

LIT.: L. C. Verman, Standardization. Archon Book, Hamden 1973. – S. Berg, Normung-Forschung-Entwicklung. Beuth Verlag, Berlin-Köln-Frankfurt 1974. – G. Riess, Schwerpunkte praxisnaher Normung. Siemens Aktiengesellschaft, Berlin-München 1974. – T. R. B. Sanders, Ciljevi i principi standardizacije (prijevod). Savezni zavod za standardizaciju, Beograd 1974. – W. Beitz, Vorlesungsunterlagen zur Normung. Beuth Verlag, Berlin-Köln 1981. – Benefits of Standardization. ISO, Genève 1982. – K. G. Krieg, W. Heller, G. Hunecke, Leitfaden der DIN-Normen. Beuth Verlag, Berlin-Köln 1983. – JUS Priručnik 1 – Osnovi interne standardizacije, JUSK, Beograd 1984. – Development Manual, Training of Technical Staff-National Level and Company Level. ISO, Genève 1985. – Handbuch der Normung – Innerbetriebliche Normungsarbeit, Band 1– 4. Beuth Verlag, Berlin-Köln 1985. – ISO/IEC Guide 2, General Terms and Their Definitions Concerning Standardization and Related Activities. ISO, Genève 1986. – JUS Priručnik 1 – Osnovi standardizacije. JUSK, Beograd 1987. – Zakon o standardizaciji. Sl. list SFRJ, br. 37 od 10. lipnja 1988. i br. 23 od 5. travnja 1991. – J. Ollner, The Company and Standardization. Swedish Standards Institution, Stockholm 1988. – Katalog JUS-standarda 1990. Savezni zavod za standardizaciju, Beograd 1990. – Standardizacija za Europu '92. Zbornik radova 7. jugoslavenske konferencije »STANDARDIZACIJA '90«. JUSK, Novi Sad 1990. – Zakon o preuzimanju Zakona o standardizaciji koji se u Republici Hrvatskoj primjenjuje kao republički zakon. Narodne novine, br. 53. od 8. listopada 1991.

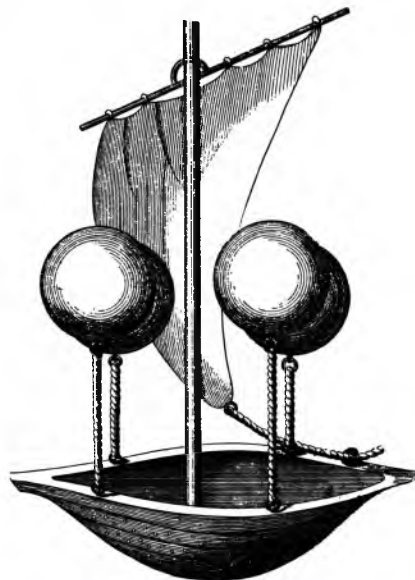
V. Kurelec

**STATIČKE LETJELICE**, zrakoplovi koji se podižu i održavaju iznad Zemljine površine djelovanjem aerostatičkog uzgona (v. *Mehanika fluida*, TE 8, str. 89) zbog razlike između gustoće plina kojim je ispunjena statička letjelica i gustoće zraka. Statičke letjelice mogu biti upravljive (dirizabli) i neupravljive (baloni).



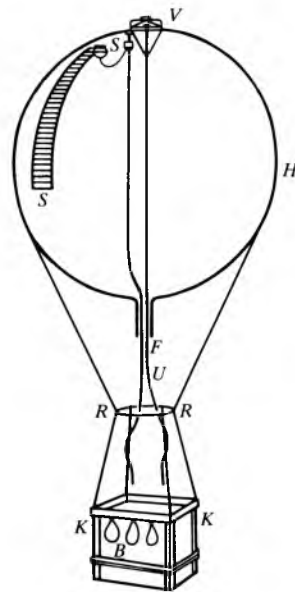
Sl. 1. Balon izrađen prema predaji plemena Nazca koje živi na visoravni Anda

Poznat je običaj u Kini, star mnogo stoljeća, da se na svetkovinu Kung-Min puštaju u zrak leteći lampioni koji su zapravo baloni ispunjeni toplim plinovima izgaranja. Francuski misionar Vasson navodi da je u pekiškom arhivu pronašao opis krunidbe cara Fo Kiena (1306) za vrijeme koje su puštane u zrak leteće kugle. U plemenu Nazca, koje živi na visoravni Anda, postoji legenda o letovima balonima. Da bi se provjerila vjerodostojnost te legende, načinjen je u današnje doba balon od tkanine koju pripadnici toga plemena još uvijek izrađuju na tradicionalan način. Takvim je balonom (sl. 1) postignuta visina od 500 m.



Sl. 2. Prvi projekt statičke letjelice (F. de Lana-Terzi, 1670)

Sl. 3. Suvremeni balon napunjen plinom. *H* balon obuhvaćen užetnom mrežom, *R* vezni prsten, *K* košara ili gondola, *V* ventil, *S* otvor za ispuštanje plina za vrijeme spuštanja, *F* crijevo za punjenje balona plinom, *U* užeta za otvaranje ventila i otvora, *B* balast



Isusovac Francesco de Lana-Terzi objavio je (sl. 2) prvi projekt statičke letjelice (1670). On je ispravno zaključio da će metalna kugla iz koje je isisan zrak omogućiti uzgon jednak težini istisnutog zraka. Za svoju letjelicu predvidio je četiri kugle promjera 7,5 m od bakrenog lima debljine 1/9 mm. Tada, međutim, nije bilo poznato da bi vanjski tlak zraka već pri isisavanju spljoštio limenu kuglu. Brazilski svećenik B. L. de Gusmão prikazao je portugalskom kralju Ivanu V. balon ispunjen vrućim zrakom kojim je uspješno poletio 1709.

Kao stvarni početak uspjelih letova statičkim letjelicama danas se smatraju pokusi braće J. i E. Mongolfiera, koji su 5. lipnja 1783. ostvarili prvi uzlet bez posade balona punjena vrućim zrakom. Prvi uzlet balona punjena vodikom, također bez posade, ostvarili su 27. kolovoza 1783. braća Robert, u suradnji s profesorom J. A. C. Charlesom. Uskoro zatim, 19. rujna iste godine, braća Mongolfier uspijevaju svojim balonom napunjenim vrućim zrakom podići ovcu, pijetla i patku na visinu od ~1900 m i vratiti ih žive natrag. Prvi ljudi koji su poletjeli balonom bili su Francuzi J. F. Pilâtre de Rozier i markiz d'Arlandes. Oni su 21. studenog 1783. u balonu punjenom zrakom dosegli visinu ~1000 m i ostali u zraku 25 minuta. Deset dana kasnije (1. XII. 1783) poletio je balonom punjenim vodikom i J. A. C. Charles s jednim od braće Robert. Nakon tih uspješnih letova pokusi se nastavljaju pa je već 1785. uspjelo preljetanje La Manchea za 2,5 sata. Valja napomenuti da je J. F. Pilâtre de Rozier i prva žrtva u osvajanju zračnog prostora; poginuo je 1785.



Sl. 4. Start balona na natjecanju u Albuquerqueu (New Mexico, SAD)

Za balone su se odmah zainteresirale pojedine armije, pa su Francuzi već 1794. u bici kod Fleurusa upotrijebili vezani balon napunjen vodikom za motrenje pokreta austrijske vojske.

Mnogi su istraživači usavršili balone pa su oni danas opremljeni uređajima prikazanim na sl. 3.

**Neupravljive statičke letjelice.** Balon je neupravljiva statička letjelica. On se giba samo u smjeru strujanja zraka. Djelomično se upravljanje može postići jedino promjenom visine leta radi prijelaza u zračnu struju željenog smjera. Penjanje se balona postiže odbacivanjem balasta, a spuštanje ispuštanjem plina, pa je trajanje leta ograničeno količinom balasta i količinom plina.

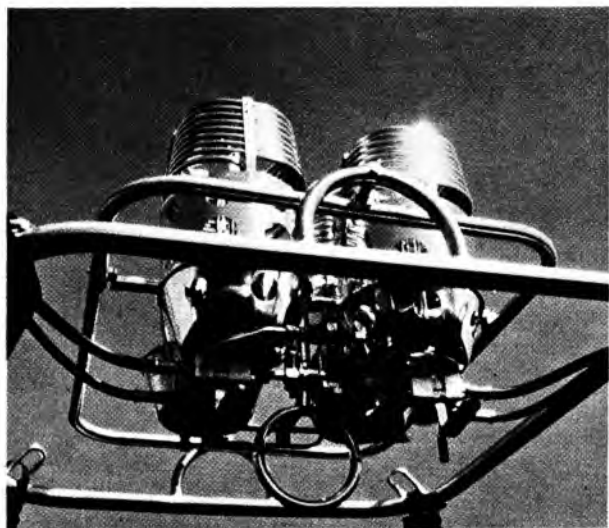
Slobodno leteći baloni koji nose mjerne instrumente upotrebljavaju se za ispitivanje atmosfere, a podatke šalju na Zemlju bežičnim putem. Vezani su se baloni upotrebljavali za vrijeme prvoga svjetskog rata kao visoke promatračnice za upravljanje artiljerijskom paljbom, a u drugome svjetskom ratu kao baražni baloni za zaštitu od aviona. Baloni su obično bili u oblacima, a tanka čelična užad o koju su bili pričvršćeni bila je praktički nevidljiva.

Baloni punjeni vrućim zrakom, odnosno plinovima izgaranja, doživjeli su preporod nakon drugog svjetskog rata upotrebom plinskih gorionika gdje izgara ukapljeni plin (smjesa propana i butana) iz čeličnih boca. Danas ima tisuće takvih balona i njima se ostvaruju nekoć nezamislivi letovi, npr. let iz SAD u Evropu preko Atlantika. Kao primjer brojnosti takvih balona može poslužiti snimka (sl. 4) s natjecanja u Albuquerqueu (New Mexico, SAD) na kojem je sudjelovalo više od stotinu balona.



Sl. 5. Balon na vrući zrak tvrtke Thunder-Colt

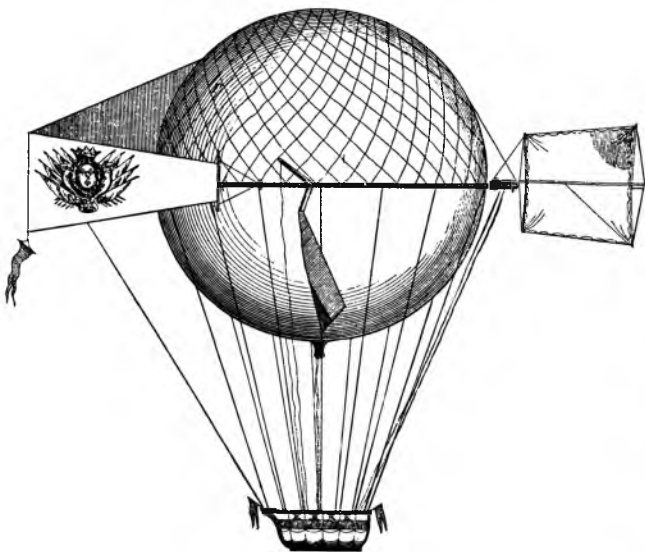
Na sl. 5 vidi se suvremeni balon punjen vrućim zrakom, a na sl. 6 dvostruki gorionik na ukapljeni plin. Takvi se baloni proizvode serijski. Tipizirano je osam veličina balona obujma od 2550...11300 m<sup>3</sup>, s gorionicima toplinske snage od 2800 kW (jednostruki gorionik) do 11200 kW (četverostruki gorionik).



Sl. 6. Dvostruki gorionik na ukapljeni plin toplinske snage 5600 kW

**Upravljive statičke letjelice.** Već nakon prvih uspješnih letova balonima koji su se kretali samo u smjeru strujanja zraka pojavila se težnja da se izgrade takve statičke letjelice kojima se može upravljati u željenom smjeru. To se pokušavalo ostvariti na različite načine.

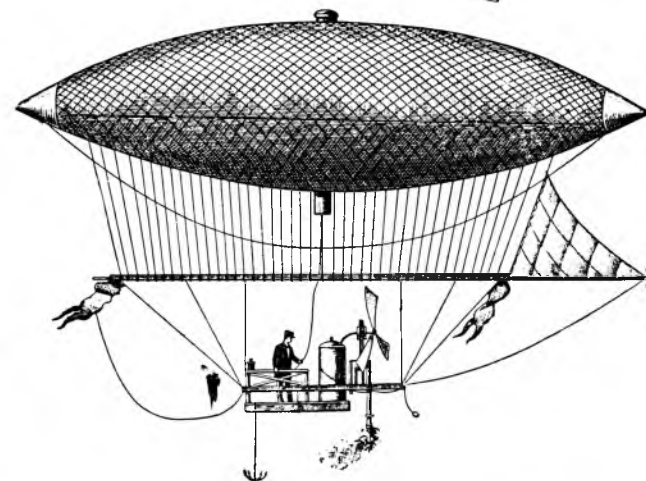
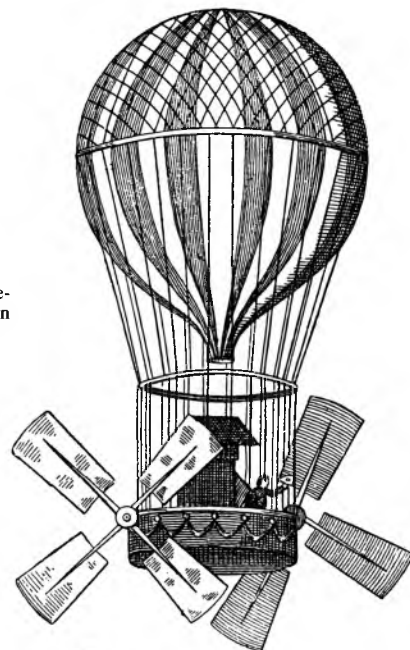
Prvi takav balon konstruirao je Francuz Guyton Morveau. Takav se balon podigao u zrak 1785. godine. Za upravljanje su služila jedra (sl. 7) kojima se ručno upravljalo. Skoro istodobno zamišljen je balon s dva četverokraka propelera (sl. 8) pokretana ručno. Prvi djelomično uspješan i teorijski ispravan upravljivi statički zrakoplov konstruirao je 1852.



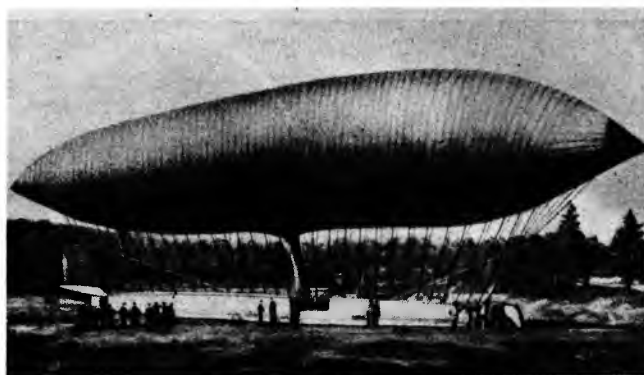
Sl. 7. Skica upravljive letjelice (G. Morveau, 1785)

Francuz H. Giffard. Zrakoplov je bio dug 44 m, s najvećim promjerom od 12 m (sl. 9), a za pogon mu je služio parni stroj snage 2,2 kW, koji je okretao propeler promjera 3,4 m brzinom vrtnje 110 min<sup>-1</sup>. Prvo polijetanje izvršeno je 1852. Zbog male snage pogonskog stroja brzina mu je bila vrlo malena, ali je dokazana njegova upravljivost. Imao je, međutim, nedostatak da mu se je mijenjao vretenasti oblik tijela s promjenom temperature okolnog zraka i s promjenom tlaka plina u balonu. Da bi se taj nedostatak uklonio, počeli su se upotrebljavati baloneti, kako su nazvani baloni smješteni

Sl. 8. Skica upravljive letjelice s propelerima (J. Alban i A. Vallet)



Sl. 9. Skica upravljive letjelice s pogonom pomoću parnog stroja (H. Giffard)

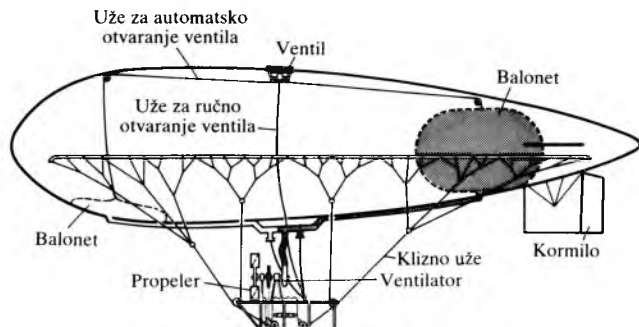


Sl. 10. Upravljiva letjelica s pogonom pomoću elektromotora (Ch. Renard, 1884)

u unutrašnjosti glavnog balona. Zadatak je bio tih baloneta, napunjenih zrakom, da pomoću ventilatora koji je stalno radio održavaju oblik glavnog balona. Prvi upravljivi statički zrakoplov s balonetom konstruirali su Francuzi Ch. Renard i A. Krebs i njime 1884. ostvarili zapravo prvi uspješan let upravljive statičke letjelice. Let je trajao 23 min, a preletjeli su 7,5 km, vrativši se na polazni položaj. Zrakoplov je imao elektromotor snage 6,6 kW koji je služio za pogon propelera s dvije lopatice promjera 7 m (sl. 10).

Sljedećih godina razvila su se tri osnovna tipa upravljivih statičkih letjelica: *meke* ili napete letjelice, *polukrute* s balonetom i *krute* statičke letjelice. Aerodinamički profil mekih i polukrutih letjelica održava se povišenim unutrašnjim tlakom koji se ostvaruje u jednom ili u više baloneta.

Polukrute letjelice imaju s donje i s prednje strane krute nosače koji ih djelomično ukružuju. Krute letjelice imaju kruti kostur koji osigurava aerodinamički oblik letjelice. Unutar kostura nalaze se ćelije ili baloni ispunjeni nosivim plinom.



Sl. 11. Skica napete letjelice (A. Parseval, 1906)

**Meke ili napete letjelice.** Jednu od prvih uspješnih konstrukcija napete letjelice ostvario je Nijemac A. Parseval (1906, sl. 11). Njezin je obujam iznosio  $2500\text{ m}^3$ , duljina 45 m, a najveći promjer 8,57 m. Sagrađeno je više takvih letjelica različita obujma. Najveća, PL-27, sagrađena je 1917, a imala je obujam od  $31150\text{ m}^3$ , duljinu 157 m i najveći promjer od 18,6 m. S dva motora s unutrašnjim izgaranjem, ukupne snage 706 kW, mogla je postići brzinu od 91 km/h. Između dva svjetska rata, a i poslije drugoga nastavljen je razvoj mekih statičkih letjelica u SAD, SR Njemačkoj i Velikoj Britaniji. Tako je najveća napeta letjelica sagrađena 1959. u SAD. Obujam joj je  $42500\text{ m}^3$ , duljina 122 m, a najveći promjer 26 m. Ima motore snage oko 1200 kW, te postiže brzinu od 147 km/h i dolet od 17200 km. U posljednje je vrijeme poraslo zanimanje za napete letjelice. Tako je 1984. prvi put poletjela letjelica Skyship-600 (sl. 12) u Velikoj Britaniji. Obujam joj je  $6666\text{ m}^3$ , duljina 59 m, a najveći promjer 15,2 m. Za pogon služe dva motora snage 199 kW, a može postići brzinu od 102 km/h. U kabinu se mogu smjestiti 24 putnika. Ta je letjelica namijenjena za prijevoz putnika iz središta grada do aerodroma. Takve letjelice mogu poslužiti i u mornarici za nadzor nad najfrekventnijim vodnim putovima.



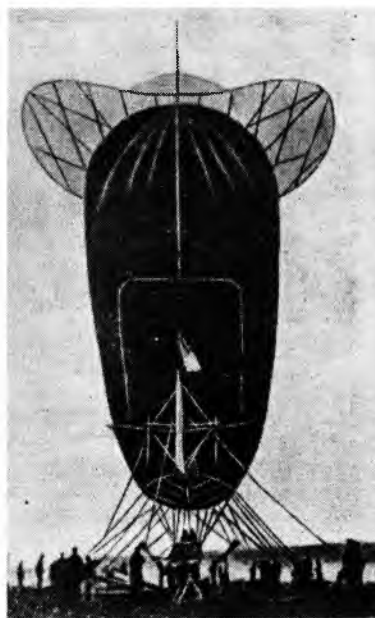
Sl. 12. Napeta letjelica Skyship-600 (1984)

U SAD izgrađen je suvremeni napeti zrakoplov ZPG-3W (sl. 13) obujma  $42935\text{ m}^3$  i duljine 131,1 m. Za pogon mu služe dva avionska motora po 1220 kW koja pokreću reverzibilne propelere promjera 5,5 m. Letjelica postiže brzinu od 129 km/h i može ostati u zraku neprekidno 360 h.

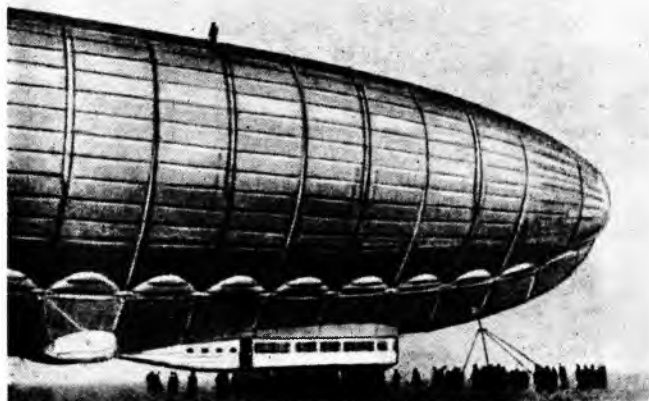
**Polukrute letjelice.** Prva je uspješna polukruta letjelica, *Lebudy II*, izgrađena 1903. godine (projektant A. Julliot). Imala je obujam od  $2660\text{ m}^3$  (sl. 14). Poslije je (1910) izgrađena letjelica *Morning Post* jednakog tipa, obujma



Sl. 13. Napeta letjelica ZPG-3W (SAD)



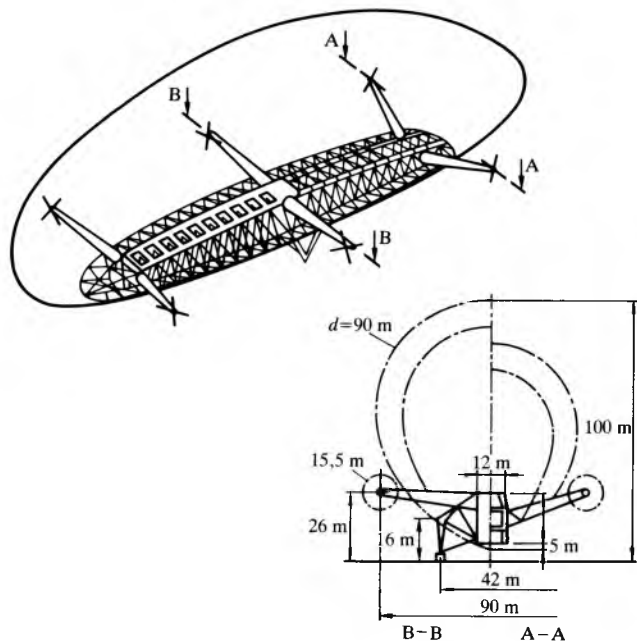
Sl. 14. Polukruta letjelica Lebaudy II



Sl. 15. Prednji dio talijanske polukrute letjelice kojom je U. Nobile doletio na Sjeverni pol

od  $10000\text{ m}^3$ , duljine 103 m i najvećeg promjera 12 m. Za pogon su bila ugrađena dva motora snage po 99 kW, koja su tjerala propelere promjera 5 m brzinom vrtnje od  $360\text{ min}^{-1}$ . Poslije su građene polukrute letjelice u Njemačkoj i SAD. Najpoznatije i najuspješnije su polukrute letjelice građene u Italiji između 1912. i 1927. godine. Najveća među njima, T-34, sagrađena 1919, imala je obujam od  $35000\text{ m}^3$ , duljinu 125 m, a najveći promjer 22,7 m. Za pogon su služili motori ukupne snage 1545 kW pomoću kojih se postizala brzina 109,8 km/h. Takvom je letjelicom U. Nobile doletio na Sjeverni pol.

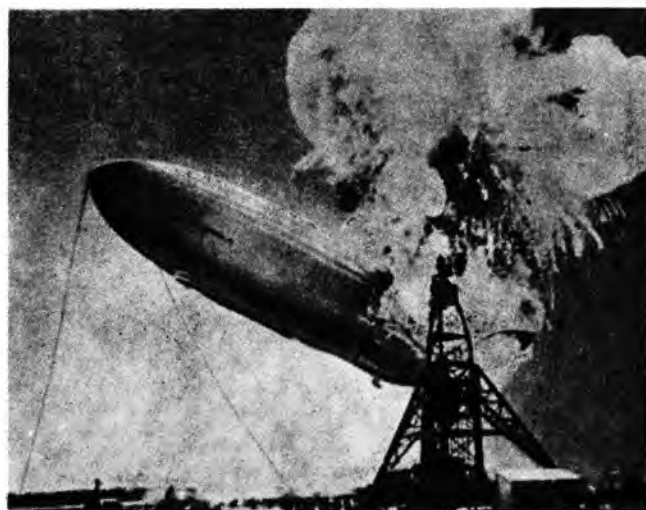
Ta je letjelica (sl. 15) imala obujam od 19000 m<sup>3</sup> i motore snage 8275 kW, a mogla je postići brzinu od 100 km/h. Takve su letjelice građene i u SSSR i Japanu. Sredinom sedamdesetih godina projektirana je u Francuskoj polukruta letjelica *Obelix II*, obujma 1250000 m<sup>3</sup> (sl. 16), duljine 270 m i najvećeg promjera 90 m. Predviđena je ugradnja 12 pogonskih motora, po dva za svaki propeler. Nosivost bi iznosila 500 t, brzina 130 km/h, a dolet 2000 km. Gradnja nije dovršena zbog nedostatka financijskih sredstava.



Sl. 16. Skica polukrute letjelice Obelix II

**Krute letjelice.** Za razvoj je tih letjelica kao konstruktor najzaslužniji D. Schwarz (1852–1897), trgovac u Zagrebu, a kao realizator Nijemac F. Zeppelin. Prema Zeppelinovim projektima izgrađeno je više od stotinu krutih statičkih letjelica. Prva iz te serije, LZ-1, prvi put je poletjela 2. srpnja 1900. godine. Imala je obujam od 11300 m<sup>3</sup>, duljinu 128 m, najveći promjer 11,65 m, dva motora po 10,5 kW, a mogla je postići brzinu od 28,1 km/h. Na sl. 17 vidi se jedna od prvih letjelica toga tipa. Nosiva se rešetkasta konstrukcija u obliku mnogokuta ukrućenog žičanim zategama sastojala od aluminijskih rebara (poslije su upotrebljavana rebra od duraluminija) koja su međusobno povezana uzdužnim rešetkastim nosačima. Cijela je letjelica presvučena platnom impregniranim lakom. U unutrašnjosti se nalazilo više ćelija s balonima ispunjenim nosivim plinom (vodikom). Postepeno je konstrukcija usavršavana, povećani su obujam i brzina, pa je 1928. izgrađena najpoznatija statička letjelica *Graf Zeppelin* s oznakom LZ-127. Obujam joj je iznosio 105000 m<sup>3</sup>, duljina 236,6 m a najveći promjer 30,5 m. Imala je pet motora po 390 kW smještenih u gondolama s vanjske strane, a postizala je brzinu od 128 km/h. Dolet joj je bio 12000 km, a nosivost korisnog tereta 65 t. Prvi su modeli takvih letjelica imali benzinske pogonske motore, poslije su upotrebljavani Diesellovi motori, a letjelica LZ-127 imala je plinske motore. Tada se kao gorivo upotrebljavao tzv. plavi plin. To je plin specijal-

nog sastava koji je imao gustoću približno jednaku gustoći zraka i relativno veliku ogrjevnu moć (66,2 MJ/m<sup>3</sup>). Upotrebom takva plina povećan je dolet jer nisu više bili potrebni teški spremnici za kapljevito gorivo. Letjelica LZ-127 imala je u balonima 30000 m<sup>3</sup> takva plina. Osim toga, uz svaki se motor nalazio rezervni spremnik sa 2000 kg benzina. Letjelica LZ-127 održavala je redovitu liniju za prijevoz putnika i tereta između Evrope i SAD, a obletjela je svijet od Friedrichshafena preko Tokija, Los Angelesa i New Yorka do Friedrichshafena. Poslije su izgrađene dvije znatno veće letjelice istog tipa, LZ-129 i LZ-130, koje su imale obujam po 200000 m<sup>3</sup>, duljinu 247,8 m i najveći promjer 41,2 m. Imale su četiri motora po 809 kW, a mogle su postići brzinu od 135 km/h i dolet od 15000 km. Prva se od njih, LZ-129, nazvana *Hindenburg*, zapalila 1937. pri slijetanju na aerodrom u New Yorku (sl. 18). Nakon toga su obustavljeni komercijalni letovi takvih letjelica, a njihova je izgradnja prestala.



Sl. 18. Katastrofa letjelice Hindenburg (LZ-129) nakon slijetanja na aerodrom (1937)

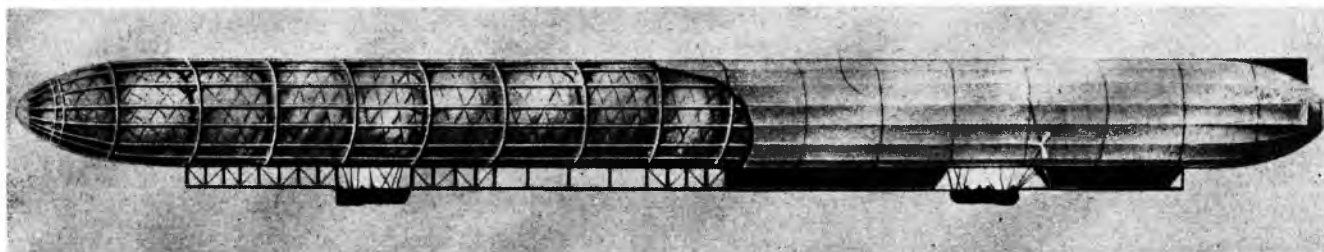
Za vrijeme drugoga svjetskog rata ponovno započine gradnja krutih statičkih letjelica, ali samo za vojne potrebe. U to je doba samo u SAD izgrađeno ~200 takvih letjelica. One su upotrebljavane za pratnju i zaštitu brodskih konvoja od neprijateljskih podmornica. Bile su vrlo efikasne zbog male brzine i mogućnosti da dugo ostanu u zraku (više od 200 sati), što potvrđuje podatak da nijedan brod nije bio potopljen iz konvoja koje su pratile takve letjelice. One su bile naoružane dubinskim bombama za napad na podmornice.

**Princip leta statičkih letjelica.** Kao što je spomenuto, statičke se letjelice podižu i održavaju iznad Zemljine površine djelovanjem hidrostatskog uzgona. Sila se uzgona određuje iz izraza

$$U = gV_p(\rho_z - \rho_p), \quad (1)$$

gdje je  $g$  ubrzanje Zemljine teže,  $V_p$  obujam plina u letjelici,  $\rho_z$  gustoća zraka u okolišu letjelice, a  $\rho_p$  gustoća plina u letjelici. Sila podizanja  $S_p$  letjelice jednaka je razlici uzgona (1) i težine letjelice  $G = g m$ , gdje je  $m$  masa letjelice, pa je

$$S_p = U - G. \quad (2)$$

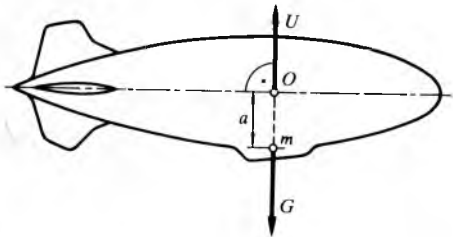


Sl. 17. Jedna od prvih letjelica tipa Zeppelin

Da bi letjelica bila u statičkoj ravnoteži ( $S_p = 0$ ), potrebno je da uzgon bude jednak težini letjelice ( $U = G$ ). Da bi se, međutim, letjelica podigla na veću visinu, potrebno je smanjiti masu letjelice, npr. izbacivanjem balasta. Na većim je visinama zrak rjeđi pa će se na nekoj većoj visini uspostaviti novo ravnotežno stanje. Da bi se letjelica spustila, potrebno je ispuštati plin. Kad se uzgon postiže zagrijavanjem zraka (neupravljive letjelice), letjelica se podiže povećanim zagrijavanjem, odnosno povišenjem temperature smjese zraka i plinova izgaranja u balonu, a spušta se smanjenjem zagrijavanja. U istom smislu djeluje zagrijavanje, odnosno hlađenje letjelice za vrijeme leta.

Na neupravljivu letjelicu u slobodnom letu na većim visinama ne djeluju neke veće aerodinamičke sile koje bi uzrokovale njezino dizanje ili spuštanje. Naprotiv, na upravljive statičke letjelice koje se gibaju zrakom tjerane pogonskim motorima djeluju aerodinamičke sile zbog zračnog strujanja, te uzrokuju podizanje ili spuštanje letjelice.

Na sl. 19 prikazana je statički uravnotežena letjelica sa zaustavljenim pogonskim motorima u mirnom zraku. Na nju djeluju uzgon  $U$  i težina letjelice  $G$ . Hvatište je uzgonske sile u težištu plinskog obujma  $O$ , a hvatište težine letjelice u težištu mase letjelice  $m$ . Oba se težišta nalaze na pravcu okomitom na uzdužnu os letjelice. Razmak između tih hvatišta naziva se *metacentarska visina*  $a$ . Umnožak  $aU$  i  $aG$  naziva se *moment statičkog para*. Taj moment određuje statičku stabilnost letjelice. Što je taj moment veći, to se teže mijenja smjer uzdužne osi u prostoru. Obično je promjena smjera uzdužne osi neznatna.



Sl. 19. Sile koje djeluju na statički uravnoteženu i nepokretnu statičku letjelicu

Kad statički uravnotežena letjelica leti horizontalno, tada je  $U = G$ , te su sve aerodinamičke sile u ravnoteži s vučom propelera, a visinsko se kormilo nalazi u vodoravnom položaju. Kad se visinsko kormilo otkloni prema gore, pojavljuje se aerodinamička sila koja djeluje prema dolje ili gore, pa se pojavljuje moment koji uzdiže prednji ili stražnji dio letjelice. Pri većim će se brzinama, naime, letjelica uspinjati, a pri manjima spuštati, jer aerodinamičke sile ovise o kvadratu brzine leta. Zbog toga svaka letjelica ima svoju tzv. *inverzijsku brzinu*. Ako je brzina leta manja od inverzijske, položaj će kormila za uspinjanje uzrokovati spuštanje letjelice, dok će položaj kormila za spuštanje uzrokovati njezino uspinjanje. Inverzijska brzina većih letjelica iznosi obično  $\sim 40$  km/h, a manjih  $20\text{--}30$  km/h. Kad se letjelica giba brzinom od 100 km/h ili većom, pojavljuje se i aerodinamički uzgon koji obično nije veći od  $1\text{--}2\%$  težine letjelice, što ovisi o temperaturi i tlaku zraka, napadnom kutu letjelice i turbulenciji atmosfere. Pri zaustavljanju motora takva će letjelica naglo gubiti brzinu.

Prema tome, upravljanje takvim letjelicama nije jednostavno i razlikuje se od upravljanja avionima, jer tamo nema inverzijske brzine.

**Upotreba statičkih letjelica.** Danas se statičke letjelice najviše upotrebljavaju za reklamiranje proizvoda jer se lako zapažaju iz širokog područja. Balon ispunjen plinom poslужio je u svoje doba za istraživanje stratosfere (A. Piccard, 1932).

Mnogo su se više upotrebljavale letjelice u ratne svrhe. U prvome svjetskom ratu Njemačka je upotrebljavala upravljive letjelice tipa Zeppelin kao bombardere za napade na Veliku Britaniju. U prvim ratnim godinama to je bilo uspješno jer su se avioni sporo penjali i teško postizali visinu od 6000 m

na kojoj su letjele upravljive letjelice. S daljim razvojem avioni su se mogli popeti i na te visine pa su lako pogadali zapaljivim mecima goleme letjelice punjene vodikom i uništavali ih. To je bio kraj njihove upotrebe kao napadačkoga borbenog sredstva.

U drugom svjetskom ratu Japanci su pustili u zrak  $\sim 9000$  balona, izrađenih od posebnog impregniranog papira, koji su bili punjeni vodikom, a nosili su zapaljive i razorne bombe. Nošeni zračnim strujama, što su ih onda poznavali samo Japanci, oni su trebali preletjeti Tihi ocean (najmanja širina  $\sim 9600$  km) i doprijeti do SAD. Više je takvih balona dospjelo u područje od Aljaske do Meksika i tu odbacilo svoj bojni teret. Od tih je bomba poginulo 6 osoba, a materijalna je šteta bila minimalna (nekoliko šumskih požara).

Baloni su poslужili za športske pothvate i za postizanje rekorda.

Balonom punjenim plinom postavljen je već 1935. visinski rekord od 22627 m (balon *Explorer II*, s pilotima A. W. Stevensom i O. A. Andersonom). Taj rekord nije do danas oboren. Takvim su balonom trojica pilota preletjela Atlantski ocean 1987. godine. Taj je let trajao 6 dana i 13 sati.

Pilot P. Lindstrand ostvario je visinski rekord balonom na vrući zrak (1988) postigavši visinu od 19811 m. Pri gradnji tog balona, obujma 17024 m<sup>3</sup>, trebalo je odabrati takvu foliju za ovojnici koja uz unutrašnju temperaturu od 200 °C može izdržati vanjsku temperaturu od  $-70$  °C. Balonom na vrući zrak ostvaren je prelet Atlantika (1987). Balon obujma 60434 m<sup>3</sup> preletio je udaljenost od 4948 km za 31 h i 41 min. To je ostvareno uspješnom suradnjom s meteorološkim službama, pa su piloti, prema dobivenim podacima o zračnim strujama, dovodili balon u tzv. mlaznu zračnu struju. Balon je povremeno dostizao i brzinu od 246,3 km/h.

Upravljive letjelice tipa LZ postizale su visinu do 7000 m i dolet od 16000 km. Najdulje trajanje leta do sada, 264 h i 14 min, ostvarila je (1957) upravljiva napeta letjelica ZPG-2W tvrtke Goodyear Aircraft.

**Osnovni problemi statičkih letjelica.** Neupravljive i upravljive statičke letjelice punjene su u SAD helijem, a u ostalim zemljama vodikom jer nisu imali helija. Upaljivost vodika u smjesi sa zrakom uzrokovala je mnoge nesreće i uništenje tih letjelica. Samo za vrijeme prvoga svjetskog rata njemačka je vojska izgubila 22 posade takvih letjelica od ukupno 50 koliko ih je sudjelovalo u ratnim operacijama.

Drugi je problem svih statičkih letjelica mala brzina leta i ogromne dimenzije.

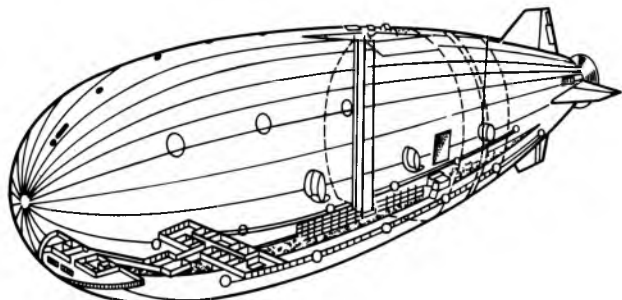
Nadalje, ulijetanjem u područje zaleđivanja brzo se stvara sloj leda na površini letjelice, što onemogućuje dalji let zbog povećanja mase letjelice i najčešće uzrokuje katastrofu.

Izgleda da je i statički elektricitet najveći problem svih vrsta upravljivih statičkih letjelica. Zbog ogromnih dimenzija takvih letjelica one se mogu nabiti velikom količinom statičkog elektriciteta. Taj naboj može biti i pozitivan i negativan, već prema polaritetu naboja oblaka kroz koji ili uz koji letjelica leti. Poslije, kad se letjelica približi drugom oblaku, pojavljuju se privlačne ili odbojne sile, prema tome da li su polariteti letjelice i oblaka različiti ili isti. Te sile mogu biti tolike da polome kormila letjelice zbog koncentracije naboja na isturenim dijelovima. Prema nekim analizama zbog toga su stradale uoči drugoga svjetskog rata dvije američke letjelice, Macon i Acron, napunjene helijem. Procjenjuje se da je sila na vrhu kormila iznosila  $\sim 150$  kN, što je bilo dovoljno za njegov lom. Osim toga, moguć je električni proboj uz pojavu iskre, što može uzrokovati paljenje vodika kad je letjelica napunjena tim plinom. Tako su stradale mnoge letjelice, a među njima vjerojatno i upravljiva letjelica *Hindenburg* (LZ-129) pri slijetanju na aerodrom, neposredno nakon spuštanja užeta za prihvata.

**Neki projekti novih statičkih letjelica.** Objavljeno je više projekata upravljivih statičkih i statičko-dinamičkih letjelica.

U Velikoj Britaniji izrađen je projekt *Skyship* tvrtke *Cargo Airship* (sl. 20). To je kruta upravljiva letjelica obujma 930000 m<sup>3</sup>, duljine 360 m i najvećeg promjera 76 m. Predviđena je kruta konstrukcija od polimernog materijala i

staklenih niti i nosivost od 500 t. Pogonski motori i propeler bili bi smješteni na repu iza kormila, a pomoćni motori s obje strane letjelice radi poboljšanja manevarskih sposobnosti. Letjelica bi mogla postići brzinu od 160 km/h, a predviđena je za prijevoz teških tereta koji bi bili smješteni na donjim platformama.

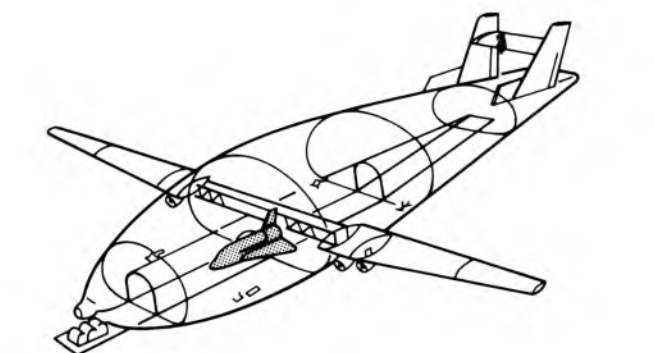
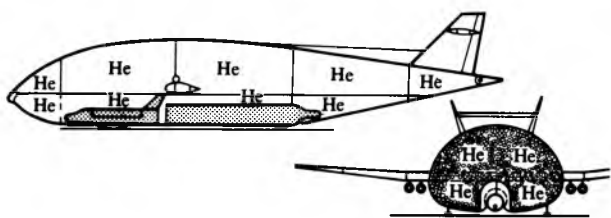


Sl. 20. Skica projektirane letjelice Skyship tvrtke Cargo Airship (Velika Britanija)

U SAD je tvrtka *Martin Marietta* izradila projekt vojne upravljive krute letjelice (sl. 21) obujma 263 000 m<sup>3</sup>, duljine 230 m i najvećeg promjera od 50 m. Unutar krutog tijela bilo bi smješteno 12 balona napunjenih helijem. Za upravljanje bi služile repne površine u obliku trokake zvijezde. Za pogon letjelice predviđene su četiri plinske turbine od kojih su dvije na prednjoj, a dvije na stražnjoj strani. Osi se propelera mogu zakretati prema gore i dolje za 60°, da bi se poboljšala upravljivost letjelicom. Masa bi pri polijetanju iznosila 188 t, a korisni teret 62 t, od čega 14 t otpada na radijsku i radarsku opremu. Predviđa se najveća visina leta od 3050 m i putna brzina od 148 km/h.



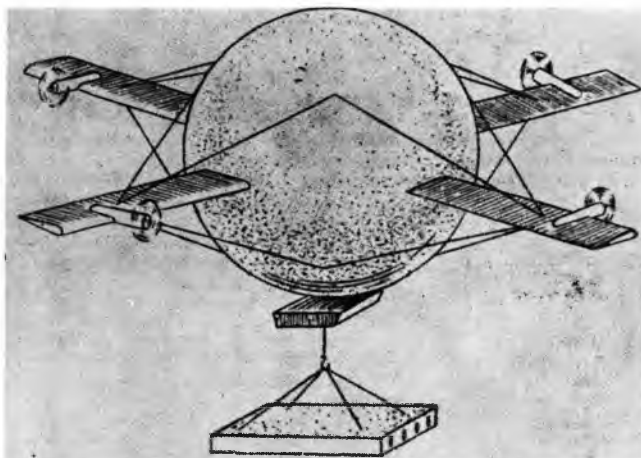
Sl. 21. Skica projektirane krute letjelice tvrtke Martin Marietta (SAD)



Sl. 22. Skica projektirane kombinirane statičko-dinamičke letjelice Megalifter (SAD)

Američka tvrtka *Megalift* objavila je projekt kombinirane statičko-dinamičke letjelice *Megalifter* (sl. 22). Duljina je trupa 198 m, a raspon krila 162 m. U trupu se nalaze baloni

obujma 210 000 m<sup>3</sup> napunjeni helijem. Za pogon su predviđena četiri ventilatorska turboblazna motora, kakvi su na današnjim širokotrupnim zrakoplovima, svaki s potiskom od 186 kN, a na vrhu krila po jedan takav motor manje snage. Vanjski dijelovi letjelice bili bi izrađeni od polimernog materijala ojačana staklenim nitima. Masa potpuno natovarene letjelice (450 t) veća je od mase istisnutog zraka. Tako natovarena letjelica može poletjeti brzinom od 120 km/h, pri čemu 52% uzgona osiguravaju aerodinamičke sile koje djeluju na krila, a 48% uzgona baloni napunjeni helijem. Letjelica bi trebala postići maksimalnu brzinu od 380 km/h na maksimalnoj visini od 7000 m i dolet od 16000 km, uz propisanu rezervu goriva.



Sl. 23. Skica projektirane kombinirane statičko-dinamičke letjelice Aerocrane (SAD)

U SAD izrađen je projekt kombinirane statičko-dinamičke letjelice *Aerocrane* (sl. 23) za podizanje i prijevoz tereta od 70 t. Letjelica se sastoji od helijem napunjenog balona promjera 58 m i četiriju krila duljine 42 m i širine 7,5 m. Na svakom kraju krila nalazi se propeler i plinska turbina snage 2280 kW za njegov pogon. Pri vrtnji propelera postiže se okretanje letjelice sa 8,6 okreta u minuti, pri čemu krila ostvaruju 60% uzgona, a plin u balonima 40%. Za vrijeme horizontalnog leta letjelicom se upravlja promjenom koraka pojedinih propelera. Letjelica bi mogla postići brzinu od 70 km/h.

Osim toga, postoji niz sličnih projekata u Njemačkoj, Francuskoj, SSSR i Japanu.

LIT.: A. Fürst, *Das Weltreich der Technik*. Verlag Ullstein, Berlin 1926. – *Flugtechnisches Handbuch*, sv. IV. Verlag W. de Gruyter & Co, Berlin-Leipzig 1937. – D. Wirth, *Ballooning*. Marshall Editions Ltd, London 1980. – M. Я. Аруе, *Дирижабли*. Наукова думка, Киев 1986.

S. Bernfest

## STATIKA GRAĐEVNIH KONSTRUKCIJA,

znanstveno područje koje se bavi ravnotežom nosivih građevnih konstrukcija koje preuzimaju različita statička opterećenja i druge statičke utjecaje. Statika je građevnih konstrukcija osnova za projektiranja nosive konstrukcije pomoću koje se određuju ležajne i unutrašnje sile i deformacije.

Glavni utjecaji koji djeluju na nosive konstrukcije jesu: stalna i korisna gravitacijska opterećenja, vjetar i potres, temperaturne promjene, slijeganje temeljnih podloga, skupljanje betona i prednaprezanje konstrukcija. Reakcije konstrukcija na pojedine utjecaje obično se analiziraju odvojeno.

Konstrukcije se analiziraju pomoću njihove *mehaničke sheme*. To je pojednostavnjeni prikaz nosive konstrukcije koji služi za utvrđivanje njezina mehaničkog ponašanja; ona mora vjerno prikazivati sva bitna svojstva konstrukcije, ali može grubo simulirati ili zanemariti njezina nebitna svojstva.