37,8°C (100°F)	
	SSU	cs
*Ὅπου τό λάδι μπορεῖ νά εἰσέλθει στό ψυκτικό μέσο ἢ στὸν κύλινδρο τοῦ συμπιεστή	150 - 300	32 - 65
*Ὅπου τό λάδι δέν μπορεῖ νά εἰσέλθει στό ψυκτικό μέσο ἢ στό σύστημα: Σύστημα ἐξαναγκασμένης ροῆς ἢ ροῆς μέ βαρύτητα Συστήματα ἐκτινάξεως	500 - 600 150 - 160	108 - 129 32 - 34
*Ατμοκίνητοι συμπιεστές (κύλινδροι) ὅταν τό συμπύκνωμα χρησιμοποιεῖται γιά παραγωγή πάγου	λάδι μέ μεγάλο ἰξῶδες 140 - 165 SSU σέ 210°F.	30 - 35

Ἡ ἀναμιξιμότητα ὀρυκτῶν λαδιῶν μέ τά πιό συνηθισμένα ψυκτικά μέσα δίνεται στὸν Πίνακα 2.14.2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.14.2.
Ἀναμιξιμότητα λαδιῶ

Πλήρης ἀναμιξιμότητα	Μερικὴ ἀναμιξιμότητα			Μή ἀνα- μίξιμα
	Ὑψηλὴ	Μέση	Χαμηλὴ	
R-11 R-12 R-21 R-113 R-500	R-13B1 R-501	R-22 R-114	R-13 R-14 R-115 R-152a R-C318 R-502	Ἀμμωνία CO ₂

2.15 Δευτερεύοντα ψυκτικά μέσα (Ἴαλμες).

Όταν οἱ ἀπαιτήσεις, ὅσον ἀφορᾷ τὴν ψυκτικὴ ἰσχύ, εἶναι κατανεμημένες στὸ χῶρο μακριὰ ἀπὸ τὸ στοιχεῖο ἀτμοποιήσεως, τότε πρέπει νὰ χρησιμοποιηθεῖ ἓνα ὑγρὸ τὸ ὁποῖο θὰ «μεταφέρει» τὴν ψυκτικὴ ἰσχύ. Τὸ ὑγρὸ αὐτὸ πρέπει δηλαδὴ νὰ ψύχεται στὸ στοιχεῖο ἀτμοποιήσεως καὶ νὰ θερμαίνεται στὴ θέση ὅπου εἶναι τὰ ψυκτικὰ φορτία.

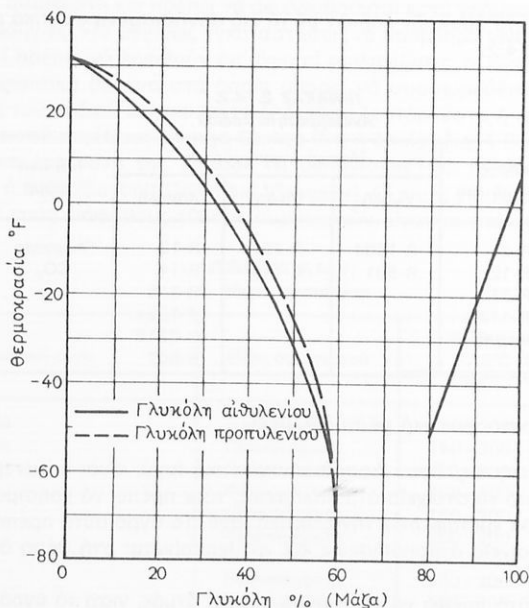
Τὸ ρευστὸ αὐτὸ πρέπει νὰ εἶναι ὑγρὸ καὶ ὄχι ἀτμός, γιατί τὰ ὑγρά ἔχουν πολὺ μεγαλύτερη εἰδικὴ θερμοχωρητικότητα ἀπὸ ὅ,τι οἱ ἀτμοί. Τὸ κατάλληλο καὶ ἀπὸ οἰκονομικῆς πλευρᾶς, μέσο, εἶναι τὸ νερὸ. Τὸ νερὸ χρησιμοποιεῖται σὲ ὅλες σχεδὸν τίς κλιματιστικῆς συσκευές στὶς ὁποῖες οἱ ἐπιθυμητές θερμοκρασίες εἶναι πάνω ἀπὸ τὸ σημεῖο ἀτερεοποιήσεως τοῦ νεροῦ (0°C).

Όταν ὅμως ὑπάρχουν ἐφαρμογές γιὰ θερμοκρασίες κάτω ἀπὸ 0°C τότε τὸ νερὸ μόνο του εἶναι ἀκατάλληλο, γιατί παγώνει. Γιὰ νὰ παραμείνει ὅμως ἡ οἰκονομία τῆς χρησιμοποιήσεως νεροῦ, προστίθεται στὸ νερὸ καὶ κάποιο κατάλληλο ὑλικό, ὥστε τὸ μίγμα πού προκύπτει νὰ ἔχει θερμοκρασία στερεοποιήσεως πολὺ κάτω ἀπὸ 0°C.

Παλιότερα γιὰ τὸ σκοπὸ αὐτὸ χρησιμοποιήθηκε ἀλάτι (NaCl) ἢ χλωριῶχο ἀσβέστιο (CaCl₂). Ἡ θερμοκρασία στερεοποιήσεως εἶναι ἀνάλογη μέ τὴ σύσταση τοῦ μίγματος. Πρόσφατα ἀντὶ γιὰ ἀλάτι ἢ χλωριῶχο ἀσβέστιο χρησιμοποιοῦνται γλυκόλες, οἱ ὁποῖες προστίθενται στὸ νερὸ (ὅπως π.χ. στὸ νερὸ τοῦ συστήματος ψύξεως αὐτοκινήτων). Συνήθως χρησιμοποιεῖται γλυκόλη τοῦ αἰθυλενίου ἢ τοῦ προπυλενίου. Μίγματα μέ νερὸ σὲ ἀναλογία περίπου 50 μέ 50% δίνουν θερμοκρασία στερεοποιήσεως περίπου — 35°F. Στὸ σχῆμα 2.15 φαίνονται οἱ ἀντίστοιχες θερμοκρασίες στερεοποιήσεως τῶν διαφόρων μιγμάτων.

Τὸ διάλυμα νεροῦ μέ NaCl ἢ CaCl₂ ἢ ἄλλη (σαλαμούρα) ὅπως λέγεται, μπορεῖ νὰ προκαλέσει ὀξειδώσεις ὅταν περιέχει ἀέρα ἢ ὀξυγόνο. Πρέπει λοιπὸν νὰ ἀποφεύγονται οἱ ἐλεύθερες ἐπιφάνειες τοῦ ὑγροῦ καὶ νὰ διατηρεῖται τὸ μίγμα σὲ ἀλκαλικὴ κατάσταση (pH 7,0 ὡς 8,5) μέ προσθήκη χρωμιούχου ἢ διχρωμιούχου νατρίου.

Μερικὲς φορές ἀντὶ γιὰ ἄλλη χρησιμοποιοῦνται κοινὰ ψυκτικὰ μέσα, ὅπως τὰ R12, R11, R30 καὶ R1120.



Σχ. 2.15.

Σημείο στερεοποίησης διαλυμάτων νερού και γλυκόλης.

2.16 Μίγματα ψυκτικών μέσων (R502).

Στό τέλος της παραγράφου 2.2 αναφέρθηκαν τά κυριότερα άζεotropικά μίγματα ψυκτικών μέσων καθώς και τό τί είναι άζεotropικό μίγμα.

Πρέπει νά τονισθεϊ ιδιαίτερα ότι σέ συνηθισμένες εγκαταστάσεις ψυκτικών διατάξεων μέ συμπιεστή όταν χρησιμοποιούνται μίγματα είναι άζεotropικά.

Άλλα μίγματα δέν μπορούν νά χρησιμοποιηθοϋν. Λόγω τών διαφορών θερμοκρασίας οι όποιες έπικρατοϋν στίς διάφορες θέσεις, έπέρχεται διαχωρισμός τοϋ μίγματος στίς δύο συνιστώσες καϊ έπομένως καθίσταται άδύνατη ή λειτουργία.

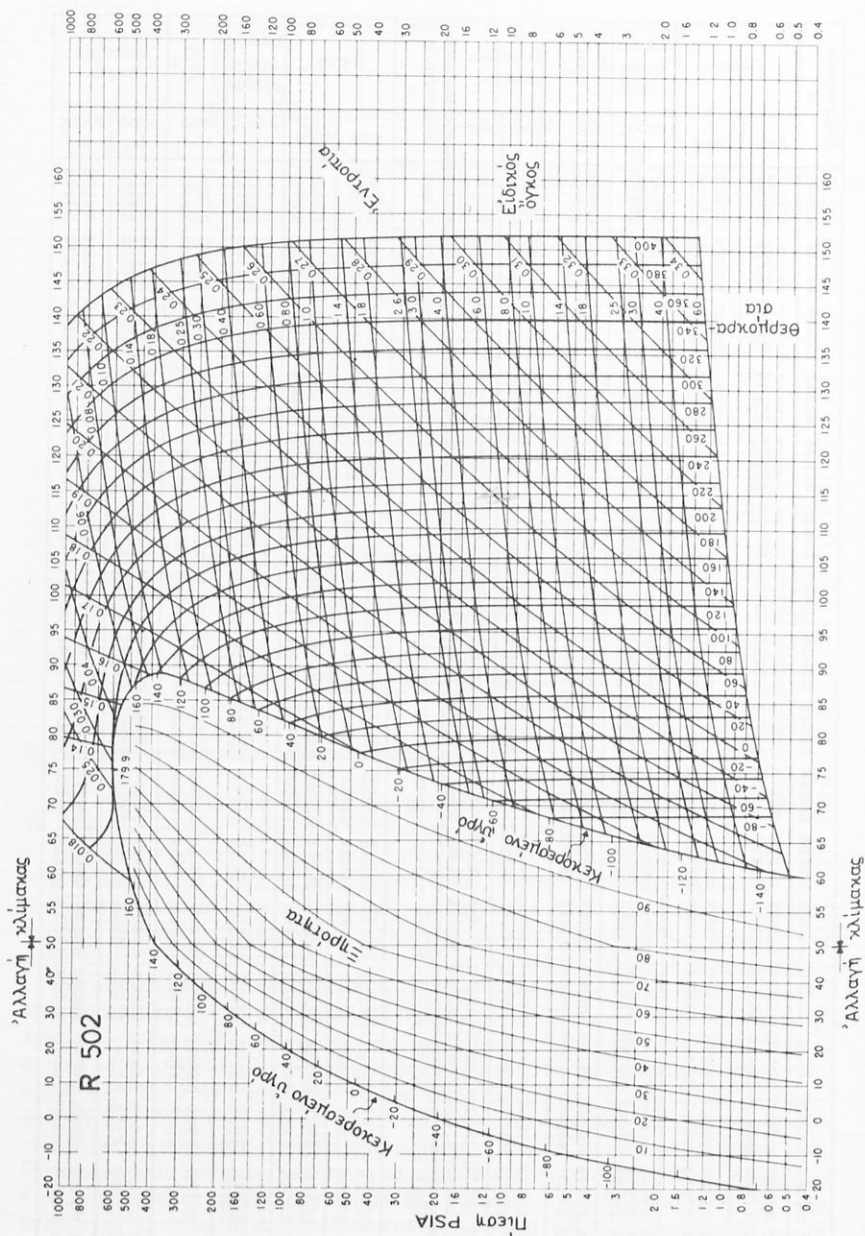
Ή έφαρμογή τοϋ άζεotropικοϋ μίγματος καϊ συγκεκριμένα τοϋ R500, έλυσε τό έξής πρόβλημα: Οι μικροί συμπιεστές πού κατασκευάζονταν στίς Η.Π.Α. είχανε ήλεκτροκινητήρα κατάλληλο γιά ήλεκτρικό δίκτυο 60 περιόδων, δηλαδή κινητήρα ό όποιος λειτουργούσε μέ 1800 στροφές τό λεπτό. Όταν οι συμπιεστές αύτοί χρησιμοποιούνταν στήν Εϋρώπη μέ τό ήλεκτρικό δίκτυο τών 50 περιόδων, λειτουργούσαν μέ 1500 στροφές τό λεπτό καϊ συνεπώς απέδιδαν παροχή όγκου ψυκτικοϋ μέσου μειωμένη. Τό ποσοστό μειώσεως ήταν περίπου $1500/1800 = 5/6$. Γιά νά λειτουργήσκει ή εγκατάσταση μέ μειωμένη παροχή όγκου, αλλά μέ ίδια ψυκτική ισχύ, έπρεπε νά χρησιμοποιηθεϊ άλλο ψυκτικό μέσο αντί τοϋ R12, τό όποιο έπρεπε νά αποδίδει μεγαλύτερη ψυκτική ισχύ κατά $1/6$ περίπου. Έπειδή γιά τό

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.16.1

Ψυκτικό μέσο R502.

117

Θερμοκρασία °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ένθαλπία Btu/lb		Θερμοκρασία °F	Πίεση		Ειδικός όγκος cuft/lb	Πυκνότητα lb/cu ft	Ένθαλπία Btu/lb	
	psia	psig			ατμός V _g	υγρό 1/V _f		psia	psig			ατμός V _g	υγρό 1/V _f
-150	0.4267	29.05*	69.573	102.87	-21.37	59.91	25	73.50	58.81	0.5575	83.50	16.14	80.35
-145	0.540	28.82*	55.867	102.38	-20.54	60.49	26	74.82	60.13	0.5478	83.37	16.41	80.46
-140	0.677	28.54*	45.200	101.89	-19.71	61.08	27	76.16	61.47	0.5384	83.23	16.67	80.56
-135	0.843	28.20*	36.834	101.39	-18.86	61.68	28	77.52	62.82	0.5291	83.10	16.94	80.66
-130	1.043	27.80*	30.222	100.89	-18.00	62.27	29	78.89	64.20	0.5201	82.97	17.21	80.76
-125	1.281	27.31*	24.958	100.39	-17.13	62.87	30	80.29	65.59	0.5112	82.83	17.48	80.86
-120	1.562	26.74*	20.739	99.896	-16.24	63.47	31	81.70	67.00	0.5025	82.70	17.75	80.96
-115	1.894	26.06*	17.336	99.391	-15.34	64.07	32	83.13	68.43	0.4940	82.56	18.02	81.06
-110	2.283	25.27*	14.572	98.882	-14.42	64.67	33	84.57	69.88	0.4857	82.43	18.29	81.16
-105	2.736	24.35*	12.315	98.371	-13.49	65.28	34	86.04	71.34	0.4775	82.29	18.56	81.26
-100	3.261	23.28*	10.461	97.857	-12.55	65.89	35	87.52	72.83	0.4695	82.16	18.84	81.36
-95	3.493	22.81*	9.8145	97.650	-12.17	66.13	36	89.03	74.33	0.4618	82.02	19.11	81.46
-90	3.739	22.31*	9.2142	97.443	-11.78	66.37	37	90.55	75.85	0.4539	81.88	19.38	81.56
-85	3.998	21.78*	8.6572	97.24	-11.39	66.61	38	92.09	77.39	0.4464	81.75	19.65	81.66
-80	4.272	21.22*	8.1399	97.03	-11.01	66.86	39	93.65	78.95	0.4390	81.61	19.93	81.75
-75	4.5612	20.63*	7.6591	96.82	-10.61	67.10	40	95.23	80.53	0.4318	81.47	20.20	81.85
-70	4.867	20.01*	7.2118	96.61	-10.22	67.34	41	96.83	82.13	0.4246	81.33	20.48	81.95
-65	5.188	19.36*	6.7954	96.40	-9.82	67.59	42	98.45	83.75	0.4177	81.19	20.75	82.04
-60	5.527	18.67*	6.4074	96.19	-9.42	67.83	43	100.08	85.38	0.4108	81.05	21.03	82.14
-55	5.883	17.94*	6.0457	95.98	-9.02	68.07	44	101.74	87.04	0.4041	80.91	21.31	82.24
-50	6.258	17.18*	5.7081	95.77	-8.62	68.31	45	103.42	88.72	0.3976	80.77	21.58	82.33
-45	6.652	16.38*	5.3930	95.55	-8.21	68.56	46	105.12	90.42	0.3911	80.62	21.86	82.43
-40	7.066	15.53*	5.0985	95.34	-7.80	68.80	47	106.84	92.14	0.3848	80.49	22.14	82.52
-35	7.501	14.65*	4.8231	95.13	-7.39	69.04	48	108.58	93.88	0.3786	80.35	22.42	82.61
-30	7.956	13.72*	4.5654	94.91	-6.98	69.28	49	110.34	95.64	0.3725	80.20	22.70	82.71
-25	8.434	12.75*	4.3241	94.70	-6.56	69.53	50	112.12	97.42	0.3666	80.06	22.98	82.80
-20	8.935	11.73*	4.0980	94.48	-6.14	69.77	51	113.92	99.22	0.3607	79.91	23.26	82.89
-15	9.459	10.66*	3.8859	94.27	-5.72	70.01	52	115.74	101.05	0.3550	79.77	23.54	82.98
-10	10.01	9.54*	3.6870	94.05	-5.29	70.25	53	117.59	102.89	0.3493	79.62	23.82	83.08
-5	10.58	8.38*	3.5002	93.83	-4.87	70.49	54	119.45	104.75	0.3438	79.48	24.10	83.17
0	11.18	7.15*	3.3248	93.62	-4.44	70.73	55	121.34	106.64	0.3383	79.33	24.38	83.26
5	11.81	5.88*	3.1589	93.40	-4.01	70.97	56	123.25	108.55	0.3330	79.19	24.66	83.35
10	12.46	4.54*	3.0047	93.18	-3.57	71.21	57	125.18	110.48	0.3278	79.04	24.95	83.44
15	13.15	3.15*	2.8586	92.96	-3.13	71.45	58	127.13	112.43	0.3226	78.89	25.23	83.53
20	13.86	1.70*	2.7211	92.74	-2.69	71.69	59	129.10	114.41	0.3176	78.74	25.51	83.62
25	14.60	0.19*	2.5915	92.51	-2.25	71.93	60	131.10	116.40	0.3126	78.59	25.80	83.70
30	15.38	0.68	2.4693	92.29	-1.81	72.17	61	133.16	120.46	0.3030	78.29	26.37	83.88
35	16.18	1.49	2.3540	92.07	-1.36	72.40	62	135.31	124.61	0.2937	77.99	26.94	84.05
40	17.02	2.33	2.2452	91.84	-0.91	72.64	63	137.55	128.86	0.2847	77.68	27.52	84.22
45	17.89	3.20	2.1424	91.62	-0.46	72.88	64	140.00	133.19	0.2761	77.37	28.09	84.39
50	18.80	4.11	2.0453	91.39	0.00	73.11	65	142.52	137.62	0.2677	77.06	28.67	84.55
55	19.75	5.05	1.9535	91.17	0.46	73.35	66	145.10	142.15	0.2596	76.75	29.25	84.72
60	20.73	6.00	1.8666	90.94	0.92	73.59	70	156.84	142.15	0.2506	76.75	29.25	84.72
65	21.74	7.05	1.7844	90.71	1.38	73.82	74	161.46	146.77	0.2416	76.44	29.83	84.88
70	22.80	8.10	1.7065	90.48	1.85	74.05	76	166.18	151.49	0.2330	76.11	30.41	85.04
75	23.90	9.20	1.6328	90.25	2.32	74.29	78	171.00	156.30	0.2250	75.78	31.00	85.19
80	25.03	10.34	1.5628	90.02	2.79	74.52	80	175.92	161.22	0.2170	75.46	31.59	85.35
85	26.21	11.52	1.4965	89.79	3.26	74.75	82	180.96	166.24	0.2090	75.13	32.18	85.50
90	27.43	12.74	1.4336	89.56	3.73	74.98	84	186.06	171.36	0.2010	74.79	32.77	85.64
95	28.70	14.00	1.3739	89.32	4.21	75.21	86	191.28	176.59	0.1930	74.45	33.36	85.79
100	30.01	15.31	1.3171	89.09	4.69	75.44	88	196.62	181.92	0.1850	74.11	33.95	85.93
105	31.36	16.66	1.2632	88.85	5.18	75.67	90	202.05	187.36	0.1770	73.76	34.55	86.07
110	32.76	18.07	1.2120	88.62	5.66	75.90	92	207.60	192.90	0.1690	73.41	35.15	86.20
115	34.21	19.52	1.1632	88.38	6.15	76.13	94	213.25	198.56	0.1610	73.06	35.75	86.34
120	35.71	21.01	1.1168	88.14	6.64	76.35	96	219.02	204.32	0.1530	72.70	36.35	86.47
125	37.26	22.56	1.0727	87.90	7.13	76.58	98	224.90	210.20	0.1450	72.34	36.96	86.59
130	38.85	24.16	1.0307	87.66	7.63	76.80	100	230.89	216.19	0.1370	71.97	37.56	86.71
135	40.50	25.81	0.9907	87.42	8.13	77.03	102	237.02	222.30	0.1290	71.59	38.17	86.83
140	42.21	27.51	0.9525	87.17	8.63	77.25	104	243.22	228.52	0.1210	71.21	38.78	86.94
145	43.96	29.27	0.9161	86.93	9.13	77.47	106	249.56	234.87	0.1130	70.83	39.40	87.05
150	45.78	31.08	0.8814	86.68	9.63	77.69	108	256.02	241.33	0.1050	70.44	40.01	87.16
155	47.64	32.91	0.8486	86.45	9.89	77.80	110	262.61	247.91	0.0970	70.04	40.63	87.26
160	49.54	34.75	0.8175	86.23	10.15	77.91	112	269.31	254.62	0.0890	69.64	41.25	87.35
165	51.49	36.60	0.7882	86.01	10.40	78.02	114	276.15	261.45	0.0810	69.23	41.88	87.44
170	53.53	38.50	0.7605	85.79	10.65	78.13	116	283.10	268.41	0.0730	68.81	42.50	87.53
175	55.65	40.45	0.7345	85.56	10.91	78.24	118	290.19	275.50	0.0650	68.39	43.13	87.61
180	57.84	42.44	0.7100	85.31	11.16	78.35	120	297.41	282.71	0.0570	67.96	43.77	87.68
185	60.09	44.47	0.6869	85.05	11.42	78.45	122	304.76	290.06	0.0490	67.53	44.40	87.75
190	62.40	46.54	0.6654	84.79	11.68	78.56	124	312.25	297.55	0.0410	67.07	45.04	87.81
195	64.76	48.66	0.6453	84.53	11.93	78.67	126	319.87	305.17	0.0330	66.61	45.68	87.86
200	67.16	50.81	0.6265	84.28	12.19	78.78	128	327.63	312.94	0.0250	66.14	46.33	87.91
205	69.60	53.00	0.6088	84.02	12.45	78.89	130	335.54	320.84	0.0170	65.66	46.98	87.95
210	72.09	55.23	0.5924	83.76	12.71	78.99	132	343.59	328.89	0.0090	65.17	47.64	87.98
215	74.62	57.50	0.5772	83.50	12.97	79.10	134	351.79	337.09	0.0010	64.67	48.30	88.00
220	77.19	59.81	0.5632	83.24	13.23	79.20	136	360.13	345.44	0.0000	64.15	48.97	88.01
225	79.80	62.16	0.5500	83.00	13.49	79.31	138	368.63	353.94	0.0000	63.63	49.64	88.01
230	82.44	64.55	0.5376	82.76	13.76	79.42	140	377.29	362.60	0.0000	63.08	50.32	88.00
235	85.09	66.96	0.52524										



Σχ. 2.16.

σκοπό αυτό δέν υπήρχε μόνο του ψυκτικό μέσο κατάλληλο, έγινε εφαρμογή του μίγματος R500.

Σήμερα τό άζεοτροπικό μίγμα χρησιμοποιείται καί ως συνηθισμένο ψυκτικό μέσο. Έκτός από τό R500 χρησιμοποιείται συχνά καί τό R502. Άποτελείται από 48,8% R22 καί 51,2% R115 (άναλογία κατά μάζα). Οί θερμοδυναμικές ιδιότητες του δίνονται στόν Πίνακα 2.16.1 καί στό σχήμα 2.16.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

3.1 Γενικά.

Ο όρος μετάδοση θερμότητας χαρακτηρίζει τον κλάδο της επιστήμης ο οποίος ασχολείται με τα προβλήματα ροής θερμότητας από μία θέση όπου επικρατεί υψηλότερη θερμοκρασία σε μίαν άλλη όπου επικρατεί χαμηλότερη θερμοκρασία.

Βασική προϋπόθεση λοιπόν για να υπάρξει πρόβλημα μεταδόσεως θερμότητας είναι να υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας, $\Delta T = T_1 - T_2$ όπου: T_1 είναι η θερμοκρασία της θέσεως από την οποία φεύγει η θερμότητα και T_2 η θερμοκρασία της θέσεως στην οποία καταλήγει η θερμότητα.

Φυσικά η θερμότητα δεν φεύγει από τη θέση αλλά από τη μάζα η οποία εύρεται στη θέση. Πολλές φορές όμως γίνεται αυτή η απλούστευση στην έκφραση λόγω της φύσεως του προβλήματος.

Η «μετακόμιση» αυτή της θερμότητας γίνεται μόνο επειδή υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας.

Ανάλογα με τη φύση του προβλήματος, άλλοτε είναι επιθυμητή έντονη ροή θερμότητας και άλλοτε όσο το δυνατό μικρότερη. Στο στοιχείο ατμοποίησης π.χ. είναι επιθυμητή έντονη μεταφορά θερμότητας. Αντίθετα τα τοιχώματα του ψυγείου έχουν μόνωση για να παραμένει πολύ μικρό το ρεύμα θερμότητας και να μην ανεβαίνει η θερμοκρασία του χώρου με θερμότητα που εισέρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον.

Όταν οι θερμοκρασίες οι οποίες καθορίζουν το πρόβλημα είναι σταθερές και σταθερές επίσης μένουν και οι ιδιότητες των υλικών από τα οποία διέρχεται το ρεύμα θερμότητας, τότε το πρόβλημα είναι *χρονικώς μόνιμο* ή απλώς *μόνιμο*.

Για τις εφαρμογές των ψυκτικών εγκαταστάσεων η θερμότητα διέρχεται μέσα από στερεά, όπως π.χ. τοιχώματα σωλήνων, πτερύγια ψύξεως, μονώσεις θαλάμων κλπ., από υγρά, όπως π.χ. ψυκτικά μέσα στο συμπιεστή, στο τμήμα υποψύξεως κλπ., ή τέλος από ατμούς όπως μέσα στο συμπιεστή, στην είσοδο του συμπυκνωτή κλπ.

Πρέπει λοιπόν να εξετασθούν προβλήματα τα οποία αφορούν και τις τρεις φάσεις από τις οποίες τα υγρά και οι ατμοί αφορούν κυρίως το ψυκτικό μέσο.

Επίσης πρέπει να εξετασθούν και ο αέρας και το νερό του περιβάλλοντος, γιατί και αυτά επιδρούν στη λειτουργία των εγκαταστάσεων.

Ειδική περίπτωση στη μετάδοση θερμότητας αποτελεί και το φαινόμενο της αλλαγής φάσεως, όπως συμβαίνει π.χ. στο στοιχείο ατμοποίησης (ατμοποίηση) και στο συμπυκνωτή (συμπύκνωση).

Γιά να υπολογισθούν τα αντίστοιχα μεγέθη των προβλημάτων απαιτούνται ειδικές γνώσεις και πείρα. Στο βιβλίο αυτό δίνονται μόνο βασικές γνώσεις και στοιχειώδη δεδομένα για να είναι δυνατή η εκτίμηση τάξεως μεγέθους.

Τό πιο συνηθισμένο πρόβλημα τό όποιο συναντάται στίς ψυκτικές εγκαταστάσεις είναι τό έξής: Δίνεται ή γεωμετρία, τά ύλικά, ή κατάσταση από απόψεως ροής και οι αντίστοιχες θερμοκρασίες και ζητείται να υπολογισθεΐ ή απαιτούμενη επιφάνεια για να υπάρξει συγκεκριμένη ροή θερμότητας.

Η μετάδοση θερμότητας από μιά μάζα υψηλότερης θερμοκρασίας σέ μιά μάζα χαμηλότερης θερμοκρασίας μπορεί να γίνει μέσα από ύλικά σώματα ή και χωρίς ύλικά σώματα μέσα από τό κενό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τής δεύτερης περιπτώσεως είναι τό σύστημα Ήλιος - Γή. Στήν περίπτωση αυτή ή μετάδοση γίνεται μέ **άκτινοβολία**. Στήν ούσία πρόκειται για ήλεκτρομαγνητική άκτινοβολία μέ συγκεκριμένη κατανομή ένέργειας σέ συνεχές φάσμα συχνοτήτων.

Στήν περίπτωση αυτή ό όρος «θερμότητα» αναφέρεται βασικά μόνο στό σήμα έκπομπής και στό σήμα λήψεως.

Όταν χρησιμοποιείται ύλικός φορέας για τή μεταφορά τής θερμότητας από τήν άρχική στήν τελική θέση, τότε ό φορέας αυτός μπορεί να έχει μακροσκοπική έσωτερική κίνηση ή να είναι άκίνητος. Πιο άπλά, ό φορέας μπορεί να είναι ρευστό ή στερεό. Όταν ό φορέας είναι στερεό τότε υπάρχει **άγωγή** τής θερμότητας. Όταν ό φορέας είναι ρευστό, δηλαδή ύγρό, άέριο, άτμός κλπ. και εμφανίζει μακροσκοπική κίνηση, τότε τό φαινόμενο ονομάζεται **συναγωγή**.

Η μεταφορά λοιπόν θερμότητας γίνεται μέ τήν:

- Άγωγή.
- Συναγωγή.
- Άκτινοβολία.

Στά περισσότερα τεχνολογικά προβλήματα, όπως φυσικά και στίς εγκαταστάσεις ψύξεως, οι τρεις αυτοί τρόποι εμφανίζονται συνδυασμένοι άλλοτε ανά δύο και σπανιότερα και οι τρεις μαζί.

Στίς έπόμενες παραγράφους αυτού του κεφαλαίου εξετάζονται πρώτα οι τρεις τρόποι χωριστά και ανεξάρτητα, και ύστερα γίνονται όρισμένοι συνδυασμοί από τους πιο συνηθισμένους του είδους.

Στό βιβλίο αυτό εξετάζονται μόνο μόνιμα φαινόμενα ροής θερμότητας.

Τό βασικό μέγεθος των προβλημάτων του είδους αυτού είναι ή θερμότητα και μάλιστα ή θερμότητα ανά μονάδα χρόνου. Τό μέγεθος αυτό έχει φυσικά μονάδες μηχανικής ισχύος, αλλά δέν έχει τή φυσική έννοια τής ισχύος. Είναι στήν ούσία μία **παροχή θερμότητας**. Όταν ό υπολογισμός γίνεται για τή μονάδα επιφάνειας και εξετάζεται τό αντίστοιχο ρεύμα θερμότητας, τότε, προφανώς, εξετάζεται ή **πυκνότητα παροχής θερμότητας** (μονάδες π.χ. kW/m²).

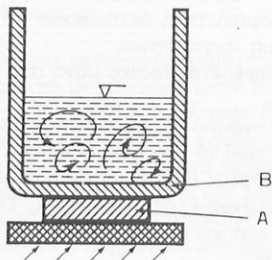
Σέ περιπτώσεις ψύξεως άέρα μέ επιφάνειες θερμοκρασίας χαμηλότερης από 0°C, εμφανίζεται συμπύκνωση του ύδρατμου του άέρα, και πολλές φορές, σχηματισμός χιονιοΐ ή πάγου.

3.2 Άγωγή.

Άγωγή είναι ό ένας από τους τρεις τρόπους μεταδόσεως θερμότητας και αναφέρεται βασικά σέ μετάδοση θερμότητας μέσα από στερεά σώματα. Μέ τόν τρόπο

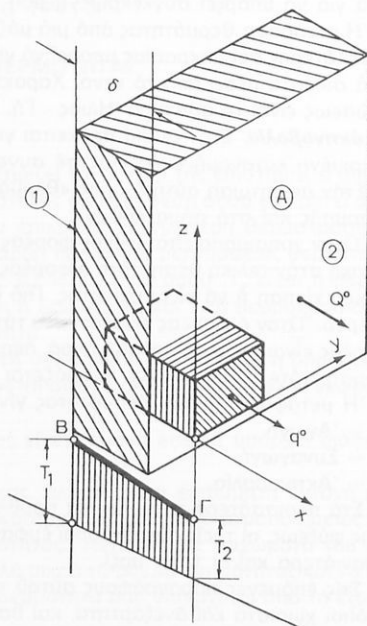
πο αυτό μεταδόσεως θερμότητας ο υλικός φορέας μέσα από τον οποίο περνά ή θερμότητα, δηλαδή τό στερεό σώμα, δέν έμφανίζει μακροσκοπικά καμία κίνηση.

Στό σχήμα 3.2α φαίνεται ή συνηθισμένη περίπτωση θερμάνσεως ύγρου από ένα θερμαινόμενο πυθμένα. Τό δοχείο έχει μία μεταλλική πλάκα Α π.χ. από χαλκό καί τόν πυθμένα Β από τό μέταλλο του δοχείου, π.χ. άνοξειδωτο χάλυβα. Στήν πλάκα Α δίνεται θερμότητα από μία ηλεκτρικά θερμαινόμενη πλάκα.



Σχ. 3.2α.

Θέρμανση ύγρου από θερμά τοιχώματα.



Σχ. 3.2β.

Αγωγή θερμότητας.

Η θερμότητα περνά μέσα από την πλάκα Α καί τόν πυθμένα Β μέ **άγωγη**. Από τό ζεστό πυθμένα Β περνά στόν ύγρό του δοχείου τό όποιο κινείται μέ μικρά ρεύματα, έπειδή ζεσταίνεται στό κάτω μέρος καί γίνεται ελαφρότερο· στή θέση αυτή έμφανίζεται **συναγωγή** θερμότητας.

Γιά νά υπάρχει συναγωγή πρέπει ό υλικός φορέας νά είναι όπωσδήποτε ρευστό. Αντίθετα ή άγωγή έμφανίζεται συνήθως σέ στερεά. Μπορεί όμως νά έμφανισθεί καί σέ ύγρά μέ όρισμένες προϋποθέσεις. Οι προϋποθέσεις αυτές είναι τέτοιες ώστε νά εξασφαλίζουν άκίνησία του ύγρου δηλαδή νά μήν έπιτρέπουν τή δημιουργία μακροσκοπικής κίνησης ώστε νά έμφανισθεί συναγωγή.

Από τεχνολογικής άπόψεως είναι συνήθως έπιθυμητή ή συναγωγή, διότι έτσι προκύπτουν μεγαλύτερες πυκνότητες παροχής θερμότητας καί οικονομικότερες έγκαταστάσεις. Έξαίρεση αποτελούν οι μονώσεις όπου γίνεται προσπάθεια κατα-

στολής της συναγωγής ώστε να μειωθεί ή παροχή θερμότητας, και συνεπώς οι θερμικές απώλειες.

Η εξέταση του μόνιμου φαινομένου άγωγής γίνεται πολύ απλή όταν τό πρόβλημα είναι μονοδιάστατο, όταν δηλαδή ή ροή θερμότητας γίνεται προς μία μόνη κατεύθυνση. Παράδειγμα του είδους αυτού φαίνεται στο σχήμα 3.2β. Η επιφάνεια 1 της μεγάλης πλάκας με πάχος δ , έχει θερμοκρασία T_1 και ή άλλη επιφάνεια 2 θερμοκρασία T_2 . Έπειδή $T_1 > T_2$ ή θερμότητα ρέει από την επιφάνεια 1 προς την επιφάνεια 2. Η παροχή θερμότητας είναι Q · και ή πυκνότητα παροχής q : Τό διαγραμμαμένο ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο έχει βάσεις ίσες με τή μονάδα επιφάνειας και συνεπώς μέσα από αυτό περνά ρεύμα θερμότητας ίσο με την πυκνότητα παροχής θερμότητας q :

Γιά τόν ύπολογισμό αυτού του άπλου φαινομένου της μόνιμης μονοδιάστατης ροής ισχύει ή σχέση:

$$Q = A(\lambda/\delta) (T_1 - T_2) \quad (3.1)$$

όπου:

Q ή παροχή θερμότητας σε W ,

A ή εγkάρσια επιφάνεια σε m^2 ,

δ τό πάχος τοιχώματος σε m ,

λ ή **είδική θερμική αγωγιμότητα** σε $W/m \text{ } ^\circ C$,

$(T_1 - T_2)$ ή θερμοκρασιακή διαφορά στά άκρα σε $^\circ C$.

Η είδική θερμική αγωγιμότητα είναι φυσική σταθερά του σώματος μέσα στο όποιο ρέει ή θερμότητα. Οι καλοί άγωγοί της θερμότητας, όπως είναι τά μέταλλα, έχουν μεγάλες τιμές λ , ενώ αντίθετα τά μονωτικά υλικά έχουν μικρές τιμές λ .

Η τιμή της είδικής θερμικής αγωγιμότητας λ κάθε σώματος μεταβάλλεται με τή θερμοκρασία του σώματος και με τό ποσόν ύγρασίας τό όποιο περιέχει τό σῶμα. Γιά συνηθισμένα προβλήματα όμως ή μεταβολή αυτή συνήθως παραλείπεται και έτσι στή σχέση (3.1) ή αριθμητική τιμή του λ θεωρείται σταθερή.

Στήν περίπτωση αυτή ή μεταβολή της θερμοκρασίας μέσα στο σῶμα είναι γραμμική, δηλαδή ή γραμμή ΒΓ στο σχήμα 3.2β, ή όποία δίνει τή γραφική παράσταση θερμοκρασίας, είναι εύθύγραμμο τμήμα και όχι καμπύλη.

Όταν ό ύπολογισμός γίνεται γιά τή μονάδα επιφάνειας της εγkάρσιας επιφάνειας, τότε από τή σχέση (3.1) προκύπτει ότι:

$$\frac{Q}{A} = \frac{\lambda}{\delta} (T_1 - T_2)$$

ή

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (T_1 - T_2)$$

(3.2)

Συνήθως οι ύπολογισμοί γίνονται με τή σχέση αυτή, και όταν καθορισθεί ή τιμή της πυκνότητας παροχής θερμότητας q ; ή παροχή θερμότητας προκύπτει από τή σχέση:

$$Q = q \cdot A$$

(3.3)

Οι σχέσεις (3.1) και (3.2) ισχύουν όταν μέσα στο υλικό μέσο ούτε παράγεται ούτε καταναλώνεται θερμότητα. "Αν π.χ. ή πλάκα του σχήματος 3.2β είναι από ραδιενεργό υλικό και παράγεται μέσα σέ αυτή και θερμότητα από απορρόφηση ακτινοβολίας, τότε οι σχέσεις (3.1) και (3.2) δέν ισχύουν.

3.3 Ειδική θερμική αγωγιμότητα.

Γιά νά υπολογισθοῦν οἱ ἀριθμητικές τιμές τῶν Q ἢ q πρέπει νά εἶναι γνωστές οἱ τιμές τῆς ἐιδικῆς θερμικῆς αγωγιμότητος λ . Στήν παράγραφο αὐτή δίνονται τιμές γιά τά πιά συνηθισμένα υλικά τά ὁποῖα συναντῶνται στίς ἐγκαταστάσεις ψύξεως.

Ὁ Πίνακας 3.3.1 δίνει μία γενική εἰκόνα γιά τήν τάξη μεγέθους τῶν τιμῶν τοῦ λ .

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.1.
Εἰδική θερμική αγωγιμότητα λ .

Υλικό	λ W/mK	Υλικό	λ W/mK
Μέταλλα, καθαρὰ	7 ... 420	Μονωτικά, ὀργανικά	0,03 ... 0,07
Κράματα	11 ... 150	Μονωτικά, ἀνόργανα	0,05 ... 0,11
Φυσικοί λίθοι	1,5 ... 4	Αέρια	0,01 ... 0,23
Δομικά υλικά	0,2... 3,5	Αέρας	0,023
Πυρίμαχα υλικά	0,7 ... 3,5	Υγρά	0,1 ... 0,6

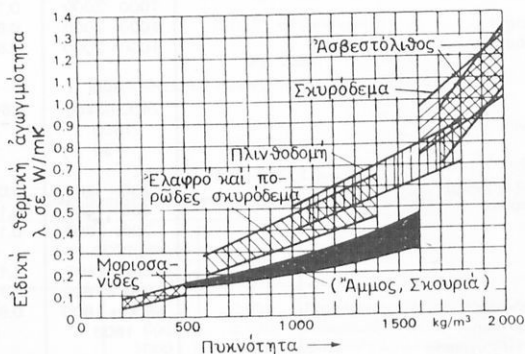
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.2
Εἰδική θερμική αγωγιμότητα μετάλλων σέ W/mK

Υλικό	λ W /mK	Υλικό	λ W /mK
Μέταλλα		Μέταλλα	
Άλουμίνιο 99,75%	229	Μαγνήσιο καθαρό	123
Άλουμίνιο 99%	208	Μαγκάνιο	50
Μολύβι	35,1	Νικέλιο 99,94%	87
Σίδηρος 99,12%	71	Νικέλιο 97 ÷ 99%	58
Σφυρήλατος καθαρός	58		
Χυτοσίδηρος 3% C	56 ÷ 64	Πλατίνα	71
Χυτοσίδηρος 1% Ni	50	Υδράργυρος 0°C	8 ÷ 10
Ανθρακοχάλυβας	37 ÷ 52	Αργυρος καθαρός	418
		Αργυρος 99,9%	413
Χρυσός	311	Βισμούθιο	7,8
Χαλκός καθαρός	394	Ψευδάργυρος καθαρός	112
Χαλκός ἐμπορίου	372	Κασσίτερος καθαρός	63
Κράματα		Κράματα	
Μπρούντζος ἀλουμινίου	83	Νεάργυρος 62% Cu, 15% Ni	
Μπρούντζος 90% Cu, 10% Sn	42	22% fn	25
Μπρούντζος 75% Cu, 25% Sn	26	Νικελιοῦχος χάλυβας 5% Ni	35
Χρωμονικελιοῦχος χάλυβας	10 ÷ 15	Νικελιοῦχος χάλυβας 15% Ni	22
Χρωμιοῦχος χάλυβας 5% Cr	20 ÷ 37	Νικελιοῦχος χάλυβας 30% Ni	12,2
Ντουραλουμίνιο	165	Νικελιοῦχος χάλυβας 50% Ni	14,5
Κράμα ἐμβόλων	135 ÷ 144	Μπρούντζος φωσφόρου	36 - 79
Κοινατανάνη	22,7	Κόκκινο μέταλλο	60
Μαγκανίνη	21,9	Χάλυβας V2A	15
Όρειχάλκος 70% Cu, 30% Sn	112	Χάλυβας Βολφραμίου	
Μονέλ 29% Cu, 67% Ni, 2% Cr	22		

Οι τιμές για αέρια, άερα και ύγρα ισχύουν για περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει κίνηση (ρεύματα) μέσα σ' αυτά. Αυτή η περίπτωση εμφανίζεται μόνον, όταν η θερμοκρασιακή διαφορά ($T_1 - T_2$) είναι πολύ μικρή (λίγοι βαθμοί °C) ή όταν το πάχος δ είναι μόνο λίγα mm. "Όταν δεν ισχύουν αυτές οι προϋποθέσεις, τότε εμφανίζονται ρεύματα λόγω διαφοράς πυκνότητας και εμφανίζεται και άλλος τρόπος μεταδόσεως θερμότητας, δηλαδή **συναγωγή**.

Οι τιμές της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας οι οποίες συνήθως ενδιαφέρουν την τεχνολογία των εγκαταστάσεων ψύξεως, αναφέρονται σε στερεά σώματα και κυρίως σε μέταλλα, μονωτικά και δομικά υλικά. Τιμές της λ για τις περιπτώσεις αυτές δίνονται στον Πίνακα 3.3.2. Ο πίνακας αναφέρεται σε μέταλλα και σε κράματα.

Στό σχήμα 3.3α δίνονται τιμές λ για δομικά υλικά. Οι τιμές αυτές μεταβάλλονται με την πυκνότητα του υλικού.



Σχ. 3.3α.

Τιμές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας λ δομικών υλικών.

Στόν Πίνακα 3.3.3 αναφέρονται τιμές των λ για περισσότερα δομικά υλικά σε κατάσταση «λειτουργίας», όπως είναι στο κτίριο.

Ειδικότερα στόν Πίνακα 3.3.4 δίνονται τα υλικά για επένδυση των δαπέδων.

Για τα μονωτικά υλικά δίνεται το σχήμα 3.3β. Στα υλικά αυτά η τιμή της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας λ μεταβάλλεται σημαντικά με τη θερμοκρασία και την πυκνότητα.

Για τιμές περισσότερων μονωτικών υλικών δίνεται ο Πίνακας 3.3.5.

Εκτός από τα μέταλλα και τα δομικά και μονωτικά υλικά χρειάζεται επίσης και η ειδική θερμική αγωγιμότητα του πάγου. Σε πολλά σημεία των ψυκτικών εγκαταστάσεων σχηματίζεται πάγος ο οποίος στην ουσία, από απόψεως ροής θερμότητας, είναι μονωτικό υλικό. Ο Πίνακας 3.3.6 δίνει σχετικές τιμές.

Πρέπει όμως να διευκρινισθεί ότι η δημιουργία πάγου συνδέεται με αφαίρεση θερμότητας από το νερό το οποίο αλλάζει φάση και στερεοποιείται. Όταν σχηματισθεί σημαντικό πάχος πάγου τότε πλέον το στρώμα αυτό δρα ως «μονωτικό». Το φαινόμενο αυτό είναι συνήθως ανεπιθύμητο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.3.

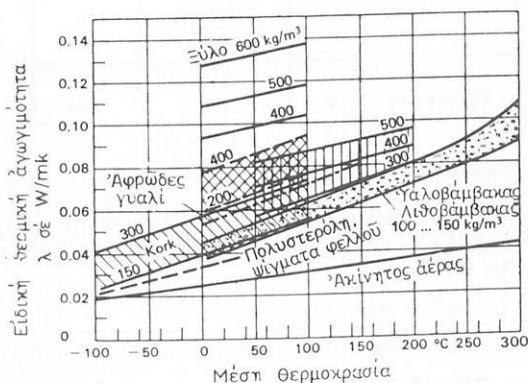
Ειδική θερμική αγωγιμότητα δομικών υλικών σε κατάσταση λειτουργίας
γιά θερμοκρασία 20°C. Τό λ σε W/mK

Δομικό υλικό	Πυκνότητα kg/m ³	λ W/mK
Άσφαλτος	2100	0,70
Σκυρόδεμα (Μπετόν)	1600 - 1800	0,75 ... 0,95
Τοίχος από ελαφρό σκυρόδεμα	1800 - 2200	0,95 ... 1,50
	800	0,47
	1000	0,56
	1200	0,65
	1400	0,74
	1600	0,81
Ελαφρό σκυρόδεμα, πλάκες	800	0,31
	1000	0,42
	1200	0,53
	1600	0,81
Έδαφος στεγνό	1000 - 2000	0,17...0,58
Έδαφος 10% υγρασία	1000 - 2000	0,50...2,10
Έδαφος 20% υγρασία	1000 - 2000	0,80...2,60
Πλακάκια		1,05
Γυψοσανίδες	800	0,31
Ύαλοπίνακες	2400 - 3200	0,58 ... 1,05
Ελαστικό έπιστρωμα	1500	0,17
Χαρτόνι	790	0,15
Ξύλο κάθετα στίς ίνες		
Έλαφρό ξύλο (μπάλα)	200 - 300	0,08...0,10
Πεύκο, Κυπαρίσσι	400 - 600	0,12...0,16
Δρύς	700 - 900	0,16...0,21
Λινόλεουμ	1200	0,19
Μάρμαρο	2500 - 2800	2,10...3,50
Σοβάς σέ τοῦβλα	1600 ÷ 1800	0,70...0,93
Σοβάς σέ τσιμεντόλιθους	1600 ÷ 1800	0,93...1,16
Άμμος θαλάσσης στεγνή	1600	0,31
Άμμος θαλάσσης 10% υγρασία		1,24
Άμμος θαλάσσης 20% υγρασία		1,76
Άμμος θαλάσσης κορεσμένη		2,44
Όπτοπλινθος (τούβλο)	1600 - 1800	0,38...0,52
Όπτοπλινθοδομή συμπαγής έσωτερική	1600 - 1800	0,70
Όπτοπλινθοδομή συμπαγής έξωτερική	1600 - 1800	0,87
Όπτοπλινθοδομή πορώδης έξωτερική	800	0,40
	1200	0,56
Όπτοπλινθοδομή (διάτρητα τούβλα)	800	0,35...0,52
	1600	0,52...0,76

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.4.

Ειδική θερμική αγωγιμότητα λ, υλικών δαπέδων.

Υλικό δαπέδου	λ W/mK	Υλικό	λ W/mK
Λίθινο	1,430	Νάυλον-Τσόχα	0,035
Κολλητό παρκέ	1,120	Τσόχα PVC κολλητή	0,043
Παρκέ	0,205	Χαλί μέ λάστιχο	0,070
Νάυλον καί λάστιχο	0,060	Φελός-PVC	0,052
		Μάλλινο	0,050



Σχ. 3.3β.

Ειδική θερμική αγωγιμότητα μονωτικών υλικών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.5.

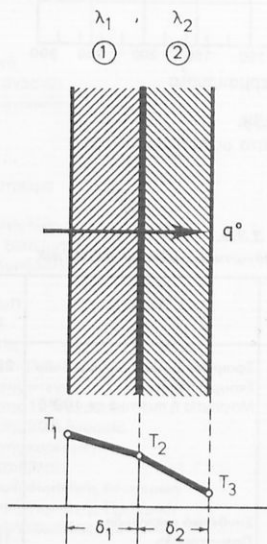
Ειδική θερμική αγωγιμότητα λ μονωτικών υλικών σε W/mK

Υλικό	Πυκνότητα kg/m ³	λ W /mK	Υλικό	Πυκνότητα kg/m ³	λ W /mK
Φύλλο Άλουμινίου	3,6	0,033	Σφαιρίδια φελλού διογκωμένου	35 ÷ 60	0,035
Χαρτί Άμιάντου	500	0,070	Σκουριά λεβήτων	750	0,326
Χαρτί Άμιάντου	1000	0,151	Μαγνησία ή πυριτικά σε 100°C	200	0,055
Πλάκες Άμιάντου	2000	0,698		300	0,063
Ίνες Άμιάντου	50	0,058		400	0,073
	100	0,058		500	0,087
	300	0,093		600	0,106
	500	0,160		800	0,157
Βαμβάκι αφράτο	81	0,059	Συνθετικά σπογγώδη		
Βαμβάκι ύφασμα	330	0,070	Πολυστηρόλη	15 ÷ 30	0,038
Βαμβάκι σε βάττες	10	0,041	Μολτοπρέν	20 ÷ 70	0,042
Ύαλοβάμβακας, Σκωριοβάμβακας	100	0,046	Έλαφρό σε λιθοδομή	600	0,047
Λιθοβάμβακας	200	0,041	Πορώδες μπετόν	800	0,477
				1000	0,570
Κετσές από μαλλιά	270	0,03 ÷ 0,08		1200	0,662
Ροκανίδια	100 ÷ 140	0,093		1400	0,780
Μοριοσανίδες	200	0,046			
	300	0,051	Έλαφρές πλάκες από ίνες ξύλου	200	0,061
	400	0,055	Έμποτισμένες	300	0,072
	500	0,064		400	0,082
	600	0,074		500	0,105
Πλάκες φελλού ή τύρφης	100	0,037		600	0,128
Φελλός	150	0,042	Σπογγώδες γυαλί	~150	0,053
	200	0,048			
	300	0,059			

Υλικό	Πυκνότητα kg/m ³	λ W/mK
Πάγος στους 0°C	917	2,21
Πάγος στους - 20°C	920	2,44

3.4 Πολλαπλά στρώματα.

Σε πολλές εφαρμογές υπάρχουν τοιχώματα τα όποια αποτελούνται από περισσότερα διαφορετικά υλικά. Για την περίπτωση αυτή ο υπολογισμός για την αγωγή θερμότητας γίνεται ως εξής:



Σχ. 3.4.

Αγωγή θερμότητας μέσα από διπλό τοίχωμα.

Στό σχήμα 3.4 για δύο στρώματα υπάρχει πυκνότητα παροχής θερμότητας q' . Για τό στρώμα 1 ισχύει η σχέση (3.2) και είναι:

$$q' = (\lambda_1/\delta_1) (T_1 - T_2) \quad (3.4)$$

και για τό στρώμα (2) αντίστοιχα:

$$q' = (\lambda_2/\delta_2) (T_2 - T_3) \quad (3.5)$$

Επειδή η πυκνότητα παροχής θερμότητας είναι η ίδια, πρέπει οι δύο σχέσεις να είναι ίσες μεταξύ τους. Προκύπτει λοιπόν ότι:

$$(\lambda_1/\delta_1) (T_1 - T_2) = (\lambda_2/\delta_2) (T_2 - T_3)$$

$$\eta \quad \frac{\lambda_1/\delta_1}{T_2 - T_3} = \frac{\lambda_2/\delta_2}{T_1 - T_2}$$

Από τις ιδιότητες των αναλογιών προκύπτει ότι:

$$\frac{\lambda_1/\delta_1}{T_2 - T_3} = \frac{\lambda_2/\delta_2}{T_1 - T_2} = \frac{(\lambda_1/\delta_1) + (\lambda_2/\delta_2)}{(T_2 - T_3) + (T_1 - T_2)} = \frac{(\lambda_1/\delta_1) + (\lambda_2/\delta_2)}{T_1 - T_3}$$

Η θερμοκρασιακή διαφορά των δύο εξωτερικών επιφανειών είναι $(T_1 - T_3)$. Η θερμοκρασιακή διαφορά στο τοίχωμα 1 είναι $(T_1 - T_2)$ και αν είναι γνωστή, η $(T_1 - T_3)$ υπολογίζεται σύμφωνα με την παραπάνω σχέση. Δηλαδή:

$$(T_1 - T_2) = (T_1 - T_3) \frac{\lambda_1/\delta_1}{(\lambda_1/\delta_1) + (\lambda_2/\delta_2)} \quad (3.6)$$

Αντίστοιχα για τη θερμοκρασιακή διαφορά στο άλλο στρώμα με δείκτη 2, θα ισχύει:

$$(T_2 - T_3) = (T_1 - T_3) \frac{\lambda_2/\delta_2}{(\lambda_1/\delta_1) + (\lambda_2/\delta_2)}$$

Για να παρασταθεί το πρόβλημα της αγωγής θερμότητας σε πολλαπλά στρώματα με **ένα** ισοδύναμο τοίχωμα το οποίο έχει το ίδιο συνολικό αποτέλεσμα, χρησιμοποιούνται οι σχέσεις (3.4) και (3.5). Έτσι προκύπτει ότι:

$$\frac{q'}{\lambda_1/\delta_1} = T_1 - T_2$$

$$\frac{q'}{\lambda_2/\delta_2} = T_2 - T_3$$

Η πρόσθεση των δύο αυτών σχέσεων δίνει:

$$\frac{q'}{\lambda_1/\delta_1} + \frac{q'}{\lambda_2/\delta_2} = (T_1 - T_2) + (T_2 - T_3) = T_1 - T_3$$

$$\eta \quad q' = \frac{1}{\delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2} (T_1 - T_3) \quad (3.5)$$

Αν το φανταστικό ισοδύναμο τοίχωμα υποτεθεί με τιμή (λ/δ) τότε θα ισχύει:

$$q' = (\lambda/\delta) (T_1 - T_3)$$

και από τη σχέση (3.5) τελικά προκύπτει ότι:

$$\frac{\lambda}{\delta} = \frac{1}{\delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2}$$

$$\eta \quad \boxed{\frac{\delta}{\lambda} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} \quad (3.6)$$

“Αν τὰ στρώματα εἶναι περισσότερα, ἄς ὑποθετοῦν τὸν ἀριθμὸ, τότε ἡ σχέση (3.6) γίνεται:

$$\frac{\delta}{\lambda} = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad (3.7)$$

Τὸ μέγεθος δ/λ συχνὰ ὀνομάζεται καὶ **θερμικὴ ἀντίσταση** τοῦ στρώματος.

Ἔτσι ἡ σχέση (3.7) δείχνει ὅτι ἡ θερμικὴ ἀντίσταση ἑνὸς πολλαπλοῦ στρώματος εἶναι ἴση μὲ τὸ ἄθροισμα τῶν θερμικῶν ἀντιστάσεων τῶν διαφόρων στρωμάτων τὰ ὁποῖα τὸ ἀποτελοῦν.

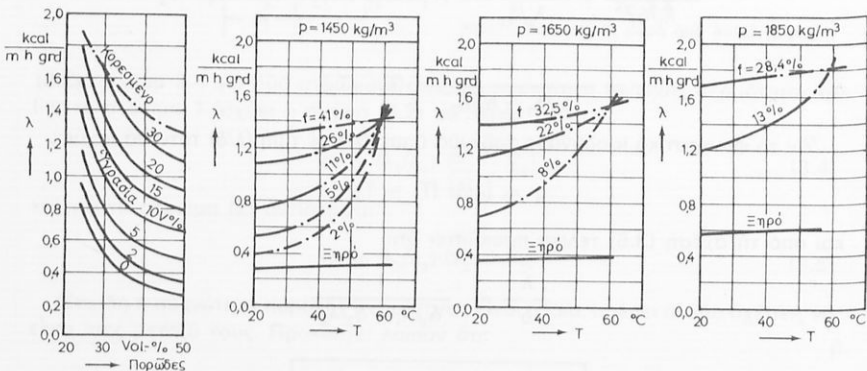
3.5 Ὑγρασία μονώσεων.

Στὶς σχέσεις τῆς προηγούμενης παραγράφου πρέπει νὰ εἶναι γνωστὲς οἱ τιμές τῆς εἰδικῆς θερμικῆς ἀγωγιμότητος τῶν ὑλικῶν τὰ ὁποῖα συνθέτουν τὴν κατασκευή. Γιά πολλὰ ὑλικά, οἱ τιμές αὐτές δίνονται στὴν παράγραφο 3.3. Πρέπει ὅμως νὰ τονισθεῖ ὅτι οἱ τιμές αὐτές ἀναφέρονται σὲ **ξηρά**, ὑλικά. Ὄταν ὑπάρχει ὑγρασία οἱ τιμές διαφέρουν, γιατί ἡ ὑγρασία μειώνει τὴ μονωτικὴ ἰκανότητα τῶν ὑλικῶν.

Ὅταν τὸ τοίχωμα, τὸ ὁποῖο ἐξετάζεται, ἔχει θερμοκρασίες κοντὰ στοὺς 0°C, τότε ὁ ἀέρας ὁ ὁποῖος διεισδύει σ' αὐτὸ ψύχεται πολὺ. Ἀποτέλεσμα αὐτοῦ τὸ γεγονός εἶναι ἡ συμπύκνωση τοῦ ὕδατος ποὺ περιέχει ὁ ἀέρας. Τὸ συμπύκνωμα αὐτὸ μένει μέσα στὸ ὑλικὸ σάν νερό καὶ ἡ ποσότητά του συνεχῶς αὐξάνει, γιατί διεισδύει νέος ἀέρας μὲ νέα ποσότητα ὕδατος. Ἄν ἡ θερμοκρασία στὸ τοίχωμα εἶναι κάτω ἀπὸ 0°C, τότε σχηματίζεται μέσα στὸ μονωτικὸ ὑλικὸ ὄχι μόνο νερό ἀλλὰ καὶ χιόνι καὶ πάγος.

Τὸ φαινόμενο αὐτὸ μειώνει πολὺ τὴ μονωτικὴ ἰκανότητα καὶ μπορεῖ νὰ προκαλέσει καὶ καταστροφή τῆς κατασκευῆς λόγω τῆς συσσωρεύσεως πάγου ὁ ὁποῖος πιέζει τὰ τοιχώματα ἀπὸ μέσα πρὸς τὰ ἔξω.

Γιά νὰ μὴν ὑπάρχουν οἱ κίνδυνοι αὐτοί, πρέπει τὰ τοιχώματα τῶν μονώσεων χαμηλῶν θερμοκρασιῶν, νὰ ἔχουν ἓνα **φραγμὸ ὕδατος**, δηλαδή κάποια κατὰλληλη μεμβράνη, ἢ μεταλλικὰ λεπτὰ φύλλα κλπ.



Σχ. 3.5.

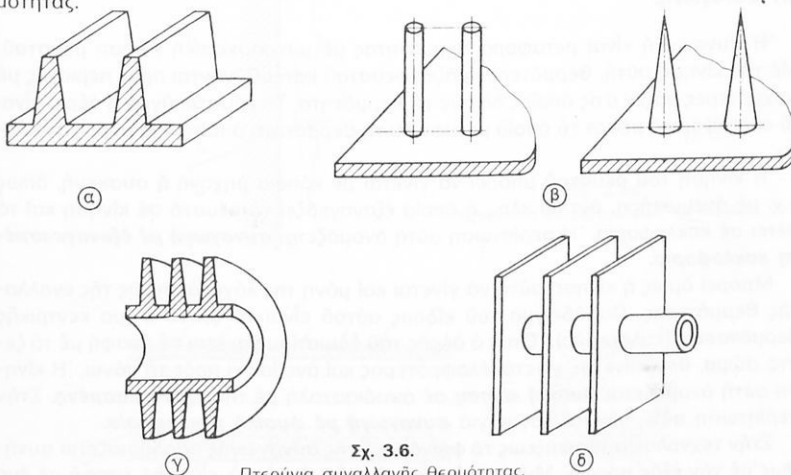
Ἐπίδραση τῆς ὑγρασίας στὴν εἰδικὴ θερμικὴ ἀγωγιμότητα ὀππολίνθων (τοῦβλων). f = ὑγρασία % κατ' ὄγκο, e = πυκνότητα.

Στό σχήμα 3.5 δίνεται ή μεταβολή τής ειδικής θερμικής αγωγιμότητας λ τών ό-
πτοπλίνθων μέ τήν ύγρασία.

Άπό τό διάγραμμα αυτό φαίνεται ή σημαντική αύξηση τής ειδικής θερμικής α-
γωγιμότητας λ μέ τήν ύγρασία. Γιά μεγάλα ποσοστά ύγρασίας φθάνει μέχρι καί τε-
τραπλάσιες τιμές από ό,τι σέ στεγνή κατάσταση. Τό γεγονός αυτό πρέπει νά τονι-
σθεϊ ιδιαίτερα γιατί μπορεί νά προκαλέσει πολύ μεγάλες διαφορές κατά τόν ύπολο-
γισμό τών ποσών θερμότητας ψυκτικών θαλάμων (φορτία).

3.6 Πτερύγια συναλλαγής θερμότητας.

Στίς ψυκτικές εγκαταστάσεις τό ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί συνήθως μέσα σέ
σωλήνες. Ίδιαίτερα στό στοιχείο ατμοποίησης καί στό συμπυκνωτή όπου τό
ψυκτικό μέσο εύρίσκεται σέ συναλλαγή θερμότητας μέ τόν άέρα (αερόψυκτη έγ-
κατάσταση) ή επιφάνεια τών σωλήνων δέν είναι άρκετή γιά τή μετάδοση τής θερ-
μότητας.



Σχ. 3.6.

Πτερύγια συναλλαγής θερμότητας.

Γιά νά αύξηθεϊ ή επιφάνεια τών σωλήνων προστίθενται έξωτερικά μεταλλικά
πτερύγια ή σύρματα (σχ. 3.6). Μέ τόν τρόπο αυτό αύξάνει βέβαια ή επιφάνεια, άλ-
λά ή κατά μήκος του πτερυγίου θερμοκρασία αλλάζει. Αυτό γίνεται άμέσως κατα-
νοητό άν εξετασθεϊ ό μηχανισμός μεταδόσεως θερμότητας. Ή θερμότητα πρέπει
νά φύγει από τό έξωτερικό του σωλήνα (συμπυκνωτής) του σχήματος 3.6 (δ), π.χ.
νά περάσει τό τοίχωμα του σωλήνα, νά εξαπλωθεϊ στό πτερύγιο καί νά κινηθεϊ μέ-
σα από αυτό πρός τόν άέρα. Καθώς όμως ρέει ή θερμότητα δημιουργείται θερμο-
κρασιακή πτώση σύμφωνα μέ τή σχέση (3.2). Άπό αυτό συμπεραίνουμε ότι ή επι-
φάνεια του πτερυγίου δέν έχει παντού τήν ίδια θερμοκρασία. Γιά συμπυκνωτή, τό
μέρος κοντά στό σωλήνα είναι θερμότερο καί ή περιφέρεια ψυχρότερη. Γιά στοι-
χείο ατμοποίησης είναι αντίθετα.

Έπειδή τό πτερύγιο δέν έχει παντού τή θερμοκρασία του σωλήνα, γι' αυτό δέν
αποδίδει όλη ή επιφάνεια τόσο καλά όσο τό κέντρο του.

Λόγω αυτής ακριβώς της πτώσεως θερμοκρασίας δέν είναι δυνατόν να κατασκευασθούν μεγάλα πτερύγια, γιατί είναι άχρηστα. Όσο μεγάλη και αν γίνει η επιφάνειά τους, μόνο τό τμήμα της γύρω από τό σωλήνα είναι ένεργό. Τό υπόλοιπο δέν συμβάλλει σχεδόν καθόλου. Συνήθως τά πτερύγια γίνονται από άλουμίνιο, έπειδή έχει μεγάλη ειδική θερμική άγωγιμότητα λ και έτσι μπορούν νά χρησιμοποιηθούν μεγαλύτερες επιφάνειες. Πτερύγια από σίδηρο χρησιμοποιούνται μόνο γιά έγκαταστάσεις άμμωνίας και μειονεκτούν ως προς τό άλουμίνιο από άπόψεως ειδικής θερμικής άγωγιμότητας.

Ό ύπολογισμός της ροής της θερμότητας μέσα από πτερύγια διαφόρων μορφών είναι πολύ σύνθετος και δέν αναφέρεται στο βιβλίο αυτό.

Η άπόσταση των πτερυγίων καθορίζεται από την αντίσταση πού προκαλούν στον άέρα ή τό ύγρό όταν περνά ανάμεσά τους.

3.7 Συναγωγή.

Η συναγωγή είναι μεταφορά θερμότητας μέ μακροσκοπική κίνηση ρευστού. Μέ την κίνηση αυτή, θερμότερες μάζες ρευστού κατευθύνονται προς περιοχές μέ ψυχρότερες μάζες στις όποιες δίνουν τή θερμότητα. Τό ρευστό, ύγρό ή άέριο είναι τό «μεταφορικό μέσο» τό όποιο μεταφέρει τή θερμότητα από τό ένα μέρος στο άλλο.

Η κίνηση του ρευστού μπορεί νά γίνεται μέ κάποια μηχανή ή συσκευή, όπως π.χ. μέ άνεμιστήρα, άντλία κλπ., ή όποία έξαναγκάζει τό ρευστό σέ κίνηση και τό θέτει σέ κυκλοφορία. Η περίπτωση αυτή όνομάζεται **συναγωγή μέ έξαναγκασμένη κυκλοφορία**.

Μπορεί όμως ή κίνηση αυτή νά γίνεται και μόνη της λόγω ακριβώς της έναλλαγής θερμότητας. Παράδειγμα του είδους αυτού είναι τό ζεστό σώμα κεντρικής θερμάνσεως (καλοριφέρ). Όταν ό άέρας του δωματίου έρχεται σέ έπαφή μέ τό ζεστό σώμα, θερμαίνεται, γίνεται έλαφρότερος και άνεβαίνει προς τά πάνω. Η κίνηση αυτή όνομάζεται **φυσική κίνηση** σέ αντίδιαστολή μέ την **έξαναγκασμένη**. Στην περίπτωση αυτή γίνεται λόγος γιά **συναγωγή μέ φυσική κυκλοφορία**.

Στήν τεχνολογία της ψύξεως τό φαινόμενο της συναγωγής παρουσιάζεται συνήθως μέ την εξής μορφή: Μιά επιφάνεια στερεού σώματος είναι σέ έπαφή μέ ένα ρευστό και ή θερμότητα συναλλάσσεται μεταξύ στερεού - ρευστού.

Γιά **φυσική** κυκλοφορία ισχύει:

- **Στερεό σώμα θερμότερο** από τό ρευστό προκαλεί **ροή ρευστού προς τά έπάνω**.
- **Στερεό σώμα ψυχρότερο** από τό ρευστό προκαλεί **ροή ρευστού προς τά κάτω**.

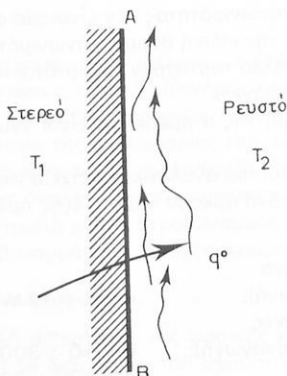
Γιά την έξαναγκασμένη κυκλοφορία ή ροή του ρευστού μπορεί νά γίνει προς όποιαδήποτε κατεύθυνση λόγω του μηχανικού έργου πού διατίθεται γιά τή διατήρηση της ροής.

Και στή συναγωγή, ή ροή θερμότητας προκαλείται από τή διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της στερεάς επιφάνειας και του ρευστού. Αν ή στερεά επίπεδη επιφάνεια AB (σχ. 3.7α) έχει θερμοκρασία T_1 και τό ρευστό, μακριά από τή στερεά επιφάνεια, έχει θερμοκρασία T_2 , τότε ή πυκνότητα παροχής θερμότητας q δίνεται από τή σχέση:

$$q' = \alpha(T_1 - T_2) \quad (3.7)$$

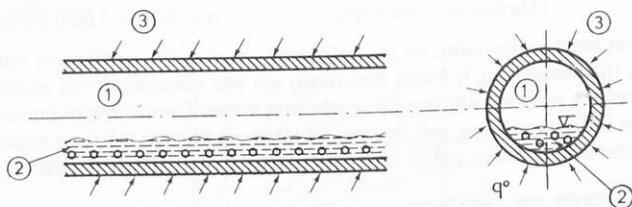
Τό μέγεθος α ονομάζεται **είδική (θερμική) συναγωγιμότητα**: $[W/m^2 \text{ } ^\circ C]$. Γενικά στα προβλήματα αυτά, ή δυσκολία του υπολογισμού εύσκεται στον καθορισμό της τιμής του α .

Στίς ψυκτικές διατάξεις ή μετάδοση θερμότητας μέ συναγωγή είναι πολλές φορές συνδεδεμένη μέ αλλαγή φάσεως του ρευστού. "Αν έξετάζεται τμήμα του συμπυκνωτή είναι συμπύκνωση, αν έξετάζεται τμήμα του στοιχείου άτμοποίησης είναι άτμοποίηση.



Σχ. 3.7α.

Μετάδοση θερμότητας μέ συναγωγή.



Σχ. 3.7β.

Μετάδοση θερμότητας μέ συναγωγή καί ταυτόχρονη αλλαγή φάσεως.

Στό σχήμα 3.7β υπάρχει σχηματικά ή κατάσταση από ένα τμήμα σωλήνα στοιχείου άτμοποίησης.

Στό έσωτερικό υπάρχει υγρό ψυκτικό μέσο (2) τό όποιο άτμοποιείται, αλλά υπάρχει καί άτμός (1). Στό έξωτερικό υπάρχει ό άέρας (3) ό όποίος ψύχεται από τό σωλήνα. "Η θερμότητα άφαιρείται από τόν άέρα (3) καί προσδίδεται στό υγρό ψυκτικό μέσο (2).

Στήν περίπτωση αυτή υπάρχει μεταφορά θερμότητας μέ συναγωγή καί στίς δύο επιφάνειες τής στερεάς επιφάνειας (σωλήνας). Στήν έξωτερική επιφάνεια είναι μεταφορά θερμότητας από άέρα σέ σωλήνα καί στήν έσωτερική επιφάνεια είναι μεταφορά θερμότητας από σωλήνα σέ ψυκτικό μέσο μέ ταυτόχρονη αλλαγή φά-

σεως. Ἡ σχέση (3.7) ἰσχύει καί γιά τίς δύο ἐπιφάνειες. Φυσικά γιά τίς δύο περιπτώσεις ἄλλες τιμές ἔχει τό α καί ἄλλες ἡ διαφορά θερμοκρασίας.

Ἡ σχέση (3.7) δέν προέρχεται ἀπό ἐπιστημονικούς συλλογισμούς, ἀλλά εἶναι ἕνας ἀπλός ὀρισμός. Γιά τό λόγο αὐτό ὁ θεωρητικός ὑπολογισμός τοῦ α εἶναι ἀκόμη πιό δύσκολος, γιατί δέν περιγράφει κάποιο μονοσήμαντα καθορισμένο φυσικό φαινόμενο.

3.8 Εἰδική (θερμική) συναγωγιμότητα.

Ἡ ἀριθμητική τιμή τῆς εἰδικῆς συναγωγιμότητας δέν εἶναι μία φυσική σταθερά τοῦ ὕλικου μέσου ὅπως συμβαίνει μέ τήν εἰδική θερμική ἀγωγιμότητα. Ἡ τιμή της ἐξαρτᾶται βέβαια καί ἀπό τό ρευστό, ἀλλά ταυτόχρονα ἐξαρτᾶται πολύ περισσότερο ἀπό τή μορφή τῆς ροῆς στήν ἐπιφάνεια.

Γιά νά προσδιορισθεῖ λοιπόν ἡ τιμή τῆς α πρέπει νά εἶναι γνωστά καί νά ληφθοῦν ὑπόψη πολλά δεδομένα.

Στίς ἐπόμενες παραγράφους δίνονται πιό ἀναλυτικά στοιχεῖα γιά τίς ἀντίστοιχες περιπτώσεις. Γιά μία πρώτη γενική εἰκόνα ἀρκοῦν ἴσως οἱ ἐξῆς τιμές τῶν ἀντιστοιχῶν διαστάσεων.

- Ἀέρας ἐγκάρσια γύρω ἀπό σωλήνα
(ἐλεύθερη συναγωγή): $\alpha = 1 \div 12 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}.$
- Ἀέρας ἐγκάρσια γύρω ἀπό σωλῆνες
(ἐξαναγκασμένη συναγωγή): $\alpha = 10 \div 300 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}.$
- Νερό μέσα σέ σωλῆνες: $\alpha = 200 \div 3000 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}.$
- Νερό ἐγκάρσια γύρω ἀπό σωλῆνες
(ἐλεύθερη συναγωγή): $\alpha = 600 \div 1500 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}.$

Πρέπει γιά κάθε περίπτωση, νά γνωρίζομε τήν τιμή τοῦ α , γιατί αὐτή καθορίζει τό μέγεθος τῆς ἐπιφάνειας ἡ ὁποία ἀπαιτεῖται γιά τήν κατασκευή τῆς συσκευῆς.

Οἱ πιό μεγάλες τιμές εἰδικῆς συναγωγιμότητας ἐμφανίζονται στίς περιπτώσεις ὅπου ὑπάρχει ἀλλαγὴ φάσεως τοῦ ρευστοῦ. Εἰδικά γιά ἀλλαγὴ φάσεως νεροῦ οἱ τιμές αὐτές γίνονται πολύ μεγάλες. Χαρακτηριστικές τιμές εἶναι οἱ ἐξῆς:

α) Νερό σέ δοχεῖα καί λέβητες.

- Νερό χωρίς ἀτμοποίηση ἢ ἀνάδευση: $\alpha = 600 \div 3500 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}.$
- Νερό χωρίς ἀτμοποίηση μέ ἀνάδευση: $\alpha = 2300 \div 4500 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}.$
- Νερό μέ ἀτμοποίηση: $\alpha = 2300 \div 7000 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}.$

Γιά ἀντίστοιχες καταστάσεις ψυκτικῶν μέσων καί ὄχι νεροῦ οἱ τιμές εἶναι πολύ μικρότερες. Γιά ἀτμοποίηση π.χ. σέ στοιχεῖο ἀτμοποιήσεως κατάλληλο γιά κλιματιστική ἐγκατάσταση, ὅπου ἡ θερμοκρασία ἀτμοποιήσεως εἶναι περίπου 0°C οἱ ἀντίστοιχες τιμές τῆς εἰδικῆς συναγωγιμότητας α εἶναι οἱ ἐξῆς:

β) Ἀτμοποίηση ψυκτικοῦ μέσου $0^\circ\text{C}.$

Γιά $\Delta T = 10^\circ\text{C}$: $\alpha = 170 \div 230 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}.$

Γιά $\Delta T = 20^\circ\text{C}$: $\alpha = 800 \div 1150 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}.$

Ἀπό τίς τιμές αὐτές φαίνεται ἡ σημαντική ἐπίδραση τήν ὁποία ἔχει ἡ διαφορά

θερμοκρασίας ΔT ή όποια επικρατεί μεταξύ ρευστού και τοιχώματος στη μετάδοση θερμότητας.

Σε πολλές περιπτώσεις εμφανίζεται ταυτόχρονα μετάδοση θερμότητας με συναγωγή και ακτινοβολία. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να γίνει ο υπολογισμός ανεξάρτητα για την κάθε περίπτωση και υπάρχει και κάποια αλληλεπίδραση.

Για τις ψυκτικές εγκαταστάσεις ή συναγωγή εμφανίζεται συνήθως για αέρα, νερό και ψυκτικά μέσα, και για αυτό το λόγο εξετάζονται στις επόμενες παραγράφους οι αντίστοιχες περιπτώσεις.

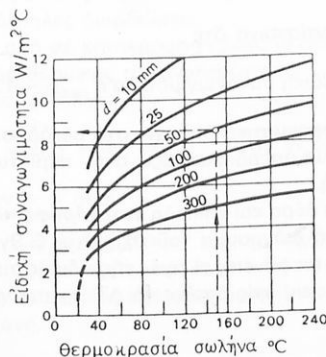
3.9 Συναγωγή αέρα.

Οι πιο συνηθισμένες γεωμετρικές επιφάνειες οι οποίες εμφανίζονται στις ψυκτικές εγκαταστάσεις είναι ο κύλινδρος (σωλήνες) και το επίπεδο (περύγιο). Για τις επιφάνειες αυτές δίνονται στην παράγραφο αυτή σχετικές τιμές.

Από την άποψη της κυκλοφορίας του αέρα, μπορεί να εμφανίζεται φυσική κυκλοφορία ή εξαναγκασμένη κυκλοφορία. Και στις δύο περιπτώσεις υπάρχουν δύο υποπεριπτώσεις ανάλογα με την ταχύτητα κινήσεως του αέρα. Μπορεί δηλαδή ή ροή να είναι στρωτή χωρίς στροβιλισμούς και δίνες (μικρή ταχύτητα) ή μπορεί να είναι με στροβιλισμούς και τοπικές ανωμαλίες (τυρβώδης).

3.9.1 Φυσική κυκλοφορία.

Για την απλή περίπτωση της φυσικής κυκλοφορίας αέρα γύρω από οριζόντιο σωλήνα ισχύει το διάγραμμα του σχήματος 3.9α. Πρέπει να τονισθεί ότι το διάγραμμα αυτό ισχύει ακριβώς για αέρα 20°C. Για άλλη θερμοκρασία αέρα υπάρχουν μικροδιαφορές.



Σχ. 3.9α.

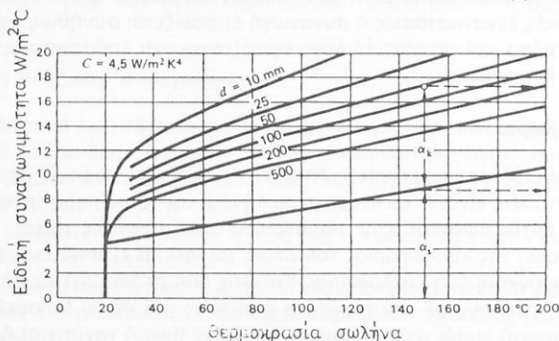
Ειδική συναγωγιμότητα για φυσική κυκλοφορία αέρα θερμοκρασίας 20°C γύρω από οριζόντιο σωλήνα (χωρίς ακτινοβολία).

Για να τονισθεί η ύπαρξη και της ακτινοβολίας, ταυτόχρονα με τη συναγωγή, δίνεται και το διάγραμμα του σχήματος 3.9β. Στο κάτω μέρος του τό τμήμα που χαρακτηρίζεται με α_s είναι η επίδραση της ακτινοβολίας που προστίθεται στο τμήμα α_k το οποίο οφείλεται στη συναγωγή.

Τό σχήμα 3.9β αναφέρεται σέ σωλήνα ό ό όποιος έχει συντελεστή άκτινοβολίας $C = 4,5 \text{ W/m}^2\text{K}^4$. Λεπτομέρειες γι' αυτό αναφέρονται στήν αντίστοιχη παράγραφο.

Γιά νά γίνει σαφής ή διαφορά άς εξετάσουμε τό παρακάτω παράδειγμα:

Έχομε ένα σωλήνα έξωτερικής διαμέτρου 100 mm καί θερμοκρασίας 80 °C.



Σχ. 3.9β.

Συνολική ειδική συνταγωγιμότητα α_{ges} όφειλόμενη σέ συνταγωγή α_k καί άκτινοβολία α_r . Άφορά άέρα 20°C (φυσική κυκλοφορία) γύρω έπώ όριζόντιο σωλήνα.

Άπό τό σχήμα 3.9α προκύπτει ότι:

$$\text{Ειδική συνταγωγιμότητα} \quad \alpha_k = 6 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

Άπό τό σχήμα 3.9β αντίστοιχα ότι:

$$\text{Όλική ειδική συνταγωγιμότητα} \quad \alpha_{ges} = \sim 13 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

Όστε ή τιμή ή όποία πραγματικά ύπάρχει στή μετάδοση θερμότητας είναι 13 W/m²K, γιατί ή άκτινοβολία ύπερδιπλασιάζει στήν περίπτωση αύτή τή μετάδοση θερμότητας μέ συνταγωγή.

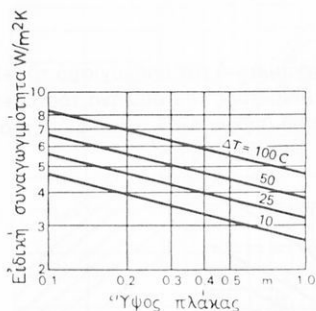
Γιά φυσική κυκλοφορία άέρα καί έπίπεδη **κατακόρυφη** πλάκα χωρίς τήν επίδραση άκτινοβολίας, ίσχύει τό διάγραμμα του σχήματος 3.9γ.

Γιά όριζόντιες έπίπεδες έπιφάνειες οι τιμές τής ειδικής συνταγωγιμότητας ύπολογίζονται άπό τίς έξής σχέσεις στίς όποιες τό ΔΤ πρέπει νά είναι σέ °C.

Όριζόντια πλάκα:

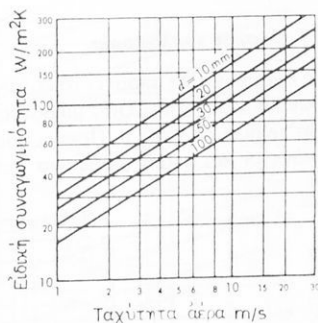
- Θέρμανση πρós τά πάνω: $\alpha = (2,7 \div 3,3) \cdot \sqrt[4]{\Delta T} \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Θέρμανση πρós τά κάτω: $\alpha = (0,6 \div 1,3) \cdot \sqrt[4]{\Delta T} \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

Η διαφορά στίς δύο περιπτώσεις όφείλεται στά άνοδικά ρεύματα πού σχηματίζονται. Θέρμανση πρós τά πάνω εύνοεί τήν κυκλοφορία καί άνανέωση του άέρα κοντά στήν πλάκα. Θέρμανση πρós τά κάτω έμποδίζει τήν κυκλοφορία, γιατί ό ζεστός άέρα άνεβαίνει πρós τά πάνω καί είναι συνεπώς ό ίδιος ζεστός άερας πού έρχεται σέ έπαφή μέ τήν πλάκα.



Σχ. 3.9γ.

Ειδική συναγωγιμότητα για κατακόρυφη πλάκα σε αέρα 20°C. Φυσική κυκλοφορία.



Σχ. 3.9δ.

Ειδική συναγωγιμότητα για εξαναγκασμένη ροή αέρα γύρω από σωλήνα. Χωρίς ακτινοβολία.

3.9.2 Έξαναγκασμένη κυκλοφορία.

Για εξαναγκασμένη κυκλοφορία αέρα έγκάρσια γύρω από σωλήνα, ισχύει το διάγραμμα του σχήματος 3.9δ. Οι τιμές του ισχύουν για συνηθισμένες θερμοκρασίες αέρα και δίνει αρκετή ακρίβεια, μέχρι και 100°C.

Βασική παράμετρος η οποία επηρεάζει την τιμή της ειδικής συναγωγιμότητας είναι η ταχύτητα του αέρα. Όσο αυξάνει η ταχύτητα τόσο αυξάνει και η τιμή της ειδικής συναγωγιμότητας.

Όταν υπάρχουν πολλοί σωλήνες παράλληλοι, όπως π.χ. συμβαίνει σε στοιχεία ατμοποίησης ή αερόψυκτους συμπυκνωτές, τότε υπάρχει αλληλεπίδραση και πρέπει να γίνουν κατάλληλες διορθώσεις.

Για εξαναγκασμένη ροή σε κατακόρυφη πλάκα ισχύουν οι εξής σχέσεις για τον υπολογισμό της ειδικής θερμικής συναγωγιμότητας:

— Ταχύτητα αέρα $w < 5$ m/s:

$$\alpha = 5,8 + 4 \cdot w \quad \text{σέ } W/m^2 \text{ } ^\circ C$$

— Ταχύτητα αέρα $w > 5$ m/s:

$$\alpha = 7,15 \cdot w^{0,78} \quad \text{σέ } W/m^2 \text{ } ^\circ C$$

Ο υπολογισμός της τελευταίας σχέσεως μπορεί να γίνει με λογάριθμους ή με κατάλληλη αριθμομηχανή.

3.10 Συναγωγή νερού.

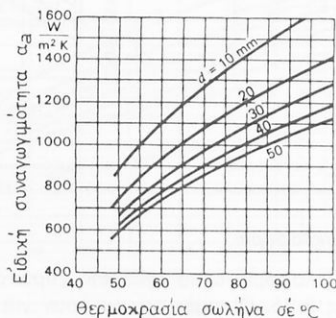
Καί στην περίπτωση του νερού οι κύριες γεωμετρικές μορφές οι οποίες εμφανίζονται στις τεχνολογικές εγκαταστάσεις είναι οι κύλινδροι (σωλήνες) και τα επίπεδα.

Στην περίπτωση όμως του νερού εμφανίζεται επί πλέον και ροή μέσα σε σωλήνες.

Οι σχετικές περιπτώσεις εξετάζονται στην παράγραφο αυτή με συντομία.

3.10.1 Φυσική κυκλοφορία.

Στό σχήμα 3.10α υπάρχει τό κατάλληλο διάγραμμα για τόν ύπολογισμό τής είδικής συναγωγιμότητας. Όσο μικρότερη εἶναι ἡ διάμετρος τοῦ σωλήνα τόσο μεγαλύτερη εἶναι ἡ τιμή τής α . Πρέπει ὅμως νά ληφθεῖ ὑπόψη ὅτι ἡ μικρή διάμετρος d συνεπάγεται καί μικρή ἐπιφάνεια συναλλαγῆς θερμότητας.



Σχ. 3.10α.

Εἰδική συναγωγιμότητα γιά ὀριζόντιους σωλήνες μέσα σέ νερό 40°C. Φυσική κυκλοφορία (στρωτή).

Σύγκριση τοῦ σχήματος 3.10α μέ τό σχήμα 3.9α δείχνει ὅτι ἡ εἰδική συναγωγιμότητα γιά νερό, εἶναι περίπου 100 ὡς 200 φορές μεγαλύτερη ἀπό τήν ἀντίστοιχη γιά ἀέρα. Ἡ διαφορά ὀφείλεται βασικά στή διαφορετική πυκνότητα τῶν δύο ρευστῶν. Καί στό σχήμα 3.10α δέν ὑπάρχει ἡ ἐπίδραση τῆς ἀκτινοβολίας ἡ ὁποία πρέπει νά ληφθεῖ ὑπόψη χωριστά. Ἐδῶ ὅμως ἡ ἀπορρόφηση τῆς ἀκτινοβολίας ἀπό τό νερό εἶναι ἔντονη καί δέν ὑπάρχουν διαφορές ὅπως στήν περίπτωση ἀέρα.

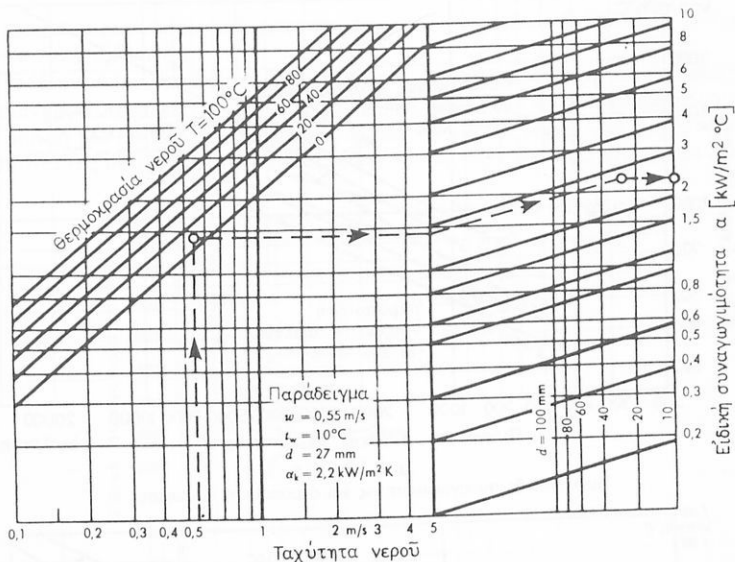
Ἐπίπεδες ἐπιφάνειες μέσα σέ νερό (πτερύγια) δέν χρησιμοποιοῦνται συνήθως, γιὰτί ἡ ἐπιφάνεια τοῦ σωλήνα ἐπαρκεῖ ὅταν εἶναι βυθισμένος σέ νερό.

3.10.2 Ἐξαναγκασμένη κυκλοφορία.

Ἡ ροή νεροῦ μέσα σέ σωλήνες ἐμφανίζεται συχνά σέ ἐγκαταστάσεις ψύξεως. Οἱ πύο συνηθισμένες περιπτώσεις εἶναι ὑδρόψυκτοι συμπυκνωτές ὅπου μέσα στοῦς σωλήνες κυκλοφορεῖ νερό πού ἀπάγει τή θερμότητα καί ἔξω ἀπό τοῦς σωλήνες συμπυκνώνεται τό ψυκτικό μέσο καί οἱ ἐναλλάκτες θερμότητας ὅπου ψύχονται δευτερεύοντα ψυκτικά μέσα (ἄλμες).

Γιά τίς περιπτώσεις αὐτές μπορεῖ νά χρησιμοποιηθεῖ τό διάγραμμα τοῦ σχήματος 3.10β. Πρέπει νά δώσουμε προσοχή στό ὅτι οἱ τιμές τῆς εἰδικῆς συναγωγιμότητας, εἶναι σέ kW καί ὄχι σέ W. Τονίζεται ἰδιαίτερα ἡ ἐπίδραση τῆς ταχύτητας.

Γιά μεγάλες ταχύτητες νεροῦ, δηλαδή 3 - 5 m/s, ἐπιτυγχάνονται εὔκολα πολύ μεγάλες τιμές εἰδικῆς συναγωγιμότητας, μέχρι καί 10 kW/m² °C. Τό γεγονός αὐτό εἶναι καλό ὅταν εἶναι ἐπιθυμητή ἔντονη συναλλαγή θερμότητας. Ὅταν ὅμως ἐπιδιώκεται μόνωση τῶν σωλήνων ὥστε νά ἀποφεύγονται θερμικές ἀπώλειες, τότε ἡ μεγάλη τιμή τῆς εἰδικῆς συναγωγιμότητας δημιουργεῖ προβλήματα.



Σχ. 3.10β.

Ειδική συναγωγιμότητα για ροή νερού μέσα σέ σωλήνα.

3.11 Συναγωγή μέ αλλαγή φάσεως.

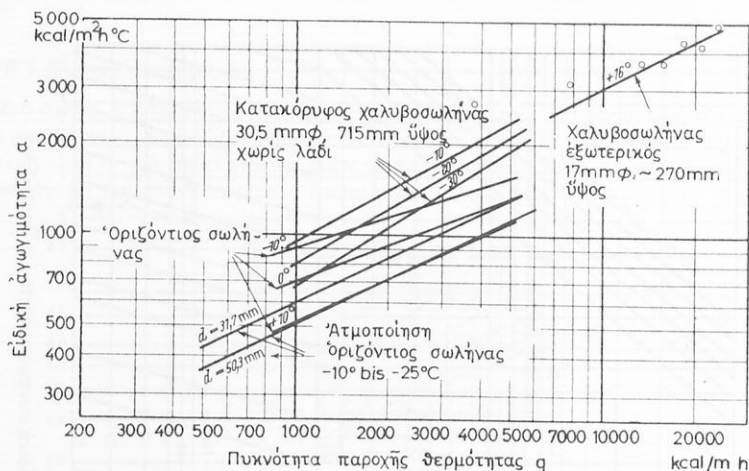
Όταν γίνεται αλλαγή φάσεως τότε εμφανίζονται πολύ καλές συνθήκες μεταδόσεως θερμότητας για συναγωγή. Για τις περιπτώσεις αυτές εμφανίζονται οι μεγαλύτερες δυνατές τιμές ειδικής συναγωγιμότητας.

Άλλαγή φάσεως εμφανίζεται τόσο στο συμπυκνωτή όσο και στο στοιχείο ατμοποίησης όπου το ψυκτικό μέσο αλλάζει κατάσταση. Για τις ψυκτικές εγκαταστάσεις λοιπόν, ενδιαφέρον παρουσιάζει η ειδική συναγωγιμότητα για την περίπτωση αλλαγής φάσεως ψυκτικού μέσου. Η περίπτωση ατμοποίησης ή συμπυκνώσεως νερού εμφανίζεται μόνο σέ πολύ ειδικές περιπτώσεις οι όποιες δεν εξετάζονται στό βιβλίο αυτό.

Οι άκριβείς τιμές ειδικής συναγωγιμότητας οι όποιες επικρατούν σέ κάθε εγκατάσταση μέ αλλαγή φάσεως πρέπει νά μετρηθούν πειραματικά. Ό ύπολογισμός τους είναι πολύ άβέβαιος, γιατί έπηρεάζονται από πάρα πολλούς παράγοντες, όπως είναι π.χ. η περιεκτικότητα υγρού-άτμου, τό ποσοστό λαδιού πού ύπάρχει, ό τρόπος λειτουργίας, τό είδος τής διατάξεως σταγαλισμού κλπ. Στήν παράγραφο 3.8 έχουν δοθεί ήδη μερικές ένδεικτικές τιμές.

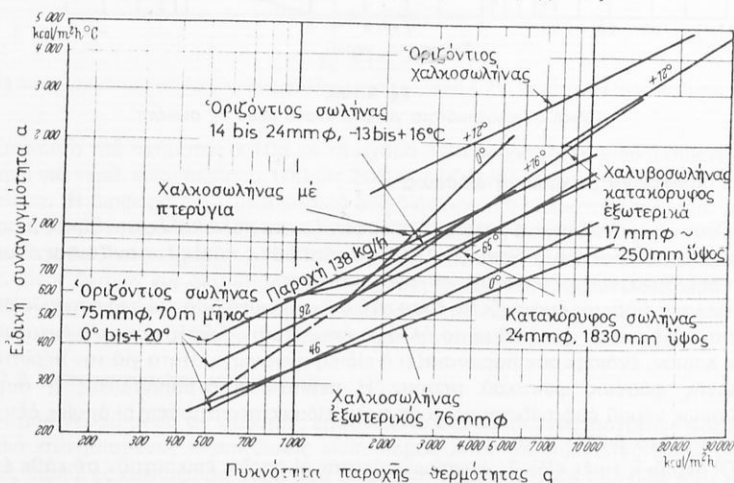
Στά έπόμενα σχήματα δίνονται συνοπτικά μερικά αποτελέσματα από σχετικές μετρήσεις. Έχει παρατηρηθεί ότι είναι καλύτερα νά δίνονται οι σχετικές τιμές τής ειδικής συναγωγιμότητας α ως συνάρτηση τής πυκνότητας παροχής θερμότητας q .

Στό σχήμα 3.11α εμφανίζονται τιμές για ατμοποίηση άμμωνίας. Οι τιμές αυτές,



Σχ. 3.11α.

Τιμές ειδικής συναγωγιμότητας για ατμοποίηση άμμωνιας.



Σχ. 3.11β.

Ειδική συναγωγιμότητα για ατμοποίηση R12.

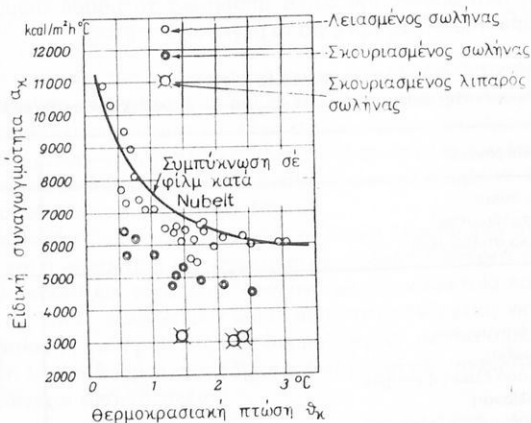
πρέπει να τονισθεί, αφορούν τις εγκαταστάσεις στις οποίες μετρήθηκαν και δίνουν μόνο εικόνα της τάξεως μεγέθους του φαινομένου. Δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται αυτούσιες για άλλες εγκαταστάσεις.

Αντίστοιχες τιμές για ψυκτικό μέσο R12 δίνονται στο σχήμα 3.11β. Από σύγκριση των τιμών για NH₃ και R12 γίνεται άμεσα φανερό ότι η άμμωνία έχει σχεδόν διπλάσιες τιμές.

Οι τιμές αυτές επηρεάζονται αποφασιστικά από την παρουσία λαδιού. Όσο πε-

ρισσότερο λάδι υπάρχει στο ψυκτικό μέσο, τόσο χειρότερη (μικρότερη) γίνεται η ειδική συναγωγιμότητα.

Γιά τή συμπύκνωση δέν ισχύουν οι ίδιες τιμές πού ισχύουν γιά τήν άτμοποίηση. Τό φαινόμενο τής συμπυκνώσεως είνai πολλές φορές όχι τέλεια καθορισμένο, γιατί ή μορφή τοῦ συμπυκνώματος, π.χ. σταγόνες ή φίλμ συνεχές, αλλάζει, μέ τήν καθαρότητα τής μεταλλικῆς ἐπιφάνειας. Ἐνδεικτικές τιμές δίνονται στό σχῆμα 3.11γ.



Σχ. 3.11γ.

Ειδική συναγωγιμότητα για συμπύκνωση άμμωνίας.

3.12 Ἀκτινοβολία.

Ἡ μετάδοση θερμότητας μέ ἀκτινοβολία γίνεται μέ τό ἡλεκτρομαγνητικό πεδίο τό ὁποῖο σχηματίζεται ἀνάμεσα σέ σώματα διαφορετικῶν θερμοκρασιῶν.

Κάθε ὑλικό σῶμα ἐκπέμπει καί δέχεται ἡλεκτρομαγνητική ἀκτινοβολία μέ περιοχές μήκους κύματος 0,02 ὡς 800 μm. Ἡ ἀκτινοβολία αὕτη λόγω τῶν εἰδικῶν χαρακτηριστικῶν τά ὁποῖα τή διακρίνουν, λέγεται **θερμική ἀκτινοβολία**.

Ἐνα σῶμα μέ ἀπόλυτη θερμοκρασία Τ ἐκπέμπει θερμική ἀκτινοβολία τῆς ὁποίας ἡ ἐνέργεια Q_e γιά κάθε μονάδα ἐπιφάνειας τοῦ σώματος, εἶναι ἴση μέ:

$$Q_e = C \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad \text{W/m}^2 \quad (3.8)$$

Ἡ σταθερά C ἔχει τή μέγιστη τιμή ὅταν ἡ ἐπιφάνεια εἶναι **μαύρου** χρώματος. Σ' αὕτη τήν περίπτωση ἰσχύει ὅτι:

$$C = C_s = 5,77 \quad \text{W/m}^2\text{K}^4$$

Ἐπιφάνεια μαύρου χρώματος σημαίνει ὅτι ἡ ἐπιφάνεια **ἀπορροφᾷ** ὅλες τίς ἀκτινοβολίες οἱ ὁποῖες πέφτουν ἐπάνω τῆς. Στήν πράξη ὅμως δέν ὑπάρχουν τέτοιες ἐπιφάνειες, καί ὅλα τά σώματα ἀπορροφοῦν μόνο ἕνα μέρος ἀπό τήν ἀκτινοβολία ἡ

όποια πέφτει επάνω τους. Για τό λόγο αυτό ή σχέση (3.8) γράφεται καί ως εξής:

$$Q_e = \epsilon C_s \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad \text{W/m}^2 \quad (3.8)$$

ἐπειδή $C = \epsilon C_s$ όπου $\epsilon < 1$.

Υποτίθεται δηλαδή ότι τό σῶμα ἀπορροφᾷ ἕνα καθορισμένο ποσοστό ϵ ἀπό τήν ἀντίστοιχη ἀκτινοβολία τήν ὁποία ἀπορροφᾷ τό μαῦρο σῶμα. Ὁ Πίνακας 3.12.1 δίνει χαρακτηριστικές τιμές γιά τό μέγεθος $C = \epsilon C_s$.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.12.1.

Συντελεστής ἀκτινοβολίας $C = \epsilon C_s$ γιά $T = 0$ ὡς 2000 K σέ $\text{W/m}^2 \text{K}^4$.

Υλικό ἢ ἐπιφάνεια	$\text{W/m}^2 \text{K}^4$
Ἀπολύτως μαῦρο σῶμα	5,77
Εὐγενή μέταλλα στιλβωμένα	0,1 ὡς 0,3
Μή εὐγενή μέταλλα στιλβωμένα	0,15 ὡς 0,4
Μέταλλα	
Ἀλουμίνιο μή ἐπεξεργασμένο	0,40 ὡς 0,50
Ἀλουμίνιο στιλβωμένο	0,29
Σίδηρος, χάλυβας ἀπό ἔλαση ἢ χυτήριο	4,3 ὡς 4,7
Πρόσφατη λείανση	1,4 ὡς 2,6
Ἐντελῶς ὀξειδωμένος (κόκκινος)	4,0
Γαλβανισμένος (μάτ)	0,5
Γαλβανισμένος	1,3 ὡς 1,6
Χαλκός γυαλισμένος	0,5
ὀξειδωμένος μαῦρος	4,5
Ὁρείχαλκος, στιλβωμένος	0,3
Πρόσφατη λείανση	1,2
Ἐπίστρωμα χρώματος καφέ	2,4
Ὁρείχαλκος ἀλουμινίου	2,0 ὡς 2,5
Χρώματα	
Λευκό ἔμαγιέ	5,2
Χρῶμα θερμαντικῶν σωμάτων (ὁποιουδήποτε χρωματισμοῦ)	5,2
Ἐλαιοχρώματα ὁποιαδήποτε, ἀκόμη καί ἄσπρο	5,1 ὡς 5,6
Χρώματα οἰονπνέματος, μαῦρο γυαλιστερό	4,8
Διάφορα	
Γιά πυροκάρβουνο, φωτεινή φλόγα	~ 4,7
Ἀνθρώπινη ἐπιδερμίδα	~ 4,7
Γύψος, μάρμαρο, σοβάς, πλακάκια	5,2 ὡς 5,4
Πάγος, γυαλί, νερό	5,4 ὡς 5,5
Σκυρόδεμα, αἰθάλη	5,4 ὡς 5,7

Ο συντελεστής ϵ περιγράφει όχι μόνο την απορρόφηση, αλλά και την έκπομπή ακτινοβολίας. Το γεγονός αυτό αποδεικνύεται θεωρητικά και είναι το συμπέρασμα του αντίστοιχου νόμου του Kirchhoff.

Η τιμή του συντελεστή C περιγράφει μόνο ένα σώμα. Όταν όμως υπάρχει μετάδοση θερμότητας από ένα σώμα 1 σε ένα άλλο σώμα 2, τότε πρέπει να είναι γνωστές και οι δύο τιμές C των δύο σωμάτων, δηλαδή πρέπει να είναι γνωστά τα μεγέθη C_1 και C_2 . Εκτός από αυτό πρέπει να είναι γνωστές φυσικά και οι απόλυτες θερμοκρασίες T_1 και T_2 των δύο σωμάτων.

Στήν περίπτωση των δύο σωμάτων, το σώμα 1 εκπέμπει ακτινοβολία σε όλο το χώρο και φυσικά και στο σώμα 2· ακριβώς το ίδιο κάνει και το σώμα 2. Έτσι κάθε ένα από τα δύο σώματα εκπέμπει και δέχεται ακτινοβολία ταυτόχρονα. Όταν η ακτινοβολία που δέχεται είναι μεγαλύτερη από την ακτινοβολία που εκπέμπει, τότε το σώμα συνολικά παίρνει θερμότητα. Το αντίθετο φυσικά συμβαίνει όταν ακτινοβολεί θερμότητα περισσότερη από ό,τι δέχεται.

Στόν ύπολογισμό των ποσών ενέργειας τα όποια δέχεται ένα σώμα παίζει σημαντικό ρόλο και η γεωμετρία του συστήματος, δηλαδή η στερεά γωνία με την οποία ο πομπός «φωτίζει» το δέκτη. Ανάλογα με τη γεωμετρία και τις τιμές των συντελεστών C_1 και C_2 προκύπτουν και οι ποσότητες ενέργειας για δεδομένες τιμές θερμοκρασίας T_1 και T_2 . Η παροχή θερμότητας Q σε ένα σώμα επιφάνειας A με συντελεστή C_2 και θερμοκρασία T_2 από ένα σώμα με συντελεστή C_1 και θερμοκρασία T_1 δίνεται από τη σχέση:

$$Q = A \cdot C \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (3.9)$$

Η πυκνότητα παροχής αντίστοιχα είναι:

$$\frac{Q}{A} = q = C \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (3.10)$$

Η τιμή του συντελεστή C προσδιορίζεται από τις αντίστοιχες τιμές C_1 και C_2 και από τη γεωμετρική τοποθέτηση των δύο σωμάτων.

Για απλές γεωμετρικές τοποθετήσεις ισχύουν τα εξής:

1) Παράλληλα επίπεδα:

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_s} \right)}$$

2) Επιφάνεια $A_1 \gg A_2$ (Σωλήνας στο χώρο):

$$C = C_1$$

3) Η επιφάνεια A_2 περιβάλλει έντελως την A_1 .

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{A_1}{A_2} \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_s}}$$

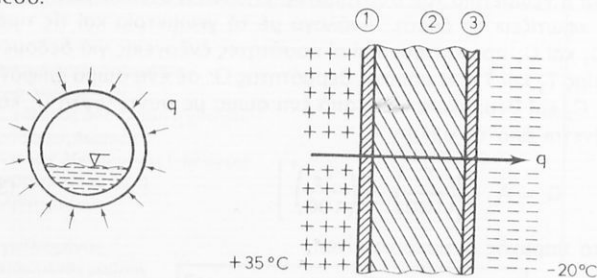
Ύπενθυμίζεται ότι οι συντελεστές C_1 , C_2 , C_s περιγράφουν τα σώματα επιφάνειας A_1 , A_2 και τό μαύρο σῶμα αντίστοιχα.

Γιά γεωμετρικά σύνθετες περιπτώσεις ὁ ὑπολογισμός τοῦ συντελεστή C εἶναι πολύ δύσκολος καί πολλές φορές ἀδύνατος. Σέ τέτοιες περιπτώσεις γίνεται προσομοίωση τοῦ προβλήματος μέ κατάλληλη διάταξη καί πειραματικός προσδιορισμός τοῦ C .

3.13 Διάβαση.

Τό ὄνομα **διάβαση** χαρακτηρίζει τό φαινόμενο τῆς μεταδόσεως θερμότητας διά μέσου ἑνός ἀπλοῦ ἢ πολλαπλοῦ τοιχώματος καί δύο ρευστῶν ἀνάμεσα ἀπό τά ὁποῖα εὐρίσκεται τό τοίχωμα.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα φαίνονται στό σχῆμα 3.13α. Στό ἀριστερό μέρος εἶναι, σέ τομή, ἕνας σωλήνας στοιχείου ἀτμοποίησης. Ἡ θερμότητα φεύγει ἀπό τόν ἐξωτερικό ἀέρα καί περνᾷ μέ συναγωγή στό σωλήνα. Ἡ θερμότητα στό τοίχωμα τοῦ σωλήνα τό περνᾷ μέ ἀγωγή καί τελικά δίνεται μέ συναγωγή στό ψυκτικό μέσο.



Σχ. 3.13α.
Διάβαση θερμότητας.

Στό δεξιό μέρος τοῦ ἴδιου σχήματος ὑπάρχει ἕνα τμήμα ἀπό ἕνα τοίχωμα ψυγείου. Στό ἐξωτερικό περιβάλλον ὁ ἀέρας ἔχει θερμοκρασία $+35^{\circ}\text{C}$ καί τόν ψυχόμενο χῶρο -20°C . Ἡ θερμότητα περνᾷ μέ συναγωγή ἀπό τό ζεστό ἀέρα τοῦ περιβάλλοντος στό πολλαπλό τοίχωμα. Μέσα στό τοίχωμα διαδίδεται μέ ἀγωγή καί τελικά πάλι μέ συναγωγή προσδίδεται ἀπό τήν κρύα πλευρά τοῦ τοιχώματος πρὸς τόν κρύο ἀέρα τοῦ ψυχόμενου θαλάμου (-20°C).

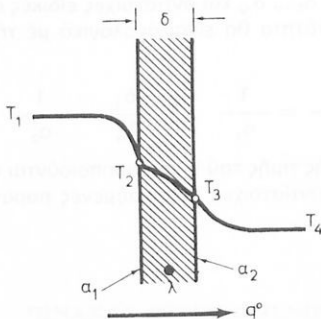
Ἡ διάβαση θερμότητας εἶναι πολύ διαδεδομένη στίς ψυκτικές ἐγκαταστάσεις. Σχεδόν παντοῦ μεταφέρεται θερμότητα ἀπό τόν ἀέρα στό ψυκτικό μέσο ἢ ἀντίστροφα. Ἐπειδὴ ὁ ἀέρας καί τό ψυκτικό μέσο διαχωρίζονται μέ τά τοιχώματα τῆς συσκευῆς, πού εἶναι συνήθως τοιχώματα σωλήνα, ἡ θερμότητα πρέπει νά περάσει καί μέσα ἀπό αὐτά.

Ἡ συνηθισμένη λοιπὸν διαδρομὴ τήν ὁποία ἀκολουθεῖ ἡ θερμότητα εἶναι ἡ ἑξῆς:

Ρευστό → στερεό → ρευστό

Δηλαδή περίπτωση διαβάσεως.

Στό σχήμα 3.13β εξετάζεται η απλή περίπτωση ενός επίπεδου τοιχώματος τό ό-
ποιο έχει πάχος δ , ειδική θερμική αγωγιμότητα λ και εύρίσκεται μεταξύ δύο ρευ-
στών μέ θερμοκρασίες T_1 και T_4 όπου $T_1 > T_4$. Πρός τήν πλευρά τοῦ ζεστοῦ ρευ-
στοῦ ἡ ειδική συναγωγιμότητα έχει τιμή α_1 καί πρὸς τήν πλευρά τοῦ κρύου ρευ-
στοῦ τιμή α_2 .



Σχ. 3.13β.
Διάβαση θερμότητας.

Ἀπό τίς ἀντίστοιχες σχέσεις γιά ἀγωγή καί συναγωγή προκύπτει ὅτι:

$$q' = \alpha_1(T_1 - T_2) = (\lambda/\delta)(T_2 - T_3) = \alpha_2(T_3 - T_4)$$

Ἀπό αὐτήν προκύπτει ὅτι:

$$q' = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{\alpha_1}} = \frac{T_2 - T_3}{\frac{\delta}{\lambda}} = \frac{T_3 - T_4}{\frac{1}{\alpha_2}}$$

Ἀπό τή σχέση αὐτή καί τίς ιδιότητες τῶν ἀναλογιῶν προκύπτει μέ πρόσθεση ὅ-
τι:

$$q' = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{\alpha_1}} = \frac{T_2 - T_3}{\frac{\delta}{\lambda}} = \frac{T_3 - T_4}{\frac{1}{\alpha_2}} = \frac{T_1 - T_4}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (3.11)$$

Γιά νά προκύψει μιά σχέση ἀνάλογη μέ ἐκείνη ἡ ὁποία περιγράφει τή μετάδοση
θερμότητας μέ συναγωγή μόνο, συνηθίζεται ἀντί γιά τή σχέση (3.11) νά γράφεται
ἡ σχέση:

$$q' = k \cdot \Delta T \quad (3.12)$$

Ἐπειδὴ $\Delta T = T_1 - T_4$ ἀπό τή σχέση (3.11), προκύπτει γιά τήν τιμή τοῦ k ὅτι:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (3.13)$$

Τό μέγεθος k λέγεται **συντελεστής διαβάσεως (θερμότητας)** ή **είδική διαβατότητα** και έχει τīs ίδιες μονάδες όπως ή είδική συναγωγιμότητα α .

Αν τό τοίχωμα είναι πολλαπλό και αποτελείται από διαδοχικά στρώματα $1, 2, 3 \dots n$, μέ πάχη $\delta_1, \delta_2, \delta_3 \dots \delta_n$ και αντίστοιχες είδικές αγωγιμότητες $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots \lambda_n$, τότε ή είδική διαβατότητα θά είναι αναλογικά μέ τή σχέση (3.13):

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (3.14)$$

Γιά τόν υπολογισμό τής τιμής του k χρησιμοποιούνται οί τιμές των α και λ οί όποιες έχουν δοθεί στίς αντίστοιχες προηγούμενες παραγράφους.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Θερμοδυναμική

1.1	Γενικά	1
1.2	Θερμοκρασία	2
1.3	Κλίμακα θερμοκρασιών	3
1.4	Μέτρηση θερμοκρασίας	9
1.5	Έσωτερική ενέργεια	10
1.6	Θερμότητα	13
1.7	Πρώτο θερμοδυναμικό άξιωμα	14
1.8	Έργο όγκομεταβολής	15
1.9	Τεχνικό έργο	18
1.10	Ένθαλπία	20
1.11	Πρώτο θερμοδυναμικό άξιωμα για σύστημα p,v,T	20
1.12	Ειδική θερμοχωρητικότητα	21
1.13	Διάγραμμα p - v	25
1.14	Κυκλικές μεταβολές	27
1.15	Στραγγαλισμός πίεσεως	28
1.16	Ίσόθλιπτη μεταβολή	30
1.17	Ίσόογκη μεταβολή	31
1.18	Άδιαβατική μεταβολή	32
1.19	Θερμικά και θερμοδομετρικά μεγέθη	35
1.20	Άτμοποίηση	36
1.21	Συμπύκνωση	39
1.22	Διάγραμμα πίεσεως - ένθαλπίας p - h	41
1.23	Στραγγαλισμός υγρού	44
1.24	Ψυκτικός κύκλος	46
1.25	Παράσταση ψυκτικού κύκλου στο διάγραμμα p - h	51
1.26	Συντελεστής συμπεριφοράς	53
1.27	Ψυκτική ισχύς	56

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Ψυκτικά μέσα

2.1	Γενικά	58
2.2	Όνομασία ψυκτικών μέσων	60
2.3	Μονάδες μετρήσεως	62
2.4	Ψυκτικό μέσο R12	64
2.5	Ψυκτικό μέσο 717 (NH ₃)	70
2.6	Ψυκτικό μέσο R22	77
2.7	Ψυκτικό μέσο R13	85
2.8	Ψυκτικό μέσο R114	90
2.9	Θερμική σύγκριση ψυκτικών μέσων	94
2.10	Όγκομετρική ψυκτική ικανότητα	99
2.11	Σύγκριση αποδόσεως ψυκτικών μέσων	103
2.12	Πεδία εφαρμογής ψυκτικών μέσων	108
2.13	Επιτρεπόμενα ίχνη υγρασίας	109
2.14	Συnergασία με λάδι λιπάνσεως	113
2.15	Δευτερεύοντα ψυκτικά μέσα (Άλμεις)	115
2.16	Μίγματα ψυκτικών μέσων (R502)	116

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Μετάδοση θερμότητας

3.1	Γενικά	120
3.2	Άγωγη	121
3.3	Ειδική θερμική αγωγιμότητα	124
3.4	Πολλαπλά στρώματα	128
3.5	Υγρασία μονώσεων	130
3.6	Πτερύγια συναλλαγής θερμότητας	131
3.7	Συναγωγή	132
3.8	Ειδική (θερμική) συναγωγιμότητα	134
3.9	Συναγωγή αέρα	135
	3.9.1 Φυσική κυκλοφορία	135
	3.9.2 Έξαναγκασμένη κυκλοφορία	137
3.10	Συναγωγή νερού	137
	3.10.1 Φυσική κυκλοφορία	138
	3.10.2 Έξαναγκασμένη κυκλοφορία	138
3.11	Συναγωγή με αλλαγή φάσεως	139
3.12	Ακτινοβολία	141
3.13	Διάδοση θερμότητας	144

COPYRIGHT ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

ΦΙΛΤΟ - 094222 Λ. ΔΕΛΦΩΝ Κ 239 - ΑΘΗΝΑΙ - ΤΗΛ. 94 24 582



0020558273

Ψηφιοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΒΟΥΛΗΣ

