

# MEHURČNI POMNILNIKI - I. DEL

B. MIHOVILOVIČ,  
J. ŠILC,  
P. KOLBEZEN

UDK: 681.327.664.4

INSTITUT JOŽEF STEFAN, LJUBLJANA

Prvi v seriji člankov o mehurčnih pomnilnikih podaja širši vpogled v mesto mehurčnih pomnilnikov v hierarhiji pomnilnikov. Smo v času, ko se takšen pomnilniški medij šele uveljavlja, zato so v tem delu nekoliko širše predstavljene proizvajalci mehurčnih pomnilniških sistemov, ki jih ni malo in so dokaz, da so mehurčni pomnilniki danes realnost. Podano je današnje tehnološko in ekonomsko stanje v svetu in pogled v bližnjo prihodnost. Na koncu je posvečeno nekaj besed osnovnim karakteristikam in možnostim uporabe mehurčnih pomnilnikov.

MAGNETIC BUBBLE MEMORIES - PART 1. The first in a series of articles on magnetic bubble memories (MBM) reviews the place of bubble in the memory hierarchy. We live in the time when such memory medium haven't been brought forward yet. Therefore the emphasis of presentation is mainly on the producers of magnetic bubble devices (MBD), the number of which is rather large what proves that the bubble memories are a reality nowadays. It gives the today technological and economic state in the world and the sight into near future. At the end few words are given on the basic characteristics and the possibilities of the use of bubble memories.

## 1. UVOD

V sedemdesetih letih<sup>1)</sup> so se pojavili mehurčni pomnilniki (z uporabnimi lastnostmi masovnih perifernih pomnilnikov), ki imajo nekaj svojskih lastnosti, kot so: prirojena zanesljivost, neobčutljivost na okolico in visoka gostota.

Kljub naštetim dobrim lastnostim, pa se načrtovalci in uporabniki mehurčnih pomnilniških sistemov soočajo z nekaterimi problemi, ki spremljajo realno uporabo mehurčnih pomnilnikov, kot so kompleksna nadzorna logika, ojačevanje razmeroma slabotnih signalov in generiranje visokih tokovnih impulzov. Danes so nekateri proizvajalci našete tehnološke probleme že uspešno rešili, tako da so mehurčni pomnilniški sistemi danes že realnost. Zaradi njihove majhnosti, učinkovitosti, majhne porabe moči in ostalih prirojenih lastnosti, so mehurčni pomnilniški sistemi primerljivi z diskovnimi in tračnimi pomnilniškimi sistemi.

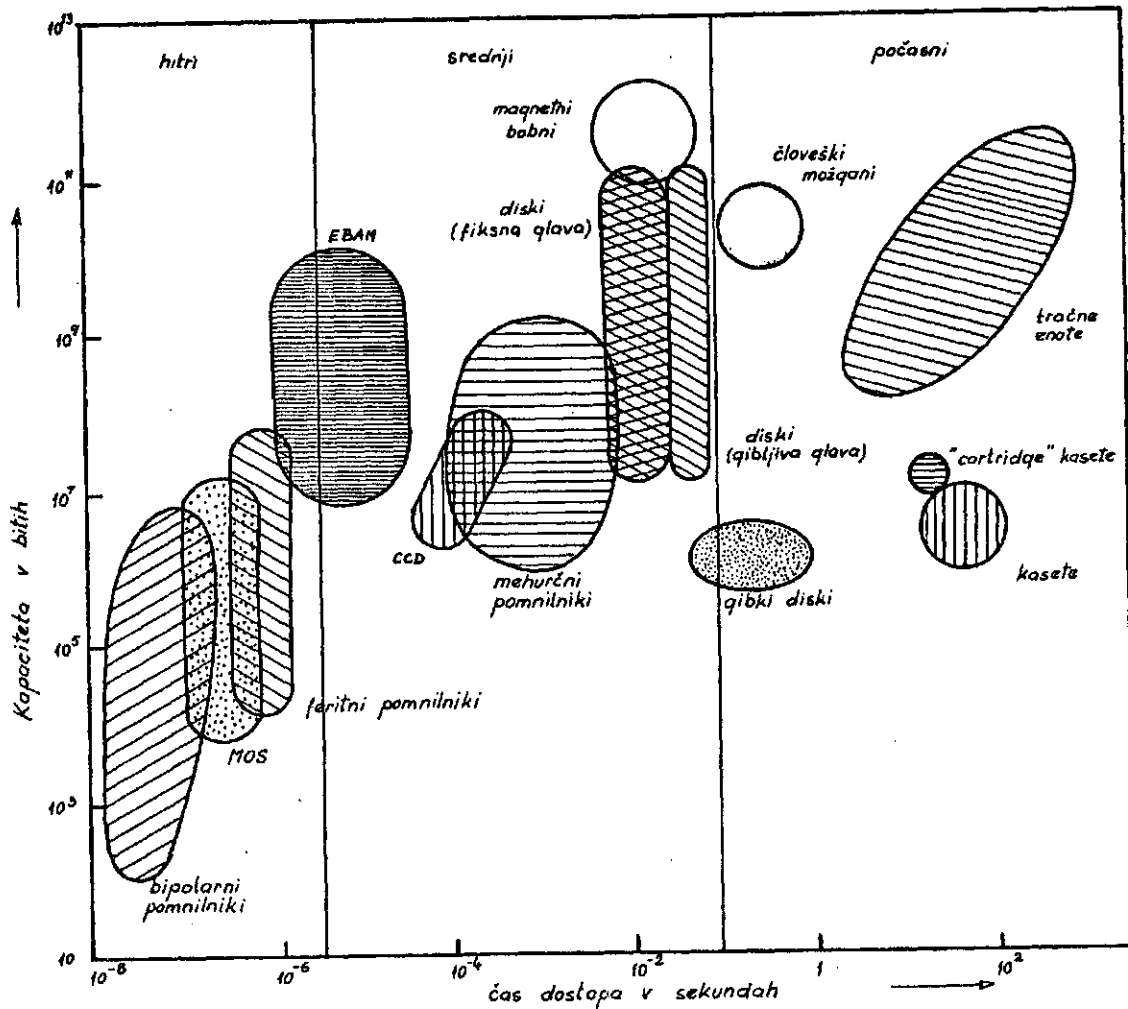
## 2. MESTO MEHURČNIH POMNILNIKOV V HIERARHIJI POMNILNIKOV

Da bi prikazali položaj mehurčnih pomnilnikov v množici elektronskih in neelektronskih pomnilnikov, je potrebna medsebojna primerjava v večih dimenzijah. Ena od dimenzij je vsekakor kapaciteta pomnilnika in druga je čas dostopa. Tretja dimenzija, ki je zelo pomembna z ekonomskega stališča, je cena na bit vgrajenega pomnilnika. Nenazadnje je tu še četrta dimenzija, ki ponazarja časovni tehnološki razvoj pomnilnika (otročstvo, adolescenca, zrela doba in starost). Z množico naštetih dimenzij, bi lahko zgradili najmanj tri diagrame, s katerimi bi primerjali posamezne pomnilnike med seboj.

Na sliki 1. je podan diagram, ki prikazuje odvisnost med kapaciteto pomnilnika in časom dostopa za posamezne tehnologije pomnilnikov.

Če pogledamo na diagram s stališča pomnilnikov, katerih tehnološki razvoj je že v t.i. zreli dobi ali starosti, opazimo glede na čas dostopa, veliko praznino med feritnimi pomnilniki na eni in magnetnimi diski s fiksno glavo na drugi strani. To vrzel poizkušajo zapolniti tri tehnologije (ki pa so še v otroški oz. adolescenci dobi) in sicer CCD (charge coupled devices), mehurčni pomnilniki

1) Čeprav je raziskovalna skupina A. H. Bobeck v Bell Telephone Laboratories že v začetku leta 1967 naredila prve eksperimente [1] na področju tvorbe cilindričnih oblik magnetnih domen v feromagnetikih, so se rezultati teh raziskav realizirali v obliki mehurčnih pomnilnikov šele v sedemdesetih letih.

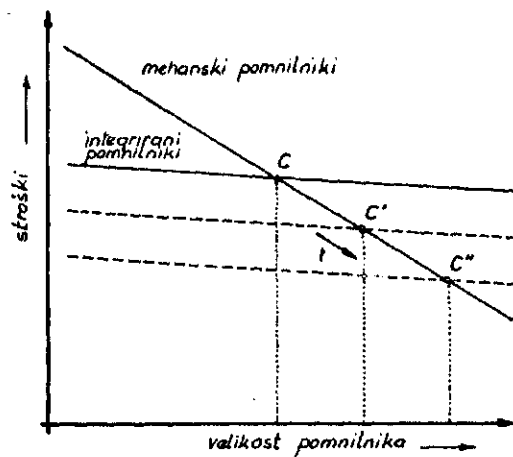


Slika 1.

(MBM) in EBAM (electron-beam accessed memories). EBAM pomnilniki naj bi predvidoma imeli nizko ceno na bit vgrajenega pomnilnika, toda imajo to slabo lastnost, da vsebujejo krhke vakuumske komponente, kar ta pomnilnik loči od ostalih dveh nemehanskih pomnilnikov. CCD pomnilniki so glede na čas dostopa enakovredni mehurčnim pomnilnikom, vendar je njihova kapaciteta manjša (približno enaka kot pri MOS pomnilnikih), kar ne zagotavlja njihove uspešnosti. Lahko rečemo, da bodo obstoječo vrzel uspešno zapolnili le mehurčni pomnilniki.

Če grupiramo pomnilnike v dve skupini, to je mehanske in integrirane (solid state) pomnilnike, ter jih opazujemo v prostoru stroški/velikost pomnilnika, vidimo, da je uporaba prvih upravičena na področju velikih pomnilnikov. Za integrirane pomnilnike pa ugotovimo, da so stroški tako pri majhnih kot pri velikih pomnilnikih praktično izenačeni. Kot je razvidno iz slike 2. Je uporaba integriranih pomnilnikov (med katere sodijo tudi mehurčni pomnilniki) bolj upravičena pri manjših pomnilnikih, vendar zagotovo lahko trdimo, da bo točka C, v kateri se stroški obeh tipov pomnilnikov izenačijo, s časom prešla v C'

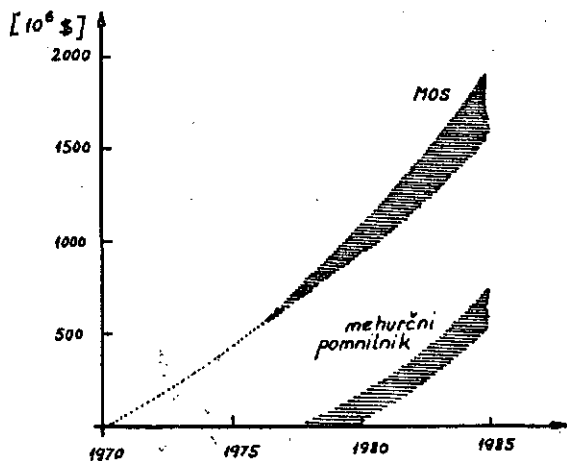
oziroma C'', itd. Ali drugače povedano, v prihodnje bodo integrirani pomnilniki vse bolj izpodirali mehanske pomnilnike tudi na področju velikih pomnilnikov.



Slika 2.

Čeprav mehurčni pomnilniki po času dostopa niso primerljivi z MOS pomnilniki, bomo na naslednjem diagramu

(slika 3.) prikazali predvideno produkcijo obeh tehnologij v naslednjih letih. Vidimo, da je v letu 1980 razmerje med produkcijo MOS (dinamičnih) pomnilnikov in mehurčnih pomnilnikov še 10:1, že v letu 1985 pa se bo to razmerje predvidoma zmanjšalo na 10:3.



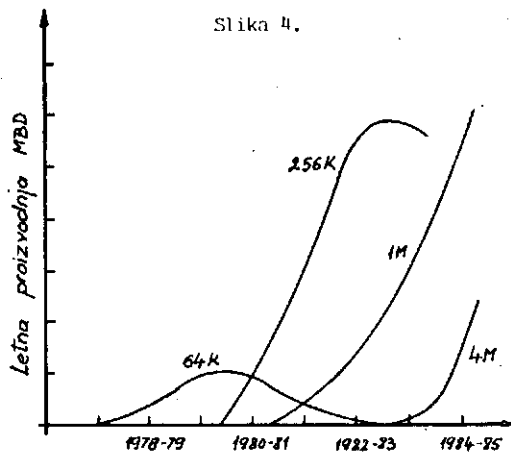
Slika 3.

### 3. ALI PREDSTAVLJAJO MEHURČNI POMNILNIKI DANES REALNOST

Vsekakor! Od prvih poizkusov na področju tvorbe cilindričnih oblik magnetnih domen v letu 1967 je minilo pet let do izdelave osnovne pomnilniške strukture, v kateri je bilo možno izvesti vpis, branje, pomik ter brisanje informacije. Kapacitete prvih mehurčnih pomnilnikov (MBM) so bile manj kot  $10^{24}$  bitov (1 Kbit). Po letu 1972 pa je kapaciteta MBD rapidno naraščala, tako da je bila v letu 1979 256 Kbitov že standardna velikost (danes je kapaciteta MBM že 1 Mbit in več), to pa pomeni v povprečju trikratno povečevanje kapacitete MBM letno. Zanimivo je, da se je kapaciteta MOS pomnilnikov v času njihovega tehnološkega razvoja povečevala s faktorjem 2 letno. Takšno progresivno naraščanje kapacitete MBD lahko realno pričakujemo tudi v osemdesetih letih, saj se že danes kažejo rezultati raziskav na področju uvajanja novih materialov in postopkov v tehnologijo izdelave mehurčnih pomnilnikov. Če pa le obstajajo kakšne omejitve, seveda naravne oblike, pa te ne preprečujejo realizacije MBM gostote vsaj  $64 \text{ Mbitov/cm}^2$  (morda pa celo  $256 \text{ Mbitov/cm}^2$ ). Slika 4. prikazuje zgodovinski in bodoči pogled na letno proizvodnjo MBM različnih kapacitet v letih 1978-1985. 1 Mbitni MBM, ki so danes že realizirani v obliki čipa, shranjujejo informacijo, ki je enaka več kot 30-tim tipkanim stranem podatkov ali preko 300 m luknjanega traku. Npr. današnji dinamični RAM pomnilniki imajo kapaciteto 64 Kbitov, ROM pomnilniki 128 Kbitov in mini gibki diski z enostranskim zapisom 720 Kbitov.

Naštejmo še nekaj lastnosti, ki opravičujejo vse večjo uporabnost tega pomnilniškega medija. Prva je vsekakor preprost fotolitografski postopek obdelave substrata (potrebna sta dva koraka, medtem ko je pri MOS tehnologiji

teh korakov sedem). Druga dobra lastnost je v večjem izkoristku substrata pri izdelavi MBM čipov, kot v drugih tehnologijah. Naslednja dobra lastnost MBM pa je, da so ob izdelavi čipa vnešene t.i. redundančne spominske zanke (redundancy storage loops), ki omogočajo obnovo določene števila (do nekaj 10 %) defektnih spominskih zank. Tu je še ena od bistvenih lastnosti MBM in sicer njegova nezbrisljivost (non volatility), ki se odraža v tem, da se ob izpadu napajanja pozicije magnetnih mehurčkov (informacija) ohranjajo.



Slika 4.

### 4. TEHNOLOŠKO IN EKONOMSKO STANJE V SVETU

V zadnjih letih se je pojavila množica proizvajalcev MBM tako v ZDA, na Japonskem, kot v Evropi. Oglejmo si tehnološko in ekonomsko stanje v svetu.

#### ZDA:

##### Bell Telephone Laboratories

Kljub temu, da so v teh laboratorijih realizirali prvi uporabljiv MBM, sedaj razpolagajo le z 64 Kbitnimi MBM, ki jim zadoščajo za pokrivanje standardnih elementov v telefonskih sistemih. Njihov nadaljni razvoj je namenjen v izboljšanje postopka ionske implantacije propagacijskih vzorcev (I2P2 - ion implanted propagation patterns) z namenom zmanjšanja premera magnetnih mehurčkov, to je povečanja gostote MBM čipov.

##### IBM

IBM je osvojil tri tehnologije izdelave MBM in sicer: postopek permalojnih vzorcev (permalloy patterns), tehnologijo I2P2 in njihovo lastno odkritje "urejena mreža mehurčkov" (Bubbles lattice File)<sup>2)</sup>.

##### Hewlett-Packard

Po nekajletnih raziskavah je pri HP zanimanje za MBM nekoliko popustilo. Ključno pa so dela na tem področju obnovili in zasedli so 1 Mbitni MBM, ki pa je specializiran

2) Vobče so vse do tedaj znane tehnologije "shranjevale" informacijo tako, da je prisotnost magnetnega mehurčka predstavljala logično 1 in njegova odsotnost logično 0. Pri BLF tehnologiji pa govorimo o zaprti gomilasti grupi magnetnih mehurčkov in informacija je shranjena v obliki različnih stanj stene, ki obkroža mehurčno domeno [2].

za njihove lastne potrebe. Perioda propagacijskega vzorca<sup>3)</sup> je  $8\mu$ , propagacijska frekvenca pa je 200 KHz, ima pa tudi zelo visoko redundanco 40 %.

#### Intel

Prve poizkuse so pri Intlu izvedli šele po letu 1977 in kmalu plasirali na tržišče 1 Mbitni MBM s štirimi podpornimi čipi in sicer kontrolerjem, generatorjem tokovnih impulzov, ojačevalnikom in driverjem navitij. Naštetih elementi so grajeni tako, da se enostavno povezujejo z mikroročunalniškimi sistemi istega proizvajalca. Propagacijski elementi imajo obliko nesimetričnih škarnic (asymmetric chevron) s periodo  $10 + 12\mu$  pri premeru magnetnega mehurčka  $2,7\mu$ . Ta MBM vsebuje 48 redundančnih zank pri 320 pomnilniških zankah in njegova propagacijska frekvenca je 100 KHz.

#### National Semiconductors

Pri Nationalu so pričeli s proizvodnjo MBM v zadnjem četrtletju leta 1977. Njihov prvi proizvod je 256 Kbitni pomnilnik s periodo  $16\mu$  in 7,25 % redundanco.

#### Rockwell International

Tudi tu so začeli s 256 Kbitnimi MBM, da bi koncem leta 1980 morda uspeli razviti 4 Mbitni MBM [5]. Za 256 Kbitno in 1 Mbitno strukturo velja, da uporablja nesimetrične škarnične permalojne vzorce. Čipi so izdelani s konvencionalnimi fotolitografskimi postopki, vendar so uspeli zmanjšati medvzorčno razdaljo (gap) na  $0,5\mu$ . Za tvorbo magnetnega polja uporabljajo tuljavice, tako da dosežejo frekvenco  $100 + 150$  KHz. Čip dimenzije  $1,5 \times 1,5$  cm ima redundanco 7,8 %. Pri Rockwellu so v želji za povečanjem kapacitete (4 Mbitov) uporabili novo tehnologijo "ionska implementacija stičnih diskastih vzorcev" (ion-implementation contiguous disk propagation patterns). Prednost tega novega postopka je v tem, da med vzorci, ki so manjši, ni presledkov in s tem dosežejo veliko večje gostote in višje propagacijske frekvence.

#### Texas Instruments

V letu 1977 so začeli pri TI izdelovati prve MBM z nekoliko svojsko organizacijo (90 Kbitov). Redundančnih zank je bilo 8,3 %, uporabili pa so T obliko propagacijskih permalojnih vzorcev. Takšna oblika vzorcev je dopuščala le propagacijske frekvence 50 KHz, zato so pri naslednjem 248,75 Kbitnem MBM uporabili nesimetrične škarnične vzorce (perioda  $16\mu$ ), tako da so dvignili frekvenco na 100 KHz. Leta 1979 so izdelali MBM kapacitete 1 Mbit, z gostoto  $10^6$  bitov/cm<sup>2</sup> [6].

#### Japonska:

##### Fujitsu, Kawasaki

64 Kbitni MBM je predstavljal začetek pri tem vodilnem japonskem proizvajalcu in je specifičen v tem, da vsebuje nesimetrične polmesečne oblike vzorcev (half-disks or crescents). Razvili so tudi že 256 Kbitni MBM. Kot

posebnost pa naj omenimo tudi to, da so pri Fujitsuju usmerili razvoj v izgradnjo specifičnega pomnilniškega medija, tako imenovane mehurčne pomnilniške kasete (magnetic bubble cassette memory) totalne kapacitete 74 Kbitov [3]. Celoten kasetni pomnilniški sistem sestavljajo nosilec kasete, kasetna in kontrolna enota. Kasetna je s 24-pinski priključkom povezana s kasetnimi nosilcem, je hitro zamenljiva, sorazmerno majhna ( $60 \times 45 \times 20$  mm), proizvajalec pa zagotavlja njeno praktično uporabnost.

##### Hitachi, Kokobunji

Prvi Hitachijev proizvod je imel kapaciteto 64 Kbitov in je uporabljal T obliko propagacijskih elementov s periodo  $20\mu$ . Ta MBM je imel od 131 spominskih zank 6 redundančnih. Kasneje so tudi pri Hitachiju prešli na škarnične oz. polmesečne oblike propagacijskih vzorcev. Naslednji proizvod je bil 256 Kbitni pomnilnik z 7,9 % redundanco in 100 KHz propagacijsko frekvenco. Prednost tega proizvajalca je, da je razvil mehurčni pomnilniški sistem (MBD), to je tiskanino, ki vsebuje štiri 256 Kbitne MBM in podporne čipe. Napajanje MBD je enotno (+5V), vse ostale potrebne napetosti (-5V, +20V) so zgenerirane s DC-DC pretvornikom, ki je tudi na tej plošči. MBD je zgrajen tako, da je direktno priključljiv na mikroročunalniške sisteme s procesorjem T8080 ali M6800 [4].

##### NEC, Kawasaki

Propagacijski vzorci pri tem proizvajalcu so nekoliko svojski, imajo Y-Y obliko. Tako so zgradili 64 Kbitni MBM z redundanco 15 % (paket dveh čipov). Poizkušali so z relativno visoko propagacijsko frekvenco 300 KHz (pri 32V napajanju). Nadaljni razvoj je potekal na 132 Kbitnem čipu z 8,3 % redundanco.

#### Evropa:

V Evropi se je z razvojem MBM ukvarjalo nekaj proizvajalcev, ki pa so večinoma delali v sodelovanju z ameriškimi proizvajalci (Phillips, Siemens). Samostojni razvoj je potekal le pri angleškem proizvajalcu Plessey Microsystems. Začetek je bil že v letu 1969, v letu 1977 pa so izdelali 64 Kbitni MBM, katerega značilnost je ta, da je čip majhnih dimenzij ( $2 \times 2$  cm). Uporabljajo konvencionalne tehnologije, škarnične propagacijske vzorce s periodo  $16\mu$ . Uspelo pa jim je izdelati tudi 256 Kbitni pomnilnik.

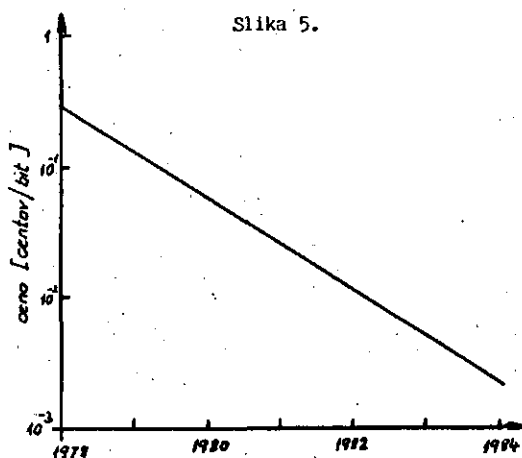
Leto	78/79	80/81	82/83	84/85
ZDA	2,2	28	100	200
Japonska	1,0	14	48	130
Evropa	0,8	7	32	90
Skupaj milj. \$	4,0	48	180	420

Tabela 1. svetovna proizvodnja MBM v milijon dolarjih

Pričakovati je, da se bo v naslednjih letih proizvodnja MBM močno povečala (Tabela 1) in da bo v letu 1985 dosegla vrednost 500 milijonov dolarjev. Pričakovati je tudi, da bodo stroški za izdelavo MBM močno padli (iz

3) Perioda propagacijskega vzorca je določena z geometrijskimi lastnostmi vzorca in medvzorčno razdaljo (gap).

125 mc/bit v letu 1978 na 1 mc/bit leta 1985), kar je razvidno iz slike 5.



## 5. NAMESTO ZAKLJUČKA

Dejstvo je, da MBD v sebi združujejo zelo bogato strukturo in kompleksno delovanje. Proizvajalci težijo k temu, da bi postala tako struktura MBM, kot celotnega MBD bolj integrirana in enostavnejša za vključevanje v mikroročunalniški sistem. To pa zahteva od načrtovalca mehurčnega pomnilniškega sistema, da je soočen tako s fizikalno tehnološkimi lastnostmi MBM, kakor tudi z načinom vključitve MBM v mehurčni pomnilniški sistem. Zagotovo lahko trdimo, da je današnja podpora oprema, ki spremlja MBM, več ali manj specifična za določene mikroročunalniške sisteme, vendar se proizvajalci trudijo pri načrtovanju enotne minimalne podporne opreme. Vmesniki naj bi bili standardizirani in naj bi imeli možnost korigiranja napak in veliko stopnjo redundance.

Zanesljivost delovanja tega pomnilniškega medija lahko štejeemo v njegovo dodatno odliko, saj je maksimalna verjetnost nastopa napake v pomnilniškem sistemu  $10^{-12}$ , v samem MBM pa celo  $10^{-40}$ . Eventuelne napake se najčesteje pojavijo v MBD, bodisi v napajalnem modulu ali v detektorjih signalov in jih je mogoče zmanjšati z ustreznim načrtovanjem tiskane plošče, na kateri je ta podpora oprema instalirana. Efekt staranja skorajda nima vpliva na zanesljivost delovanja mehurčnega pomnilnika. Temperatura okolice ne vpliva dosti na delovanje, saj je energijska poraba sistema reda 1 W. Sam mehurčni pomnilnik brez posledic prenese zunanje magnetno polje jakosti do 1600 A/m (čipi so obdani s feromagnetno oblogo).

Učinkovitost pomnilniških sistemov ovrednotimo s časom dostopa (access time), ta pa je pri mehurčnih pomnilnikih odvisna od organizacije pomnilniških celic<sup>4)</sup> in propaga-

cijske frekvence. Tipični časi dostopa za 256 Kbitni MBM so  $3 + 10$  ns.

K proizvodnji MBD sodi tudi predhodno statično, dinamično in parametrično testiranje komponent, ki je običajno združeno v ATE (automatic test equipment). Zgrajeni testni sistemi so še razmeroma dragi (150 + 200 tisoč dolarjev), vendar pa je enostavnejše testiranje (ki navadno zadošča) dosti cenejše.

Nazadnje lahko poudarimo, da je spekter aplikacij MBD zelo širok. Namen mehurčnih pomnilnikov ni, da bi popolnoma zamenjali obstoječe masovne pomnilnike (diski, bobni, trakovi, kasete, itd.), temveč, da zapolni vrzel v hierarhiji pomnilnikov, ocenjeno glede na razmerji kapaciteta/cena in učinkovitost/cena (slika 1.). To pa jim zaradi njihovih svojskih lastnosti (majhna energijska poraba, nezbirsljivost, velika zanesljivost, majhna teža in volumen, kompaktnost, modularnost, robustnost, itd.) tudi uspeva. Naštetimo nekaj področij na katerih se bodo MBD uveljavili zaradi naštetih svojskih lastnosti:

- nadzor industrijskih procesov (zanesljivost, robustnost, minimalno vzdrževanje),
- prenosne mikroročunalniške naprave (modularnost, majhna teža in poraba moči, kompaktnost),
- poslovni računalniški sistemi (zanesljivost, minimalno vzdrževanje, modularnost),
- v neugodnih delovnih pogojih (temperaturna neobčutljivost, zanesljivost, robustnost),
- kot pomožni  $\mu$ P pomnilniki (modularnost, zanesljivost),
- zamenjava diskov s fiksno glavo (velika učinkovitost, zanesljivost).

Nizka cena in nezbirsljivost MBM sta karakteristiki, ki spremljata vsa področja uporabe mehurčnih pomnilnikov, medtem ko ostale karakteristike lahko uspešno zadošimo s skrbno in premišljeno izbrano podporno opremo.

Razvoj mehurčnih pomnilniških sistemov je zelo dinamičen in bo še naprej potekal v dveh smereh: iskanju novih tehnoloških možnosti pri izdelavi samih mehurčnih pomnilnikov v smislu povečanja gostote in učinkovitosti (za leto 1990 napovedujejo celo 256 Mbitne čipe), ter v načrtovanju univerzalnejše in bolj integrirane podporne opreme.

## 6. LITERATURA

- [1] A.H. BOBECK: Bell Syst. Tech. J., 46, pp 1901-1925, 1967
- [2] C.P. HOAH, CHANG: IEEE Trans. Magnetics, 13, pp 945-952, 1977.
- [3] T. MORIKAWA: Electronic Engineering, pp 95-101, Feb. 1980
- [4] Y. KITA, N. YAMAGUCHI, M. SUGIE & S. YOSHIZAWA: IEEE Trans. on Computers, Vol. C-29, No. 2, pp 89-96 February 1980
- [5] Electronic, pp 41-42, May 1980.
- [6] R.E. FONTANA, D.C. BULLOCK & S.K. SINGH: IEEE Trans. on Magnetics, Vol. MAG-16, No. 5, Sept. 1980
- [7] P. NEWMAN: Electronic Engineering, pp. 43-58, Sept. 1979
- [8] D.J. BUNTER: Electronic Engineering, pp. 39-51, July 1979
- [9] L. WALLEES: Electronic, pp 80-81, March 1979.

4) Velikosti minorskih zank, ki pomnijo informacijo