

UNIV. PROF. DR. INŽ.  
ANTON KUHELJ



# TEHNIKA

V VSAKDANJEM ŽIVLJENJU



DRUGA KNJIGA

# Tehnika v vsakdanjem življenju

Spisal

**dr. inž. Anton Kuhelj**



Celje  
1962

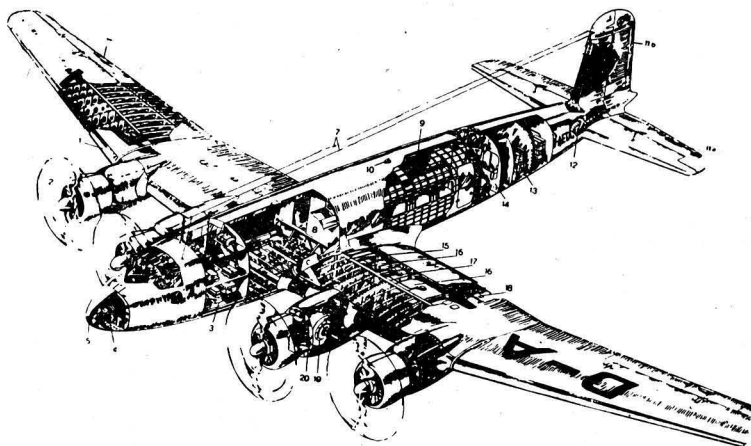


REDNA KNJIGA ZA UDE MOHORJEVE DRUŽBE

ZALOŽILA MOHORJEVA DRUŽBA V CELJU

## 1. LETALA IN DRUGA ZRAČNA VOZILA

Dandanes, ko prenesejo velika potniška letala vsako leto čez oceane več potnikov kakor vse ladje skupaj in ko se pojavljajo v listih vedno znova poročila o naravnost neverjetnih hitrostih vojnih letal, si pravzaprav težko predstavljamo, da je letalo staro komaj šestdeset let. Kljub temu je res: šele 17. decembra 1903 je Orville Wright (čitaj Orvil Rajt) v Zedinjenih državah Amerike izvedel v prisotnosti svojega brata Wilburja (čitaj Uilberja) prvi zares uspešen polet ali bolje rečeno skok z letalom. Celih 25 let po tem dogodku je preteklo, da smo prodrli v najvažnejše skrivnosti letenja z razmeroma majhnimi hitrostmi in celo leta 1930 so bili poleti čez širna morja še polni neznank, ki so jih spoznali le izredno sposobni piloti. Preden se je ljudem posrečilo premagati tudi velike hitrosti in poleteti hitreje, kakor se širi zvok, pa je minilo od prvega skoka še 45 let.



Sl. 1. Štirimotorno potniško letalo.

Če malo natančneje pogledamo veliko potniško letalo (sl. 1), se nam zdijo danes njegove oblike čisto razumljive in razporeditev posameznih delov smotrna. Kljub temu je bilo treba veliko poskusov in razmišljanja, da smo prišli do tako preprostih končnih oblik. V trupu spredaj imata najprej prostor oba pilota, ki se pri upravljanju letala menjata, če že nočeta zaupati vodenja letala posebnim napravam. Za njima sedi po navadi radiotelegrafist, ki je v stalni zvezi s postajami na zemlji, da sprejema navodila in poročila o dogodkih v letalu; nato pa sledi lepo opremljena prostorna potniška kabina, v kateri so vsi glavni nosilni deli pokriti s pločevino in povrhu navadno še tapecirani. Spodaj skozi trup gre tudi močno nosilno ogrodje kril, ki so poleg trupa, motornih naprav voza in repnih površin glavni del celega letala.

Zakaj gre pravzaprav pri letenju? Če naj se priprava giblje ali plava po zraku, mora pritiskati nanjo zrak tako, da daje med ostalim tudi tolikšno silo navzgor, kolikršna je njena teža. Le tako uničimo namreč vpliv teže, ki pritiska vsako telo k tlam. Silo navzgor imenujemo vzgon in jo moremo dobiti na dva načina, ki se med seboj zelo razlikujeta: z gibanjem kril po zraku ali z enim ali več velikih mehurjev, ki jih napolnimo s silno lahkimi plini, tako da je skupna teža cele naprave manjša od teže zraka enake prostornine, kakor jo imajo mehurji. Prvo vrsto priprav imenujemo aerodine, drugo pa aerostate<sup>1</sup>, ker se pri prvih pojavi vzgon le med gibanjem kril proti zraku, pri drugih pa pritiska zrak na mehurje z vzgonom tudi tedaj, če mirujejo.

Letala so najbolj razširjena vrsta aerodinov, ali kakor tudi pravimo: naprav, težjih od zraka. V načelu pa nikakor ni treba, da bi bila krila trdno pritrjena na ostale dele priprave kakor pri letalih! Nasprotno: če napravimo krila gibljiva proti ostalim delom stroja, moremo celo doseči, da bo mogla naprava kot celota ostati v zraku kar na istem mestu; saj je dovolj, da se gibljejo krila dosti hitro in nam dajo zadosten vzgon. Kljub tej prednosti naprav z gibljivimi krili pa je letalo še danes daleč najbolj razširjeno zračno vozilo in pridejo stroji z gibljivimi krili v poštev le za določene ozke naloge.

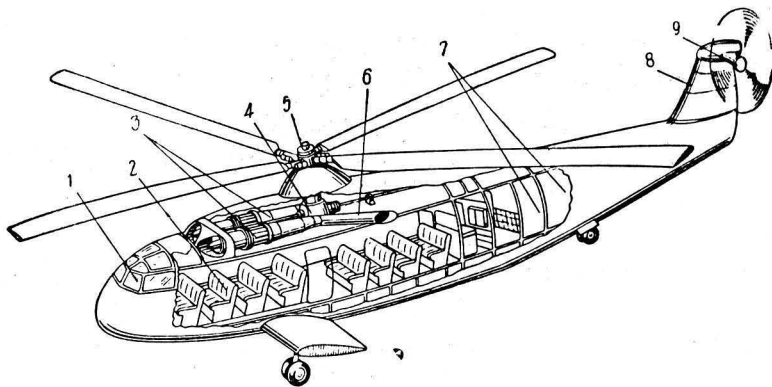
Načinov, kako gibati krila proti ostali napravi, je več. Naj takoj povemo, da se dobivanje vzgona z mahanjem kril kakor pri pticah, kljub številnim poskusom ni obneslo razen na majhnih modelih (take naprave imenujemo ornitoptere ali ptičjekrilnike). Da uporabljajo ta način gibanja po zraku z velikim uspehom več

---

<sup>1</sup> Besedi sta grškega izvora in pomenita dobesedno le naprave, ki se po zraku gibljejo oziroma morejo v zraku mirovati.

ali manj vsa letajoča živa bitja, nas ne sme motiti. Pri živih bitjih je namreč vsak majhen delec krila zase že tako rekoč samostojna enota, ki se more vsaj nekoliko po svoje gibati in se tako neprimerno bolj prilagoditi raznim potrebam kakor mrtvo umetno krilo. Poskus, da bi gradili dobre ptičjekrilnike za prevoz ljudi in tovora, je zato najmanj tako tvegan, kakor če bi kdo hotel zgraditi dirkalni avtomobil z nogami namesto s kolesi.

Nekako od l. 1925 dalje so se začele uveljavljati, sprva zelo počasi, pozneje pa z znatno naglico čisto drugačne naprave za letenje po zraku, za katere je značilno vrtenje kril okrog navpične osi (žirodini). Prednost takih priprav v primeri z letalom je seveda, da morejo ostati na mestu v zraku, neprijetna stran pa je, da porabijo pri enakih okoliščinah več moči, da ne morejo leteti tako hitro in da so v splošnem nekoliko manj zanesljive od letal. Od žirodinov so danes najbolj znani helikopterji (vijačnokrilniki), pri katerih žene motor velik vijak z navpično osjo (sl. 2),



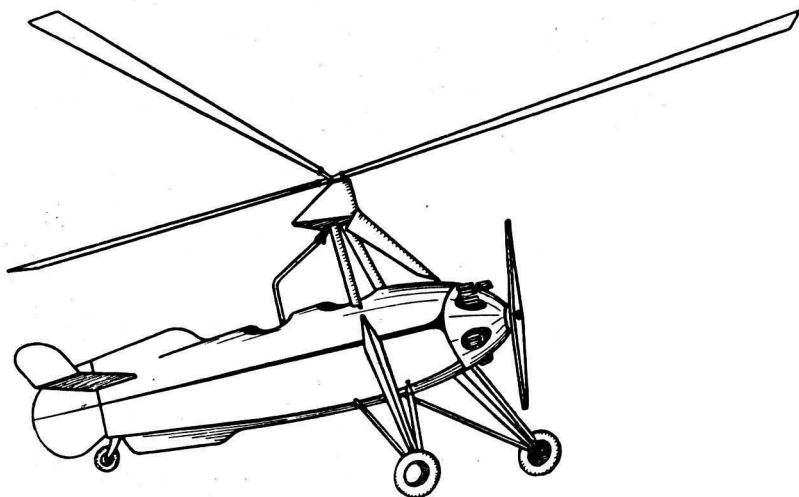
Sl. 2. Helikopter za potniški promet.

Turboreaktivni motor 3 žene velik dvigalni vijak 5. Mali vijak 9 zadaj služi le za stabilizacijo.

tako da dajejo njegovi listi (krila) poleg vzgona tudi vlečno silo za gibanje naprej. Še prej pa se je razvil avtožiro (sl. 3), pri katerem se velik vijak z navpično osjo vrti predvsem zaradi vetra, ki nastane med gibanjem naprave po zraku. Vlečno silo pri tej napravi daje torej navaden vijak spredaj, ki je med letenjem tudi edini zvezan z motorjem in ki s pihanjem nazaj podpira vrtenje velikega vijaka. Prednost avtožira proti helikopterju je, da se njegov vijak ne ustavi, če motor nenadno odpove in da se zato avtožiro lepo počasi spusti na tla. Pri helikopterju je



treba pri napaki v motorju liste velikega vijaka hitro nagniti močno naprej, ker se sicer vijak naglo ustavi in bi cela naprava treščila na tla. Pred odletom pa je treba seveda tudi veliki vijak avtožira zavrteti z motorjem; sam šibek veter vlečnega vijaka namreč ne zadošča, da bi ga spravil v dovolj hitro vrtenje.



Sl. 3. Avtožiro

Velik nosilni vijak se med letenjem vrti sam in tako nosi celo napravo. Motor žene le majhen vlečni vijak spredaj.

Že dolgo pred aerodini pa je poznalo človeštvo aerostate ali naprave, ki so lažje od zraka.

Vzgon pri aerostatih vseh vrst nastane v bistvu na enak način kakor vzgon v vodi, ki povzroči, da vzplava dovolj lahko telo (n. pr. kos lesa) vedno znova na vodno gladino, tudi če ga potisnemo navzdol. Tako v vodi kakor v zraku se namreč pritisk povečuje z globino in ker pritiskata zato oba na telo s spodnje strani močneje kakor od zgoraj, nastane vzgon, ki ga imenujemo v vodi hidrostatični, v zraku pa aerostatični<sup>3</sup> vzgon.

Med vzgonom v vodi in v zraku je seveda nekaj razlik, ki pa ne zadevajo bistva pojava. Predvsem je zrak v nižinah približno 800-krat lažji od vode in je zato že tam aerostatični vzgon

<sup>3</sup> Besedi izvirata iz grščine in pomenita vzgon, ki nastane v mirujoči vodi oziroma v mirujočem zraku.

tolikokrat manjši od hidrostatskega vzgona. Ker je poleg tega še zrak neprimerno bolj stisljiv od vode, se njegova gostota z višino kar hitro manjša, tako da je n. pr. že v višini Triglava aerostatični vzgon celo nekaj manjši od tisočinke vzgona v vodi. Zato ne morejo vzplavati aerostati poljubno visoko v ozračje, temveč obtičijo tam, kjer je vzgon ravno enak njihovi teži.

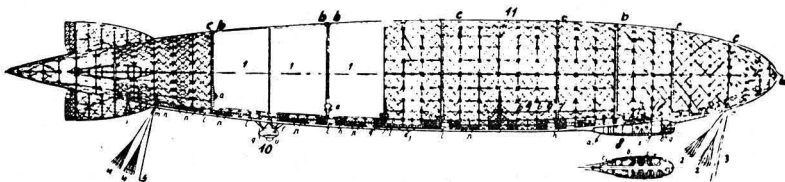
S kakšnimi plini bomo polnili mehurje aerostatov, da se bodo dvignili z zemlje? V poštev pride že segret zrak, ki je pri enakem pritisku nekaj lažji od navadnega zraka. Še boljši pa je svetilni plin, kakor so ga v preteklosti izdelovale in ga deloma še danes delajo mestne plinarne. Najlažji od vseh plinov pa je vodik, ki ima skupaj s svetilnim plinom žal napako, da se rad vname in da pomešan z zrakom celo eksplodira, kakor hitro mešanico prižgemo. Nekaj težji od vodika je žlahtni plin helij, ki se ne spaja z nobeno snovjo in zato tudi ne gori, ki pa ima to slabo lastnost, da je zelo drag. Mehurji aerostatov imajo po navadi spodaj odprto polnilno cev, tako da je tam pritisk plina v mehurju popolnoma enak pritisku zraka v okolici; nad odprtino ima potem plin v mehurju večji pritisk kakor zrak zunaj mehurja in tako pride do aerostatskega vzgona. S plinom v mehurju pa je seveda vzgon manjši, kakor če bi bila notranjščina mehurja prazna, ker ima tudi vodik svojo težo, čeprav majhno. Lahkih mehurjev, ki bi bili v notranjščini popolnoma prazni, torej brez zraka in plinov, pa ne moremo graditi, ker bi pritiskal nanje zrak od zunaj s tolikšnimi silami, da bi jim bile kos le silno močne in težke konstrukcije.

Nosilna sposobnost z vodikom polnjenega mehurja je približno 1,15 kiloponda na kubični meter, to je vsak kubični meter z vodikom napolnjene notranjščine mehurja more dvigniti v višinah okrog 1,15 kp teže omota, nosilnega orodja ali tovora. Nosilna sposobnost helija se giblje okrog 1 kp, svetilnega plina pa okrog 0,7 kp na kubični meter. Nosilna sposobnost segretega zraka zavisi od tega, koliko je segret; če dvignemo na primer njegovo temperaturo za 100° Celzija nad temperaturo okolice, daje vsak kubični meter takega zraka nekako tretjino kiloponda vzgona.

Aerostati so z naglim razvojem letalstva zelo izgubili na pomenu. Dandanes jih uporabljamo na primer le še v obliki okroglih svobodnih balonov, ki jih žene veter v smeri svojega gibanja in ki nosijo pod mehurjem košaro za posadko ali pa posebno posodo z instrumenti za opazovanje ozračja. Taki baloni brez posadke in z omotom mehurja iz skoraj prozornih umetnih mas so dosegli višine nad 50.000 metrov in so povzročili že veliko razburjenja, ko se jim je med padanjem zaradi izgub na nosilnem plinu oblika omota zgrbančila in so brez šuma v tihi noči počasi

polzeli mimo preplašenih pilotov k tlom. Marsikatera pripovedka o letečih krožnikih in podobnih napravah se da na ta način pojasniti, čeprav ne moremo trditi, da so bili prav vsi »neznani predmeti«, kar so jih opazovali, tako malo nevarni kakor ti baloni.

Poleg svobodnih balonov so se od aerostatov ohranili le še vodljivi zrakoplovi. Te naprave imajo po navadi v skupnem omotu več mehurjev z nosilnim plinom. Pod omotom je posebna potniška kabina in več gondol, v katerih so motorji za pogon vijakov, ki dajo takemu zrakoplovu hitrost do 130 km na uro (sl. 4). Čeprav se more gibati tak zrakoplov v vsaki smeri in ni



Sl. 4. Pogled s strani na ogrodje vodljivega zrakoplova Zeppelin 126. Ogradje je pokrito s platnom in deli notranjščino na 13 prostorov, kjer so baloni z nosilnim plinom. Pomen številk je: 1 prostori za namestitvev balonov, 2 in 4 svežnji vrvi za držanje zrakoplova na tleh, 3 in 5 jeklene vrvi za privezanje zrakoplova, 6 pomožni prečni okvirji, 7 glavni okvirji, 8 gondola za potnike in vodstvo, 9 žična mreža pod zunanjo prevleko, 10 zadnja motorna gondola, 11 vzdolžni nosilci.

kakor svobodni balon izroč en vetrovom na milost in nemilost, ga danes zaradi razmeroma počasne vožnje in velikih mer uporabljajo le še za zabavo in za iskanje sovražnih podmornic na morjih daleč proč od kopnega, kjer je varen pred napadi nasprotnikovih letal. Zaradi močne obrambe in naglega premikanja bojujočih se vojska so danes tudi skoraj popolnoma opustili privezane balone, ki so še med prvo svetovno vojno 1914 do 1918 igrali tako važno vlogo pri opazovanju sovražnih rovov.

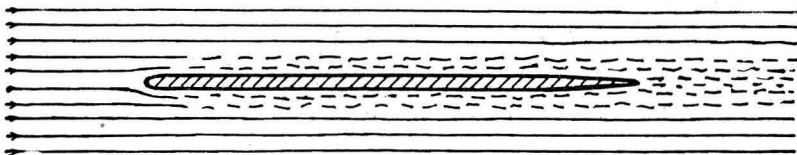
## 2. NEKAJ AERODINAMIKE

Kakor smo v prejšnjem poglavju že omenili, morajo imeti vsi aerodini brezpogojno krila, ki nam dajejo vzgon. Da bo pa vzgon res zadoščal za uravnoteženje teže, morajo imeti krila pravilno obliko, nagnjena morajo biti proti zračnemu toku pod pravilnim kotom in pri dani gostoti zraka morajo imeti tudi primerno veli-

kost. Krila s samim vzgonom pa seveda niso možna, ker se pri vsakem gibanju telesa po zraku ali proti drugi tekočini pojavi tudi sila v nasprotni smeri gibanja, ki gibanje telesa ovira in se imenuje zato upor. Medtem ko nastane znaten vzgon le pri pravilno oblikovanih in nagnjenih krilih, se pojavi upor na vsakem telesu, ki je izpostavljeno zračnemu ali vodnemu toku, in zato si bomo najprej malo bolj natančno ogledali upor.

Kakor vzgon, zavisi tudi upor teles v veliki meri od njihove oblike. Tako ima na primer trup velikega potniškega letala, v katerem sedijo potniki v treh vrstah eden poleg drugega in je še prostora vmes za hodnik, pri enaki hitrosti ravno tolikšen upor kakor majhna okrogla plošča premera 47 cm, če stoji pravokotno k smeri gibanja zraka! Zato govorimo navadno o več vrstah zračnega upora, čeprav so nekateri od njih v tesni medsebojni zvezi.

Najmanj bo vznemirila zrak okrog sebe in bo imela zato tudi najmanjši upor zelo tanka plošča, če se giblje vzporedno k svoji ravnini (sl. 5). Zaradi lažjega razpravljanja bomo odslej zamenjali



Sl. 5. Tok ob tanki ravni plošči.

Za ploščo ostane v zraku le ozka vrtnična sled.

vlogi plošče in zraka in bomo govorili, da se zrak giblje proti mirujoči plošči, kar je v bistvu isto, kakor če bi se plošča gibala proti mirujočem zraku. Pri novem načinu gledanja nam vsa opazovanja pokažejo, da se pri še tako hitrem gibanju zraka proti telesom vsi oni delci zraka, ki so neposredno ob telesu, prilepijo manj. Šele v določeni, čeprav razmeroma majhni razdalji od plošče teče zrak s svojo polno hitrostjo proti desni! Hitrost gibanja zračnih delcev proti plošči naraste torej na obeh straneh plošče že v tanki plasti od mirovanja ob steni plošče do polne vrednosti. Za daj za ploščo ostane zmanjšana hitrost te plasti še dolgo časa ohranjena in se šele pozneje počasi izenači s hitrostjo ostalih zračnih množin. Plast z zmanjšano hitrostjo zraka ob telesu igra pri obtekanju zelo važno vlogo in se imenuje mejna plast. Njena debelina zavisi od številnih vplivov; vedno pa je blizu sprednjega roba plošče zelo tanka in se bolj daleč proti desni poveča. Posebno močno je to povečanje debeline takrat, kadar postane mejna plast



turbulentna, to je kadar se gibljejo zračni delci v njej neurejeno gor in dol in ne le proti desni kakor v urejeni, laminarni mejni plasti. Seveda je turbulentna mejna plast debela le v primeru z laminarno plastjo, medtem ko ostane tudi najbolj zvrtničena plast še vedno razmeroma tanka proti dolžini plošče. Tako je na primer turbulentna mejna plast na koncu velike plošče dolžine 10 metrov pri hitrosti zraka 720 km na uro (200 m/s) debela le 90 mm.

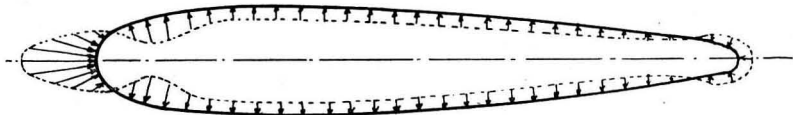
Pojav zmanjšanja hitrosti gibajoče se tekočine v bližini trdnih teles imenujemo notranje trenje ali kratko in malo trenje. Upor, ki nastane na plošči zaradi zmanjšanja hitrosti, imenujemo torni upor in je zelo majhen. Pravkar omenjena plošča bi na primer imela pri širini enega metra in hitrosti 720 km na uro le upor okrog 105 kilopondov. To je zelo malo, če pomislimo, da bi bil upor še tako dobro oblikovanega najmanjšega letala pri taki hitrosti vsaj šestkrat večji.

Pri količkah debelih ploščah, še bolj pa pri telesih večje debeline, se pridruži tornemu uporju še drugi upor, ki bi ga lahko v splošnem imenovali izpodrivni upor, za katerega pa je pri počasnih letalih bolj v navadi ime profilni upor. Ko teče zrak okrog telesa večje ali manjše debeline, se mora namreč zrak sprosti umikati telesu s poti. Posledica tega umikanja pa je povečani pritisk zraka na sprednji strani telesa, ki ga na primer zelo dobro začutimo tedaj, kadar pridrvi proti nam avto z veliko hitrostjo. Povečanje pritiska spredaj pa pomeni za telo silo v smeri gibanja zraka ali upor.

Pri razmeroma majhnih hitrostih zavisi nadaljnje večanje ali manjšanje upora predvsem od tega, kako je izoblikovan zadnji del telesa. Če se namreč telo od najbolj debelega mesta nazaj počasi zožuje, sledi zračni tok lepo vsem oblikam telesa in se zadaj skoraj popolnoma zgrne skupaj, tako da ostane za telesom le ozka sled upočasnjenega zraka z vrtinci. Povečani pritisk spredaj se že pred največjo debelino v vsakem primeru zmanjša in postane v pasu največjih debelin celo manjši od pritiska v okolici (tak zmanjšan pritisk imenujemo srk).

Potek pritiskov na zadnjem zoženem delu telesa zavisi predvsem od širine sledi upočasnjenega zraka. Če je ta sled ozka, se srk v zraku po prehodu čez najdebelejše mesto vedno bolj manjša (sl. 6), se nato spremeni v povečani pritisk in doseže čisto zadaj ob telesu skoraj enake povečane vrednosti kakor na sprednji strani telesa. Povečanje pritiska na zadnjem delu telesa pa pomeni silo na telo v nasprotni smeri gibanja zraka. Taka sila znatno zmanjša prej omenjeni upor zaradi povečanega pritiska na

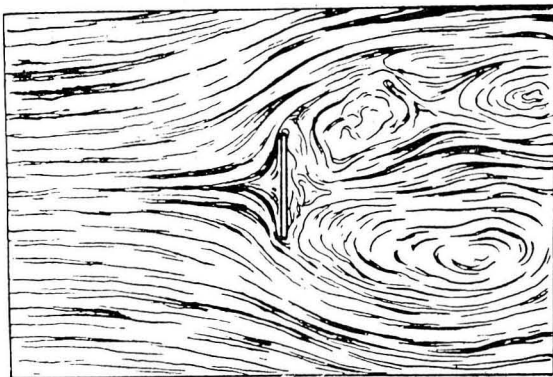
sprednjem delu telesa. Tako se zgodi, da se pri vitkih telesih upor zaradi velikih pritiskov na sprednji strani telesa zelo zmanjša zaradi znatnih nasprotnih pritiskov zadaj. Pri telesih, ki so zadaj topa ali kar odrezana, pa je skupni upor velik. Zračni tok



Sl. 6. Potek pritiskov po površini vitkega telesa.

ne more namreč v tem primeru slediti naglim zožitvam in se odtrga od telesa; sled upočasnjenelega zraka za telesom je široka in zato je tudi upor zaradi spremenjenih pritiskov na telo velik. Ta upor zavisi torej od oblike telesa, kakor jo vidimo, če pogledamo na telo od strani. Ker pravimo tej obliki tudi profil, imenujemo to vrsto upora profilni upor.

Vpliv profila na gibanje zraka za telesom in na upor se posebno dobro vidi, če pogledamo najprej dve telesi z velikim uporom: okroglo ploščo, ki stoji pravokotno k smeri gibanja zraka in kroglo. Pri plošči (sl. 7) se zadaj za ostrimi robovi pojavi

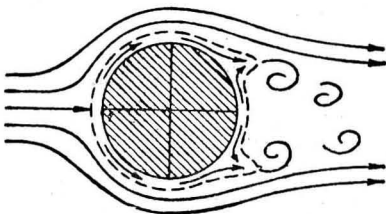


Sl. 7. Tok zraka prečno proti plošči.

V nasprotju s tokom na sliki 5. je tu zrak za ploščo močno razburkan.

izredno široka sled mrtvega zvrtnčenega zraka, kjer vlada dokaj močan srk, tako da ne potiska le povečani pritisk zraka spredaj plošče nazaj, temveč jo na zadnji strani zrak tudi srka v isto

smer! Posledica tega je seveda močan upor. Pri krogli (sl. 8) je sled zvrtničenega zraka manjša in tudi srk ni tako močan kakor pri plošči; zato nima kroglja posebno pri večji hitrosti zraka tako

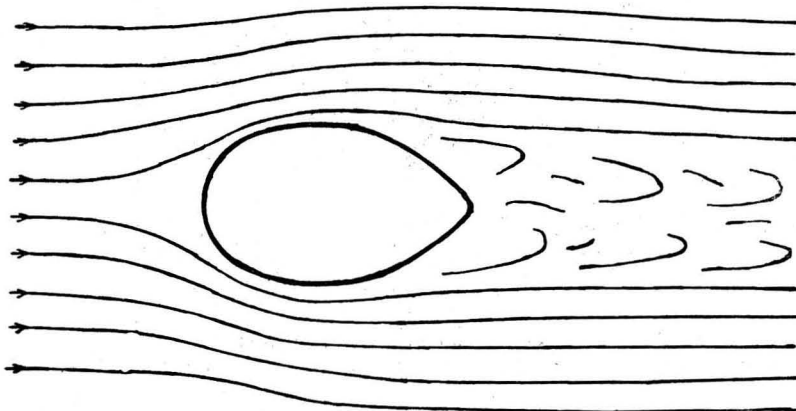


Sl. 8. Zračni tok okrog krogle.

velikega upora kakor plošča. Pri velikih hitrostih ostane namreč zračni tok nekaj časa ob površini krogle tudi potem, ko je prišel čez največjo debelino. Sled zvrtničenega zraka za kroglo se zato pri večjih hitrostih včasih tako zoži, da povzroči kar upadanje upora pri povečanju hitrosti, čeprav zra-

ste po navadi upor pri podvojitvi hitrosti kar na štirikratno vrednost!

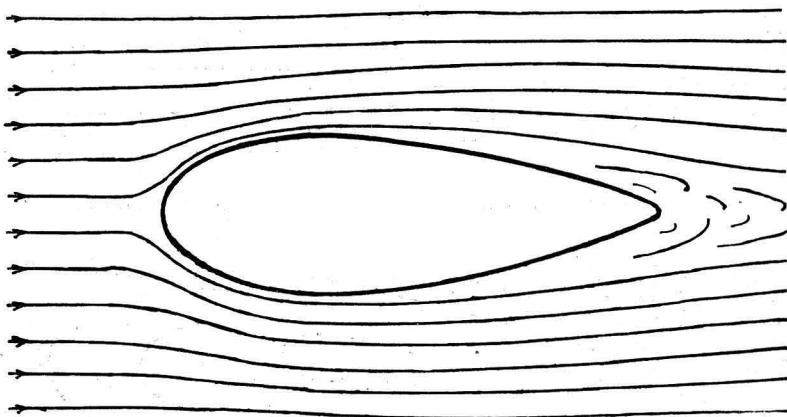
Podobne, toda še malo hujše upore bi dobili, če bi vzeli na sliki 7 namesto okrogle plošče dolgo ploščo pravokotne oblike in namesto krogle na sl. 8 dolgo okroglo palico. Na takih palicah, ki so jih pri starejših letalih zelo veliko uporabljali na primer kot opornice za podpiranje kril in repnih ploskev, se dajo tudi lepo pokazati oblike zračnega toka in njihov vpliv na upor. Za opornico, kjer se zadnji del naglo zožuje in ki je zato zelo podobna okrogli palici (sl. 9), nastane široka sled, ki ima za posledico zelo velik upor. Za opornico z vitkim profilom (sl. 10) pa se



Sl. 9. Zračni vrtinci za topim telesom.

zgrinja zrak skoraj popolnoma; vrtinčna sled je zelo ozka in upor zato majhen.

Pri večini teles pa je nastanek upora navadno le del celotnega pojava in more sam zase nastati le v izjemnih primerih. Skoraj na vseh telesih se namreč po navadi pojavi poleg upora tudi vzgon, torej sila, ki stoji pravokotno k smeri gibanja zraka. Pri vodoravnem gibanju letala ima torej vzgon smer navpično navzgor, v nasprotni smeri teže, kakor pač pravilno nagnemo krilo proti zračnemu toku! Pa ne le pri krilih, tudi na drugih telesih se pojavi pri gibanju po zraku po navadi vzgon, če niso popolnoma okrogla. Tako na primer dobimo že pri opornici po sl. 10 močan vzgon, če jo proti zračnemu toku rahlo nagnemo. Še bolj ugodno kakor opornica z enako zgornjo in spodnjo stranjo pa je seveda krilo, kjer je spodnji del malo manj vzbočen kakor zgornji.

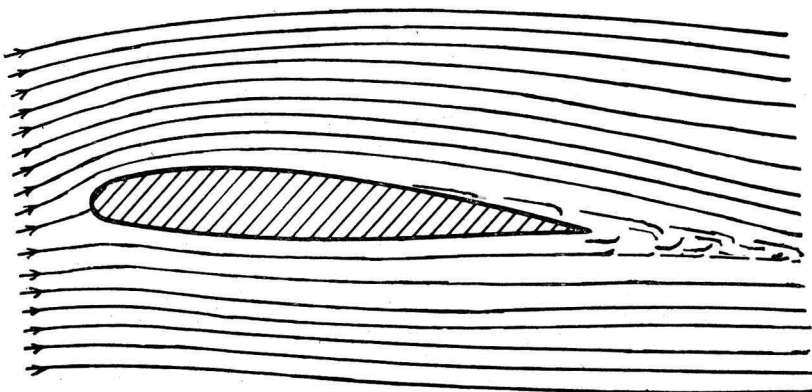


Sl. 10. Vrtinčna sled za vitkim telesom.

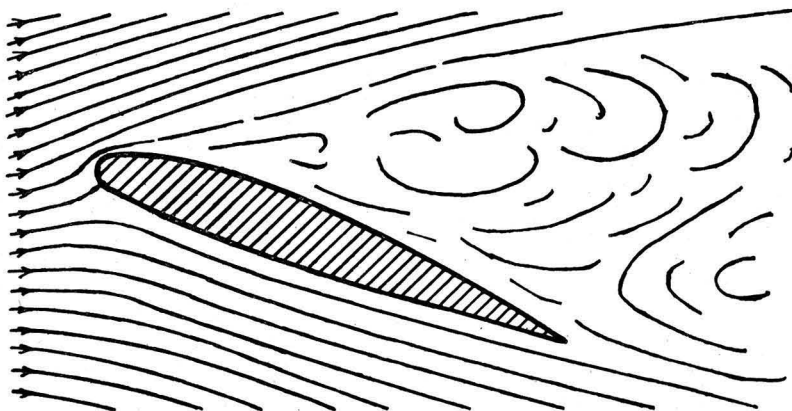
Krila so glavni del letala in tudi skoraj vsake druge naprave, ki je težja od zraka, ker dajejo le krila in njim podobne naprave pri majhnih uporih razmeroma velik vzgon. Poleg drugih činiteljev vpliva na možnost uspešne uporabe kril v veliki meri tudi njihov profil, to je njihova oblika pri pogledu s strani. Tako vpliva na velikost upora tudi tu predvsem širina sledi upočasnjenega zraka za krilom, ki je pri majhnih nagibih proti zračnemu toku (sl. 11) v splošnem zelo majhna. Šele pri večjih nagibih (sl. 12) ne more zračni tok na zadnjem delu zgornje strani več slediti obrisu krila in se odtrga. Posledica široke vrtinčne sledi ni le zelo



povečan upor, temveč tudi zmanjšanje vzgona. Tako stanje krila imenujemo prevlečeno stanje, ker pride letalo vanj tedaj, če vleče pilot krmilno palico preveč k sebi. Prevlečeno stanje kril more postati za letalo zelo nevarno in se ga zato piloti na splošno izogibajo.



Sl. 11. Gladko obtokanje krila pri majhnih vpadnih kotih.



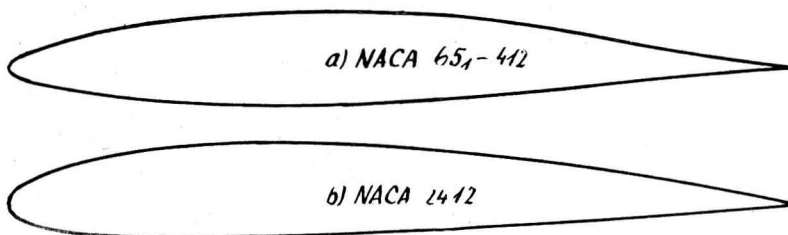
Sl. 12. Odrzan tok za krilom pri velikih vpadnih kotih.

Vzgon zavisi predvsem od nagiba tetive krila proti smeri prihajajočega zračnega toka. Pod tetivo razumemo ravno črto,

ki veže skrajno sprednjo in zadnjo točko profila. Čim večji je vpadni kot med smerjo zračnega toka in tetivo, tem večji je vzgon, če le ne pride do odtrganja zračnega toka. Vzgon nastane na ta način, da odteka zrak ob zadnjem robu krila gladko brez obkroženja navzgor; posledica takega gibanja je, da se na zgornji strani krila pojavijo močni srki, na spodnji strani pa zmerno povečani pritiski. Zato lahko rečemo, da zrak krilo bolj srka na zgornji strani v višino kakor da bi ga pritiskal s spodnje strani navzgor.

Zaradi njihove važnosti so konstrukterji letal in raziskovavci v številnih aerodinamičnih laboratorijih preštudirali in delno preizkusili na tisoče profilov kril. Ogromna večina teh profilov je v teku zadnjih 25 let izgubila skoraj ves pomen, odkar so bolj natančno spoznali zakone, po katerih se spreminja upor z obliko telesa in poiskali temu primerno najbolj ugodne oblike. Tako so nastali tako imenovani »laminarni profili«, pri katerih ostane mejna plast daleč od sprednjega roba nazaj še vedno laminarna.

Kaj se da s takim oblikovanjem doseči, naj pokaže naslednji zgled. Krilo z laminarnim profilom po sl. 13 a daje pri tlorisni površini 20 kvadratnih metrov med letenjem v majhni višini nad morjem s hitrostjo 360 km na uro pri določenem vpadnem kotu vzgon 2500 kp in upor 50 kp; podobno krilo starejše oblike (sl. 13 b), ki je pravzaprav prejšnjemu zelo podobno, pa daje pri enakih okolnostih in ob enakem vzgonu upor 75 kp. Razlika 25 kp se ne zdi velika; toda pomisliti moramo, da bi prihranilo letalo teže



Sl. 13. a, b Laminarni in navadni profil krila.

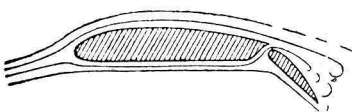
Krilo prve oblike ima včasih kar za tretjinko manjši upor kakor drugo krilo.

2500 kp z novejšim profilom kar 40 konjskih moči proti stari izvedbi. Pri še enkrat večji hitrosti pa bi narastel prihranek celo na 320 konjskih moči! Iz tega vidimo, kako važni so, posebno pri velikih hitrostih, vsi ukrepi za zmanjšanje upora. Na žalost imajo laminarna krila zmanjšan upor proti navadnim krilom le, če so silno dobro zglajena. Pri le nekoliko bolj hrapavih površinah

naraste že upor navadnih kril, še bolj pa se poveča upor laminarnih kril, tako da ni potem razlike med obema vrstama profilov.

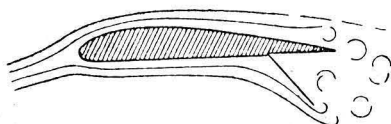
Razširitev vrtinčne sledi za krilom pri velikih vpadnih kotih, ki zmanjša vzgon in močno poveča upor, nastane predvsem zaradi velikih množin upočasnjenega zraka na zgornji strani profila. Če se nam posreči upočasnjeni zrak odstraniti ali pa ga s svežim zrakom odpihniti, se nam poveča vzgon in zmanjša upor. Že prvi poskusi so pokazali, da se tako izboljšata obe ravnokar omenjeni lastnosti kril; toda dolgo časa je bila poraba energije za sesanje oz. za potiskanje zraka na zgornjo stran kril prevelika in se zato ta dva načina nista dala uporabiti. Šele v najnovejšem času so dosegli posebno z izpihovanjem svežega zraka na zadnjem robu kril presenetljive uspehe, tako da bi se mogla tudi zelo hitra letala s takimi krili zaradi povečanega vzgona spuščati na tla čisto počasi.

Odpihovanje mrtvega zraka zadaj na zgornji strani krila pa se da doseči tudi na drug način, ki je zelo preprost in zato tudi že dlje časa znan. Če napravimo namreč skoraj po celi razpetini (dolžini krila prečno k smeri letenja) primerno špranjo (sl. 14), ki je le na nekaj mestih prekinjena z močnimi nosilci za zvezo med obema deloma, bo svež zrak s spodnje strani sam tekkel skozi špranjo na zgornjo stran in zmanjšal širino upočasnjenega zraka. Zato imajo krila sodobnih letal špranjo med sprednjim stalnim



Sl. 14. Tok okrog krila z zakrilcem.

Skozi špranje med obema deloma krila prehaja zrak na zgornjo stran in zmanjša vrtince.

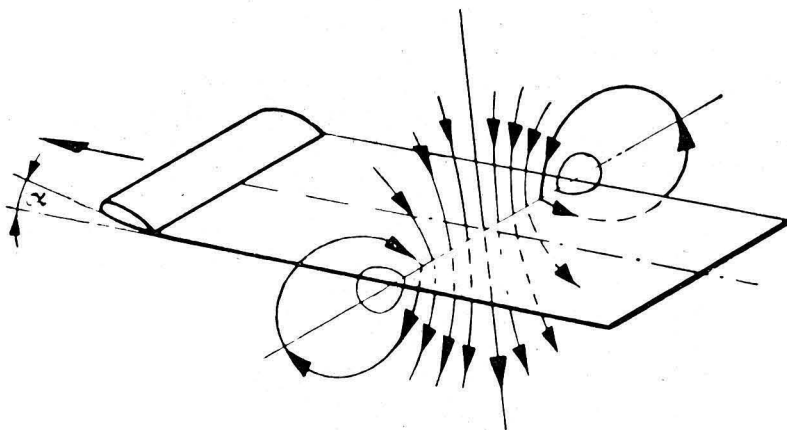


Sl. 15. Zračni tok okrog krila s ščitom.

Ščit na spodnji strani krila odklanja zračni tok močno navzdol in daje zato povečani vzgon.

delom krila in krajšim gibljivim delom zadaj, ki ga med spuščanjem letala na zemljo močno nagnemo navzdol. Močan upor zaradi dokaj široke vrtinčne sledi pri spuščanju nič ne moti; med vzletanjem pa bi tolikšen upor letalo preveč zadrževal in zato takrat tako gibljivo zakrilce le malo nagnemo. Manj učinkoviti kakor zakrilca, toda kljub temu zelo v rabi, so ščiti (sl. 15), ker se dajo na razmeroma preprost način izdelati. Ščiti so ravne plošče zadaj na spodnji strani krila, ki se dajo zavrteti okrog svojega sprednjega roba v večji ali manjši meri navzdol.

Poleg tornega in profilnega upora se pojavi pri vseh telesih z vzgonom, in posebno pri krilih še ena vrsta upora: tako imenovani inducirani<sup>1</sup> upor. Kot smo rekli nastane vzgon na krilu na ta način, da zrak srka zgornjo stran in obenem potiska spodnjo stran krila navzgor. Tako imamo med spodnjo in zgornjo stranjo krila razliko v pritiskih, ki se seveda skušajo izenačiti z dodatnimi zračnimi tokovi s spodnje strani proti zgornji strani krila. Izenačevanje čez sprednji in zadnji rob krila ne pride v poštev, ker se pojavi razlika pritiskov ravno zaradi glavnega gibanja zraka čez prednji in zadnji rob. Pač pa pride do dodatnih zračnih tokov od spodnje strani proti levemu in desnemu kraju krila in od tam navzgor. Posledica teh dodatnih zračnih tokov je, da se gibljejo zračni delci za krilom ne le nazaj, temveč z znatno hitrostjo tudi navzdol (sl. 16), medtem ko teče zrak levo in desno



Sl. 16. **Dodatni zračni tokovi zaradi vzgona na krilu.**  
 Krilo leti v nagnjeni legi proti levi strani.

od krila navzgor. Dasi se te hitrosti navzgor daleč proč na levo in desno hitro izgubijo, so za krili tokovi navzdol še dolgo časa zelo močni in utegnejo postati celo nevarni manjšim letalom, ki bi prišla po naključju v tako plast zraka.

Da je z dodatnimi toki takoj zvezan tudi upor, nas ne sme začuditi. Hitrosti zraka zaradi teh tokov se ne dajo izkoristiti na primer za povečanje pritiska za krilom, ki bi zmanjšalo ce-

<sup>1</sup> Inducirati pomeni tu vzbuditi. Gre seveda za upor, ki ga vzbudi vzgon.



lotni upor, temveč odnese zrak te hitrosti s seboj. To pa pomeni predajanje hitrostne delazmožnosti (kinetične energije) s krila na zrak in s takim izgubljanjem energije je nujno zvezan dodatni upor, ki ga ravno imenujemo inducirani upor.

### 3. KAKO JE ZGRAJENO LETALO?

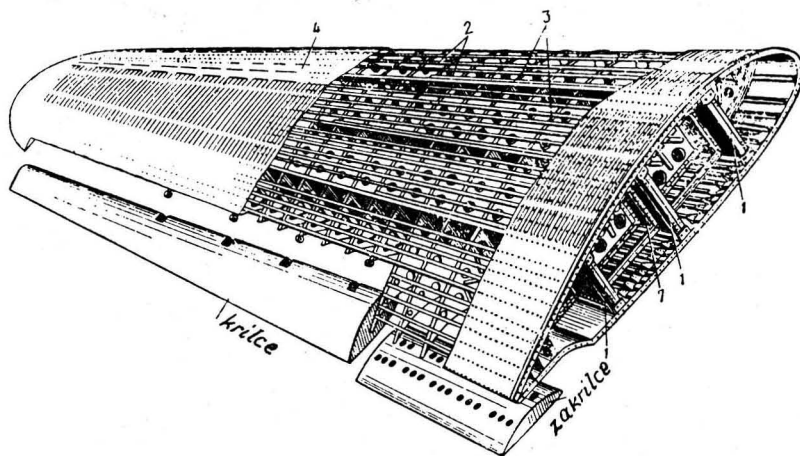
Glavna zahteva pri gradnji prav vseh delov letala je, da morajo biti čim lažji. To je tudi razumljivo: čim težje je letalo, tem močnejše motorje mora imeti; toda ker so močnejši motorji tudi sami težji in ker porabijo za preletavanje določene razdalje med dvema mestoma tudi več bencina, naraste pri povečanju teže enega njihovih delov za en kilogram teža natovorjenega letala kar za tri kilograme. Pri tem pa morajo vsi glavni deli letala vzdržati določene sile, ki niso ravno majhne in ki so z mednarodnimi in državnimi predpisi strogo določene v odvisnosti od teže in hitrosti letala. Zato gradimo letala dandanes skoraj izključno iz trdnostno najboljših snovi, ki pri drugih napravah skoraj ne pridejo v poštev, ker so precej drage, ker jih je težko obdelovati in ker tudi niso preveč trpežne.

Pri letalih za hitrosti do 600 ali 700 km na uro pride največ v poštev za pločevino in za tanke nosivce posebna zlitina aluminija, ki jo navadno poznamo pod imenom duraluminij ali dural (druga imena so tudi avional in alferij). Ta zlitina vsebuje okrog 94 odstotkov aluminija, nekaj odstotkov bakra in nekako po en odstotek kovin magnezija in mangana. Druge zlitine aluminiju podobnih lastnosti vsebujejo še cink, silicij ali nikelj skupaj z nekaterimi prej naštetimi snovmi. Skoraj vse te zlitine niso skoraj nič trdnejše od aluminija, kadar jih izžarimo in nato počasi ohladimo. Če pa jih segrejemo nekako do 500<sup>o</sup> Celzija in jih nato naglo shladimo (na primer s potopitvijo v vodo), ostane njihova trdnost nekaj ur navadno sicer še skoraj nespremenjena, toda nato začne rasti in doseže v nekaj dneh trdnost dobrega jekla, posebno, če take dele po shladitvi še kujemo ali kako drugače gnetemo. Ker tehtajo deli iz duraluminija le 35 odstotkov tega, kolikor bi tehtali enaki deli iz jekla, dosežemo z uporabo duraluminija znatne prihranke na teži, čeprav ni dobiček tolikšen, kakor bi se zdelo na prvi pogled. Pri stiskanju pločevine in drugih tankih delov, ki se pri takem obremenjevanju — kakor pravimo — uklonijo, je namreč teža delov iz duraluminija največ le za tretjino manjša od teže enakih delov iz jekla.

Duraluminij ima proti jeklu tudi nekaj nedostatkov. Je

znatno dražji od jekla in ga je treba silno pazljivo obdelovati; predvsem pa je zelo občutljiv proti slani vodi, ki ga močno razjeda. Razjedanje se da sicer preprečiti, če prevlečemo površino duraluminija s silno tanko plastjo čistega aluminija ali če z drugimi ukrepi poskrbimo, da ne pride duraluminij v neposredni stik z morsko vodo. Pri vodnih letalih uporabljamo pogosto tudi druge zlitine, ki so proti morski vodi veliko bolj odporne kakor duraluminij, ki pa so zato po navadi znatno manj trdne. Za okove, vijake in nekatere dele voza pa pridejo pri letalih v poštev tudi dobra jekla, ki niso preveč krhka in ki prenesejo velike obtežbe.

Krila sodobnih letah za hitrosti do 500 ali 600 km na uro se dajo zgraditi na več načinov; vendar imajo navadno skoraj vsa krila v notranjščini v vzdolžni smeri vsaj dva ali tri razmeroma močne nosivce (krilo na sl. 17 ima tri take nosivce, ki so označeni z 1), ki se med poletom rahlo upognejo navzgor in ki na ta način prenašajo vzgonske sile s krila na trup. Poleg teh vzdolžnih nosivcev ali vzdolžnikov ima vsako krilo tudi rebra 3, ki segajo od sprednjega do zadnjega roba krila. Naloga reber je, da dajejo krilom pravilno obliko, o kateri smo že pisali, da izredno močno vpliva na nosilno sposobnost, in da prenašajo značne sile z obloge na površini krila do vzdolžnikov.

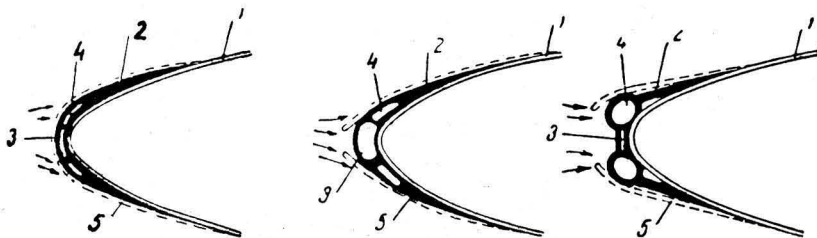


Sl. 17. Zunanji del krila potniškega letala DC3.

Krilo ima zadaj na zunanji strani krilce, na notranji pa zakrilce.

Pri krilih starejše izvedbe je bila zunanja obloga krila od nosu na sprednjem robu do zadnjega vzdolžnika iz razmeroma

tanke duralske pločevine. Z zakovicami je bila pritrjena le na rebra in na vzdolžnike. Taka pločevina debeline 0,6 do 3 mm se je pod tlakom in pod strižnimi obtežbami vzporedno z zunanjo ali notranjo površino takoj nagubala in ni nosila skoraj nič. Pri novejših letalih pa so pritegnili konstrukterji pločevino v zunanji oblogi močnejše k prenašanju vseh obtežb na ta način, da so jo na notranji strani ojačili s številnimi palicami iz zelo tanke pločevine (monobločna krila). Pri takih krilih niso vzdolžniki več tako pomembni in so zato znatno tanjši kakor pri prejšnjih konstrukcijah. Tudi krilo na sl. 17 spada v to vrsto; zato je tudi vsa njegova površina prevlečena s pločevino, medtem ko so bile starejše vrste kril za zadnjim vzdolžnikom navadno prevlečene s platnom. Črn pas iz mehke snovi na sprednjem robu sodobnih kril je iz gumija. Med ta pas in med pravo oblogo kril pod njim se da izmenično vpihavati in spuščati topel zrak, ki ga dovajamo od motorjev po notranjščini krila. Gumijast pas se pri vdihavanju napne in razbija ledeno plast, ki se pri letenju skozi oblake v mrzlem vremenu kaj rada nabira na nosu krila (sl. 19). Napih-



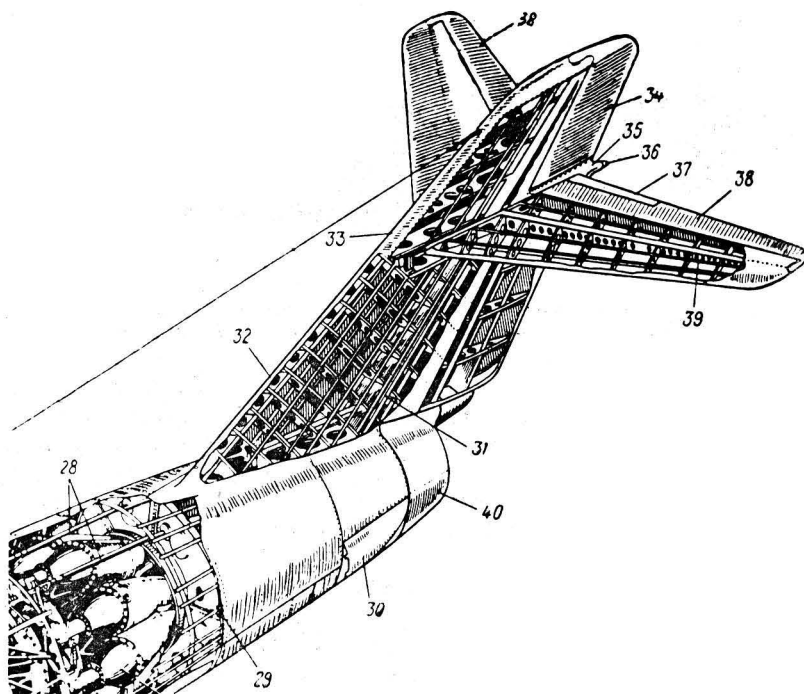
Sl. 18. Gumijeva obloga za odstranjevanje ledu s krila.

Na levi s praznimi, v sredi in na desni z napihnjjenimi votlinami.

njen gumi razbija led, ki ga nato zračni tok odnese proč. Tako preprečimo nevarno zaledenevanje krila, ki ne pomeni le nepotrebne dodatne teže, temveč tudi skoraj popolnoma uniči vso nosilno sposobnost kril.

Podobne, le da so lažje in nekoliko bolj preprosto izdelane, so tudi repne površine letala (sl. 19). Zadnji del teh površin je vrtljiv. Če zavrtimo smerno krmilo 34 tako, da se pomakne zadnji rob proti desni ali levi, se tudi letalo obrača na desno oziroma na levo. Podobno dosežemo, da leti letalo navzgor, če zavrtimo višinsko krmilo tako, da se njegov zadnji rob dvigne; če se zadnji rob tega krmila pomakne navzdol, se letalo nagne na glavo in leti navzdol.

Pri malih in srednjih počasnih letalih so sile za pomikanje krmil tako majhne, da jih zmore vsak pilot; pri velikih letalih in posebno pri zelo velikih hitrostih pa postanejo sile za premikanje krmil in za njihovo držanje v odklonjenih legah tolikšne, da daleč presežejo človeško zmogljivost. Zanimivo pa je, da se dajo krmilne sile neverjetno zmanjšati že z majhnimi kompenzacijskimi krilci ali trimerji 37, če jih zavrtimo v nasprotno smer kakor krmila. Poleg tega pa se da doseči, da držijo taka krilca pri pravilni zavrtitvi krmilo sama v vsaki zaželeni legi in da leti potem tako letalo v dani smeri, ne da bi bilo treba pilotu sploh držati krmilno napravo.



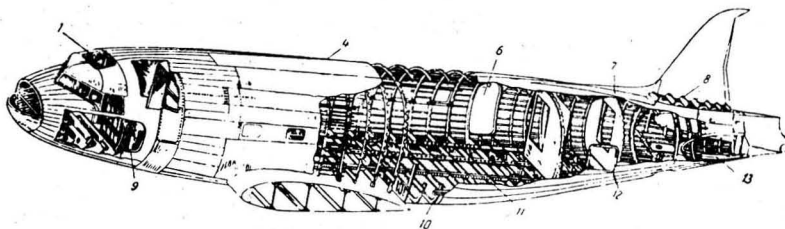
Sl. 19. Repne površine sodobnega lovskega letala.

Na zgornji strani trupa je smerna plavut 33 in na njej je tu šele pritrjena vodoravna plavut 39.

Za premagovanje velikanskih sil pri krmarjenju silno hitrih letal trimerji ne delajo več dovolj zanesljivo. Zato daje pri

krmarjenju takih letal pilot le majhen del vse potrebne sile; ostanek pa dobimo s tem, da spušča pilot pri pomaknitvi krmilnih vzvodov stisnjeno olje na eno ali drugo stran bata v posebnem valju, ki nato pomika krmila v zaželeni smeri. Podobno strojno krmarenje imajo tudi pri počasnih letalih avtomatični piloti, le da so tu krmilne naprave zaradi manjših sil bolj preproste.

Trup letala mora nositi ves ali vsaj del tovora in prenaša zato na ostale dele med letenjem v glavnem sile s krila, deloma pa tudi z repnih ploskev. Med pristajanjem in vožnjo po tleh pa prevzame voz vsa bremena in jih prenaša čez trup na ostale dele. Nosilno ogrodje trupa (sl. 20) je sestavljeno iz povprečnih



Sl. 20. Trup potniškega letala Douglas DC3.

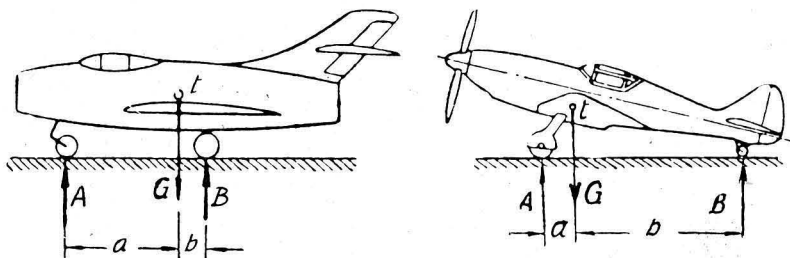
Debelina sten posameznih delov je od 0,8 do 2,5 milimetra.

okvirjev in sten in iz večjega ali manjšega števila vzdolžnih palic, ki pa so pri trupu znatno manjše kakor vzdolžni nosilci v krilu. Iz trupa molita na levo in desno kratka konca kril. Zunanja dela monobločnih kril pa nista pritrjena le zgoraj in spodaj pri vseh treh vzdolžnikih na srednji del, temveč je vsa ojačena zunanja obloga na vseh treh delih zvezana med seboj z velikim številom vijakov ali drugih vezi.

Poleg krila, trupa in repnih ploskev mora imeti vsako suhozemsko letalo tudi voz za vzletanje, spuščanje in za vožnjo po letališču. Navadno so razporejena na vozu kolesa na treh mestih in sicer povsod po eno kolo; le pri težjih letalih je treba na najbolj obremenjenih mestih vzeti dve ali celo več koles. Čeprav imajo torej vsi vozovi lažjih letal le po tri kolesa, imenujemo trioikel le take vozove, kjer je eno kolo daleč spredaj, dve pa zadaj s težiščem (sl. 21 a). Take vozove imajo posebno sodobna hitra letala, medtem ko sta bili nameščeni pri starejših letalih obe glavni kolesi nekoliko pred težiščem, tretje kolo pa je bilo zadaj na trupu pod repom (sl. 21 b). Oba razporeda voza imata

svoje prednosti in težave, vendar se zdi, da bodo počasni tricikli izpodrinili starejšo izvedbo.

Medtem, ko so ostali deli letal za hitrosti do 500 km/uro sestavljeni navadno iz tankih pločevin in drobnih nosivcev, so sile pri udarcih letala ob tla tako velike, da je treba zgraditi



Sl. 21ab. Voz s kolesom na nosu in pod repom.

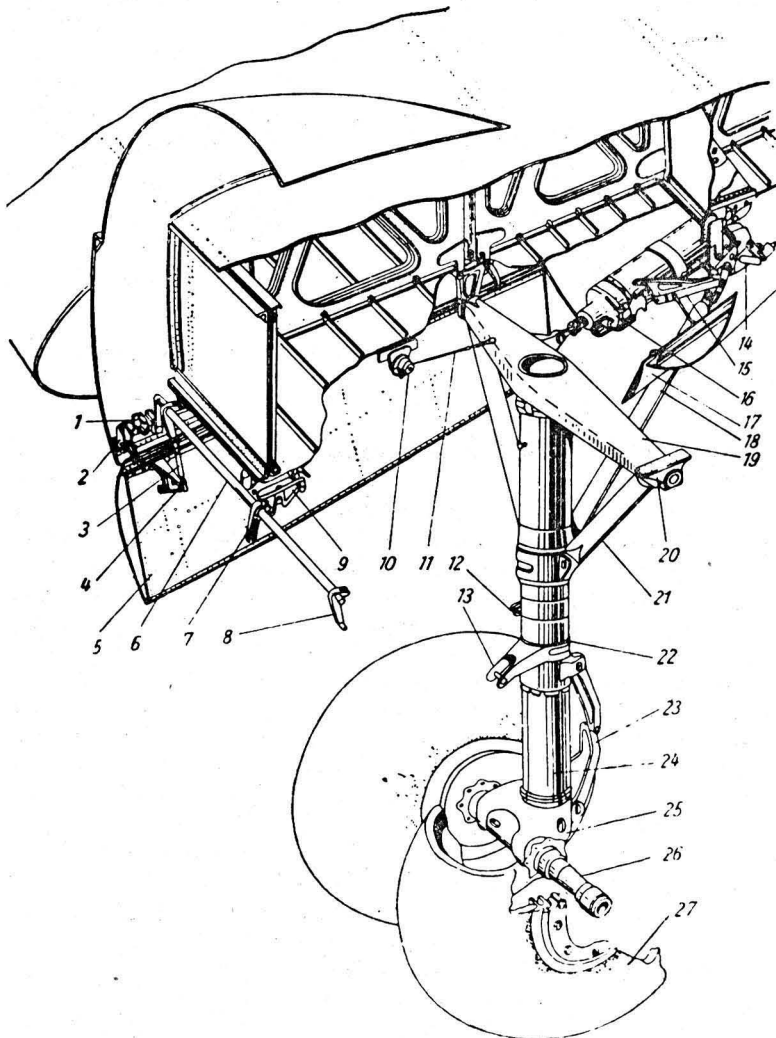
Da se ne prevrne letalo na nos, mora ležati premica teže  $G$  vedno dovolj daleč za sprednjo podporo.

močan voz. Njegovi deli so zato sestavljeni iz debelih nosivcev (sl. 22) in so po izvedbi najbolj blizu drugim strojem. Za ublažitev udarcev služijo poleg pnevmatik tudi posebne elastične noge, v katerih se med udarcem na primer stisnjeni zrak še bolj stisne in kjer poskrbimo s pretakanjem olja skozi ozke prehode za počasno stiskanje in za še bolj počasno ponovno raztezanje nog. Vsi deli voza ali vsaj največji med njimi se dajo dandanes pri hitrih letalih skriti v krila ali v trup.

Podroben opis opreme pilotskega sedeža, kabine in drugih naprav bi nas zavedel predaleč. Naj zato le na kratko povemo, da morajo biti sedeži in vsa oprema sicer lahki, toda kljub temu izredno močni. Vsi sedeži morajo imeti močne vezi, ki se dajo hitro zvezati, da se med pristajanjem in pri letenju po slabem vremenu privežemo. Medtem ko so imele pilotske kabine pred 40 leti navadno le tri do največ 6 ali 8 instrumentov, jih imajo sodobna potniška letala 50 do 80 ali celo več. Take naprave dajejo pregled čez vse mogoče podatke in zmanjšajo razne nevarnosti na najmanjšo mero. Da ne bi izgubil pilot pregleda, je treba seveda vse merilne naprave razporediti v posamezne skupine, tako da so na enem mestu zbrani vsi tisti inštrumenti in vzvodi, ki so posebno pomembni na primer pri vzletanju, pri spuščanju, med letenjem v oblakih itd. Pri letalih za dva pilota (sl. 23) se najvažnejši instrumenti pred obema pilotoma ponavljajo.

Delo velikega števila inštrumentov je zelo natančno in za-

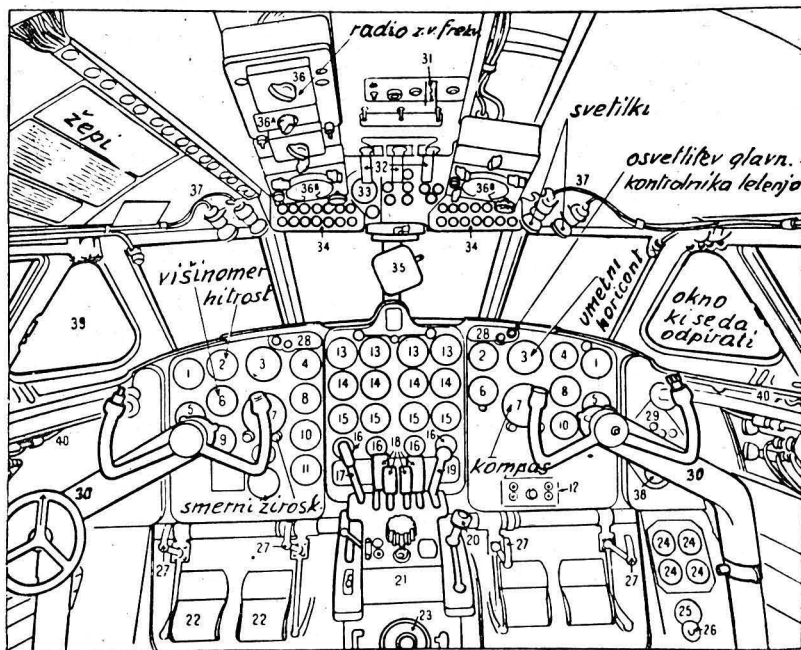
neslljivo, vendar je med njimi nekaj takih, ki so dobri le za čisto določene namene. Tako je na primer za pilota skrajno težko določiti lego letala proti zemlji, če leti v oblakih ali nad njimi



Sl. 22. Konstrukcija glavnega voza potniškega letala IL-12. Vsaka polovica voza ima po 2 kolesi in jo je mogoče s hidravličnim valjem 16 skriti v krilo.

in če se mora ravnati samo po svojih meritvah. Bolj točno določijo lego letala proti tlom razne radijske naprave, s katerimi navadno spremljajo kontrolne postaje na zemlji njegovo gibanje.

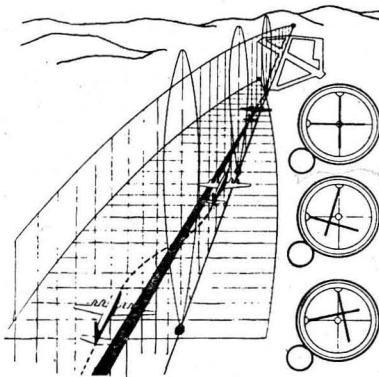
Med letenjem, še bolj pa pri pristajanju v megli, so se dobro obnesle še bolj natančne naprave, ki oddajajo s tal posebne znake, tako da jih letalo v pravilni obliki sprejme le tedaj, če leti v pravilni višini in v pravilni smeri proti letališču (sl. 24). Radijski valovi zavrtijo na primer pri eni izmed izvedb oba kazavca na posebnem inštrumentu in iz njihove lege spozna pilot, ali se prav približuje letališču, ali ne. Okrogle risbe inštrumenta na desni strani slike kažejo, da je bilo letalo najprej (najbližja lega) preveč



Sl. 23. Pogled na sprednja okna in na inštrumente potniškega letala. Letalo ima dve ročni krmili (30) in dve nožni (22) za glavnega pilota, ki sedi na levi strani, in za pomožnega pilota. Vsaka številka na sliki pomeni poseben inštrument.

na levo in prenizko; nato se je letalo pomaknilo desno in preveč visoko in šele ko je prišlo čisto blizu letališča, je njegova smer in višina letenja pravilna.





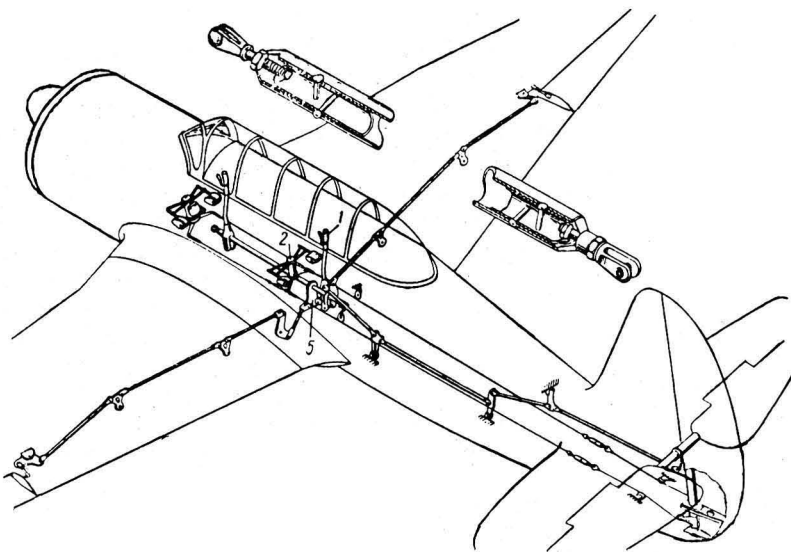
Sl. 24. Radijski znaki za spuščanje letala v megli.

Radijska postaja na tleh oddaja skoraj vodoraven snop elektromagnetnih valov, ki zavrtijo dva kazavca v posebnem instrumentu (tri slike na desni), če ne leti letalo v pravi smeri oziroma če ni na pravilni višini; trije navpični snopi valov naznanjajo pilotu približevanje proti letališču.

z dvema pilotoma, kjer se prenašajo sile s komand na krmila čez palice. Med upravljanjem letala ima torej pilot prosto levo roko, s katero uravnava moč motorjev, sproži naprave za odpiranje zakrilc ali za spuščanje voza in podobno. Vodenje letala ni kljub temu preveč naporno, ker so sile za pomikanje komand majhne in ker se dajo s trimerji celo popolnoma izravnati.

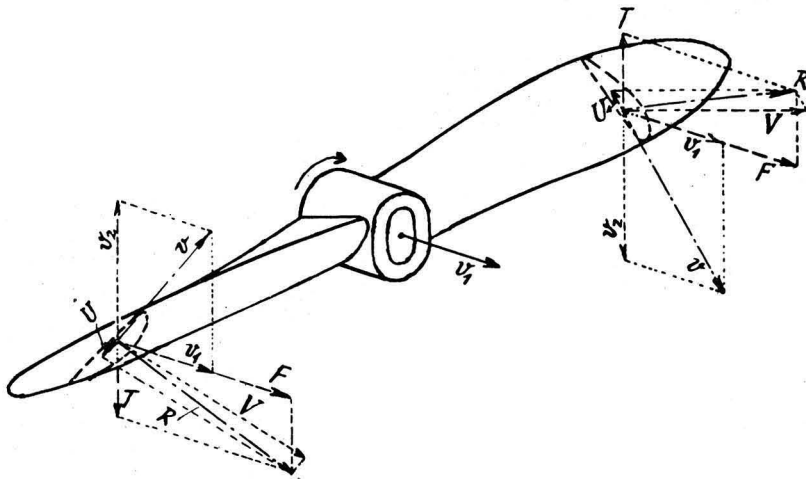
Vsa starejša letala, pa tudi nova in najnovejša letala za manjše hitrosti tja do 600 ali 700 km/uro imajo pogon na vijake. Vsak list vijaka je v bistvu tudi krilo, ki se z letalom vred predvsem pomika naprej s hitrostjo  $v_1$  (sl. 26), obenem pa ga vrtilni motor s hitrostjo  $v_2$  okrog svoje osi. Skupna (rezultirajoča) hitrost v mora biti kakor pri krilu le malo nagnjena proti tetivi profila, da se pojavi na listu velik vzgon  $V$  pri majhnem uporu  $U$ . Obe sili sestavimo v skupno silo (rezultanto)  $R$ , ki pa se da tudi razstaviti na vlečno silo  $F$  v smeri naprej in na vrtilni upor  $T$ . Te sile se vzdolž lista spremenijo, ker raste z oddaljenostjo od osi vijaka tudi vrtilna hitrost  $v_2$ ; toda to bistva stvari ne spremeni. Sili  $F$  na obeh listih nam dasta vlečno silo v smeri letenja  $v_1$ , obe sili  $T$  pa moramo premagati z vrtilnimi silami motorja. Če bi motor

Krmiljenje letala je od daleč podobno vodenju avtomobila. Pilot drži sedaj z desno roko po navadi volan, pri katerem se da kolo vrteti kakor pri avtomobilu; obenem pa moremo kolo tudi kot celoto pomikati naprej in nazaj. S potiskanjem volana od sebe potiska pilot letalo na glavo, z vlečenjem volana proti sebi pa spravlja pilot letalo v vzpenjanje. Z vrtenjem volana na desno in levo se nagiba letalo okrog vzdolžne osi na desno oziroma na levo stran. Poleg tega ima vsak pilot še dva nožna pedala; če pritisne na desni ali levi pedal, se začne obračati tudi letalo na desno oziroma na levo stran. Na sliki (sl. 25) vidimo dvojne komande šolskega letala



**Sl. 25. Komande dvosedežnega letala.**

S palico 1 krmari učitelj krilca in višinsko krmilo. Vzvod 2 za krmarjenje smernega krmila pomikamo z nogami.

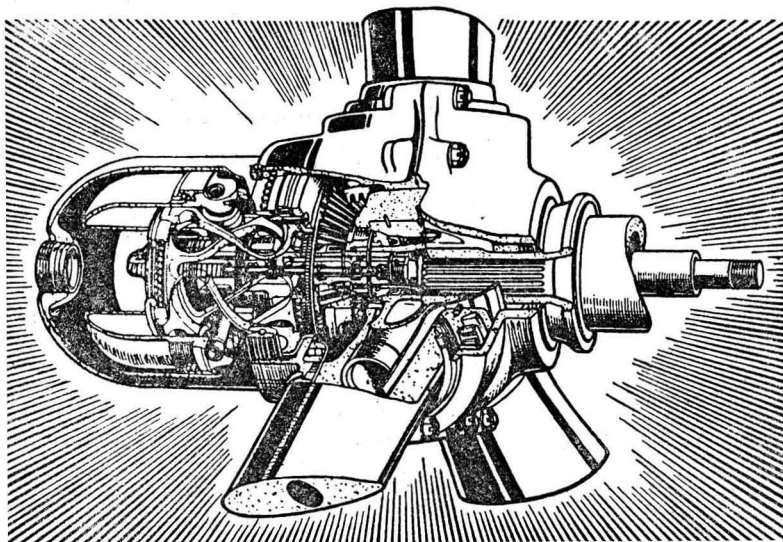


**Sl. 26. Gibanje in sile na vijaku.**

Zaradi hitrosti letala  $v_1$  in hitrosti vrtenja  $v_2$  se gibljeta lista vijaka proti zraku s hitrostjo  $v$ . Zaradi takega gibanja nastane na vsakem listu vlečna sila  $F$  in vrtilni upor  $T$ .

ne dovajal po osi do vijaka vrtilnih sil, bi se zaradi zaviralnih sil T vijak v najkrajšem času ustavil.

Ceprav ne more letalo leteti ravno z vsako hitrostjo, se mu le od vzleta do spuščanja hitrost navadno silno močno menja. To velja v posebno veliki meri za hitra letala, pri katerih moramo računati s spreminjanjem hitrosti od nič pri vzletanju pa tja do npr. 600 km/uro. S hitrostjo gibanja pa se menja zelo močno tudi smer hitrosti proti tetivi profila, kar ima za posledico, da daje vijak, ki je pri velikih hitrostih dober, med počasnim letenjem in med vožnjo po tleh le majhno vlečno silo. Če bi narobe vzeli za hitra letala vijake, ki so pri majhnih hitrostih dobri, bi bili še na slabšem, ker taki vijaki ne bi potem vlekli med hitrim letenjem in bi se utegnili celo zaradi preveč naglega vrtenja razleteti. Vsem tem težavam se izognemo, če prilagodimo vsak list z vrtenjem okrog njegove vzdolžne osi vsakokratni hitrosti letala (sl. 27).



Sl. 27. Vijak s spremenljivim korakom.

Olje prihaja po votli gredi z desne strani od motorja in pomika bat tako, da se vrti vijak neodvisno od hitrosti letenja vedno enako hitro. Premiki bata se prenašajo čez stožčaste zobnike na vse tri liste vijaka.

Take vijake s spremenljivim korakom se da urediti tako, da se pri polnem plinu motorja vrtijo vedno enako dobro in enako hitro, ne glede na to, ali leti letalo hitro ali počasi.

#### 4. HITROST ZVOKA IN NJEN POMEN V LETALSTVU

Pri letenju igra zvočna hitrost izredno važno vlogo. To se najbolj vidi že iz tega, da navadno ne navajamo hitrosti sodobnih letal neposredno, na primer v kilometrih na uro, temveč le posredno kot del zvočne hitrosti pri počasnih letalih ali kot njen mnogokratnik pri hitrih letalih. Za razmerje: hitrost letala proti hitrosti zvoka se je v tehniki uveljavilo ime Machovo<sup>1</sup> število, po nemškem fiziku E. Mach-u, ki je med prvimi spoznal njegov pomen za upor in s tem tudi za gibanje topovskih izstrelkov. Če leti letalo na primer z Machovim številom dva, pomeni torej, da ima to letalo proti zraku dvakratno zvočno hitrost.

Kaj je zvočna hitrost in od kod tolikšni pomen te količine v letalstvu? Gre seveda za hitrost, s katero se širi zvok po zraku. Zvok je več ali manj stalno nihanje snovnih delcev sem in tja. Ker so delci snovi v medsebojni zvezi, bo razumljivo, da se bo prenašalo v vsakem telesu tako nihanje na vse strani, čim pride do nihanja na enem mestu. Zato pravimo, da se zvok širi po telesu in razdalja, do katere se razširi nihanje po preteku ene sekunde ali ene ure, se imenuje zvočna hitrost. Za pravilno predstavo o tem pojavu moramo upoštevati, da se pri širjenju zvoka ne gibljejo na primer zračni delci z zvočno hitrostjo naprej, temveč da potujejo tako hitro le spremembe pritiska in z njimi zvezano nihanje delcev. Podoben pojav imamo pri širjenju valov po mirni vodni gladini, kadar na primer vržemo kamen v vodo. Valovi bežijo po vodni gladini razmeroma hitro na vse strani, medtem ko nihajo vodni delci le gor in dol skoraj na enem mestu. O tem se lahko prepričamo, če zasledujemo na primer nihanje koščka lesa na vodni gladini. Les se dviga in pada in se ne pomika skoraj nič v smeri širjenja valov.

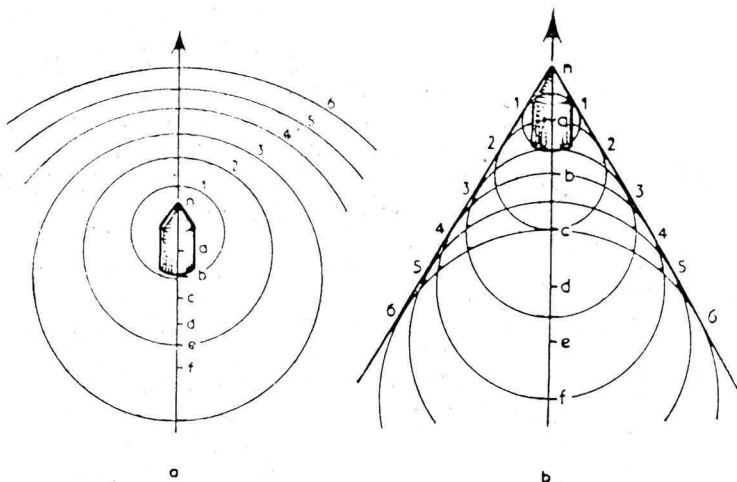
Kolikšna je hitrost širjenja zvoka in od česa največ zavisi? Poskusi pokažejo, da zavisi hitrost od snovi in da vpliva nanjo pri zraku v glavnem le temperatura. Tako se v zraku s temperaturo 15° Celzija širi zvok s hitrostjo približno 341 m/sekundo ali — v drugih enotah povedano — s hitrostjo okrog 1228 km/uro. Pri manjši temperaturi je zvočna hitrost manjša, pri večji temperaturi pa tudi zvočna hitrost naraste. V razmeroma mirnih zračnih plasteh v višinah nekako med 11 in 50 km, ki se imenujejo stratosfera in kjer vlada stalna temperatura — 55° Celzija, je zvočna hitrost okrog 297 m/s ali 1070 km/uro. Nodzvočni poleti letal so po navadi možni šele v stratosferi in Machova števila

---

<sup>1</sup>Čitaj: Mahovo.

letal se nanašajo zato skoraj vedno na zadnji podatek za zvočno hitrost. Machovo število 3 ima torej po navadi letalo, ki na primer v višini 20 km nad morjem leti s hitrostjo  $3 \times 1070 = 3210$  km/uro.

Pa ne le zvok ali ponavljajoča se nihanja zračnih delcev, temveč tudi enkratna stisnitev zraka (zgoščina) se širi na vse strani s hitrostjo zvoka, če le ni stisnitev preveč močna (močne stisnitve se namreč širijo še hitreje kakor zvok!). Ravno ta lastnost, da je hitrost zvoka tudi hitrost širjenja slabotnih stisnitev in razredčitev, ali skratka vseh majhnih motenj na vse strani, pa določa v prvi vrsti pomen te količine za pojave pri letenju. Da ni treba takoj upoštevati vplivov vseh delov letala, vzemimo najprej le na primer silno majhno telo in ga pomikajmo v ravni črti navzgor s polovično hitrostjo zvoka (sl. 28 a). Poleg tega



Sl. 28. a, b. **Gibanje izstrelka in njegov motenj.**  
Na levi sliki se giblje izstrelak s polovično, na desni pa z dvakratno hitrostjo zvoka.

vzemimo še zaradi preglednosti, da pritisne to telo na zrak le za čisto kratek trenutek po preteku vsake sekunde (v resnici pritiska seveda telo na zrak stalno med gibanjem). V presledkih po eno sekundo pride središče telesa iz začetne lege f po vrsti v točke e, d, c, b, in a. Motnje, ki jih je telo povzročilo v legah od f do a, pa pridejo med svojim gibanjem po zraku na vse strani na površine krogel 6, 5, 4, 3, 2 in 1.

Iz slike se jasno vidi, da motnje prehitevajo razmeroma po-

časno telo in da se pojavi zato pred njim povečani pritisk že davno prej, preden pride samo na tisto mesto. Ta zaključek nam potrdijo tudi prejšnje slike zračnih tokov okrog teles. Ravno zato, ker pridejo pritiski že pred telesom na vsa mesta okolice, prisilijo povsod zrak k pravočasnemu umikanju. Zračni delci pred telesom so takorekoč že prej opozorjeni, da prihaja telo, in se mu zato začno izogibati. Posledica tega je gladko obtekanje zraka na sprednji strani telesa, gladek tok pa omogoča tudi ponovno naraščanje pritiska na zadnjem delu vitkih teles, kar znatno zmanjša njihov upor.

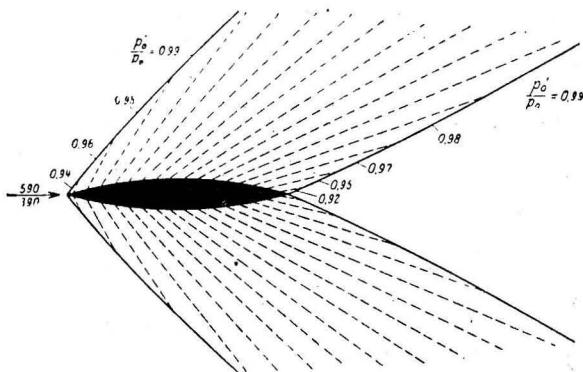
Če pa se giblje telo po zraku na primer z dvakratno hitrostjo zvoka (sl. 28 b), se slika popolnoma spremeni. Telo beži namreč najprej daleč pred svojimi motnjami, in zračni delci nad obema poševnima črtama sploh ne vedo za približevanje telesa. Vsi ti delci zraka zato najprej mirujejo in šele, ko prideta do njih obe tanki črti, ki si jih moramo misliti v gibanju s telesom vred, se tudi oni stisnejo in zganejo. Če gre za res majhno telo, so seveda tudi motnje majhne; pri večjih telesih pa je ta nenaden prehod od nestisnjenega stanja in mirovanja v moteno stanje zelo močan.

Obe poševni črti, ki gresta od vsakokratne lege telesa poševno navzdol na obe strani, imenujemo Machovi črti in prostor znotraj njih imenujemo Machov stožec. Te črte se pravzaprav ne dajo opazovati, če vzamemo, da nastanejo le zaradi silno slabih motenj zelo majhnega telesa. Pri nadzvočnem gibanju dejanskih teles pa vplivajo na zrak tako rekoč vsi njihovi neštevilni deli na površju vsak zase kakor majhno telo, le da nekateri med njimi zrak stiskajo, drugi pa ga razredčujejo. Če več bližjih mest na telesu stiska zrak, dohitijo stiski zadnjih mest stiske mest bolj spredaj, ker se prvi gibljejo nekoliko hitreje kakor drugi. Posledica istočasnega prihajanja več stiskov na določeno mesto v zraku pa močno poveča pritiske na tem mestu in seveda naglo zmanjšuje hitrost. Tedaj pravimo, da nastanejo na takih mestih v zraku udarni valovi, ki odnašajo energijo proč od telesa v taki obliki, da se ne more več vrniti nazaj na telo. Udarni valovi povzročajo torej dodatni upor, tako imenovani valovni upor, ki ga moramo skupaj z ostalimi vrstami upora premagati le z večjimi potisnimi silami.

Kadar povzročajo posamezna mesta na majhnem delu površja telesa razredčine v zraku namesto stiska ali zgoščine, se odgovarjajoče Machove črte vseh takih mest ne združijo, temveč se dalje proč od telesa vedno bolj razširijo. Ker povzroča nadalje naraščanje pritiska v zraku tudi vedno zmanjšanje njegove hitrosti, razredčevanje pa povečanje hitrosti, imamó v nadzvočnem toku

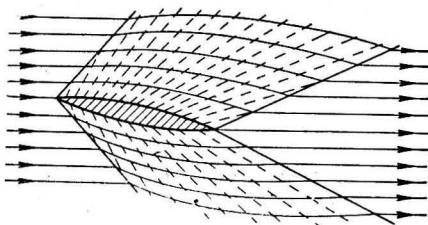
zraka nenadne udarne valove pri zmanjševanju, počasne prehode pa pri povečanju hitrosti.

Predaleč bi šli, če bi hoteli za zgornjimi splošnimi zaključki še bolj natančno obravnavati nadzvočno gibanje zraka okrog raznih teles. Tu naj zadošča, da pokažemo potek udarnih in razredčilnih valov najprej na lečastem telesu (sl. 29) brez vzgona



Sl. 29. Udarni in razredčilni valovi pri telesu brez vzgona. Udarni valovi so zarisani s polnimi črtami, razredčilni valovi so črtkani.

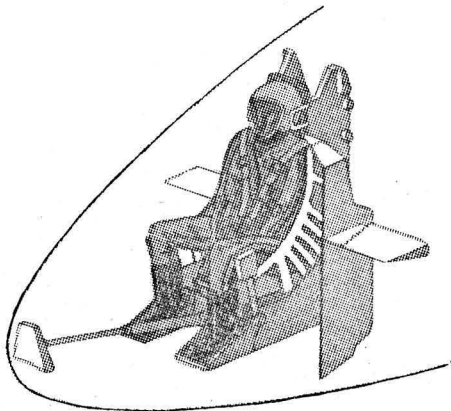
in nato na krilu (sl. 30), ki daje vzgon. Udarni valovi nastajajo pri takih šilastih telesih čisto spredaj in čisto zadaj, medtem ko so razredčilni valovi raztreseni po celi dolžini telesa (na slikah so pokazani razredčilni valovi črtkasto). Zanimiva je slika zračnega toka pri krilu (sl. 30): pred sprednjima udarnima valoma teče zrak proti krilu nemoteno v vodoravni smeri in je za zadnjima udarnima valoma zopet nagnjen enakomerno navzdol. Nad krilom pa teče tudi pri nadzvočnem gibanju zrak hitreje kakor pod njim, čeprav niso v tem primeru razlike v hitrostih tolikšne kakor pri počasnem letenju.



Sl. 30. Udarni in razredčilni valovi na krilih.

Pri nadzvočni hitrosti je tok zraka za krilcem zopet vodoraven kakor pred njim.

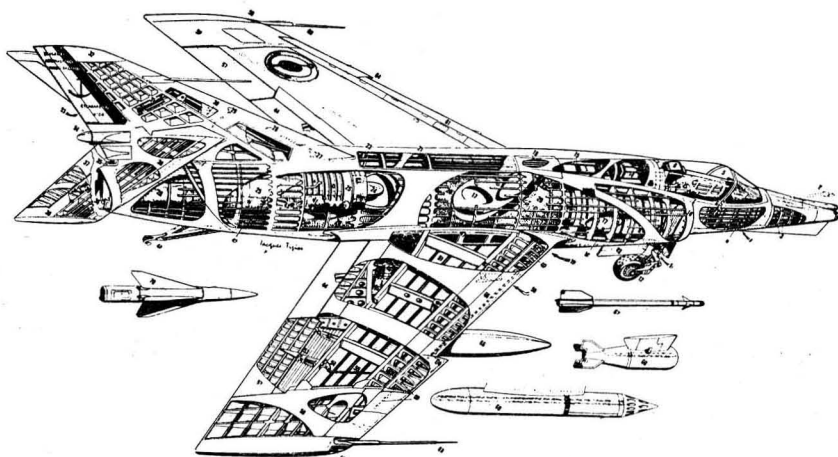
Kako se da zmanjšanje hitrosti zraka za udarnim valom koristno uporabiti, kaže slika 31. Če mora pilot hitro letalo zaradi težkih okvar med letenjem zapustiti in se rešiti s padalom, je treba najprej odstreliti sprednji del trupa, da ne bi oviral pilota pri zapuščanju letala. Nadzvočna hitrost pa bi pilota umorila, če bi ji bil po odstrelitvi trupa neposredno izpostavljen. Zato je neka ameriška tovarna pritrdila pred pilotom na jeklenem drogu v notranjosti kabine majhen ščit, okrog katerega se pojavi udarni val, čim pilot odstrelji proč sprednji del trupa. Udarni val okrog ščita pa zavaruje pilota pred vplivom velikih hitrosti, ker je pilot znotraj območja udarnega vala in ker je tam hitrost zraka znatno manjša kakor na zunanji strani. Velik zračni upor pa zmanjša seveda kmalu po odstrelitvi zelo hitro tudi hitrost pilotskega sedeža, saj ni več motorjev, da bi gnali sedež naprej. Udarni val za ščitom se zato hitro izgubi; toda pilot se spusti nato s padalom varno na tla tudi izven območja za ščitom, ker mu majhne hitrosti ne morejo več škoditi.



Sl. 31. **Pilotski sedež nadzvočnega letala** s ščitom proti prevelikim hitrostim.

Še bolj zamotano kot pri velikih hitrostih se giblje zrak tedaj, kadar je njegova hitrost proti letalu le malo manjša ali malo večja kakor zvočna hitrost (okolizvočno ali transonično področje). Okoli letala imamo v takem primeru vedno mesta, kjer je hitrost zraka še pod hitrostjo zvoka, drugod pa se giblje zrak že nadzvočno. Posledica tega so nagle spremembe hitrosti in pritiska in nekakšna nestalnost in nezanesljivost v obliki tokov. Zato začne zračni upor letala močno naraščati že pri tako imenovani kritični hitrosti, ki je manjša od hitrosti zvoka in ki se po navadi giblje okoli Machovega števila 0,8. Močno pa narašča upor tudi po prekoračenju zvočne hitrosti; šele nekako od Machovega števila 1,5 dalje se razmere ustalijo in se od tam naprej zračni upor vsaj nekaj časa s hitrostjo le neznatno večja. Cenitve





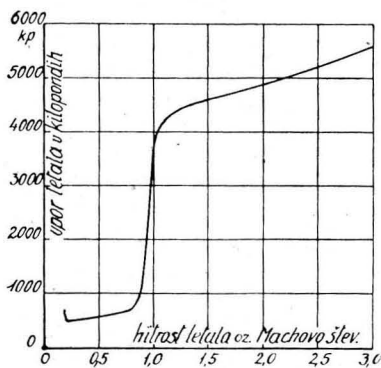
Sl. 32. Lovsko letalo Etendard IV M.

Motor 25 je v trupu zadaj in daje 4400 kp potisne sile; polna teža letala je 9000 kg.

za neko letalo iz leta 1958 (sl. 32) kažejo, da raste njegov upor nekako tako, kakor prikazuje sl. 33.

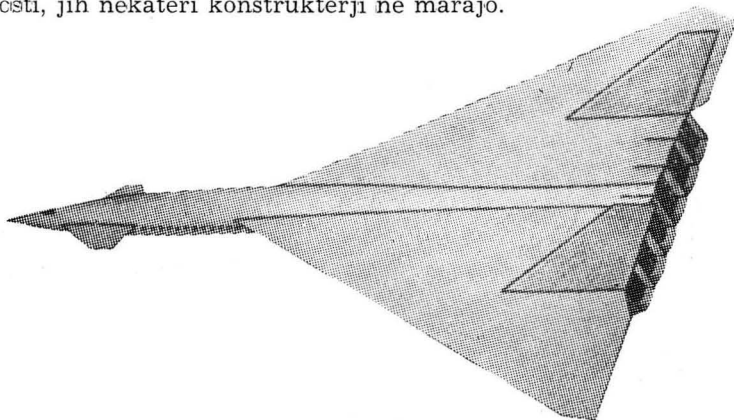
Iz slike 33. vidimo, da upor po prekoračenju zvočne hitrosti nekaj časa le počasi narašča. Ker se zdi, da bo tudi gradnja primernih motorjev v nekaj letih močno napredovala, so se številne tovarne že lotile načrtov za gradnjo potniških letal za letenje pri Machovih številih 2 do 3. Gre torej za izredno drzne načrte, če

pomislimo, da imajo sedanja najhitrejša potniška letala hitrosti le nekaj pod 1000 km/uro. Sl. 34 kaže skico prihodnjega potniškega letala, ki ima krilo pomaknjeno čisto nazaj. To letalo naj bi imelo 6 zelo močnih motorjev v bližini zadnjega roba krila in dve navpični repni površini. Krilo tega letala ima pri pogledu od zgoraj obliko trikotnika in se imenuje po veliki črki grške abecede podobne oblike tudi krilo delta. Taka in druga krila, pri katerih so zunanji deli pomaknjeni v pri-



Sl. 33. Upor lovskega letala Etendard IV M v odvisnosti od hitrosti

meri s sredino krila nazaj (prim. sl. 32), imajo v bližini zvočne hitrosti in nekaj nad njo znatno manjše upore kakor navadna »ravnna« krila. Ker pa se zdi, da ne pridobimo s takimi krili pri letenju z Mačhovimi števili nad 1,5 ali 1,8 veliko na uporu in ker imajo pri vzletanju in pristajanju nekaj neprijetnih lastnosti, jih nekateri konstrukterji ne marajo.



Sl. 34. **Osnutek nadzvočnega potniškega letala.**  
Krilo letala naj bi bilo zadaj in naj bi nosilo tudi 6 turbo-reaktivnih motorjev.

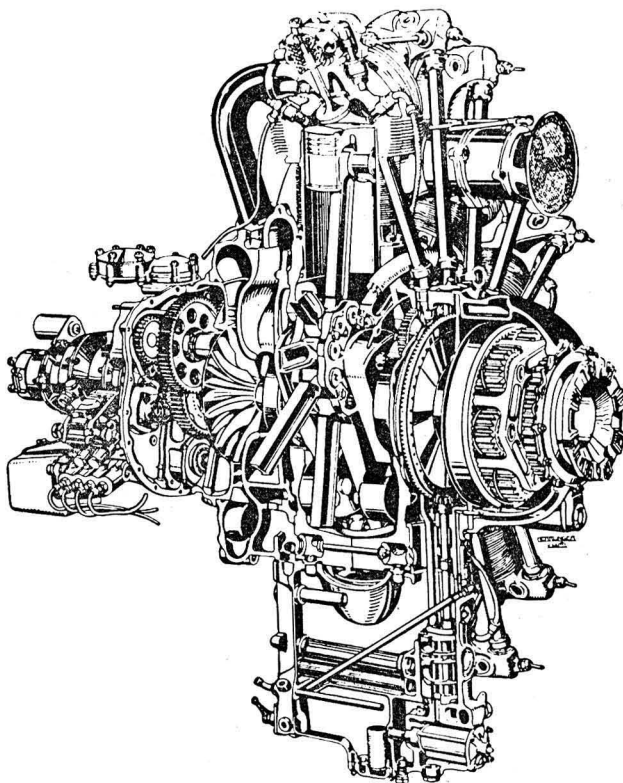
## 5. LETALSKI MOTORJI

Če bi še pred 20 leti začeli govoriti o raznih vrstah letalskih motorjev, bi nas takrat tudi strokovnjak začudeno pogledal, češ saj imamo res razne izvedbe motorjev, toda osnovna načela delovanja so za vse enaka. In res je šlo tedaj skoraj izključno le za batne motorje na bencinski pogon, kakor jih uporabljamo tudi dandanes v avtomobilih, v motornih čolnih itd. Ker smo delovanje takih strojev opisali že v prvi knjigi, hočemo pokazati tu le pogled v notranjščino letalskega batnega motorja. Motor na sliki ima 9 valjev, ki so enakomerno porazdeljeni po obodu kroga, tako da tvorijo nekakšno zvezdo (zvezdasti motor, sl. 35).

Valji so tako rekoč srce stroja, saj se v njih gibljejo bati sem in tja in prenašajo čez ojnice sile zgorelih plinov na skupno ročico. Ker je ročica že sestavni del glavne osi stroja, vplivajo na ta način zgoreli plini na os in jo ženejo.

Od valjev vidimo na sliki predvsem v sredi zgoraj enega v prerezu in v njem je viden tudi bat. Del bata je odstranjen, da

se vidi sornik, okrog katerega se giblje ojnica. Pri motorjih z valji v zvezdi bi se morale vse ojnice srečati pravzaprav na isti ročici. Da nekoliko zmanjšamo gnečo, priključimo ojnice vseh valjev na eno izmed njih in spojimo še le zadnjo ojnico neposredno z ročico (sredina slike). Ker se dalje gostota zraka z višino razmeroma



**Sl. 35. Batni zvezdasti letalski motor;**  
ima 9 valjev in daje 1100 konjskih moči pri 2600 vrtljajih v minuti.  
Na levi vidimo kompresor in razne pomožne naprave.

hitro manjša, bi moč motorja pri dviganju letala v višino zelo hitro padala. Zato ima naš letalski motor v sredi proti levi še poseben kompresor za stiskanje zraka. Z vključitvijo in izključitvijo kompresorjev se da doseči, da moč motorjev pri dviganju do višin 3000 ali celo 5000 metrov nekoliko narašča in da začne

šele pri nadaljnem dviganju počasi padati. Glavna os stroja na sl. 35 se vrti pri polnem plinu preveč hitro, da bi mogli vijak priključiti neposredno nanjo. Zato je urejena na desni strani slike zobniška prestava, ki zmanjša hitrost vrtenja vijačne osi za nekaj več kakor za tretjino (na sliki vidimo čisto na desni strani le priključek vijačne osi).

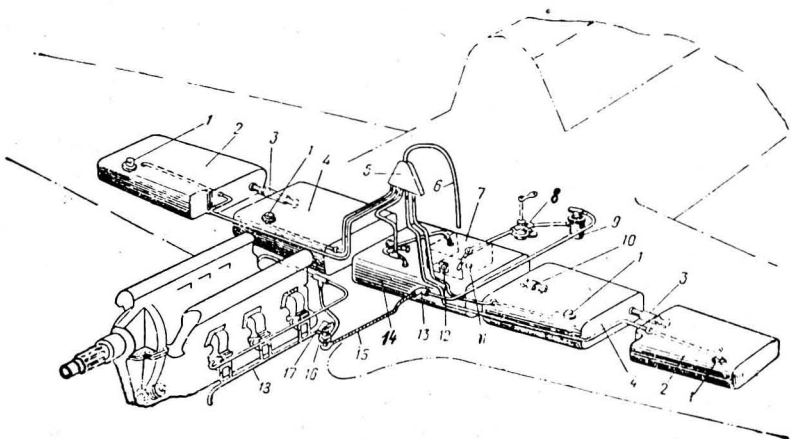
Eno najtežjih vprašanj pri velikih batnih letalskih motorjih je vprašanje hlajenja valjev. Zaradi zgorevanja znatnih množin bencina med vsakim delovnim gibom bi se valji že v teku nekaj minut tako segreli, da bi zgorelo olje, ki maže njihovo notranjščino. Le zaradi mazanja drsijo bati v valjih z majhnim trenjem sem in tja, in motor bi se zato takoj »zaribal«, če ga ne bi hladili. Poskusi in računi pokažejo, da je treba na primer pri letalskem motorju z močjo 1000 konjskih moči odvesti vsako uro skoraj 400.000 kilogramskih kalorij toplote v zrak. To pa je toplota, ki nam bi jo dalo okrog 100 kg dobrega rjavega premoga in ker prehaja skoraj vsa toplota čez razmeroma majhno površino valjev, je popolnoma umljivo, da jih je treba dobro hladiti. Pri batnih motorjih z zračnim hlajenjem, kakršen je tudi motor na sl. 35, je zato zunanja površina valjev opremljena z velikimi rebri, mimo katerih teče hladilni zrak, ki ga letalo posebej zajema spredaj in ki odteka po čisto določenih poteh zadaj iz motorja.

Težave s hlajenjem in velikanske sile, ki so potrebne za zaganjanje batov sem in tja, so glavni vzrok, da je moč batnih letalskih motorjev omejena, kakor je omejena tudi moč drugih podobnih naprav. Tako so dosegli motorji z dvema zvezdama po devet valjev največ 3000 konjskih moči, motorji z dvema vrstama, ki jih hladi posebna tekočina (glikol) pa samo 2500 konjskih moči. Le s spajanjem dveh takih motorjev v eno celoto se je posrečilo dvigniti v nekaj primerih moč na 4000 do 5000 konjskih moči; toda tako spajanje daje nepregleden motor, ki se le redko obnese v rednem obratovanju.

Razmeroma majhna moč batnih motorjev je povzročila, da je bilo treba kar za dve vrsti letal poiskati drugačne pogonske naprave: za silno velika in v še večji meri za zelo hitra letala. Kar se tiče velikih letal za hitrosti tja do 600 km na uro, bi se dalo seveda tudi misliti na vgraditev večjega števila motorjev. Do neke mere to res gre in letala z dvema, tremi, štirimi ali največ šestimi motorji so celo zelo pogosto v rabi. Uporaba več kakor enega motorja na letalih je namreč zvezana z znatno večjo varnostjo, ki jo ima tako letalo proti enomotorni izvedbi. Če opremimo letalo z več motorji, se seveda res verjetnost okvare na enem motorju raje poveča kakor zmanjša; toda že pri dvo-

motornem letalu je silno malo verjetno, da bi nastala okvara na obeh motorjih istočasno ali v zelo kratkem časovnem presledku. Zato pa je dvomotorno letalo neprimerno bolj varno od enomotornega, seveda le s pogojem, da more tako letalo z enim samim motorjem tudi še leteti in se vsaj za malenkost dvigati.

Z velikim povečanjem števila motorjev v letalu pa postane naprava za dovajanje goriva in za upravljanje, ki že pri enem motorju z več rezervoarji ni več tako preprosta (sl. 36), zelo za-



Sl. 36. Dovajanje goriva batnemu motorju.

Dotok goriva iz rezervoarja 14, na katerega so priključene tudi ostale posode, odpira pilot s pipo 8.

motana, nepregledna in težka. Tudi razmestitev številnih motorjev po krilu dela razne težave in povzroča dodatni upor; zato so se — kakor omenjeno — do danes uveljavila le letala z največ 6 motorji.

Zaradi vseh teh omejitev bi bil že današnji razvoj letalstva s samimi batnimi motorji nemogoč. Če računamo, da daje vsak batni motor pri zanesljivem obratovanju le nekako 2500 konjskih moči in da sme biti pri sodobnih potniških letalih teža v kilogramih največ le petkrat tolikšna kakor skupna vsota konjskih moči vseh motorjev, bi smelo tehtati letalo s 6 motorji po 2500 KM največkrat le  $6 \times 2500 \times 5$  ali 75.000 kg. Toda tako letalo bi bilo počasno in bi doseglo hitrosti le do 400 km na uro. Teža letal v kilogramih za hitrosti do 600 km na uro pa celo ne sme biti večja, kakor je štirikratna vsota konjskih moči vseh motorjev skupaj, kar bi omejilo skupno težo letala s 6 batnimi

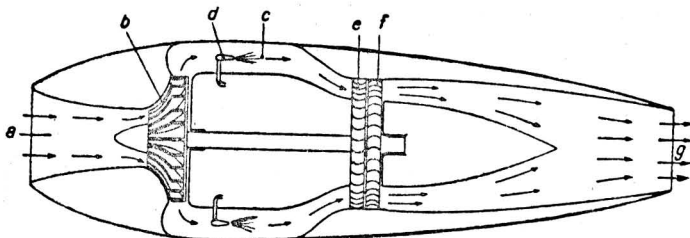
motorji največ na 60.000 kg. Toda že danes imamo potniška letala, ki tehtajo pri odletu nad 100.000 kg in ki dosežejo pri preletu povprečne hitrosti do 600 ali celo 900 km na uro. Za taka letala torej ne pridejo več batni motorji v poštev, temveč moramo pri velikih, toda razmeroma počasnih letalih preiti na turbine z vijlačnim pogonom, pri hitrih letalih pa na posebne stroje brez vijaka, ki jih imenujemo potisnike ali turboreaktivne motorje ali tudi kratko turboreaktorje.

Podobno kakor pri potniških so te naprave tudi pri vojnih letalih. Ker pa gre tu še bolj kakor pri potniških letalih za čim večjo hitrost, je danes ogromna večina sodobnih vojnih letal opremljena že s potisniki, ki se ne dajo uporabiti le v območju podzvočnih hitrosti do 1000 km na uro, temveč tudi za nadzvočne hitrosti do Machovega števila 3 ali 3,5. Pogoj je le, da tako potisnike kakor njihove dotočne kanale za dovod zraka skrbno oblikujemo, ker mora teči po njih zrak čez čim manjše število udarnih valov. Kadar pa želimo doseči z letali še večje hitrosti in se dvigati tudi čez višine 25 ali 30 km, kjer je zrak že silno redek, se moramo zateči celo k raketnim motorjem, ki delajo neodvisno od okoliškega zraka in ki so celo omogočili polete v vsemirje.

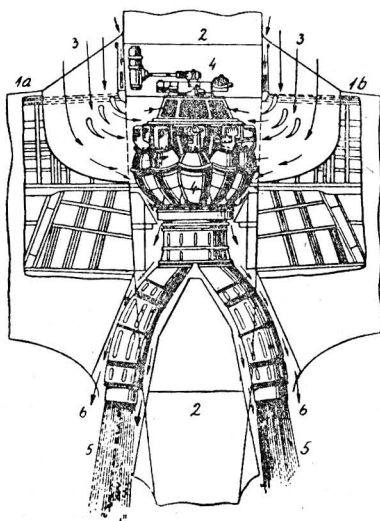
Od vseh teh novih vrst motorjev je potisnik najbolj razširjen in tudi razmeroma preprost; zato si ga hočemo najprej ogledati. V bistvu je precej podoben plinski turbini, ki smo jo opisali že v prvem delu knjige (str. 74-76), le z razliko, da jemlje pri potisniku turbina le toliko moči iz zgorelih plinov, kolikor jo potrebuje za vrtenje kompresorja. Vso ostalo energijo zgorelih plinov pa skušamo pri potisniku pretvoriti v hitrost. Zato pride do silno naglega iztekanja zgorelih plinov iz velike izpušne cevi na zadnjem delu potisnika, kar nam ravno da silo, s katero žene potisnik letalo naprej. Poleg tega teče pri sodobnih potisniških zrak tudi veliko bolj naravnost kakor pri navadnih plinskih turbinah, ker vstopa na letalu spredaj in izteka brez mnogih ovinkov zadaj iz izpušne cevi.

V bistvu je zato oblika potisnika kaj preprosta (sl. 37): zrak vstopa spredaj pri a, kompresor b ga nato s svojimi lopaticami med vrtenjem stisne na več atmosfer in ga žene naprej k gorilnikom d. Z vžigalno napravo vžgemo v začetku obratovanja petrolej, ki ga posebne črpalke stalno brizgajo v gorilnike; potem plamen sam skrbi za nadaljnje gorenje, če ga le s primernimi zasloni v gorilniku varujemo, da ne ugasne. Zgoreli plini se izven gorilnika pomešajo z ostalim zrakom v silno vročo zmes, ki se nato v mirujočih vodilnih lopaticah e usmeri poševno nazaj. Zaradi poševne smeri gibanja pritiska zmes na gibljive

lopaticice f plinske turbine in jih žene z veliko hitrostjo okrog. Kolo plinske turbine je zvezano po osi s kolesom kompresorja, ki dobiva na ta način od turbine potrebno moč za vrtenje. Zgoreli plini pa tečejo še naprej in uhajajo končno z veliko hitrostjo iz izpušne odprtine g zadaj iz letala in mu dajejo na ta način



Sl. 37. Glavni deli potisnika.



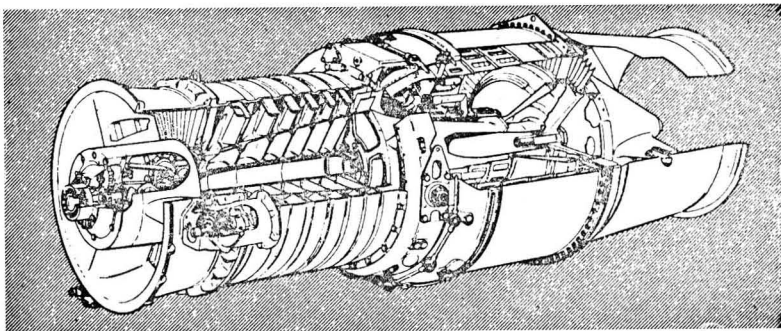
Sl. 38. Gibanje zraka in plinov skozi potisnik v trupu pri pogledu od zgoraj.

Številke pomenijo: 1a levo krilo, 1b desno krilo, 2 trup, 3 vstopni odprtini za zrak, 4 potisnik, 5 zgoreli plini, 6 odtok zraka za hlajenje.

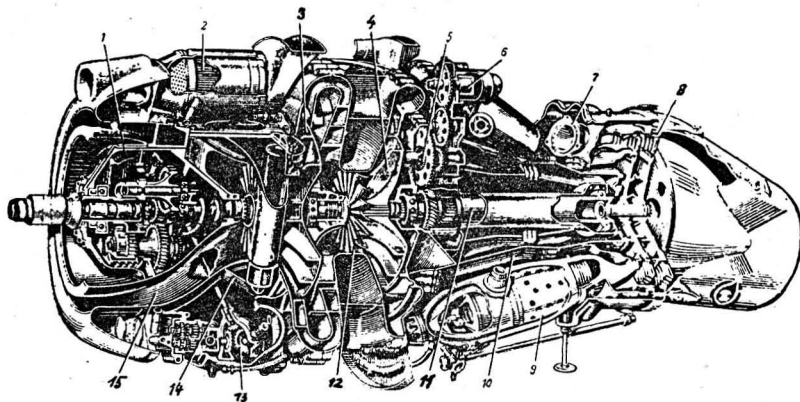
potisne sile med 250 in 15.000 kilopondi v zavisnosti od velikosti potisnika in od množine goriva, ki ga dovajamo stroju.

Dejansko so potisniki sedveda nekoliko bolj zamotani, kakor bi se zdelo pri pogledu na prejšnjo sliko, kjer so v glavnih črtah pokazani le najvažnejši deli. Pri prvih izvedbah so imeli konstrukterji posebno velike težave z dovajanjem zadostnih množin zraka. Zato so navadno morali tudi razcepiti tako dotok zraka kakor tudi otekanje zgorelih plinov na dve veji, če so vgradili motor v trup neposredno za sedežem pilota (sl. 38). Novejše izvedbe potisnikov imajo namesto sredobežnega kompresorja po navadi tako imenovani osni kompresor, v katerem teče zrak skoraj naravnost od vhodne odprtine spredaj v smeri nazaj skozi več vrst lopatic.

Zaradi pravilnega vodenja zraka je izmenično ena vrsta lopatic pritrjena v ohišju, druga pa se vrti s turbino vred. Na sliki 39 vidimo oblike manjšega potisnika z osnim kompresorjem, pri katerem je ves levi zgornji del razrezan, da se vidi na levi strani slike najprej škatla s pomožnimi pogoni in za njo kompresor. V razširjenem delu stroja so najprej zgorovalne komore, nato tur-



Sl. 39. Potisnik z osnim kompresorjem Bristol-Siddeley »Viper«. Stroj daje 1200 kp potisne sile in tehta le 227 kg. Dolg je 162 cm in ima največji premer 62 cm.



Sl. 40. Plinska turbina za vijačni pogon Rolls-Royce »Dart«. Zrak priteka po kanalu 15 v stroj, teče med lopaticami koles kompresorja 3 in 4, mimo gorilnikov in skozi turbino 8 do izpuha na desni. Os vijaka na levi ima zaradi prestav pri polnem plinu okrog 1450 vrtljajev v minuti, medtem ko se vrti glavna os stroja 11 desetkrat hitreje in daje vijaku moč 1550 KM.



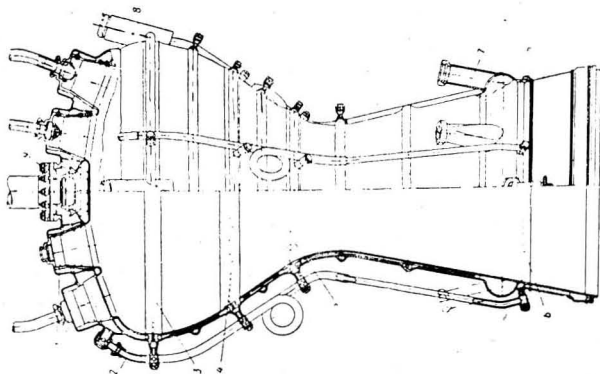
bina in končno še čisto na desni strani izpušna odprtina. Tak motor je posebno pripraven za vgraditev v krilo, ker niso tam potrebne nikakršne dolge dovodne cevi za zrak in tudi ne odvodne napeljave za zgorele pline.

Medtem, ko uporabljamo potisnike za pogon malih, srednjih in velikih letal v območju hitrosti od 800 ali 900 km na uro navzgor do 2000 ali celo 3000 km na uro, pridejo za pogon počasnejših in velikih letal v poštev plinske turbine z vijakom (sl. 40). Ti stroji so zelo podobni potisnikom in se razlikujejo od njih le po tem, da imajo močnejše turbine, ki vzamejo vreli mešanici zraka in zgorelih plinov ne le dovolj moči za vrtenje kompresorja, temveč še dodatno moč za vrtenje velikega vijaka. Pri takih strojih ima zato zrak v izpušni cevi le malo energije, je hladnejši in izteka bolj počasi kakor v potisniku. Zato je tudi neposredna potisna sila plinov v izpuhu razmeroma majhna. Glavno vlogo pri potiskanju letala naprej prevzame torej pri takih strojih vijak, ki tudi izrablja energijo na počasnih letalih veliko bolj gošpodarno kakor izpuh pri potisnikih. Le naglico vrtenja moramo pri takih motorjih znatno zmanjšati, ker dela vijak zadovoljivo le pri približno 2000 vrtiljajih v minuti, medtem ko se zavrti skupna os kompresorja in turbine kar po 12.000-krat ali celo 15.000-krat v minuti.

Pri današnjem stanju tehnike se zdi, da bodo batni motorji prevladovali le pri manjših počasnih letalih in da bo skoraj vsa ostala področja letenja osvojila plinska turbina bodisi v obliki potisnika ali s pogonom na vijak. Kljub temu pa so že sedaj prišli konstrukterji do številnih nalog, kjer kar obe vrsti motorjev odpovesta ali pa se vsaj dasta nadomestiti z novimi, boljšimi ali bolj preprostimi stroji. Tako smo v višinah čez 25 ali 30 km nad zemljo prisiljeni uporabljati raketne motorje, ker je tam zrak že tako redek, da postane gonilna sila iztekajočih plinov pri potisnikih že čisto neznatna.

Raketni motor (sl. 41) je v svojem bistvu ena najbolj preprostih gonilnih naprav. Na dnu in v stenah posode, ki ima nekakšno obliko hruške, imamo več razpršilcev, skozi katere priteka v notranjščino deloma gorivo, skozi druge pa čisti kisik. Gorivo in utekočinjen kisik sta spravljeni vsak v svojem rezervoarju in ju potiskajo v razpršilce močne črpalke, ki jih ženejo motorji z močmi več 100 ali celo nekaj tisoč konjskih moči. Ko gorivo v notranjščini hruške enkrat vžgemo, buhajo neprestano iz pravilno oblikovane odprtine v njenem razširjenem delu vreli plini z velikanskimi hitrostmi 3000 ali 4000 metrov v sekundi na

prosto in ženejo s tem stroj v nasprotni smeri iztekanja podobno kakor pri potisniku.



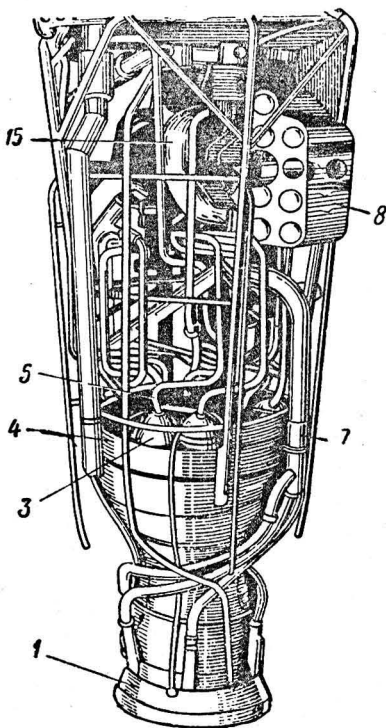
Sl. 41. Raketni motor.

Po srednji cevi prihaja gorivo iz rezervoarja in teče nato v notranjščino gorilnikov 1 skozi majhne odprtine, ki so na spodnjem prerezanem delu motorja označene s križci. Del goriva teče tudi skozi poseben prostor okrog motorja in ga hladi.

Glavna razlika med raketnim motorjem in potisnikom je le, da jemlje zadnji potreben kisik za gorenje kar iz zraka, medtem ko mora nositi raketa ves kisik s seboj. Ker potrebujemo za pravilno gorenje precej več kisika kakor goriva, je zato poraba pogonskih snovi pri raketnih motorjih neprimerno večja kakor poraba goriva pri potisnikih. Tako na primer porabi potisnik s potisno silo 5000 kilopondov v eni uri nekako do 5000 kilogramov goriva; enaka množina pogonske snovi pa zadošča pri enako močnem raketnem motorju največ le za 7 minut! Na drugi strani pa se dajo graditi raketni motorji za veliko večje potisne sile kakor ostali stroji; saj so znane rakete s potisno silo okrog 80.000 kilopondov in več, medtem ko je potisna sila najmočnejših potisnikov le 15.000 kilopondov. Tudi gradnja raketnih motorjev je bolj preprosta (sl. 42) in njihova teža je zelo majhna.

Uporaba posebnih kompresorjev za stiskanje zraka v potisnikih je pri zelo hitrih letalih zvezana z znatnimi izgubami energije, ker je trenje zraka v dovodnih ceveh veliko in ker lopatice kompresorja slabo delajo. Ker se da poleg tega pri velikih hitrostih zrak že na ta način dokaj močno stisniti, da njegov tok skozi motor na primernem mestu v večji ali manjši meri zadržimo, se dajo za zelo hitra letala od Machovega števila 2 navzgor graditi čisto preprosti potisniki, ki so brez kompresorja in brez turbinc!

Cel stroj je torej pravzaprav le primerno oblikovana cev, kamor moramo na pravem mestu vbrizgati gorivo, da se v stisnjemem zraku kar samo vname (sl. 43) in požene zato zadaj zrak z zgorelimi plini vred z veliko hitrostjo iz cevi. Taki stroji (statoreaktorji) dobro delajo; toda poraba goriva je danes še prevelika, da bi mogli priti v splošno porabo.



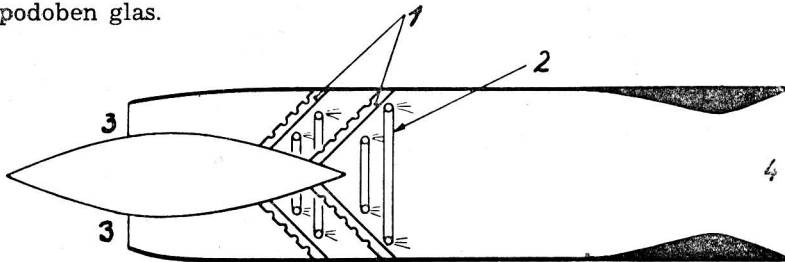
Sl. 42. Zunanja oblika raketnega motorja.

Raketni motor ima spodaj gorilnike 3' in izpušno cev 1. Nad motorjem so pomožne naprave s parno turbino 15, ki žene črpalke za gorivo in kisik.

Podobne pogonske stroje, kakor so statoreaktorji, je mogoče uspešno porabiti tudi na bolj počasnih napravah, če zapremo od časa do časa pot zračnemu toku v notranjščini cevi. Tudi tu je namreč cel stroj v bistvu le primerno oblikovana cev (sl. 44), ki pa ima nekje v sredi še dno z odprtini. Odprtine se izmenično same odpirajo in zapirajo z zaklopkami, ki ne dovoljujejo prehoda zraku in zgorelim plinom v smeri naprej, temveč samo nazaj. Za zaklopkami vbrizgavajo črpalke gorivo, ki ga električne svečke v rednih kratkih presledkih vžigajo. Pri vžigu se pritisk v bližini svečk in tudi pred njimi tako močno zviša, da se zaklopke zaprejo. Toda gorivo gori zelo hitro in pritisk zato naglo pade; zaklopke se znova odprejo in spustijo v desni prostor nove množine svežega zraka. Tedaj zopet vbrizgamo sveže gorivo, ki svečko vžgejo in ves potek se ponavlja, tako da iztekajo zgoreli plini iz izpušne odprtine na desni v rednih zaporednih sunkih z veliko hitrostjo na prosto. Med drugo svetovno

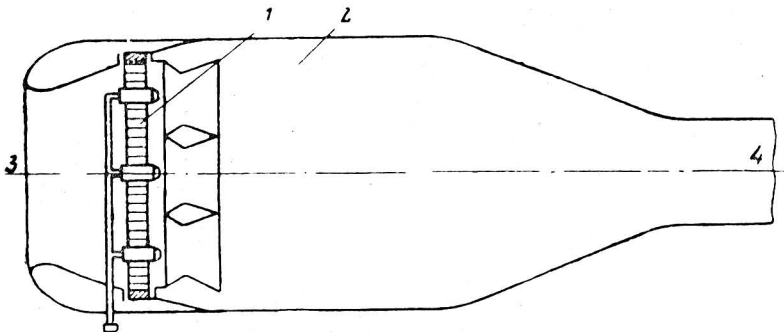
vojno so opremili Nemci s takimi pulzoreaktorji prvi tip svojih letelih bomb V-1 (čitaj: fau ena), ki so pri potisni sili stroja okrog 270 kilopondov letele na cilj s hitrostjo 600 do 700 km na

uro. Pri tej vrsti strojev so si sledili vžigi v presledkih, ki so bili le za malenkost daljši od petdesetinke sekunde, tako da so sunki v iztekajočih zgorelih plinih povzročali globok, brundanju podoben glas.



Sl. 43. Statoreaktor.

Številke pomenijo: 1 ščitniki plamenov, 2 cevi za vbrizgavanje goriva, 3 vstopna odprtina, 4 izpuh.

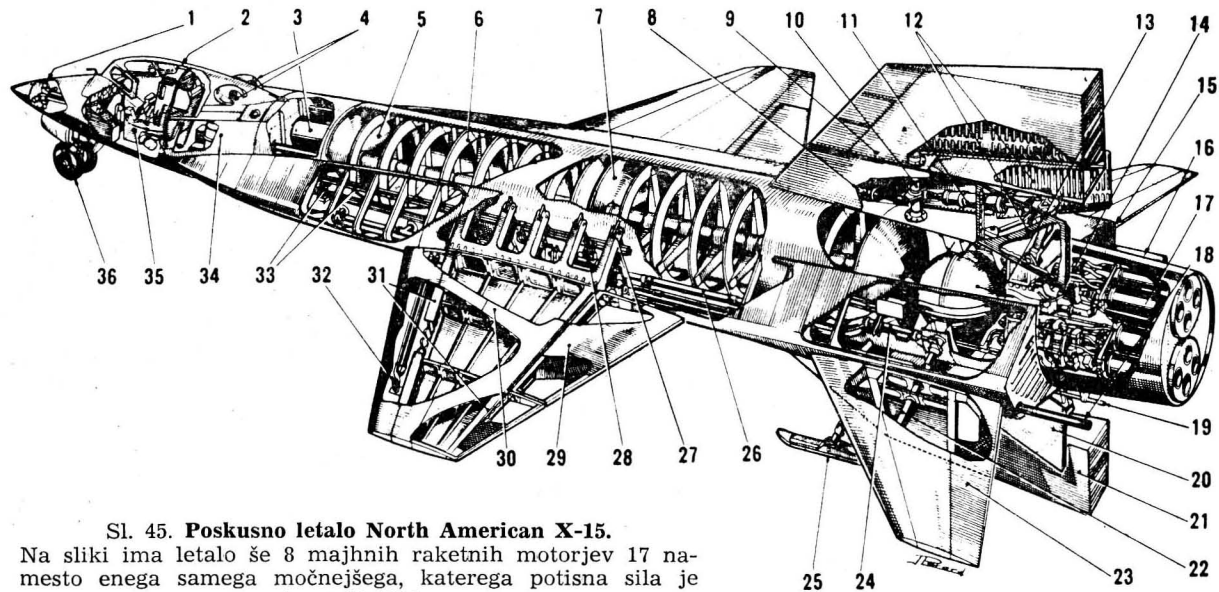


Sl. 44. Pulzoreaktor.

Številke pomenijo: 1 dno z avtomatičnimi zaklopkami, 2 komora za zgorevanje, 3 vstopna odprtina, 4 izpušno grlo.

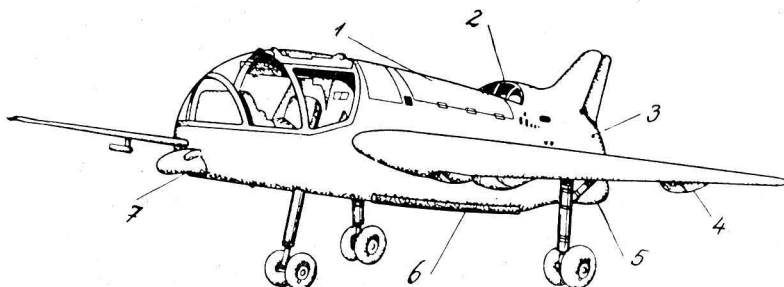
## 6. KAJ ZMORE DANAŠNJA LETALSKA TEHNIKA?

Z uspešnim razvojem novih neprimerno močnejših motorjev so se sposobnosti letal v zadnjem desetletju v nekem pogledu izredno povečale, saj dosežejo sodobna vojna letala za krajša razdobja hitrosti do 3000 km na uro in nekatere tovarne konstruirajo tudi že potniška letala za tolikšne hitrosti, kakor jih imajo sedaj vojna letala. Toda to nas ne sme zavesti k prepričanju, da zmore letalska tehnika vse. Sodobno lovsko letalo ne more na primer leteti s svojo polno hitrostjo 3000 km na uro v katerikoli



Sl. 45. Poskusno letalo North American X-15.  
 Na sliki ima letalo še 8 majhnih raketnih motorjev 17 na-  
 mesto enega samega močnejšega, katerega potisna sila je  
 okrog 30 000 kp.

višini! Nizko nad zemljo je zrak za take hitrosti namreč preveč gost in se zato upira gibanju z neprimerno večjo silo kakor v večjih višinah. Za izredno hitro letenje ob tleh bi bile torej potrebne neznansko velike potisne sile, ki jih tudi najmočnejši sodobni motorji nimajo. Pa tudi če bi imeli motorje za tolikšne potisne sile, jih ne bi mogli porabiti za hitro letenje v bližini tal, ker bi se zunanja obloga letal pod silnimi pritiski zvila in pokvarila. Čeprav so nosilni deli sodobnih letal že veliko bolj močni kakor na starih letalih, je seveda njihova debelina še vedno manjša na primer od debeline posameznih delov ladje. Saj bi sicer postala letala tako težka, da bi jih tudi sodobni močni motorji ne mogli dvigniti v zrak. Zaradi silnih pritiskov pri hitrem letenju nizko pri tleh morejo doseči letala v majhnih višinah največ nekako 1600 km na uro.



Sl. 46. Letalo za navpično vzletanje Short SC-1.

Številke pomenijo: 1 pokrovi odprtini za vstop zraka v dvižne potisnike, 2 vstopna odprtina za zrak potisnika za vodoravno letenje, 3 izstopna odprtina za zgorele pline vodoravnega potisnika, 4 pomožni ustnik za dviganje levega krila, 5 pomožni ustnik za dviganje repa, 6 pokrovi pod odprtinami za uhajanje zgorelih plinov iz dvižnih potisnikov, 7 pomožni ustnik za dviganje nosu.

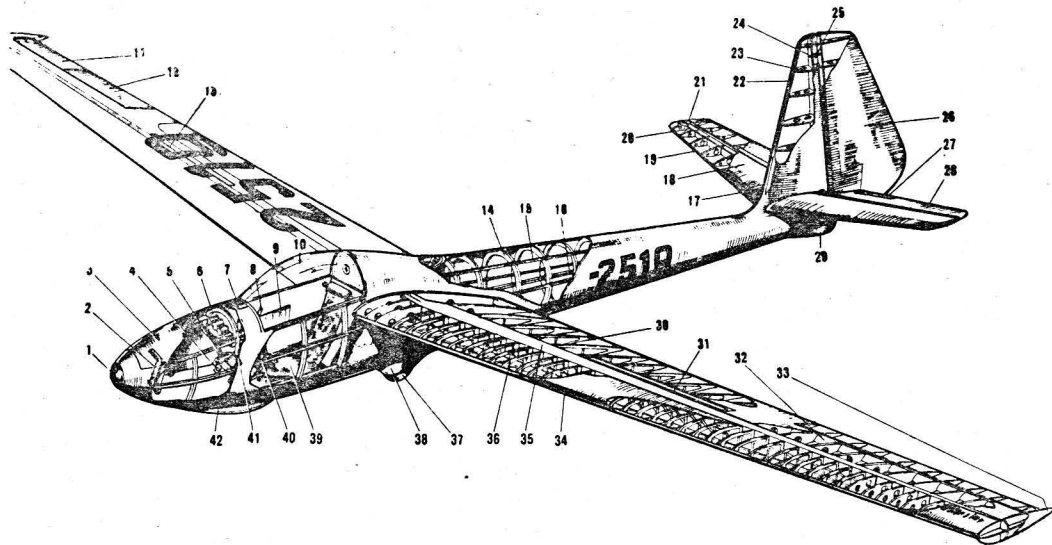
Pa tudi preveč počasi se ne more gibati navadno letalo z nepremičnimi krili! Aerodinamični vzgon, ki je za letenje nujno potreben (saj mora uničiti težo letala), nastane le med gibanjem kril po zraku in če je hitrost letala preveč majhna, strmoglavi letalo na tla. To se žal še danes preveč rado zgodi, če se pilot zmoti ali če na primer odpovedo priprave za odpiranje zakrilc. Najmanjša hitrost, s katero more letalo še leteti, zavisi predvsem od velikosti in oblike kril in od njegove teže. Pri starih letalih je bila ta najmanjša hitrost okrog 50 km na uro in je narasla v razdobju med obema vojnama za potniška letala tja do 130 km na uro; nekatera sodobna potniška letala pa ne morejo

leteti počasneje kakor s hitrostmi nad 200 km na uro in več. Dalje je med letenjem v zavojih potrebna malo večja hitrost, kakor če leti letalo naravnost.

Ker gostota zraka in s tem tudi njegova nosilnost z višino manjša, mora letalo v večjih višinah pri enakih okolnostih hitreje leteti kakor blizu morske gladine, se izogne padcu. Tako n. pr. se mora gibati v višini 20 km nad morjem letalo že z najmanjšo hitrostjo 372 km na uro, če se je ob morski gladini držalo v zraku še pri 100 km na uro; v višini 50 km pa bi moralo leteti tako letalo celo že najmanj s hitrostjo 3700 km na uro!

Zaradi teh čudnih zakonitosti, ki ne dovoljujejo prevelikih hitrosti v majhnih višinah in ne preveč majhnih hitrosti v večjih višinah, so si konstruktorji danes najhitrejšega letala X-15 (glej sliko 45!) pomagali na ta način, da ga najprej dvigne močan bombnik v višino okrog 12 km. Tu ga veliko letalo spusti, da začne padati poševno proti tлом. Tedaj mora pilot naglo vžgati raketni motor potisne sile 28 000 kp, ki je spravil letalo že v višine do 65 km in mu dal največjo hitrost do 7200 km na uro. Ko porabi pilot v 4 do 5 minutah vse gorivo, je letalo dovolj lahko, da se samo spusti tudi na tla, pa še tedaj ima pri pristanku hitrost okrog 260 km na uro. V nasprotju s tem strojem so letala, ki sama vzletajo, dosegla doslej »le« hitrost okrog 3200 km na uro in višine do 35 km.

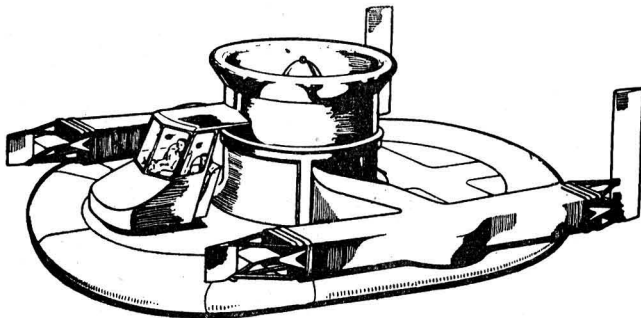
Pa ne le letala za izredno velike hitrosti in višine; tudi drugačne naprave si morejo privoščiti današnji konstruktorji, ki razpolagajo z dovolj močnimi in lahkimi motorji. Naprava na sliki 46 je na videz še dosti podobna navadnemu letalu, v resnici pa gre za čisto svojevrstno napravo, ki je pred dvema letoma prvič vzletela in vzbudila takrat veliko zanimanje. Naprava angleške tovarne Short (čitaj: Šort) je letalo z navpičnim vzletanjem in spuščanjem. Dviganje in spuščanje v navpični smeri so dosegli konstruktorji na ta način, da so vgradili v trup za pilotsko kabino kar štiri preproste turboreaktivne potisnike poleg petega potisnika zadaj pod smernim krmilom, ki služi za navadno letenje. Če se hoče pilot navpično dvigniti, odpre pokrove na zgornji in spodnji strani trupa in požene vse štiri nosilne potisnike. Ti vsrkavajo zrak skozi odprtine na zgornji strani trupa in potiskajo zgorle pline z veliko hitrostjo navzdol skozi odprtine spodaj. Potisna sila strojev je skupaj okrog 4000 kp, kar zadošča, da se naprava, ki je nekaj lažja od te sile, dvigne navpično v zrak. V zraku začne poseben peti potisni stroj zadaj gnati napravo proti levi in ko doseže letalo zadostno hitrost, ustavi pilot dvižne motorje, ker pač nosijo tedaj brez težav že krila vso težo.



Sl. 47. Jadralno letalo LOM 58/1 »Libelle«.



Pravo nasprotje tem letečim strojem, ki bruhajo iz sebe velikanske množine vrelega zraka in ki včasih med poletom tudi tako hrumijo, da poškodujejo bobniče v ušesih gledavcev, so jadralna letala. Njihova vitka krila (sl. 47) skupaj z majhno težo so vzrok, da morejo taka letala drseti z majhno hitrostjo in pod izredno blagim nagibom proti tlom. Če ravno pravilno leti, izgubi pilot dobrega jadralnega letala v vsaki sekundi v mirujočem zraku le 55 do 60 centimetrov višine in se pri malo hitrejšem letenju pomakne v vodoravni smeri od 25 do 40-krat tako daleč, kakor je izgubil višine. Ker je pa zrak le redko popolnoma miren in ker se posebno v toplejšem vremenu kaj radi pojavljajo v ozračju navpični tokovi, more pilot jadralnega letala leteti tudi vodoravno in se celo dvigati, če se giblje v zraku, ki se sam vsaj tako naglo ali še hitreje dviga, kakor je hitrost padanja letala. Pilot seveda ne more sam po sebi zaznavati, ali se zrak okrog njega dviga ali ne, ker pač nimamo čutil za tako gibanje. Zato pa imamo



Sl. 48. Letalo na zračno blazino Cockerell-Sannders Roe SC-1. Naprava lebdi ali plava le nizko nad tlemi, ima težo 3400 kp in moč motorja 435 KM.

poseben inštrument, imenovan variometer, ki zelo natančno zaznamuje vsako dviganje in padanje letala proti zemlji. Pilotova umetnost je v tem, da vedno znova poišče mesta, kjer se zrak dviga in da si potem s kroženjem v takem navpičnem zračnem toku (gornjaku) pridobi dovolj višine za premagovanje območij, kjer zrak miruje ali celo pada.

Še eno napravo naj na kratko omenimo, ki tudi ne potrebuje sodobnih močnih motorjev, ki pa se je kljub temu pojavila šele pred kratkim. Podobno kakor pri letalu za navpično vzletanje grabi tukaj velik ventilator zrak od zgoraj in ga po neke vrste dimniku potiska navzdol (sl. 48), da izstopa iz naprave spodaj

skozi ozko špranjo po celem obodu. Zrak, ki se seveda v ventilatorju ne segreje, pa ne izteka naravnost navzdol, temveč uhaja proti tlom najprej po nagnjeni špranji poševno na znotraj. Zato zadene zrak kmalu po izstopu iz špranje ob tla ali ob vodo in se mora nato obrniti navzven, da odteče končno proč od stroja. Pod vplivom teh tokov nastane pod strojem blazina stisnjenega zraka, ki drži celo napravo 30 do 50 centimetrov nad zemljo ali nad morjem. Če še preusmerimo del zračnega toka, ki ga ventilator zajema zgoraj, da odteka po posebnih kanalih v vodoravni smeri naravnost iz naprave, se bo cel stroj tudi premikal vodoravno v nasprotni smeri iztekajočega zraka.

Tako napravo imenujejo Angleži napravo za lebdenje ali lebdilko. Toda lebdeti mora na enem mestu v zraku tudi helikopter ali pa letalo za navpično vzletanje. Bistvena pri tej napravi je le blazina rahlo stisnjenega zraka (zvišanje pritiska je približno dve stotinki atmosfere) pod njo. Za tako lebdenje pa potrebujemo znatno manj moči kakor za lebdenje ostalih dveh omenjenih naprav in zato bi bilo mogoče najbolj primerno imenovati tako napravo kar letalo na zračno blazino.

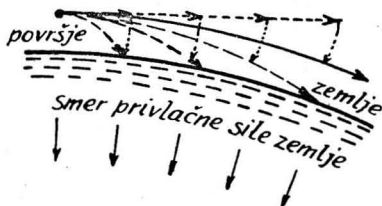
## 7. SPUTNIKI IN VESOLJSKE LADJE

Skoraj smešno se nam bo na prvi pogled zdelo, če rečemo, da je neprestano kroženje nekega telesa okrog zemlje čisto podobno pojavom pri padanju krogle, ki smo jo z močnim sunkom potisnili z vodoravne mize. Kljub temu je podobnost obeh gibanj neverjetno velika in mirne duše smemo reči, da bi zares prišli od padajoče krogle sami po sebi k telesu, ki stalno kroži okrog zemlje, če bi mogli pri zgornjem poskusu s kroglo izpolniti dva pogoja: odstraniti bi morali vpliv zračnega upora na gibanje in zagnati bi morali kroglo z neprimerno večjo hitrostjo, kakor jo moremo doseči z navadnimi sredstvi. Sovjetskim inženirjem in znanstvenikom se je dne 6. oktobra 1957 prvič oboje posrečilo: okroglo telo, težko okrog 96 kg, so poslali na kroženje okrog zemlje in napravili tako prvega umetnega spremljevalca ali satelita našega planeta, ki se je tako v nekem smislu pridružil luni, staremu naravnemu satelitu zemlje. Ker je rusko ime za satelita ali spremljevalca sputnik, imenujemo včasih tako v spomin na gornji dogodek vsa umetna telesa, ki se več ali manj stalno gibljejo okrog zemlje.

Kako je mogoče, da v vodoravni smeri vrženo telo ne pade na zemljo, če ga poženemo dovolj hitro in če ne naleti na velik

zračni upor? Odgovor je pravzaprav preprost: samo zato, ker ni zemlja ravna plošča, temveč okroglo telo. Če bi zagnali namreč na ploščati zemlji kroglo še s tako hitrostjo z mize, bi padla vedno na tla, čeprav bi se seveda razdalja med mizo in mestom padca pri velikanskih hitrostih zelo povečala.

Ker pa je zemlja brez upoštevanja majhnih nepravilnosti, ki jih povzročajo gore in doline, v bistvu le nekoliko sploščena krogla in ker vleče zemlja vsako telo skoraj natančno proti svojemu središču, opiše vrženo telo pri dovolj veliki hitrosti (sl. 49) krožno pot okrog zemlje in se pojavi zato po prvi obkrožitvi na istem mestu in z enako hitrostjo kakor v začetku gibanja. Pogoj za tako enakomerno kroženje pa je, da ne naleti telo na znaten zračni upor. Zato moramo najprej dvigniti telo dovolj visoko nad zemljo (vsaj 200 ali 300 km visoko) in ga nato šele poženemo v vodoravni smeri z veliko hitrostjo okrog nje. Pri svojem gibanju je tako telo v podobnem položaju kakor luna, ki tudi ne prestando kroži okrog zemlje zaradi hitrosti, katero je dobila že ob svojem nastanku.



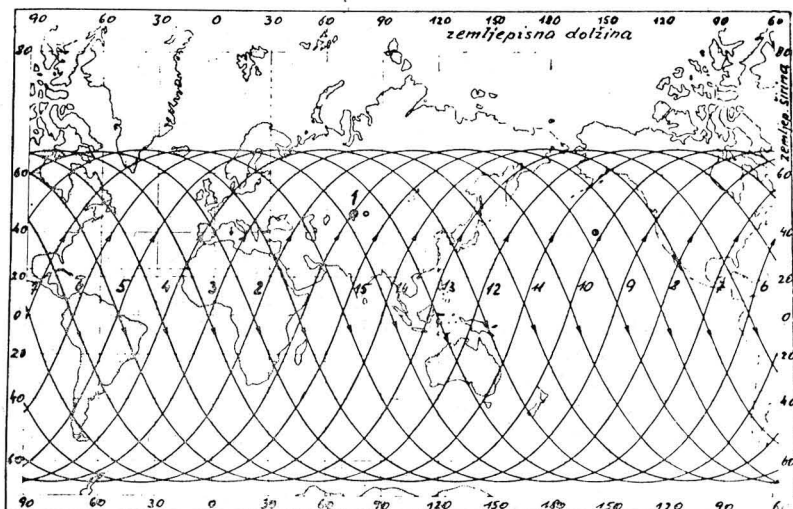
Sl. 49. **Gibanje teles nad zemljo.** Če dovolj močno vržemo telo v vodoravni smeri v višini 200 km nad zemljo ali še več, bo padalo proti njej ravno toliko, da bo ostalo vedno enako visoko.

Umetni sateliti krožijo navadno v veliko manjših razdaljah od zemlje kakor luna. Medtem ko se namreč giblje luna v povprečni razdalji 320 000 km od površja zemlje in rabi za enkratni obhod nekaj več kakor 27 dni, krožijo sateliti navadno v višinah med 200 in 1000 km in rabijo za svoj obhod le nekako 100 minut. Povprečna hitrost lune je zato le okrog 3680 km na uro, medtem ko morajo krožiti sateliti okrog zemlje z velikansko hitrostjo blizu 28 000 km na uro! V velikih višinah je namreč potrebna za kroženje manjša hitrost; zato pa rabimo tudi za dviganje z zemlje še dodatno energijo, tako da porabijo umetni sateliti v večjih višinah v celoti seveda več energije kakor sateliti, ki krožijo tik nad gostejšimi plastmi ozračja.

Navedene hitrosti, ki jih morajo imeti umetni sateliti pri kroženju, so neverjetno velike in znatno presegajo vse prejšnje dosežke pri poskusih z večjimi telesi (le hitrosti elektronov in drugih majhnih elementarnih delcev snovi so še neprimerno večje!). Hitrost kroženja satelita ali prva kozmična hitrost je

namreč vsaj šest in polkrat večja od najhitrejšega topovskega izstrelka in nekako štirikrat večja od največje hitrosti prej opisane najbolj hitrega letala X-15. Kako doseči velike hitrosti je eno najbolj važnih vprašanj pri spuščanju umetnih satelitov in podrobnosti o tem in o nekaterih drugih vprašanjih vse države še vedno skrbno skrivajo, čeprav so seveda nekatere stvari strokovnjakom v glavnih potezah precej jasne. Zato tudi ni nič čudnega, če je izstrelitev prvega umetnega satelita »Sputnik I« vzbudila toliko presenečenje.

Glede pogonskih naprav naj takoj povemo, da gre v glavnem le za rakete oz. za raketne motorje, kakor smo jih že opisali v enem od prejšnjih poglavij. Zakaj so samo raketni motorji primerni za take namene? Ker razvijajo pri razmeroma majhni teži velikansko moč in predvsem zato, ker nosijo vse za gorenje potrebne snovi s seboj in so zato neodvisni od zraka, ki ga morajo vsi drugi motorji jemati iz svoje okolice. Neodvisnost od okolišnjega zraka pa je pogoj za dviganje in pospeševanje umetnih satelitov, ker morajo delati njihovi motorji tudi v skoraj popolnoma brezračnem prostoru. Toda dejstvo, da morajo nositi raketni motorji vse snovi za svoj pogon s seboj, jih močno ovira



Sl. 50. Gibanje prvega umetnega satelita nad zemeljskim površjem. Nad odvitim zemljevidom cele zemlje opiše umetni satelit valovite črte, ki se zaradi vrtenja zemlje od zahoda proti vzhodu po vsakem obhodu pomaknejo proti zahodni strani, t. j. na sliki proti levi.

pri doseganju velikih hitrosti. Saj mora motor podeljevati hitrost ne le samemu sebi in vsem ostalim delom cele naprave, temveč tudi znatnemu delu pogonske snovi (razen tiste, ki jo je motor takoj v začetku pokuril). To pa seveda pri enakih ostalih pogojih močno zmanjša doseženo hitrost.

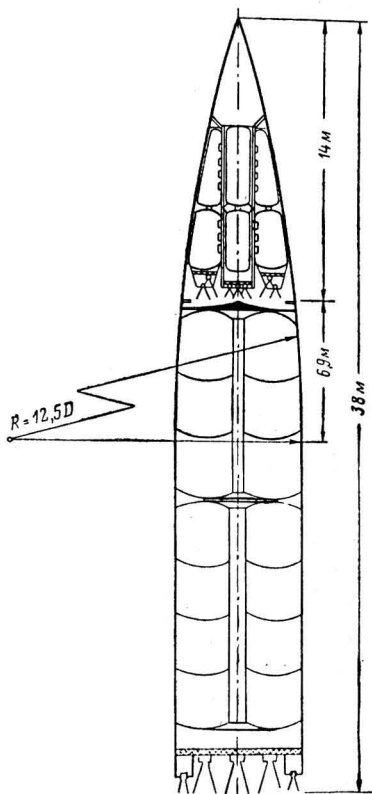
Pri izbiri pogonske snovi moramo zato skoraj izključno gledati le na njeno učinkovitost, medtem ko stopajo vsa druga vprašanja, kakor n. pr. varnost pri polnjenju, izhlapevanje, razdejanje rezervoarjev, strupenost itd., močno v ozadje. Ker podeli določena množina pogonske snovi napravi tem večjo hitrost, čim večja je hitrost zgorelih plinov, moramo izbrati za pogon take snovi, ki dajo pri zgorevanju pline velike hitrosti. Kot gorivo pridejo ravno zato prav pogosto v poštev alkohol, bencin ali vodik, ki se spajajo med gorenjem s kisikom, katerega mora nositi raketa tudi s seboj. Ker pa zavzamejo plini v plinskem stanju preveč prostora, je treba poleg tega vse plinske pogonske snovi (kakor kisik in vodik) pred polnjenjem s ponovnim zaporednim stiskanjem, hlajenjem in razpenjanjem najprej utekočiniti (gl. Tehnika v vsakdanjem življenju I. del, str. 41 in naslednje). Utekočinjeni plini pa so močno shlajeni (tekoči vodik je shlajen na približno 253, kisik pa na 183 stopinj Celzija pod zmrzovališčem vode!) in zato v navadnih rezervoarjih pod vplivom tople okolice zelo hitro izhlapevajo. Da ne izgubimo preveč snovi, napolnijo zato posebna moštva v zaščitnih oblekah rezervoarje v raketnih motorjih šele tik pred startom.

Toda kljub izbiri najbolj uspešnih in zato razmeroma nevarnih snovi za pogon raketnih motorjev, je že prvo kozmično hitrost, ki je potrebna za nizko kroženje okrog zemlje, izredno težko doseči. Plini, nastanejo pri gorenju ene najbolj učinkovitih pogonskih snovi, sestavljeni iz vodika in kisika, uhajajo namreč iz ustnika s hitrostjo med 3100 in 3300 metri v sekundi, medtem ko dajeta bencin in kisik zgorelim plinom hitrosti le približno 2300 do 2400 metrov na sekundo. Razmeroma preprosti računi pa pokažejo, da se razmerje med množino potrebne pogonske snovi in med težo končnega dela naprave silno poveča, če je zahtevana končna hitrost naprave veliko večja od hitrosti iztekajočih plinov. To pa, žal, ravno velja za naš primer; saj moramo podeliti umetnemu satelitu za dviganje in za kroženje okrog zemlje skupaj hitrost najmanj 28 500 km na uro. Ker imajo po zgornjih podatkih zgoreli plini vodika in kisika povprečno hitrost iztekanja le nekako 10 500 km na uro, se izkaže, da potrebujemo v tem najugodnejšem primeru vsaj 14-krat toliko kilogramov pogonske snovi, kolikor je končna masa satelita z mo-

torjem, rezervoarji in pokrovi vred. Pri uporabi manj učinkovitega pogonskega sredstva, bencina in kisika, pa naraste to razmerje v najbolj ugodnih pogojih celo na 29.

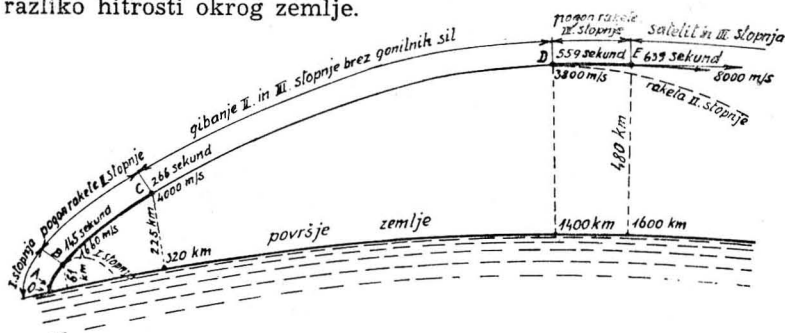
Tako velikih razmerij med težo pogonskih snovi in končno težo naprave pa ne moremo doseči brez posebnih ukrepov. Kljub temu, da so namreč ravno raketni motorji silno lahki, je treba le računati s tem, da moramo k njihovi teži prišteti še težo tovara, rezervoarjev, črpalk za potiskanje pogonskih snovi v raketni motor in raznih krmilnih naprav. Razmerje med težo pogonskih snovi in končno težo naprave je zato pri znanih izvedbah le kakor 4:1 ali največ 5:1. Toda tudi pri razmerju 5 proti 1 doseže raketna naprava v najboljšem primeru le hitrost 21 400 km na uro; torej znatno manj, kakor je potrebno za kroženje satelita okrog zemlje.

Ker je glavna ovira za doseganje velikih hitrosti predvsem teža vseh delov raketne naprave, bi bilo med delovanjem raketnih motorjev najbolj umestno takoj sproti pustiti za seboj vse one dele naprave, ki jih med nadaljnjim gibanjem več ne rabimo, kakor n. pr. izpraznjene rezervoarje goriva in kisika. Tega seveda ne moremo napraviti, in zato uredimo spuščanje delov prvotne naprave tako, da združimo rakete v dve, tri ali celo več skupin, ki jih imenujemo stopnje. Na sliki 51. je pokazan osnutek tristopenjske raketne naprave za spuščanje tovara pet ton na krožno pot okoli zemlje. Čisto spodaj vidimo lijakе ali ustnike treh velikih in dveh majhnih raket, ki sestavljajo prvo stopnjo in se najprej vžgejo, da dvignejo vso napravo okrog 50 km visoko in ji podelijo pri tem hitrost okrog 8800 km na uro. Nad temi ra-



Sl. 51. Tristopenjska raketa za 5 ton koristnega tovara.

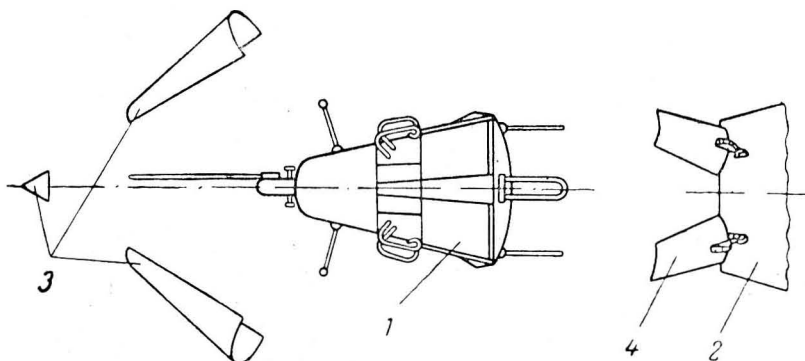
ketami sta dve skupini mogočnih rezervoarjev, ki že po dveh in pol minutah gibanja s spodnjimi raketami vred odpadejo, ker porabijo med tem časom spodnje rakete vso pogonsko snov (v našem primeru kisik in posebno spojino vodika z dušikom, ki se imenuje hidracin). Takoj nato se vžgejo rakete druge stopnje (na sliki sta narisani dve taki raketi bolj proti zunanji strani zgoraj) in ko porabijo vse gorivo iz svojih rezervoarjev, odpade tudi druga stopnja cele naprave. Na sliki so narisani za drugo stopnjo štirje taki rezervoarji, po dva nad vsako raketo. Preostane tretja stopnja in z njo vred še zgornji koničasti del, kjer je nameščen tudi tovor. Ko porabijo tudi rakete tretje stopnje vso svojo pogonsko snov iz obeh zgornjih srednjih rezervoarjev, loči močna vzmet ali kakšna druga podobna naprava še tretjo stopnjo od konice in obe telesi se gibljeta z majhno razliko hitrosti okrog zemlje.



Sl. 52. Pot satelita Vanguard in njegovih prvih dveh stopenj.

Na sliki 52 je s strnjeno črto narisana približna oblika začetne poti ameriškega satelita Vanguard (čitaj: vengard). Rakete prve stopnje so gnale napravo do točke A navpično navzgor, da bi prišle čimprej iz gostega ozračja v redki zrak. V točki A so krmila smer iztekajočih plinov nekoliko nagnila in prva stopnja je gnala nato celo napravo poševno navzgor vse do točke B, kjer so se motorji ustavili. Prva stopnja je odpadla in se gibala po črtkani poti proti zemlji. Obenem pa so se vžgale rakete druge stopnje, ki so gnale napravo še navzgor do točke C, kjer je tudi drugi stopnji zmanjkalo pogonske snovi. Druga stopnja se je gibala s preostalim delom vred še naprej do točke D brez pogona in je šele tu odpadla, ko je začela delati tretja stopnja. Na poti od D do E je nato tretja stopnja povečala sebi in satelitu hitrost od 3800 do 8000 metrov v sekundi in od tam naprej je oboje zaradi zadostne hitrosti začelo krožiti okrog zemlje.

Če se satelit loči od nosilne rakete, imamo pri vsakem spuščanju satelita v gibanje vsaj dve telesi, ki krožita okrog zemlje. Kadar pa nosi satelit na svoji površini občutljive naprave, ki jih je treba med gibanjem skozi ozračje zavarovati pred segrevanjem in pred močnimi pritiski s posebnimi pokrovi, se še ti pokrovi ločijo od satelita, tako da krožijo v začetku gibanja vsaj tri telesa okrog zemlje: čisto spredaj majhna konica s sprednjimi pokrovi (sl. 53), za njo satelit in zadaj nosilna raketa z zadnjimi pokrovi. Od vseh treh vrst teles je nosilna raketa navadno daleč največja in jo je mogoče najlažje opazovati. Tako je imel Sputnik I obliko krogle premera 58 cm in je tehtal okrog 83,6 kg, medtem ko je bila nosilna raketa valjaste oblike, je merila v dolžino več metrov in je po cenitvah tehtala od 2000 do 3000 kg.



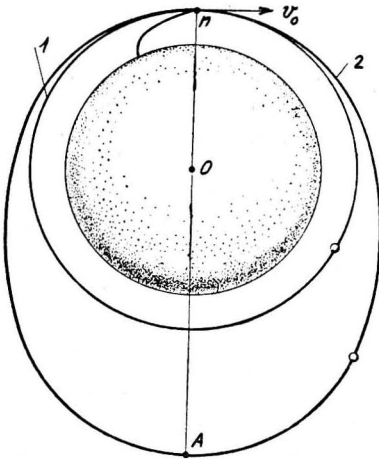
Sl. 53. Zaščitni pokrovi, satelit in nosilna raketa.

Poleg umetnega satelita 1 krožijo okrog zemlje navadno še njegovi zaščitni pokrovi 3 in zadnja stopnja rakete 2.

V zgornjih vrsticah smo večkrat govorili o kroženju umetnih satelitov okrog zemlje. Izraza »kroženje« ne smemo vzeti preveč dobesedno, ker se satelit giblje natančno po krogu v enaki višini nad zemljo le tedaj, če ga nosilna raketa pošene na koncu gorenja natančno v vodoravni smeri in natančno s prvo kozmično hitrostjo, kakršna odgovarja višini kroženja. Če nista izpolnjena oba navedena pogoja, se giblje satelit v glavnem po drugačni krivulji, ki je le do neke mere podobna krogu in se imenuje elipsa. Pri vodoravnem spuščanju z večjo hitrostjo od prve kozmične hitrosti se satelit najbolj približa zemlji na mestu spustitve (točka n na sl. 54) in najbolj oddalji od nje v nasprotni točki A. Prvo mesto na elipsi se imenuje perigej, drugo pa apo-

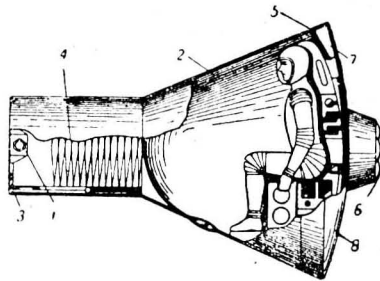


gej.<sup>1</sup> Pri nadaljnem povečanju začetne hitrosti se apogej vedno bolj oddaljuje od zemlje in če doseže hitrost telesa velikansko vrednost okrog 40 000 km na uro, uide telo privlačni sili zemlje in se začne gibati okrog sonca kot umetni planetoid. Zadnje ime prihaja od tod, ker so naravni planetoidi številna razmeroma majhna nebesna telesa, ki krožijo okrog sonca med potmi obeh velikih planetov — zvezd Marsa in Jupitra. Da bi pa ušlo telo tudi iz območja privlačnosti sonca in se podalo daleč proč v neznane globine vesmirja, ga moramo pri spuščanju z zemlje pravilno usmeriti in mu poleg tega podeliti neznansko hitrost nekaj nad 60 000 km na uro ali še več. Navedene najmanjše vrednosti začetnih hitrosti, s katerimi uide telo privlačni sili zemlje oziroma sonca, so znane pod imenom druga in tretja kozmična hitrost.



Sl. 54. Poti umetnih satelitov pri velikih hitrostih.

Če dajejo raketni motorji satelitu večjo začetno hitrost  $v_0$  od prve kozmične hitrosti, ni njegova pot več krog 1, temveč elipsa 2.



Sl. 55. Astronavtska kabina »Mercury«.

V razširjenem delu kabine je prostor za človeka, v valjastem pa so spravljeni padala in antene. Med startom se giblje gondola od desne proti levi, pri spuščanju na zemljo pa v nasprotni smeri.

Tu ne moremo podrobno naštevati, v kakšne namene se dajo uporabiti umetni sateliti. Naj samo omenimo, da se je šele z njimi začelo bolj natančno proučevanje prostora okrog zemlje

<sup>1</sup> Besedi sta vzeti iz grščine in pomenita mesti največje bližine in največje oddaljenosti od zemlje.

visoko nad gostejšimi zračnimi plastmi. Ravno ta raziskovanja so prinesla s seboj celo vrsto presenetljivih dognanj. Tako so n. pr. spoznali, da dosepejo med močnimi izbruhi na površini sonca tokovi elektronov od sonca do naše zemlje. Iz natančnih opazovanj gibanja umetnih satelitov se da dalje tudi sklepati, kolikšna je gostota plinov v velikih višinah; posebni aparati pa merijo tudi jakost ioniziranih (naelektrenih) plinskih molekul, jakost magnetnega polja in druge količine, ki so važne za bolj natančno poznavanje raznih plasti okrog zemlje. Tudi oblika zemlje in pojavi v njenem ozračju se dajo s satelitov natančneje opazovati kakor z zemlje, kar omogoča bolj zanesljivo napovedovanje vremena za daljša razdobja. Znani ameriški satelit Echo I, ki se je po izstrelitvi napihnil v velik balon premera okrog 30 metrov, je prvi služil kot neke vrste zrcalo za odbijanje kratkih radijskih valov, ki ne sledijo ukrivljeni površini zemlje, in je na ta način omogočil prenašanje takih valov v oddaljene kraje.

Umetni sateliti zgorijo pri padanju v gostejše plasti zraka, če ne zavremo njihovega gibanja s posebnimi zavornimi raketami in padali, umetni planetoidi pa se sploh ne vrnejo na zemljo. Zapiski opazovanj ali fotografski posnetki ne pridejo zato po navadi več v naše roke. Toda radijska tehnika je tako napredovala, da se da dandanes vzpostaviti brezhibna zveza med takimi telesi in zemljo. Tako so sprejele postaje na zemlji n. pr. na tisoče posnetkov zemeljske površine in oblakov, ki jih je posnel med gibanjem meteorološki satelit Tiros. Dne 12. aprila 1961 je kot pri vesoljski potnik obkrožil zemljo sovjetski častnik Jurij A. Gagarin na veliki satelitski ladji Vostok; njemu so sledili pozneje še sovjetski major German St. Titov, Američana John Glenn (sl. 55) in Malcolm Scott Carpenter, potem ko se je že nekaj prej drugi ameriški oficir, Alan Shepard dvignil z raketo 213 km v ozračje in se nato v razdalji 423 km spustil v morje, ne da bi obkrožil zemljo.

Že iz navedenega vidimo, da niso umetni sateliti in vesoljske ladje le izredno zanimiva naprava, ki jo vsi občudujejo, temveč da so taki poskusi tudi velikega pomena za vse veje znanosti o zemlji in o vsemirju in da tudi za tehniko ne pomenijo ravno malo. Na žalost so se vse te priprave zelo verjetno razvijale le vzporedno ali celo daleč za raznimi medcelinskimi vojnimi raketami, ki predstavljajo s svojimi jedrskimi eksplozivnimi glavami eno najbolj strašnih in najbolj »slepih«<sup>o</sup> orožij prihodnje svetovne vojne. Saj morejo take rakete uničiti vsa živa bitja in razrušiti vse, kar stoji ne le v območju posameznih mest, temveč so v nevarnosti kar cele pokrajine. Tako ima tudi ta sijajna pridobitev

človeškega duha, kakor številne druge, svojo senčno stran, za katero pa upamo, da se ne bo mogla uveljaviti, če bodo državniki velikih sil z vso odločnostjo krotili vročekrvneže, ki se ne bi pomišljali priklicati nad človeštvo tako strahotno uničenje.

## 8. LADJE

Med ostalimi pripravami za prenašanje potnikov in blaga so letalom še najbolj blizu ladje; in med njimi so jim še najbolj podobne podmornice. Toda vsaj v enem pogledu je med ladjami in letali neverjetno velika razlika: medtem ko se je letalstvo v kratkih 60 letih razvilo od prvih začetkov do sedanje stopnje, ima ladjedelstvo za seboj že stotine in tisoče let razvoja. Kljub temu pa nikakor ne moremo reči, da je konstruiranje in gradnja ladij že na koncu svojega razvoja, da so vsa vprašanja pojasnjena in da se dajo izpopolniti le še malenkosti. Vprašanje najbolj ugodnih oblik podvodnega in deloma tudi nadvodnega dela ladje, vprašanje pogona, stabilnosti in varnosti in številne druge uganke niso še popolnoma pojasnjene in zahtevajo tudi danes obširno raziskovalno delo in skrbno proučevanje številnih vplivov, ki jih je treba upoštevati pri konstrukciji in gradnji.

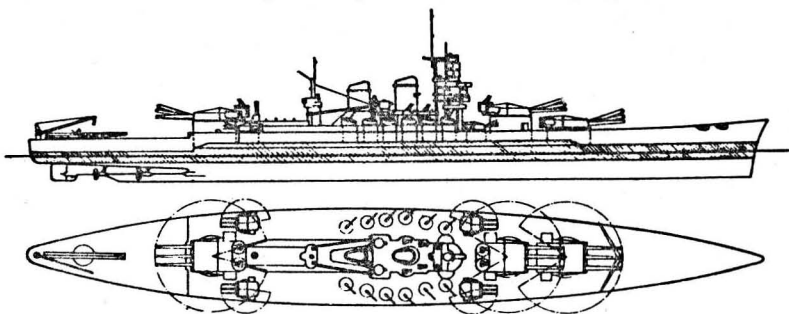
V nasprotju z letali, ki morejo počivati le na trdnih tleh, ali — da se tako izrazimo — le na dnu zračnega morja, je pri ladjah že pritisk mirujoče vode ali hidrostatični pritisk na zunanjo oblogo ladje dovolj velik, da daje zadosti veliko silo navpično navzgor (hidrostatični vzgon) za uničenje vpliva teže. Pri ogromni večini ladij ni torej potreben med vožnjo še velik dodaten vzgon zaradi gibanja ladje ali hidrodinamični vzgon, temveč je ena glavnih nalog konstrukterja predvsem v iskanju takih zunanjih oblik podvodnega dela ladje, ki dajejo med vožnjo čim manjši upor. Prav tako pa je treba seveda tudi poskrbeti, da se ladja tudi na razburkanem morju preveč ne ziblje in da se prenesejo pritiski vode s čim lažjimi nosilnimi deli na tista mesta ladje, kjer so nameščeni težki stroji ali tovari. Predvsem pa ne sme seveda biti ogrožena varnost ladje tudi pri najtežjih pogojih, v katerih utegne pluti.

Kubični meter vode tehta — kakor znano — okrog 1000 kilopondov in daje zato tudi ravno tolikšen hidrostatični vzgon. medtem ko tehta enak obseg zraka ob morski gladini le kilopond in en četrt. Zato ni na eni strani nič čudnega, če je že hidrostatični vzgon vode dovolj velik za plavanje; toda njena velika gostota na drugi strani je kriva, da se upira voda gibanju z veli-

kanskimi silami takoj, ko želimo doseči z ladjami velike hitrosti. Zato so tudi najbolj hitre vojne ladje v primeri z letali in s suhozemnimi vozili razmeroma počasne. Hitrost 40 vozlov, kar ustreza nekako 74 km na uro, je že zelo velika in jo dosežejo le posebne vrste ladij. Vozel je stara enota hitrosti, ki je splošno vpeljana v mednarodnem ladijskem in letalskem prometu in jo ima vozilo, ki prevozi v uri razdaljo ene morske milje ali 1852 metrov.

Upor vode pri gibanju ladje ima nekaj svojih posebnosti proti silam na letalu. Tako igra n. pr. pri ladjah poleg tornega in profilnega upora zelo veliko vlogo tudi valovni upor, ki nastane zaradi dviganja vodnih mas ob premcu (sprednjem delu) in drugod, kjer se mora vodna gladina ob ladji zaradi menjajočih se pritiskov dvigniti ali znižati. Ti valovi se širijo po gladini nazaj na obe strani ladje, nosijo s seboj energijo in zato je njihova tvorba zvezana z uporom. V valovnem uporu je ladja podobna nadzvočnim letalom; saj so ladje skoraj vedno hitrejše od hitrosti širjenja valov. Ta hitrost zavisi namreč predvsem od valovne dolžine in utegne pasti tudi na silno majhno vrednost 21 cm v sekundi (nekaj nad 0,75 km na uro), če gre za zelo kratke valove. Ravno valovni upor je zelo težko določiti računsko in zato pogosto preizkušajo v posebnih vodnih kanalih zmanjšane modele ladij, podobno kakor določajo tudi vzgon in upor letal na pomanjšanih modelih v aerodinamičnih tunelih. Tak vodni kanal za preizkušanje ladij imajo tudi pri nas v Zagrebu.

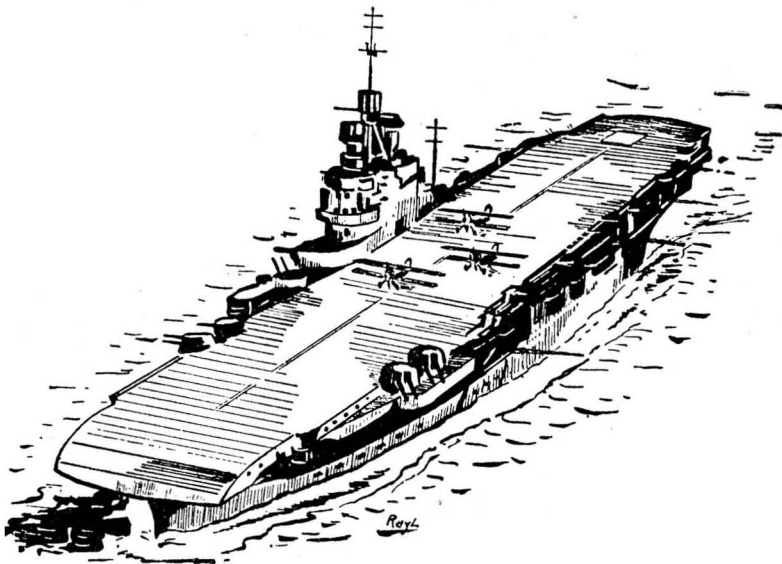
V nasprotju z letali se ladje močno ločijo med seboj tudi po velikosti. Od malih čolnov za eno ali dve osebi pa vse do prekomorskih orjakov imamo celo vrsto oblik, ki so prirejene za razne namene. Posebno vojne ladje se močno ločijo po velikosti in



Sl. 56. Italijanska oklopnica.

V pogledu od strani (zgornja slika) pomeni dolga vodoravna črta gladino morja. Ladja je bila dolga 236 m, široka nekaj čez 32 m in je tehtala 35 000 ton.

po oborožitvi. Poleg velikih oklopnic (sl. 56), ki so bile zlasti pred drugo svetovno vojno največji ponos vseh velikih pomorskih držav, so se posebno v zadnjih 20 letih pojavili še drugi pomorski velikani čudnih oblik: letalonosivke. Izkušnje druge svetovne vojne so namreč pokazale, da se tudi dobro oborožene oklopnice ne morejo uspešno ubraniti srditih letalskih napadov sovražnika, če nimajo svojih lastnih letal v bližini. Zato so v vseh večjih bojih zadnje vojne in posebno na Tihem oceanu z njegovimi velikanskimi razdaljami do kopnega po navadi sodelovale tudi letalonosivke, s katerih so vzletela lovska letala in manjši bombniki, obrambo pred sovražnimi zračnimi napadi ali za podpiranje lastnih čet med boji na kopnem. Da pridobijo za letala čim več prostora, so vsi dvignjeni deli letalonosivke kakor komandni most, opazovalni stolpi, topovska gnezda itd., potisnjeni čisto h kraju na desno in levo stran vzletnega krova (sl. 57), tako da je zunanji pogled na tako ladjo nekoliko čuden.



Sl. 57. Starejša letalonosivka.

Letala na krovu so narisana v pretirani velikosti.

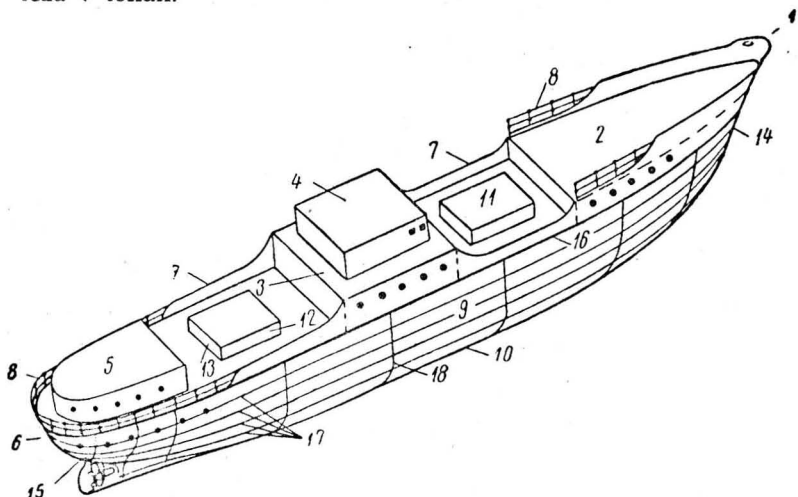
Medtem ko so obdani vsi bolj ali manj važni prostori velikih oklopnic z oklepom iz posebnega jekla debeline do 45 cm, so letalonosivke in nekatere križarke zavarovane le z razmeroma tankimi oklepi, druge vojne ladje pa so sploh brez oklepa. Debel

oklep je namreč težak in oklepnicca se zato znatno globlje pogrezne v vodo kakor ladja brez oklepa. Posledica večjega ugrezanja pa je manjša hitrost ob enako močnih strojih. Pri križarkah, katerih glavna naloga je prestrezanje lažjih sovražnih enot in lov na trgovske ladje, prav posebno pa pri torpedovkah, ki se morajo med nenadnimi torpednimi napadi silno hitro gibati, takega zmanjšanja hitrosti ne moremo dovoliti in zato pri njih oklep odpade ali pa je zelo tanek.

Preden pridemo do natančnejšega opisa ladje, moramo še na kratko povedati, kako se meri njihova velikost. Navedba dolžine, ki se meri navadno v vodoravni smeri med navpičnicama skozi skrajno sprednjo in zadnjo točko ladijskega trupa, ni seveda povsem pravilno merilo velikosti ladje, ker ne upošteva tudi širine in višine. Saj nosi dvakrat daljša ladja v splošnem kar osemkrat večji tovor! Zato je boljše vzeti za merilo velikosti take količine, ki podajajo nosilnost ladje ali so vsaj z njo v tesni zvezi. Spodriv ali deplasmá je skupna teža natovorjene ladje, navadno merjena v metrskih tonah po 1000 kp. Ker tehta vsak kubični meter morske vode nekaj malega več kakor 1000 kp, izpodrine ladja s svojim ugreznjenim delom skoraj ravno toliko kubičnih metrov vode, kolikršen je tudi njen spodriv v metrskih tonah.

Pri trgovskih ladjah pa je bolj važna od spodriva druga količina, ki je v manj tesni zvezi tako s skupno težo ladje kakor z njeno nosilnostjo (nosilnost je največja dopustna teža vseh tovorov skupaj). Ta količina se imenuje tonaža in pomeni v resnici le prostornino vseh zaprtih delov ladje (bruto tonaža) ali pa tistih zaprtih delov ladje, ki služijo za prevoz potnikov in plačanega tovora (neto tonaža). Da bi bila stvar za nepoučenega še bolj nepregledna, se navaja ta količina v enotah po 100 angleških kubičnih čevljev, torej v enotah po 2,83 kubičnih metrov. Od tonaže so odvisne pristojbine, ki jih morajo ladje plačati za pristajanje v pristaniščih, za plovbo npr. skozi Sueški kanal itd. Za trgovske ladje navajajo navadno njihovo neto tonažo. Tovorna ladja s 3000 tonami ima torej zaprtih tovornih prostorov v skupni velikosti  $3000 \cdot 2,83 = 8490$  kubičnih metrov. Povprečna bruto tonaža take ladje je 4500 ton, kar pomeni, da ima ladja skupaj zaprtih prostorov v velikosti  $4500 \cdot 2,83 = 12735$  kubičnih metrov, njen spodriv ali skupna teža tovora z ladjo vred je okrog 7 500 000 kilopondov. Znana francoska potniška ladja »Normandie« je imela bruto tonažo 83 423 ton ali okrog 235 000 kubičnih metrov vseh zaprtih prostorov, njen izpodriv je bil 68 500 ton ali 68 500 000 kilopondov. Od te teže je odpadlo na potnike in koristni tovor le 6300 ton ali 6 300 000 kilopondov, na gorivo pa 5700 ton ali

5 700 000 kilopondov. Iz teh podatkov se vidi, da je treba pri navedbah za velikosti ločiti tako imenovano tonažo ladje od njenega izpodriva. Čeprav navajamo oboje v tonah, pomeni tonaža le podatek za velikost zaprtih prostorov, drugo pa je res njena teža v tonah.

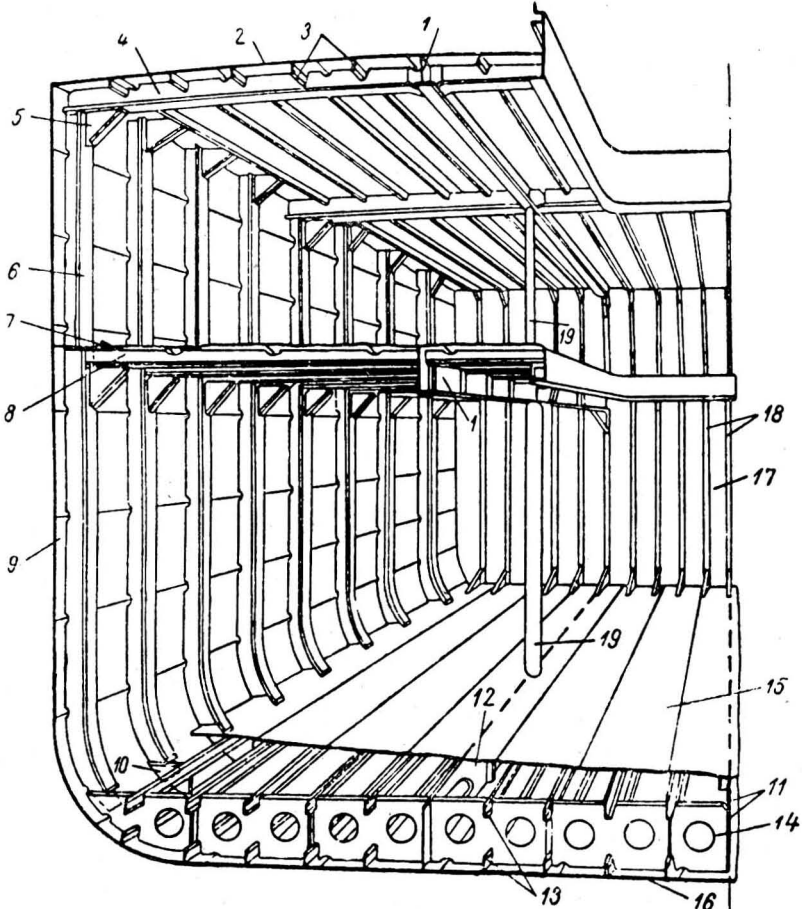


**Sl. 58. Trup in krovne gradnje parnika.**  
Dimniki, jambori in druga oprema ni vrisana.

Glavni deli ladje so trup, krovne gradnje, pogonska naprava, krmilo in oprema. Na sl. 58. vidimo trup parnika z glavnimi krovnimi gradnjami, ki ima zadaj (15) vijak in krmilo. Trup ima v bistvu obliko neke vrste škatle, ki je pokrita od vseh strani z oblogo in kateri dajo zadostno trdnost razni nosivci. V oblogo so vrezani le izrezi v zgornjem krovu v obliki odprtih za nakladanje blaga, za dostop v notranjščino, za zračenje itd. V stranskih stenah trupa pa imamo v glavnem le odprtine za okna, ki se dajo nepropustno zapreti. Poleg zgornjega krova imamo pri velikih ladjah tudi enega ali več vmesnih krovov, tako da je ladja tudi po višini razdeljena na več delov. Obloga in vsi nosilni deli večjih ladij so iz jekla, medtem ko je trup manjših ladij in čolnov večkrat tudi iz lesa.

Nosivcev, ki skupaj z oblogo sestavljajo ladijski trup, ne bomo podrobno opisovali. Naj samo omenimo, da mora imeti vsaka ladja tako prečne nosivce ali rebra, ki so položena prečno k vzdolžni osi ladje, kakor tudi vzdolžne nosivce. Trgovske ladje pa imajo zelo pogosto le malo vzdolžnih nosivcev in še ti so v

primeri s težo ladje zelo slabotni. Za take ladje pravimo, da imajo prečno izdelavo. Ker nimajo v vzdolžni smeri posebno močnih nosivcev, mora skoraj vse obremenitve prenesti le obloga s slabotnimi pomožnimi vzdolžnimi nosivci. Obremenitve v vzdolžni smeri so posebno hude, kadar dvigne n. pr. en sam val srednji del ladje v višino in se zato sprednji in zadnji del (premec in krma) opreta na srednji del. Pri ladjah vzdolžne izdelave pa so nosivci tako urejeni, da imamo tudi v vzdolžni smeri visoke nosilne dele, ki bistveno pomagajo oblogi pri prenašanju tež s premca in krme na srednji del in obratno.



Sl. 59. Prečni prerez čez polovico parnika.



Na sl. 59 je narisana prečni prerez leve polovice manjšega parnika. Spodaj ima parnik dvojno dno s številnim vzdolžnimi nosivci, na levi pa vidimo zunanjo oblogo trupa in veliko reber. Poleg glavnega krova zgoraj ima ta parnik še vmesni krov. V oba krova je v sredi vrezana odprtina za tovor, spredaj pa vidimo nepropustno pregrado 17 z močnimi ojačitvami 18, da je vodni pritisk ne poruši, če bi po nesreči vdrla voda v prostor pred njo.

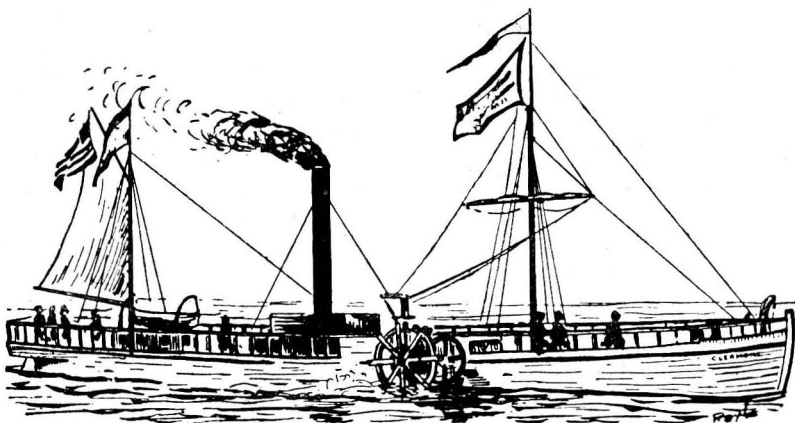
Ladje s strojnim pogonom žene naprej navadno eden ali več vijakov, ki so nameščeni zadaj na krmi tako globoko, da ne segajo iz vode tudi na razburkanem morju. Ladijski vijaki so po oblikah močno podobni letalskim vijakom z razliko, da se vrtijo bolj počasi in da imajo razmeroma majhen premer. Voda je namreč približno 800-krat gostejša od zraka in bi bil zato tudi njen upor pri enakem vijaku tolikokrat večji kakor v zraku. Da bi zmanjšali velike hitrosti zunanjega dela vijačnih listov na čim manjšo mero, vzamemo tudi širino posameznih listov ladijskega vijaka veliko večjo kakor pri letalskem vijaku in prav tako je tudi število listov pri prvih po navadi večje.

Ladijski vijak se je od prvih poskusov razvil razmeroma hitro in na več mestih hkrati. Med prvimi, ki so se pečali s konstrukcijo in gradnjo ladijskega vijaka, je bil češki gozdarski inženir Josip Ressel, ki je leta 1829 tudi napravil uspešni poskus vožnje v Trstu. Zaradi okvar na parnem stroju je moral poskuse prekiniti, pozneje pa so mu vožnje kar prepovedali, češ da moti javni mir. Ker tudi ni mogel dobiti sredstev za nadaljnje delo, je stvar pri nas zaspala in čast izpopolnitve te važne naprave je pripadla tako drugim izumiteljem. Ressel je umrl v Ljubljani, kjer je tudi pokopan.

Pred vijačnim pogonom so imeli parniki na obeh straneh po eno gonilno kolo z lopaticami. Med vrtenjem kolesa so se potopile lopatice v vodo in potiskale tako parnik naprej. Toda doba splošne uporabe lopatičnega kolesa je bila razmeroma kratka: gradili so jih od l. 1807, ko je začel voziti prvi parnik Clérmont (sl. 60) (čitaj Klermon) med New Yorkom in Albanyjem (čitaj: Olbénijem), pa tja približno do l. 1860, ko je začel zmagovati vijačni pogon. Dandanes imajo lopatična kolesa le še nekatere rečni parniki, ker so taka kolesa bolj zavarovana proti udarjanju ob tla na plitvinah kakor vijaki.

Moč strojev za pogon vijakov ne zavisi le od velikosti ladje, temveč v enaki meri tudi od njene hitrosti. Medtem ko odpade n. pr. pri potniških letalih na vijačni pogon od 4 do največ 8 kp skupne teže na eno konjsko moč, imajo stroji pri potniškem par-

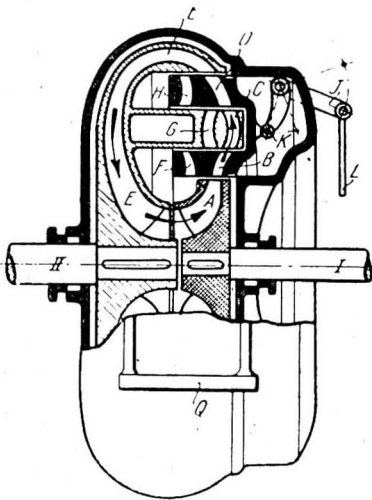
niku, ki izpodriva 22 900 ton, skupno okrog 38 000 konjskih moči, pri enako velikem tovornem parniku pa le 4000 konjskih moči. Toda največja hitrost prvega parnika je skoraj 24 vozlov, drugi pa ne doseže večje hitrosti kakor 12 vozlov. Iz tega se vidi, da rabi parnik za dvakratno hitrost nekako osemkrat več moči in da odpade pri prej omenjenem počasnem parniku na eno konjsko moč nekako ravno toliko ton skupne teže, kolikor pride pri letalih kilogramov! Skratka: pri vodnem transportu je najbolj gospodarna počasna vožnja, medtem ko se pri potniških letalih bolj izplača povečati hitrost, saj ne raste upor letal tudi po prekoračitvi zvočne hitrosti niti od daleč tako močno kakor pri ladjah.



Sl. 60. Prvi parnik »Clérmont«.

Od strojev za pogon vijakov pridejo za zelo majhne, srednje in za dokaj velike moči v poštev predvsem stroji z notranjim zgorevanjem na bencin ali nafto. V najnovejši dobi so začeli že uporabljati za pogon ladijskih vijakov tudi posebne dizlove stroje, pri katerih izrabljajo naknadno še veliko energijo zgorelih plinov, ko zapustijo valj. Ti plini ženejo namreč posebne kompresorje, ki zrak že pred vstopanjem v valje stisnejo kar na dve in pol atmosferi. S takimi stroji, ki jih navadno imenujemo kombinirane ali batno turbinske stroje, so dosegli že moči do 36 000 konj in so izrabili za opravljanje dela do 41,5 odstotkov vse energije goriva. Ladje na motorje z notranjim izgorevanjem imenujemo motorne ladje, medtem ko se je udomačilo za ladje s parnim pogonom ime parnik.

Poleg strojev z notranjim izgorevanjem uporabljajo za pogon manjših ladij včasih še batne parne stroje. Da bi se vrteli tudi ti stroji čimbolj enakomerno, teče po navadi para v njih zaporedoma skozi dva ali tri valje z raznimi premeri in s prestavljenimi ročicami. Kljub temu pa se navadno že po več ali manj močnem bitju delov ladijskega trupa v bližini strojev takoj spozna ali ima parnik batne stroje ali ne. Veliki in največji parniki in silno hitre ladje pa uporabljajo namesto batnih strojev parne



Sl. 61. Hidravlična prestava »Vulkan«.

Gred I parne turbine žene črpalko A, od koder gre voda v turbini C in E, ki vrtita z gredjo II vred tudi vijak. Črno zarisani deli se med delom ne vrtijo.

Za prenašanje manjših moči s turbine na vijak se dajo uporabiti tudi hidravlične prestave. Pri taki prestavi je na gredi parne turbine nasajen tekač A (sl. 61), ki je neke vrste centrifugalna črpavka. Ta žene vodo skozi eno ali dve vodni turbini, katerih rotor je pritrjen na vijačni gredi in tako žene vijak. Iz turbine teče navadno voda stalno zopet nazaj v črpalko, tako da neprestano kroži in je zato ni treba nadomeščati. Še boljši način prestave, ki pa je zelo drag, je turbo-električna prestava. Parna turbina žene v tem primeru električni generator, ki daje istosmerni ali vrtilni tok. Če primerno uredimo elektromotor, ka-

turbine. Toda rotorji parnih turbin se morajo vrteti zelo hitro (število vrtljajev 1000 do 4500 v minuti), ladijski vijaki pa počasi (večji parniki s turbini imajo od 100 do 350 vrtljajev na minuto). Zato je treba med parno turbino in vijak vključiti reduktor ali prestavo. To dosežemo na najbolj preprost način tako, da je na turbinskih gredih pritrjen po eden ali več malih zobnikov, na gredi vijaka pa velik zobnik, ki se vrti tem počasneje, čim večji je njegov premer v primeri s premerom malih zobnikov. Vsak majhen zobnik prenese sicer nekako največ le 20 000 konjskih moči na vijačno gred, toda s povečanjem njihovega števila se da urediti na zadovoljiv način prenašanje velikih moči (do 50 000 konj na en vijak).

teremu dovajamo tok iz generatorja, se bo njegova gred z vijakom vrtela po želji znatno počasneje od turbinske gredi. Poleg znatnih izgub na energiji (po navadi več kakor 8 odstotkov) pa je ta način prestave tudi razmeroma drag, ker je sestavljen kar iz treh strojev namesto iz enega. Zato ga kljub nekaterim prednostim le redko uporabljajo.

Drugih naprav na ladjah ne bomo obravnavali, čeprav so med njimi tudi zelo zanimive stvari. Krmilo, s katerim spreminja ladja smer vožnje, je n. pr. v bistvu le dokaj velika plošča na krmi ladje, ki se da s posebnim strojem zavrteti v večji ali manjši meri okrog navpične osi. Voda daje na odklonjeni plošči vzgon, ki potiska krmno v svojo smer in zavrti na ta način ladjo v tisto stran, kamor je obrnil tudi stroj ploščo.

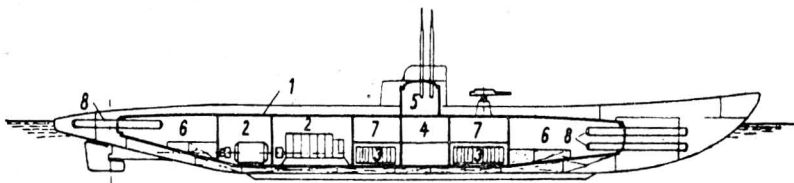
## 9. POSEBNE VRSTE LADIJ

Jasno je, da zavisi notranja ureditev prostorov in oprema v veliki meri od namenov, za katere je ladja zgrajena. Pa tudi zunanja oblika se v večji ali manjši meri spreminja z načinom uporabe. Tako n. pr. morajo imeti ladje za prevoz surove nafte številne močne vmesne stene med posameznimi prostori, da ne bi pljuskajoča nafta na nemirnem morju preveč neugodno vplivala na zibanje ladje. Da bi zmanjšali nevarnost požara, ki je pri takih ladjah ali tankerjih posebno velika, je tudi vsa motorna naprava s svojimi številnimi vročimi deli pomaknjena čimbolj nazaj. Ker pa bi zašli predaleč, če bi hoteli bolj natančno opisovati razne vrste posebnih ladij, si hočemo tu na kratko ogledati le nekaj takih konstrukcij, ki se skoraj v vsakem pogledu bistveno ločijo od navadnih ladij.

Najprej se bomo nekoliko zadržali pri podmornicah, t. j. pri majhnih vojnih ladjah, ki plujejo tako po morski gladini kakor pod njo in ki so v obeh svetovnih vojnah igrale izredno važno vlogo. Že iz same zahteve, da mora biti podmornica sposobna tako za vožnjo na morski gladini kakor tudi pod vodo, sledi nekaj lastnosti, po katerih se loči ta vrsta od vseh ostalih ladij. Da se ladja potopi, mora njena teža skupaj z vsem, kar je na njej, postati nekoliko večja od teže vodne množine, ki bi zavzemala ravno toliko prostora, kolikor ga zavzema vsa ladja. Zato moramo na podmornici predvideti posebne prostore, ki jih po volji preplavimo z morsko vodo ali pa jih napolnimo s stisnjenim zrakom, ki vodo iztisne iz njih.

Toda to še ni dovolj. V nasprotju z razmerami v zraku rastejo namreč v vodi pritiski silno naglo z globino. Medtem ko pritiska zrak ob morski gladini, torej na dnu »zračnega morja« le s pritiskom nekaj nad 10 000 kp na kvadratni meter ploskve, naraste pritisk v morju za to količino takoj, ko se potopimo le 10 metrov globoko. To pa pomeni velikansko obremenitev trupa podmornic, ki se morajo potapljati tudi do 100 in več metrov globoko. Že če bi vzeli popolnoma neprodušen majhen zaboj v obliki kocke, čigar zunanji robovi bi bili vsi dolgi le po en meter, bi na vsako kvadratno stransko ploskev v globini 10 metrov pritiskala voda v smeri navznotraj z velikansko silo po 110 000 kilopondov (ali 110 ton). Na vodoravno kvadratno ploskev spodaj bi bil vodni pritisk v smeri navzgor 110 500 kilopondov, na zgornjo ploskev pa bi pritiskala voda s silo 109 500 kilopondov navpično navzdol. V celoti bi torej dajala voda silo navzgor ali vzgon v velikosti 1000 kilopondov. Če bi torej imeli v notranjščini takega zaboja navaden zračni pritisk, bi na vsaki stranski ploskvi v celoti pritiskala razlika vodnega in zračnega tlaka v velikosti 100 000 kilopondov na znotraj, medtem ko bi bile sile na zgornji in spodnji ploskvi za 500 kilopondov manjše oz. večje od te vrednosti.

S povečanjem mer rastejo seveda sorazmerno tudi sile zaradi vodnega pritiska, tako da ravne ploskve sploh ne pridejo v poštev kot stene podmornic. Izdelati bi jih bilo namreč treba iz silno debelih plošč, ki bi vrhu tega morale biti še ojačene z debelimi rebri. Če pa izdelamo odporno lupino ali oklop podmornice v obliki krožnega valja, ki ga zapremo na obeh straneh še s polukroglo, se potrebna debelina sten zmanjša na nekaj centimetrov. Iz zahteve, da mora imeti podmornica posebne predele za poplavljanje in da je za prenašanje velikih vodnih pritiskov zelo primerno valjasto telo, so nastale oblike, od katerih kaže sl. 62 najbolj pogosto izvedbo.



Sl. 62. Vzdolžni prerez manjše podmornice.

Med zunanjim obrisom in debelo zarisanim oklepom imamo poplavne komore. V sredini je komandni stolp (5) in centrala (4); stroji so pri (2), cevi za spuščanje torpedov pa so označene z 8.

Za pogon podmornic so do pred kratkim uporabljali predvsem dizlove motorje. Ker pa bi zgoreli plini v najkrajšem času pokvarili zrak v podmornici, je bilo treba za vožnjo v potopljenem stanju predvideti drugačen način pogona. Zato žene dizlov motor v desnem prostoru na prejšnji sliki električni generator v levem prostoru 2 in čez njega šele vijak, ki na sliki ni zarisan. Tok električnega generatorja polni med vožnjo po morski gladini električne akumulatorje v prostorih 3, obenem pa vrtil dizlov motor še vijak. Med vožnjo v potopljenem stanju je dizlov motor odklopljen; akumulatorji oddajajo električni tok stroju, ki je služil prej kot generator, in ga silijo, da se vrtil in da kot elektromotor žene vijak. Poleg navadnega krmila za spreminjanje smeri vožnje imajo podmornice spredaj in zadaj na obeh straneh trupa tudi posebna globinska krmila. To so v bistvu lepo oblikovane vodoravne plošče, ki se dajo vrteti okrog svoje vodoravne vzdolžne osi. Če take plošče med vožnjo nagnemo, se pojavi na njih vzgon, ki zavrti podmornico okrog vodoravne prečne osi in jo spravi v gibanje poševno navzgor ali navzdol.

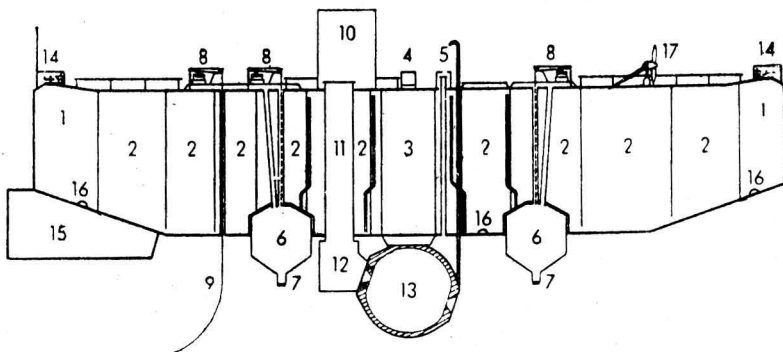
V zadnjih mesecih druge svetovne vojne so začeli uporabljati Nemci novo vrsto podmornic, ki so jih gnale tako pri plovbi na morski gladini kakor tudi pod njo parne turbine posebne vrste. Posebna spojina kisika in vodika, ki ima v primeri z vodo več kisika (njena molekula ima po dva atoma kisika in vodika) in ki se imenuje zato superoksid, razpada pod vplivom neke druge spojine (natrijevega permanganata) in daje vodno paro. Tako paro so že uporabljali tudi za pogon parnih turbin, ki so gnale črpalke za črpanje alkohola in tekočega kisika v raketni motor znanega orožja V-2. Ker se dá voda brez težav odstraniti, niso bili potrebni pri novi vrsti podmornic akumulatorji in zato je mogla ostati taka podmornica pod vodno gladino veliko dlje kakor navadno, ker morajo navadne izvedbe od časa do časa na površje, da znova napolnijo akumulatorje. Poleg tega so se dale parne turbine za krajša razdobja zelo močno preobremeniti, tako da so dosegle nove podmornice med vožnjo pod vodo tudi hitrosti do 24 vozlov.

Podobne in še boljše lastnosti kakor ravnokar opisana vrsta imajo podmornice na jedrski pogon, čeprav je pri njih vir energije le čisto drugačen. Tudi te podmornice imajo parne turbine, ki pa dobivajo paro iz jedrskega reaktorja. Ko opravi para delo v turbini, pride v kondenzator, kjer se shladi in spremeni v vodo; od tam jo črpalke znova potisnejo v reaktor, kjer se segreje in spremeni v paro, tako da more znova opravljati delo.

Čeprav so podmornice na jedrski pogon razmeroma nove,

so dosegli z njimi že lepe uspehe. Tako je na primer ameriška podmornica »Nautilus« plula pod večim ledom okrog Severnega tečaja z ene strani na drugo in je prevozila v potopljenem stanju več 1000 kilometrov, ne da bi se ji bilo treba dvigniti na površje. Ta podvig, ki je z znanstvene in tehnične strani gotovo zelo pomemben, kaže, da bi mogle postati podmornice na jedrski pogon eno izmed najbolj uspešnih sredstev za raziskovanje manjših morskih globin in celo razmeroma cenena naprava za hiter prevoz tovorov čez morja. Žal pa so podmornice tudi eno najbolj nevarnih pomorskih orožij, saj so potopile v drugi svetovni vojni samo transportnih ladij v skupni tonaži nad 15 milijonov ton.

Dasi se države in vojaški krogi za prodiranje v vedno večje morske globine ne zanimajo preveč, je zato raziskovalna vrednost takih poskusov toliko večja. Toda če bi hoteli graditi podmornice tudi za silno velike globočine na enak način kakor za razmeroma majhne globine do 300 metrov, bi kmalu prišli do nepremagljivih težav. Z naraščajočo globino se namreč debelina oklepa vedno bolj veča in vzgon morske vode na oklopljeni del postane kmalu manjši od teže cele naprave. Če bi vzeli poplavne komore okrog oklepa zelo velike, bi sicer z iztiskanjem vode iz njih še vedno dobili zadosten vzgon; toda z večanjem poplavnih komor ne moremo iti predaleč. Zato so na pobudo pred kratkim umrlega raziskovavca profesorja A. Piccarda (čitaj: Pikara) konstruirali in zgradili v Tržiču (Monfalcone) pri Trstu batiskaf<sup>1</sup>. Pri tej



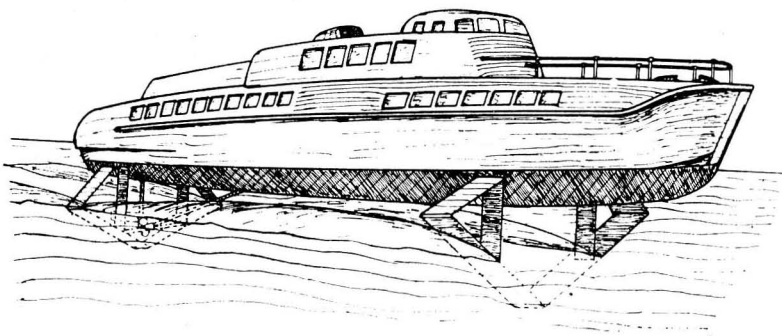
Sl. 63. Pogled na batiskaf »Trieste« od strani.

<sup>1</sup> Ime je sestavljeno iz dveh grških besed: bathys pomeni globok, skaphos pa banja ali ladja.

napravi, ki se imenuje »Trieste« po kraju, kjer je bila zgrajena, je proti tlaku odporna kabina ločena od nekakšnih poplavnih komor (sl. 63) in ima obliko krogle. Nad njo je valjasto telo, ki je napolnjeno v glavnem z lahkim bencinom. Razlika med specifično težo morske vode in bencina pomaga nositi kroglo, čeprav je v rezervoarjih bencina enak pritisk kakor v morju. Batiskaf se potaplja, če spuščamo bencin iz posode 3 skozi zaklopko 4 v morje in se začne dvigati, če odmetavamo skozi odprtino 7 železne kroglice iz obeh posod 6.

Batiskaf ima tudi dva majhna vijaka (na sliki je eden od njih označen s 17), ki ju ženejo akumulatorji. Hitrost cele naprave pri polnem delu obeh motorjev je le približno 0,3 km na uro, kar pa za raziskovanja popolnoma zadošča. Piccardov sin Jacques (čitaj: Žak) in Amerikanec Don Walsh (čitaj: dan ouliš) sta po več poskusih z batiskafom dosegla velikansko globočino okrog 11 km.

Se eno čudno vrsto ladij naj na kratko omenimo: ladje na podvodna krila. V nasprotju z drugimi ladjami se ta naprava dvigne med vožnjo tako visoko, da je ves njen trup pri zadosti veliki hitrosti popolnoma dvignjen nad vodo in da nosijo tedaj vso težo ladje samo posebna sprednja in zadnja krila, ki se gibljejo pod vodo in na katera se ladja opira s posebnimi podporami (sl. 64). Za pogon vijaka pri zadnjih krilih služi dizlov



Sl. 64. Ladja na podvodna krila.

motor, ki je v trupu in je z dolgo gredjo zvezan z vijakom. S takimi napravami se da doseči hitrost do 110 km na uro, ne da bi bilo treba vgraditi pretirano močne motorje. Ob naši morski obali sta leta 1961. obratovali dve taki ladji: »Vihor« na Reki in »Delfin« v Splitu, kamor ga je posodilo avtobusno podjetje »Slav-



nik« iz Kopra; toda prvi poskusi se niso popolnoma obnesli. Ladje te vrste imajo namreč svoje tehnične in obratovalne posebnosti, ki jih je treba preštudirati in temu primerno urediti vožnje. Po vesteh v dnevnem časopisju je imela ladja »Vihor« tudi nekaj drugih težav, ki so bile zvezane predvsem z nezadostnimi skušnjami inozemskih graditeljev pri konstruiranju prvih takih naprav.

## 10. AVTOMOBILI

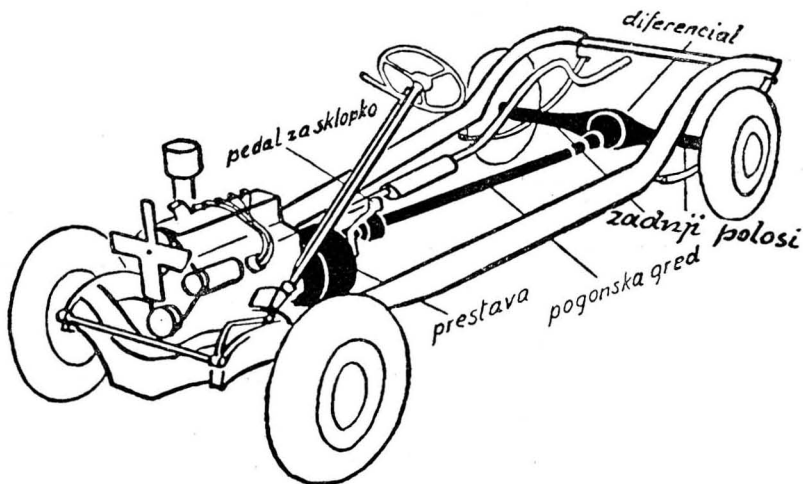
Zamisel, da bi poganjali cestna vozila z mehanično močjo, je stara več stoletij; toda pred izpopolnitvijo parnega stroja in lokomotive so imeli izumitelji le nejasno predstavo o najbolj ugodnem načinu pogona takih vozov. Večina njih si je npr. zamišljala, da bi se dalo poganjati vozilo najlaže z nekakšno parno raketo. Para bi namreč uhajala iz kotla v nasprotni smeri vožnje in bi gnala na ta način kotel z vozilom vred v pravi smeri. Razni manjši poskusi pa so kmalu pokazali, da je poraba pare pri takih napravah v primeri z doseženimi uspehi ogromna in da tak način pogona za cestna in druga počasna vozila nikakor ne pride v poštev.

Ko je angleški izumitelj J. Watt (čitaj: uot) močno izpopolnil parni stroj, so kmalu začeli nekateri izumitelji misliti na njegovo uporabo za pogon cestnih vozil. Nova pobuda za tako delo je prišla, ko je Anglež G. Stephenson (čitaj: stivenzon) zgradil l. 1825 zelo uspešno parno lokomotivo za prvo železnico med krajema Stockton in Darlington (čitaj: Stokton in Darlinton) v Angliji. V tej deželi so se kmalu za tem res pojavile razne več ali manj uspešne konstrukcije »parnih voz«, ki so prevažale ljudi, pošto in blago po cestah iz enega kraja v drugi. Seveda so bila ta cestna vozila še zelo nerodna; saj so imela npr. kar lesena kolesa z železnimi obroči, ker gumijastih koles takrat še niso poznali. Zaradi številnih dejanskih in umišljenih napak teh »parnih vozov« so njihovi nasprotniki kaj kmalu dosegli, da je bil v Angliji izdan poseben zakon o cestnem prometu, ki je njihovo uporabo na javnih cestah kratko in malo onemogočil. Dovoljeval je namreč kot največjo hitrost le 6 km na uro in pred vsakim takim vozilom bi moral hoditi poseben uslužbenec z rdečo zastavico, da bi potnike opozarjal na bližajočo se nevarnost.

Prepovedi in razmeroma majhna potreba po takih vozilih so popolnoma zadržale njihov razvoj, dokler se ni v zadnjih desetletjih prejšnjega stoletja pojavila s stroji z notranjim zgo-

revanjem nova vrsta pogonskih naprav. Ker so pri enaki moči stroji z notranjim zgorevanjem mnogo lažji od parnih strojev in ker ravno ceste ne prenesejo tako velikih tež kakor železniške tračnice, je šele nova vrsta motorjev omogočila kaj hiter razvoj cestnih vozil na motorni pogon — avtomobilov. V teku nekaj desetletij je pomen avtomobilov in avtomobilskega prometa tako narastel, da gradijo danes povsod po svetu celo posebne avtomobilske ceste, ki so namenjene izključno prometu z motornimi vozili.

Kateri so glavni deli avtomobila? Enega najvažnejših — motor — smo že omenili. Vrtilno moč motorja pa moramo prenesti na gonilna kolesa in v tem prenosnem sklopu morajo biti vgrajeni trije važni deli, ki jih navadno druga vozila nimajo: prestave, kardani in diferencial. Da se je mogoče umikati in obračati, mora imeti avto tudi krmilno napravo. Vsi ti deli so pri večini avtomobilov pritrjeni na posebnem nosilnem ogrodju ali šasiji<sup>1</sup>, na katero se opira tudi zgornji del avtomobila, ki mu pravimo karoserija<sup>2</sup>. Le pri nekaterih potniških avtomobilih je karoserija sama dovolj močna, da nosi vso težo in da zato šasija odpade. Dalje mora imeti vsak avto še napravo za spreminjanje moči



Sl. 65. Šasija potniškega avtomobila.

<sup>1</sup> Beseda pride iz francoščine (chassis, beri: šasi) in je pomenila prvotno okvir.

<sup>2</sup> Tudi ta beseda prihaja iz francoščine (carrosserie, beri: karosri) in pomeni kolarstvo.

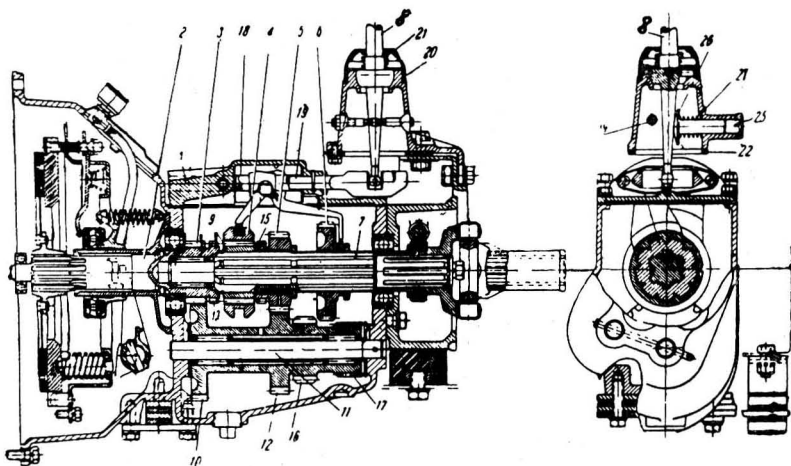
motorja (za dajanje in odvzemanje »gasa«), za zaviranje in razno električno opremo, ki napravlja vožnjo bolj varno ali udobnejšo.

Na sl. 65 vidimo nekaj glavnih delov starejšega osebnega avtomobila, pri katerem ima nosilno ogrodje v glavnem obliko nekakšnega okvirja, ki nosi spredaj motor. Izpušni plini tečejo iz motorja po dolgi cevi zadaj na prosto. Na tej poti morajo iti tudi skozi razširjeni dušilec, kjer se z večkratnim prehajanjem skozi vedno širše prereze njihov pritisk vedno bolj zniža. Tako se izognemo močnemu pokanju, ki je nujno zvezano z neposrednim iztekanjem močno stisnjenih zgorelih plinov na prosto. Takoj za motorjem je škatla z zobniki ali prestava. Z vzvodom, ki je pritrjen na krmilnem kolesu ali volanu, premika volnik zobnike prestave, potem ko je s pritiskom leve noge na pedal v posebni sklopki pretrgal zvezo med motorjem in prestavo. Ko ponovno priključi motor na prestavo, povzročijo spremenjeni zobniki pri enakem vrtenju motorja hitrejše ali počasnejše vrtenje koles. Za motorjem vidimo tudi poševno os z volanom, ki služi za spreminjanje smeri vožnje. Avtomobili imajo dve vrsti zavor: ročno in nožno. Prva vpliva večkrat le na gred za prestavo in more zato koristiti le tedaj, kadar motor ne dela. Med vožnjo uporabljamo zato vedno le nožne zavore, ki so veliko močnejše od ročne zavore. Pri sprožitvi nožnih zavor pritisnemo namreč z desno nogo na bat nekakšne hidravlične stiskalnice; stisnjena tekočina pritisne čeljusti na zavorne bobne vseh koles in ustavi na ta način avto na razmeroma kratki poti.

V podroben opis posameznih delov motorja in naprave za prenašanje moči se ne bomo spuščali, ker bi zašli predaleč. Naj zato samo kratko navedemo, da je prestava pri uporabi strojev z notranjim zgorevanjem nujno potrebna, ker zavisi njihova moč v veliki meri tudi od števila vrtljajev in ne le od tega, koliko »plina« je »dodal« volnik s pritiskom na poseben nožni vzvod za plin. Če torej želimo, da bo dajal motor tudi pri počasni vožnji dovolj moči, moramo urediti prestave tako, da se bo gred motorja (na levi strani sl. 66) vedno približno enako hitro vrtela ne glede na hitrost vožnje. To dosežemo s prestavljanjem-vzvoda 8, ki spravlja razne zobnike gredi 7 v zvezo z zobniki 12, 16 ali 17 pomožne gredi 11. Ta gred je čez oba zobnika 3 in 10 zvezana z gredjo 2 in prejema čez sklopko moč od motorja. Na koncu gredi 7 (na desni strani slike) je še kardanski člen in nato gred, ki vodi proti zadnjima kolesoma.

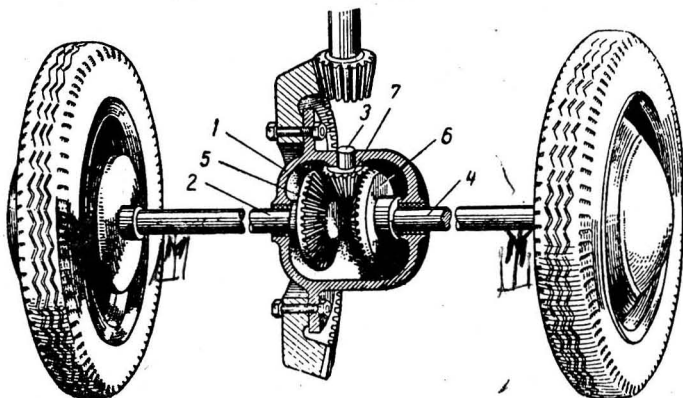
Kardanski člen ima nalogo omogočiti pravilno delo gredi od menjalnika proti kolesom, čeprav je menjalnik trdno pritrjen na

nosilnem ogrodju avtomobila, medtem ko so kolesa na vzmeteh in se zato proti ogrodju nekoliko pomikajo. Še bolj zanimiva naprava pa je diferencial (sl. 67), katerega naloga je gnati na ravni cesti obe gnani kolesi avtomobila po možnosti enakomerno naprej, v ovinkih pa dovoljevati zunanjemu kolesu hitrejše vrtenje kakor notranjemu, ker mora opraviti zunanje kolo posebno na ostrem ovinku znatno daljšo pot kakor kolo na notranji strani. Gred, ki pride od kardana, ima mali stožčasti zobnik. Ta



Sl. 66. Prestava s sklopko in kardanom.

Na levi je sklopka in menjalnik z menjalnim vzvodom 8, na desni je kardanski člen; čisto na desni je prečni prerez prestave.



Sl. 67. Pogled od zgoraj na diferencial s stožčastimi zobniki.

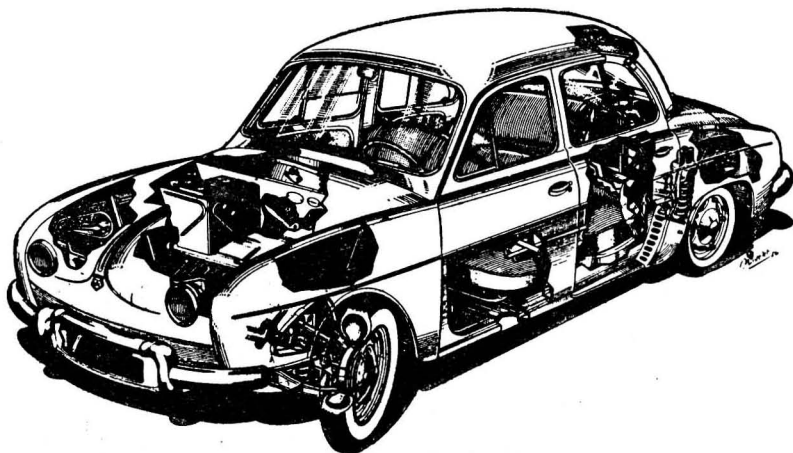
prijemlje v veliki zobnik, na katerem je z vijaki pritrjeno ohišje 1. Vsa naprava je dejansko na avtomobilu skrita skupaj s stožčastimi zobniki v mirujočem ohišju v sredi med obema zadnjima kolesoma in je v resnici manjša, kakor jo kaže slika. Ohišje 1, ki se med vožnjo vrti, ima posebne ležaje 3 za dva ali več manjših zobnikov 7. Ti zobniki prijemljejo v zobnika 5 in 6, ki sta čez osi 2 oz. 4 zvezana vsak z enim od obeh zadnjih koles avtomobila. Med vožnjo naravnost se vrtita le stožčasta zobnika in z njima vred tudi oba zobnika 5 in 6 oz. obe avtomobilski kolesi z enako hitrostjo. Po potrebi pa se more tudi eno od obeh avtomobilskih koles in pripadajoči zobnik 5 ali 6 hitreje ali počasneje vrteti. V tem primeru se ne vrti zobnik 7 le z ohišjem vred okrog vodoravne osi, ki veže središči obeh avtomobilskih koles, temveč tudi okrog svoje navpične osi 3 znotraj ohišja.

Električna oprema avtomobilov je dandanes zelo dobra in zanesljiva. Medtem ko so imeli stari avtomobili tja do konca prve svetovne vojne še luči na karbid in jih je bilo treba spravljati v tek s posebnimi ročicami, opravlja danes vsa ta dela in tudi veliko drugih stvari elektrika. Motor žene dinamo, ki daje električno energijo za pravočasno vžiganje zmesi bencina in zraka v valjih, obenem pa polni med vožnjo akumulator, da je tudi za zagon dovolj moči na razpolago. Široki gumijasti obroči na kolesih omogočajo skupaj z vzmetmi in s posebnimi dušilci udarcev mirno vožnjo tudi na ne preveč gladki cesti, in močne nožne zavoro skrbijo za hitro in enakomerno zaviranje.

Vse te in druge izpopolnitve so skupaj s tekmovanjem številnih tovarn privedle do sedanje razširjenosti avtomobilov. Urejen je tako popolno in teče tako zanesljivo, da je eno izmed redkih vozil, ki ga smejo voziti tudi površno izučeni ljudje. Dandanes imamo na svetu že več kakor 100 milijonov avtomobilov, tako da odpade povprečno na 25 ali 28 zemljanov že po en avto. Tudi število ljudi in teža tovora, ki jih prepeljejo avtomobili, raste iz leta v leto. Ker pa gre tu predvsem za prevoze na krajših progah, je seveda njihov delež na celotnem prometu razmeroma majhen, če poleg števila potnikov in teže tovora upoštevamo še prevoženo razdaljo.

Poleg batnih bencinskih motorjev so se posebno pri težkih tovornjakih in avtobusih dobro uveljavili tudi dizlovi motorji in v najnovejšem času so začeli misliti na uporabo plinskih turbin. Te bo treba seveda za avtomobile nekoliko drugače urediti kakor za letala, da ne bodo delale toliko ropota in da ne bodo z vrelini plini preveč ožigale ceste. Tudi o uporabi jedrske energije za pogon cestnih vozil so že govorili. Toda ravno v tem pogledu

bo treba verjetno še nekaj časa počakati. Razmeroma majhna teža motorja je eden glavnih pogojev za vožnjo po cestah; jedrske pogonske naprave pa so zaradi debelih zaščitnih sten in številnih pomožnih naprav dandanes razmeroma težke, čeprav uporabijo tudi na silno dolgih vožnjah le malo jedrskega »goriva«. Težnja po lahkih osebnih avtomobilih (sl. 68) je privedla celo



Sl. 68. Avto s samonosno karoserijo znamke Renault »Dauphine«.

do posebnih »samonosnih« karoserij, ki same prenašajo vse obremenitve. Taki avtomobili so tudi brez posebnega nosilnega ogrodja dovolj trdni, njihova teža je zato znatno manjša od avtomobilov navadne izvedbe in zanje niso potrebni tako močni motorji.

## 11. KAJ BO Z ŽELEZNICAMI?

V naših krajih so železnice vsakdanji pojav in si zato skoraj ne moremo zamisliti sprememb, ki bi nastale, če bi jih ne bilo več. Kako potrebne so za gospodarski razvoj, se tudi vidi iz njihovega razvoja v gospodarsko zaostalih pokrajinah, kjer jih pridno gradijo, čim doseže dežela le nekoliko višjo razvojno stopnjo. Kljub temu moramo reči, da so zašle železnice v deželah s starim železniškim omrežjem v nekakšno krizo. Vzrok je preprosto: še pred 30 leti so na vseh večjih razdaljah prevozile železnice skoraj vse blago in prepeljale skoraj vse potnike, medtem

ko gre danes posebno na manjših in srednjih daljavah veliko blaga in znatno število potnikov z avtomobili oz. z avtobusi. V Zedinjenih državah Amerike npr. so prevozile železnice še pred 10 leti okrog 70 odstotkov vsega blaga, medtem ko pade danes nanje le nekaj nad 40 odstotkov.

Vzrokov za močno naraščanje avtomobilskega prometa v primeri z železniškim je več. Predvsem odpade pri prevozu z avtomobili vsako ponovno prekladanje blaga na začetni in končni postaji, ki je pri železniškem prevozu navadno potrebno, če nimata odpošiljatelja in naslovnik posebnih železniških tirov, ki omogočajo neposredno dostavljanje blaga.

Glede stroškov samega prevažanja je težko v naprej reči, katero vozilo je cenejše: železnica ali avtomobil. Gradnja železniških prog je navadno še vedno dražja od sodobnih cest, toda razlike niso več tako velike kakor v preteklosti, ker moramo dandanes tudi navadne ceste zelo trdno graditi, da prenesejo ob znosnih popravilih velik promet. Če je cesta cenejša od proge, pa je zato tudi množina prevoženega blaga na cesti v splošnem znatno manjša od prevoza po železnici. Železniška kolesa prenesejo namreč veliko večje tovore kakor avtomobili; saj nosita dve železniški kolesi brez težav n. pr. težo do 20 ton, medtem ko moramo za prevoz takega bremena po cesti uporabiti 8 večjih ali 4 izredno močna kolesa, ki kmalu izpodkopljejo tudi dobro avtomobilsko cesto. Zato je treba razdeliti pri cestnem prometu tovor na veliko koles in s tem tudi na veliko avtomobilov, medtem ko skušamo pri železnici združiti veliko koles in vagonov v vlak. Na železnici je treba pač umikanje posebej urediti in je zato vlak pri zelo velikem prometu najbolj uspešno sredstvo za boljše izkoriščanje vložnih sredstev.

Poleg večje nosilne sposobnosti ima železnica še eno načelno prednost proti cestam. Za prevoz enake teže v vodoravni smeri porabi namreč vlak kvečjemu polovico toliko energije kakor avto, ker je pač trenje jeklenih koles pri vožnji po tračnicah znatno manjše od trenja gumijastih pnevmatik na cesti. Toda, žal, je trenje jeklenih koles ob tračnicah tudi takrat manjše od trenja pnevmatik na cesti, kadar kolesa drsijo po podlagi. To pa ima tudi svojo senčno stran: če bi cesto in železniško progo enako strmo nagnili, bi vlak ne mogel več speljati navzgor, kjer bi avto še ne imel posebnih težav. In res so že iz tega razloga železniške progé veliko bolj položno speljane kakor ceste. Nagib ali strmino merimo dandanes navadno tako, da navedemo doseženo višino v odstotkih ali v tisočinkah vodoravne dolžine poti.

Železniške proge za velik promet imajo strmino največ do 25 ali 26 tisočink (promilov), avtomobilske ceste pa gredo s strmino do 4 ali celo do 6,5 stotink (procentov), torej skoraj dvakrat ali celo dvainpolkrat tako visoko kakor pri železnici. Težnja po položni legi proge pa podraži seveda gradnjo železnic v primeri s cestami posebno v goratih pokrajinah.

Za vožnjo navkreber moramo k izgubam zaradi trenja dodati še delo zaradi dviganja teže v višino, ki pa je pri enaki teži tako pri vlaku kakor pri avtomobilu enako. Zato ne zavisijo moči, ki jih morajo dati stroji, le od trenja, temveč tudi od strmine, od hitrosti in predvsem seveda od skupne teže vozila.

Koristi, ki jih nudi majhno trenje in v zvezi s tem manjša poraba energije, ne more železnica vedno v polni meri izrabiti. V svojem dolgem razvoju so železnice npr. vedno težile k povečanju trdnosti železniških vagonov, ne da bi se mnogo brigale za zmanjšanje njihove lastne teže. Zato vlačijo tudi sodobni vlaki z velikanskimi tovari še veliko mrtve teže s seboj, kar je seveda zvezano s povečano uporabo energije in z izdatki. Če poleg tega upoštevamo, da so parne lokomotive izrabljale in deloma še sedaj izrabijo le 8 do 10 odstotkov vse energije premoga, bomo razumeli, da je danes tekmovanje železnice z drugimi oblikami prevoza posebno težavno.

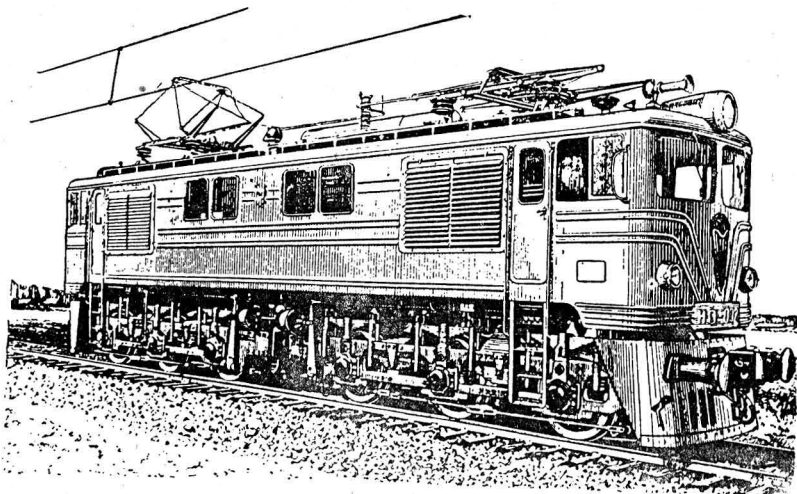
Možnosti za znižanje stroškov železniškega prevoza pri starem načinu obratovanja je več. Ker je bila železnica časovno prvo strojno prevozno sredstvo, se je morala skoraj povsod trdo boriti proti raznim predsodkom in je v ta namen tudi mnogo žrtvovala. Zato je npr. namestila številne železniške čuvaje, ki zapirajo in odpirajo na cestnih prehodih posebne zapornice. Prej je bila mogoče ta mera res potrebna, ker ni bilo še drugih sredstev za obveščanje, da prihaja vlak. Danes pa moremo z vso zanesljivostjo opozoriti tako cestna vozila kakor pešce o prihajanju vlaka na drug način, npr. z lučmi. Prižiganje in ugašanje posebnih signalnih svetilk pri prehodih se da dandanes zelo zanesljivo urediti tako, da vse to izvede avtomatično sam vlak.

Sodobna železniška uprava pa ne sme ostati samo pri uvajanju novih signalnih in drugih podobnih naprav ali pri izboljšanju starih, temveč se mora lotiti tudi vagonov, lokomotiv in vsega, kar spada k železnici. V nekaterih državah, kakor n. pr. v Švici, so že zgradili in preizkušali lahke vagonne, ki so se v navadnem prometu kar dobro obnesli. V nekaterih drugih državah pa imajo kljub temu še vedno pomisleke proti takim lahkim izvedbam, ker jih skrbi, kako se bodo obnesle pri nesrečah, n. pr. pri trčenju. Še večji napredek kakor pri vagonih pa je bil dosežen pri



lokomotivah. V državah, ki so brez vodnih sil in brez vrelcev nafte in ki imajo premog, bo vsaj na progah z manjšim prometom pač še naprej vladala parna lokomotiva. Na progah z zelo močnim prometom pa se že javlja vprašanje elektrifikacije. Namesto da bi kurili premog pod kotlom vsake lokomotive posebej, ga kurimo pač pod veliko bolj ugodnimi pogoji v velikih toplotnih centralah in dovajamo lokomotivam električno energijo, ki se da lažje prenašati kakor premog in ki je za pogon lokomotiv zelo primerna. V deželah z velikimi vodnimi silami pa je elektrifikacija še veliko bolj na mestu in so zato nekatere države (Švica, Avstrija) elektrificirale vse ali pa vsaj večino železniških prog.

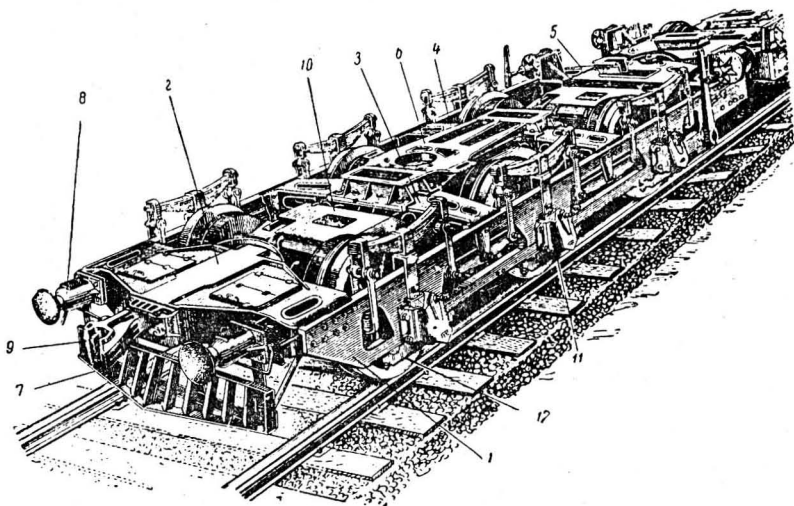
Že na zunaj je električna lokomotiva drugačna kakor parne lokomotive (sl. 69). Ker nima parnega kotla, ki mora biti več ali manj okrogel, da ga velik pritisk v njegovi notranjščini ne raznese, je tak stroj na zunaj bolj oglat. Razpodelitev pravih pogonskih naprav — elektromotorjev ni pri vseh električnih lokomotivah enaka. Dandanes so elektromotorji navadno pritrjeni spodaj na ogrodju lokomotive, tako da ženejo čez zobna kolesa vsak svojo os (sl. 70), medtem ko je prej en sam motor gnal čez ojnice več osi skupaj. Električni tok prihaja navadno iz centrale ali iz transformatorske postaje po posebnih vodih do posameznih napajališč, od koder steče v dovodno žico, ki je nad progo. Lokomotiva odvzema tok iz dovodne žice z ločnjem; tok gre z lo-



Sl. 69. Električna lokomotiva za enofazni tok.

njev čez razne pomožne naprave v elektromotorje in od tam po eni od tračnic nazaj v centralo oz. v transformatorsko postajo.

Vrsta toka in napetost električnih napeljav za lokomotive se je z razvojem elektrotehnike močno menjala. Ker imajo, kakor



Sl. 70. Podstavek električne lokomotive.

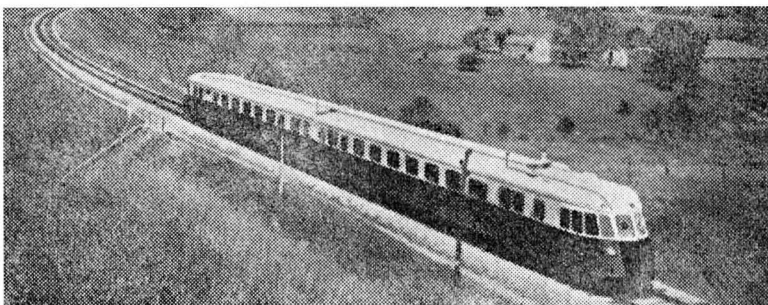
V vsakem od obeh podstavkov so vgrajeni po trije elektromotorji, ki ženejo čez zobnike vsak svojo os. Ostala električna oprema je v zgornjem delu lokomotive.

smo že omenili (Tehnika v vsakdanjem življenju I, str. 118), tako imenovani glavnostični elektromotorji na enosmerni tok pri počasnem vrtenju silno velik vrtilni moment in spravijo zato vlak hitro v tek, uporabljajo v državah, ki so začele zelo zgodaj z elektrifikacijo železnic, istosmerni tok (n. pr. Italija). Pozneje pa je uspelo strokovnjakom zgraditi tudi posebne vrste zanesljivih elektromotorjev za izmenični tok, ki imajo podobne lastnosti kakor glavnostični elektromotorji za istosmerni tok (tako im. kolektorski motorji). Izmenični tok pa ima še prednost, da moremo s transformatorji (Tehnika v vsakdanjem življenju I, str. 125) njegovo napetost na silno preprost način spreminjati. Zato se je v številnih drugih državah (n. pr. v Avstriji) uveljavil za pogon železnic izmenični tok, ki ima zaradi težav z elektromotorji posebno nizko frekvenco 16,7 nihajev v sekundi namesto navadnih

50 nihajev. Ker pa se da s sodobnimi lahкими usmerniki (gl. tudi Tehnika vsakdanjega življenja I, str. 148) navaden izmenični tok kaj lahko in popolnoma zanesljivo pretvoriti v istosmerni, gradijo dandanes tudi že napeljave za elektrifikacijo železnic na izmenični tok znatno višjih napetosti kakor doslej. Transformatorji v lokomotivi znižajo napetost od kakšnih 25 000 na 1500 voltov in jo dovajajo usmernikom. Iz teh prihaja istosmerni tok, ki napaja nato glavnostične motorje.

Električne napeljave silno podražijo že tako drago gradnjo železnice in pridejo zato v poštev predvsem na progah z močnim prometom. Tudi pri nas je več železniških zvez, ki bi jih bilo treba elektrificirati, ker bi se z uvedbo električnega pogona skupni stroški zmanjšali. Zato se moramo tudi pri nas odločiti, katero vrsto električnega toka in kakšno napetost naj uporabimo pri elektrifikaciji prog. Zdi se, da bo za večino prog padla pri nas odločitev na navaden izmenični tok visoke napetosti, čigar napetost se bo v lokomotivah znižala in pretvorila v istosmerno, tako da bodo gnali lokomotivo preizkušeni elektromotorji na istosmerni tok. Le železniška proga na Notranjsko in mogoče še katera druga bo delala tudi naprej z istosmernim tokom napetosti 3000 V.

Za proge z manjšim prometom se uvedba električnega pogona zaradi velikih izdatkov pri nabavi in postavljanju celotne električne opreme navadno ne splača. Toda tudi tu izpodriva staro preizkušeno parno lokomotivo nova vrsta stroja: Dieslov motor, ki ga uporabljamo tako za pogon velikih vlakov kakor tudi za prevoz manjšega števila potnikov. Kakor je namreč prevoz tovara ali velikega števila potnikov po železnici res najcenejši, če združimo veliko vagonov v en sam vlak, tako seveda na drugi



Sl. 71. Motorni vlak.

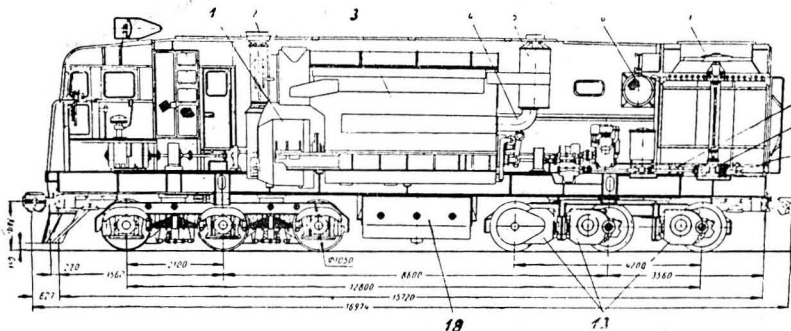
strani postanejo taki vlaki silno dragi, če potuje z njimi malo potnikov. Zato so že prej na manj obiskanih progah imeli mešane vlake za prevoz potnikov in blaga, kar pa je imelo za posledico razne nevšečnosti, med katere je treba v prvi vrsti navesti razmeroma dolgo trajanje vožnje. Zato so uvedle železnice t. i. motorne vlake z enim, dvema ali največ tremi vagoni. Eden od vagonov ima vgrajen Dieslov motor, ki žene podobno kakor pri avtomobilu kolesa čez posebne prestave (sl. 71). Ker zavzema motor z rezervoarji vred le malo prostora, je velik del takega vagona opremljen s sedeži in se uporablja seveda tudi za prevoz potnikov.

Uporaba Dieslovih motorjev za pogon težkih vlakov z velikim številom vagonov se je razširila posebno po zadnji svetovni vojni. Za pogon ladij so se uveljavili dizli že zdavnaj (gl. Tehnika v vsakdanjem življenju I, str. 70) prej; toda za pogon vlakov ima ta vrsta motorjev slabo lastnost, da bi brez posebnih priprav pridobival vlak pri vožnji s postaje le počasi na hitrosti. Kakor smo videli, imajo avtomobili tako pripravo v obliki menjalnika, kjer s prestavljanjem zobnih koles dosežemo, da se vrtijo kolesa avtomobila pri enaki hitrosti motorja počasneje za speljavanje z mesta in hitreje med stalno vožnjo. Pri velikih močeh 1000 in več kilovatov, kakor jih imajo težke lokomotive, pa bi zahtevalo ravnanje s takimi mehničnimi prestavami preveč napora in bi tudi ne bilo tako učinkovito kakor pri avtomobilih. Saj je pri avtomobilih razmerje med težo in močjo stroja znatno nižje kakor pri vlakih in se dajo zato avtomobili veliko lažje spraviti v gibanje.

Da bi dosegli z dizli čim hitrejši zagon vlaka, četudi je njegova teža zelo velika v primeri z močjo stroja, jih vgradimo v tako imenovane dizlelektrične lokomotive. Ti stroji so pravzaprav cele električne centrale, ki so vrhu vsega opremljene še z elektromotorji. Kakor pri ladjah na dizlelektrični pogon sta namreč pri tej vrsti lokomotiv zvezani osi Dieselovega motorja in električnega generatorja. Dizl poganja generator, ki daje istosmerni električni tok. Na generator so priključeni elektromotorji, ki s svojê strani ženejo lokomotivo naprej (sl. 72).

Ker nosijo dizlelektrične lokomotive zaporedno kar tri vrste strojev s seboj, so v primeri s svojo močjo razmeroma težke. Čeprav je teža pri lokomotivah v določenih mejah potrebna, ker bi lahka lokomotiva ne mogla speljati velikih tovorov, preizkušajo danes tudi že dizlhidraulične lokomotive, ki so lažje. Tudi na tej lokomotivi delajo v bistvu zaporedno kar trije stroji: Dieslov motor, črpalka za vodo in vodna turbina. Toda oba zadnja dela sta podobno kakor pri ladjah (sl. 61) združena v eno samo

enoto in cela naprava je lažja od dizlelektrične ureditve. Hidraulične prestave pa imajo napako, da prenašajo na zelo učinkovit način moč dizla na kolesa le v določenih območjih hitrosti in niso zato tako ugodne kakor dizlelektrični pogon. Kljub temu pa so začeli uporabljati hidraulične prestave v izpopolnjeni obliki celo pri avtomobilih, katerim pravijo potem navadno kar avtomobili brez prestav. Pravzaprav pa bi bilo v tem primeru boljše



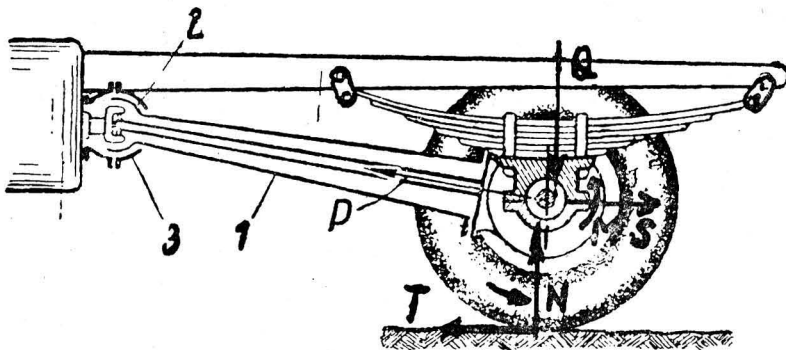
Sl. 72. Diesel-električna lokomotiva v vzdolžnem prerezu. Največ prostora zavzemata dizel (3) in električni generator (1). Elektromotorji 13 so na podstavku in vse gorivo je spravljeno v rezervoarju 18.

reči, da gre za avtomobile z avtomatičnim prestavljanjem hitrosti. Pri hidrauličnih prestavah ni treba namreč prestavljati raznih zobnikov s posebnim vzvodom, temveč raste med speljavanjem z mesta hitrost koles sama po sebi pri enako hitrem vrtenju motorja. Šoferju takega avtomobila ni treba zato med vožnjo nič drugega delati, kakor samo spreminjati množino dovajanega goriva v motorju, t. j. dodajati ali odvzemati plin.

Za zaključek moremo reči, da so se železnice posebno v razdobju po zadnji svetovni vojni v tehničnem pogledu močno izpopolnile in da bodo mogle tudi v prihodnje obdržati znaten del blagovnega in potniškega prometa na srednje in večje razdalje. Prevoz potnikov in blaga na krajših daljavah pa lažje in cenejše opravijo avtomobili, ki bodo zato verjetno na tem področju izpodrinili železnico tudi v tistih državah, kjer dandanes še prevladujejo vlaki.

Preden zaključimo opis vozil za promet po suhem, naj ne kratko omenimo, da je pri kolesih lokomotiv in avtomobilov nujno potrebno trenje, ki nam drugače tako nagaja, ker trošimo zanj energijo. Brez trenja bi namreč ne imeli v smeri vožnje gonilne sile, ki je potrebna že za pospeševanje vozila pri spelja-

vanju. Gonilno kolo avtomobila skuša namreč gred, ki prihaja iz diferenciala, vrteti tako kakor kaže slika 73. Velikost vrtilne težnje gonilnih sil imenujemo vrtilni moment ali krajše kar moment ali tudi navor in ga dobimo tako, da pomnožimo vsako gonilno silo z njeno razdaljo od vrtilne osi in nato vse zmnožke seštejemo. Stično mesto kolesa s cesto se skuša zaradi vrtilnega momenta gibati v smeri spodnje puščice proti desni; trenje tal pa skuša to drsenje kolesa zadržati in tla pritiskajo zato na kolo ne le z navpično silo  $N$ , temveč tudi z vodoravno silo  $T$ , ki ima edina od vseh sil smer vožnje. Med zagonom mora biti skupna vsota takih sil na vseh gonilnih kolesih večja od trenja vseh ostalih koles z zračnim uporom vred. Med enakomerno vožnjo pa se morajo vse vodoravne sile uničiti in vsota vseh gonilnih sil v smeri vožnje je zato tedaj ravno enaka seštevku vseh uporov. Brez trenja med kolesom in cesto pa bi gonilne sile  $T$  sploh ne imeli; kolo bi se vrtelo na mestu in avto ali vlak sploh ne bi mogel speljati z mesta.



Sl. 73. Sile na gonilnem kolesu avtomobila.

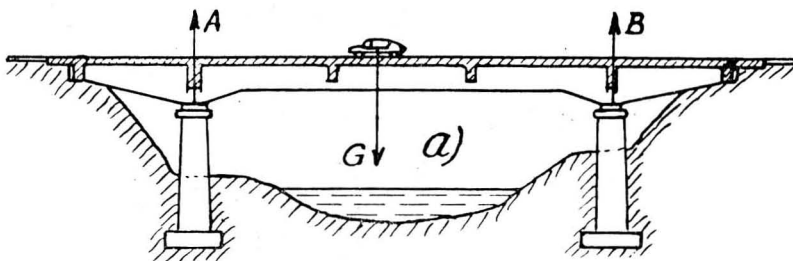
## 12. MOSTOVI IN TUNELI

Mostovi so znani že kar človeštvo pomni; toda šele s prihodom železnice se je pojavila potreba po velikih in številnih mostovih. Kakor smo že omenili, je namreč vsak kilometer proge silno drag in zato je razumljivo, da se je bolj splačalo zgraditi tudi razmeroma drage mostove, če se je dala s tem dolžina proge znatno skrajšati.

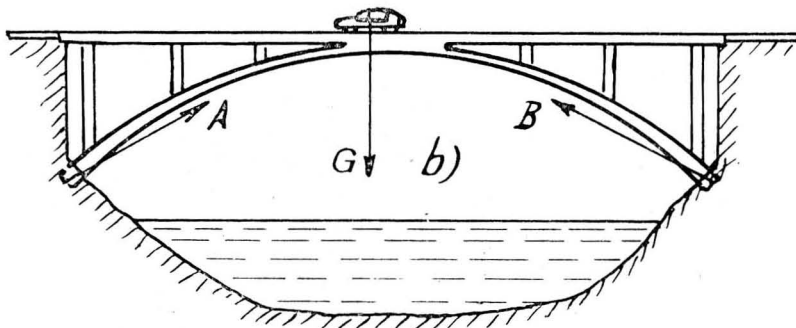
V prvi dobi gradnje železnic tja do začetka dvajsetega stoletja so gradili vse mostove majhnih razdalj od ene podpore do

druge, ali kakor kratko pravimo: malih razpetin iz kamna in opeke in so le pri večjih razpetinah uporabljali železo. Danes uporabljamo namesto kamna ali opeke prav pogosto beton, ki ima posebne železne vložke na takih mestih, kjer bi začela snov mosta pod vplivom obtežb iti narazen (se trgati). S takimi vložki v betonu dosežemo, da prenaša beton le tlačne napetosti, proti katerim je zelo odporen, in da prevzame železo natezne napetosti vseh vrst. Železobeton ali ojačeni (armirani) beton, kakor pravimo taki snovi, se veliko uporablja v gradbeništvu in omogoča tudi premostitev znatno večjih razpetin kakor kamen ali opeka. Železu kot gradbenemu materialu za dolge mostove so se v zadnjem času pridružile za razne posebne primere še zlitine lahkkih kovin in v prvi vrsti duraluminij ali druge podobne snovi.

Najbolj preprosta oblika mostu je pač upogibni nosivec. Tak nosivec je telo, ki se opira na dve ali več podpor tako, da pritiskajo podpore nanj v glavnem z navpičnimi silami (sl. 74a). To pa ni za nosivec preveč ugodno, ker gredo te sile pri dolgih mostovih daleč proč od njihovih srednjih delov in jih močno obre-



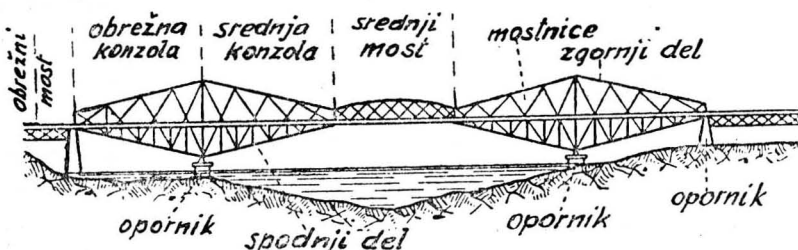
Sl. 74 a. Most z ravno osjo.



Sl. 74 b. Ločni most.

menjujejo na upogib. Neprimerno ugodnejše pogoje imamo pri loku (sl. 74b). Sili obeh podpor sta tu močno nagnjeni proti sredini nosivca, če sta le obe podpori v vodoravni smeri nepodajni. Res je, da so pri loku poševne podporne sile nekaj večje kakor pri upogibnih nosivcih; toda zato je smer teh sil taka, da niso nikjer preveč oddaljene od osi nosivca, kar ima za posledico znatno manjše obremenitve in s tem tudi varčevanje z gradbenim materialom. Taka smer sil je posebno važna pri opečnih in kamnitih nosivcih, katerim dajemo zato posebne oblike, da je snov v vsakem prerezu loka po možnosti vedno obremenjena na tlak.

Nepodajnost obeh podpor v vodoravni smeri je osnovni pogoj za nastanek poševnih podpornih sil. Če je torej teren zelo mehak ali če podpore slabo izvedemo, bo tak lok bolj obremenjen kakor po navadi. Toda to dodatno obremenitev moremo brez težav preprečiti, če se dasta zvezati obe podporni točki loka še s premočrtnim železnim pasom. Pri obremenitvi se skuša namreč lok raztegniti in napne zato železni pas. Tako nastane v pasu vodoravna sila in razmere na loku so sedaj čisto podobne razmerah pri nepodajnih podporah.



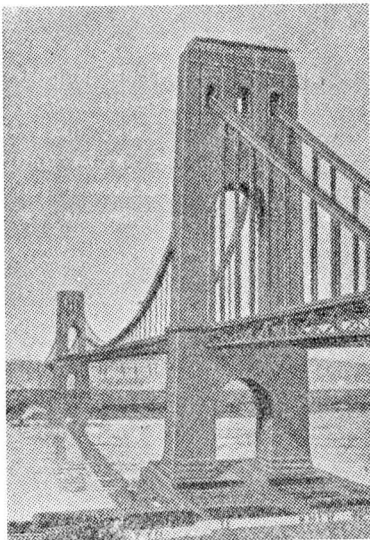
Sl. 75. Konzolni most v Kanadi.

Seveda si pomagajo konstruktorji pri premostitvah velikih razpetin tudi na druge načine. Kadar imamo n. pr. na eni ali na obeh straneh glavnega toka reke možnost postaviti precej daleč narazen po dve podpori, je zelo umestno podaljšati most od teh dveh podpor še naprej proti sredi reke (sl. 75) in vložiti v sredi med obema velikima stranskima mostoma po potrebi še en most. Na ta način se je posrečilo premostiti z jeklenimi mostovi razdalje med obema srednjima podporama do približno 550 metrov.

Velikanske razpetine, ki jih z drugimi konstrukcijami nikakor ne moremo doseči, pa se dajo premostiti z visečimi mostovi (sl. 76). Na obeh bregovih sta pri takem mostu postavljena po dva



razmeroma visoka navpična stebra. Čez te stebre je speljana na vsaki strani mostu po ena močna jeklena vrv, ki je zunaj na obeh krajih zasidrana v velikih betonskih kladah. Na teh vrveh je s številnim navpičnimi vezmi pripet pomožni nosivec, ki nosi cestišče ali železniške tire. Vrvi prenašajo težo mostu in vozil na oba bregova, medtem ko mora biti pomožni nosivec le toliko močan, da prenese do obeh stebrov pritisk vetra, kar pa je zelo malo v primeri s težo cele naprave. Cesta oz. železnica sta torej res obešeni na obeh vrveh in od tod pride tudi ime mostu.



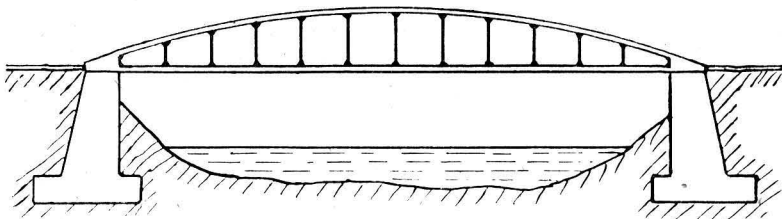
Sl. 76. Viseči most.

Čeprav se viseči mostovi po zunanji obliki močno razlikujejo od lokov, je med obema vrstama le dosti notranje podobnosti. Kakor pri lokih, imajo namreč tudi pri visečih mostovih podporne sile poševno smer in ker so vrvi obtežene le na nateg, ki ni tako nevaren kakor druge vrste obremenitev, so danes z visečimi mostovi premostili v eni sami razpetini razdalje do 1280 metrov. Pri tako dolgih mostovih so seveda tudi jeklene vrvi izredno debele in merijo okrog meter v premeru. Vrv, ki jo sestavlja silno veliko število tankih žic, ima proti polnim palicam enakega prereza številne prednosti; zato danes polne palice sploh ne pridejo v poštev pri gradnji vise-

čih mostov, čeprav so vrvi v primeri z njimi zelo drage. Z valjanjem in vlečenjem palic v razmeroma tanko žico premera le nekaj milimetrov se namreč trdnost jekla silno poveča, tako da prenese vrv brez vsake nevarnosti dosti večje sile kakor ena sama polna palica enakega prereza. Posamezne žice visečega mostu so najprej združene v več pramenov in iz velikega števila pramenov je narejena vrv. Sestavljanje žic v pramene in pramenov v vrvi mora biti zelo skrbno izvedeno, da se porazdeli breme kolikor mogoče enakomerno na vsako žico. Zato sestavijo pri velikih mostovih vrvi iz žic kar na stavbišču in traja tako delo več mesecev. Vrvi velikih visečih mostov so namreč včasih narejene iz več kakor 26 000 žic!

Če pogledamo vse malo večje železne mostove, kakor n. pr. cestne ali železniške mostove čez večje reke, bomo videli, da so navadno sestavljeni iz velikega števila razmeroma tankih nosivcev in da je med njimi polno presledkov oz. odprtin. Le krajši mostovi imajo polno steno, tako da ni med zgornjim in spodnjim pasom nič odprtin. Toda tudi tu je večina snovi mostu še vedno združena ob zgornjem in spodnjem robu, medtem ko je stena v sredi razmeroma tanka. Razlog za tak način gradnje je kaj preprost: nosivci v splošnem, prav posebno pa mostovi so pri danih tovorih na raznih mestih različno obremenjeni. Zato damo na mesta velikih obremenitev veliko materiala, na mesta z malimi obremenitvami pa malo materiala. Kadar pa so obremenitve v velikih območjih celega mostu zelo majhne, moremo snov s primernim oblikovanjem prisiliti, da se združijo obremenitve s celega območja le na določenih črtah in na te črte postavimo nosivce.

Iz več ločenih nosivcev sestavljane konstrukcije imenujemo navadno predalčne konstrukcije, medtem ko so konstrukcije brez večjih odprtin polnostenske konstrukcije. Primer predalčnega mostu imamo na sl. 75; mostova na sliki 74a, b pa sta polnostenska, čeprav ima zadnji velike odprtine levo in desno od temena. Glavni nosilni del tega mostu je namreč polnostenski lok; odprtine so nastale zato, ker se odpira cestišče na lok le na nekaj mestih. Pri železobetonskih mostovih je glavni nosivec večkrat sestavljen iz več palic (sl. 77) tako, da tvorijo v glavnem polja četverokotne oblike, medtem ko so polja pri jeklenih mostovih navadno trikotna. Le zadnjo vrsto nosivcev imenujemo predalčja, medtem ko pravimo mostu na sl. 77 okvirni nosivec. Pri izbiri teh imen ni toliko odločilna oblika polj, ki jih delajo palice, temveč način prenašanja obtežb. Pri predalčjih je vsak delni nosivec (vsaka palica) v glavnem obremenjen le na nateg ali na tlak, medtem ko se pri okvirjih pojavljajo poleg tega predvsem še velike upogibne obremenitve.



Sl. 77. **Betonski okvirni most.**

Kakor omenjeno, gradimo le kratke mostove kot polnostenske nosivce; daljši mostovi so vedno sestavljeni iz velikega števila palic. Pa tudi polnostenski nosivci so le redko iz enega samega kosa železa; pri nekaj večjih dolžinah je vedno zelo umestno pritrčiti na najbolj obremenjenih mestih glavnega nosivca še dodatne pasove, ki znatno povečajo njegovo nosivno sposobnost. Navadno pa sestavimo kar cel most iz številnih posameznih delov: iz pasov, pločevin in iz valjanih palic razne oblike (profilov). Še pred 30 leti so podobno kakor pri ladjah vse te dele zvezali med seboj z zakovicami, ki so jim zakovali glave s kladivi. Kladiva je navadno gnal stisnjeni zrak (pnevmatična kladiva) in so delala zato velik hrup. Poleg tega pa so luknje, skozi katere so šle zakovice, večkrat znatno oslabile nosilno sposobnost posameznih delov cele konstrukcije. Zato uporabljamo dandanes pri gradnji mostov kakor tudi pri sestavljanju drugih večjih in manjših jeklenih konstrukcij v glavnem povsod varjenje. Z električnim tokom stalimo posebno varilno žico (elektrodo), da zapolni staljeno jeklo ves presledek med obema deloma in jih poveže v trdno celoto. V začetku so se sicer pojavljale na varjenih mostovih pri uporabi neprimernih jekel razpoke in v nekaj primerih je prišlo tudi do porušitve mostu; toda dandanes so že številna vprašanja v zvezi z varjenjem toliko razčiščena, da varnost varjenih mostov ni nič manjša od ostalih, če so le bili pravilno izdelani in če so uporabili zanje primerne vrste jekla.

Tudi gradnja tunelov se je razen nekaj izjem začela razvijati šele z železnico. Res so prve železnice tekle po ravnem svetu; toda prav kmalu se je pojavila potreba po premagovanju gričevnatega in goratega ozemlja, kjer so postali tuneli zaradi majhnih dovoljenih strmin nujno potrebni. Z dolžino tunela in z višino gora, ki jih prevrtajo, pa močno rastejo težave in tako so še danes tuneli z dolžinami nad 10 km razmeroma redki.

V prvih začetkih gradnje železnic skozi gorate kraje so sledili graditelji v glavnem smeri starih cest čez prelaze in so skušali najprej priti po dolinah čim višje. Šele potem, ko je prišla železnica dovolj visoko, so prebili goro s tunelom in skrajšali nadaljnje dviganje. Tak način dela bo razumljiv, če pomislimo, da so se lotili gradnje prvega dolgega tunela pod prelazom Mont-Cenis (čitaj: mon-seni) najprej kar s krampi. Temu primerno je bilo tudi napredovanje v notranjščino gore: začeli so l. 1857 in po celih 38 mesecih vrtanja so prodrli 728 metrov daleč v goro! Toda tudi ko so začeli uporabljati kladiva na pogon s stisnjenim zrakom, ni bil začetek nič boljši: v enem letu so izvrtali le še nadaljnjih 170 metrov, cel tunel pa je dolg 12849 metrov! Toda

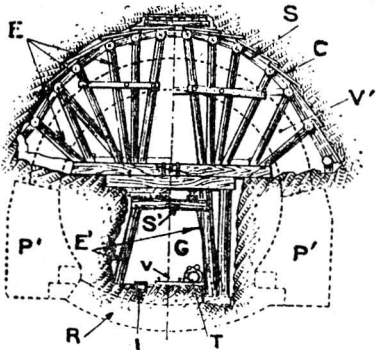
z izpopolnjevanjem vrtnalnih naprav in načina dela je šlo vrtnanje hitreje izpod rok in l. 1871 je po 14 letih stekel skozi tunel prvi vlak med Francijo in Italijo.

Ko so izpopolnili vrtnalne naprave in izboljšali načine dela, so železniški strokovnjaki kmalu uvideli, da niso smeri starih cest čez prelaze vedno najbolj ugodne tudi za železniški promet, temveč da je pri gradnji železniškega tunela tako rekoč najvažnejša čim manjša debelina gore v onih višinah, do katerih lahko pridemo iz dolin na obeh straneh brez številnih vijug. Tako je prišlo do znanega tunela pod goro Simplonom med Švico in Italijo, ki je bil dograjen l. 1921 in ki je z dolžino 19825 metrov še danes najdaljši železniški tunel na svetu. Srednja nadmorska višina tal v tem tunelu je le 670 metrov, medtem ko leži n. pr. monceniški tunel kar 1300 metrov visoko! Zato pa so bile težave pri gradnji dolgega simplonskega tunela izredno velike in so jih premagali le na ta način, da so vrtali kar dva rova, ki tečeta vzporedno eden z drugim v razdalji 17 m. Tako so mogli dovažati delavce in material po enem od njih, tudi če so močni vrelici hladne ali tople vode v notranjščini goré poplavalili drugi rov. Gorovje nad simplonskim tunelom se dviga ponekod v višine do 2150 m in stiska zato skalovje v tunelu na nekaterih mestih s takšno silo, da so se med vrtnanjem kosi kamna z glasnim pokom trgali od skalovja in odleteli proč z veliko hitrostjo.

Kljub velikemu napredku tehnike so težave pri vrtnanju dolgih tunelov tudi dandanes izredno velike. Seveda ne gre pri tem za težave pri določanju smeri vrtnanja, temveč za ovire pri delu samem. Natančnost zemljemerskih računov in meritev je že več kakor 200 let dovolj velika za pravilno določanje smeri in so se zmotili n. pr. pri vrtnanju obeh polovic simplonskega tunela v legi osi le za 2 metra, čeprav so začeli delati iz dveh dolin, ki jih loči mogočno gorovje. Hude ovire pri delu v tunelih so visoke temperature v notranjščini goré, strahoviti pritiski na opaže tunela, predvsem pa vdori vode in plinov. Od plinov so posebno tisti zelo nevarni, ki radi eksplodirajo, kakor n. pr. metan.

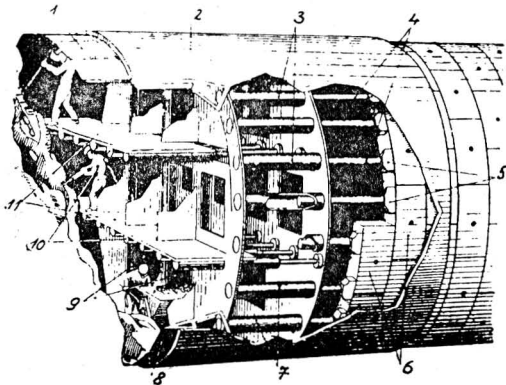
Ne bomo podrobno opisovali raznih načinov borbe proti naštetim nevarnostim in naj le na kratko pripomnimo, da je že uvedba pnevmatičnih kladiv, ki uporabljajo pri vrtnanju lukenj za nameščanje razstrelitev stisnjeni zrak, že sama po sebi močno pripomogla k zmanjšanju vročine v tunelih. Tako so kladiva pri delih na simplonskem tunelu spuščala v notranjščini tunela do 60 000 litrov zraka v sekundi; ko pa tudi to ni zadoščalo, so s posebnimi ventilatorji vpihovali v rove še dodatne množine zraka, ki so jih predhodno shladili z ledom. Za vodo, ki je v številnih

tunelih (n. pr. tudi v tunelu med Bohinjsko Bistrico in Podbrdom) zelo pogosto ogrožala vsako delo, je treba predvideti na dnu tunela posebne odtočne kanale, ki morejo zaradi blagega nagiba tal sami brez črpalk odvajati znatne vodne množine proti obema vhodnima odprtinama.



Sl. 78. Vrtanje tunela.

Tudi podroben opis gradbenih del v tunelu bi nas vodil predaleč. Zato naj samo opozorimo, da zavisi vrstni red predvsem od vrste tal, ki jih je treba izkopati. V trdnem skalovju je n. pr. najbolj umestno začeti z obzidavanjem zgornjega dela tunela, potem ko smo odprtino zgoraj dovolj razširili. V tleh z velikimi pritiski skalovja na tunel pa je treba najprej obzidati stranske stene in šele potem nanje nasloniti svod v zgornjem delu tunela (sl. 78). V zelo mehkih tleh, kakor jih najdejo večkrat v velikih mestih pri gradnji podzemnih železnic ali cestnih tunelov, pa ne dela težav kopanje samo, temveč stalno posipanje materiala, ki skuša sproti napolniti vse votline. Tu moramo seveda uporabiti drugačne na-



Sl. 79. Kopanje tunela.

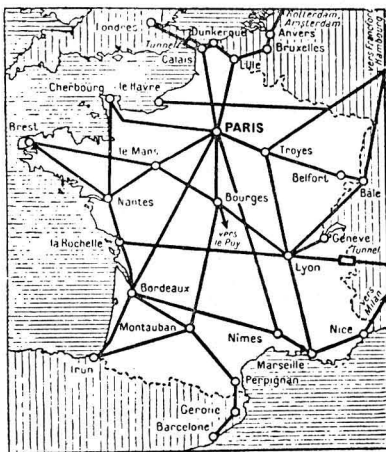
Številke pomenijo: 1 pomične kovinske plošče, 2 zunanji oklep ščita, 3 hidravlične stiskalnice za potiskanje ščita naprej, 4 bati stiskalnic v najbolj iztisnjenem položaju, 5 podložki za stiskalnice, 6 deli oboka, 7 bati stiskalnic na začetku pomikanja, 8 ogrodje ščita, 9 vrata za odvažanje zemlje, 10 stiskalnice za pomikanje podov, 11 pomični podi.

čine dela, in eden od njih je pokazan na sl. 79. V začetku takega tunela izkopljemo jamo in vgradimo vanjo najprej trden okrogel valj, ki ima v svoji notranjščini še poseben jeklen »ščit« z dvema prečnima stenama in z odprtimi delovnimi mesti na tisti strani, kamor želimo graditi tunel (na sliki je to leva stran). S številnimi hidrauličnimi stiskalnicami (sl. 79) potiskamo nato počasi ščit proti levi in odstranjujemo sproti material skozi njegovo notranjščino. Posipanje materiala na desni strani za ščitom preprečimo na ta način, da vgradimo že znotraj štita stalen zaščitni obroč, ki ga spojimo s prejšnjimi obroči na desni strani v dolg votel valj. Nanj naslonimo tudi hidraulične stiskalnice, s katerimi potiskamo ščit še naprej proti levi strani v nov material.

### 13. PROMETNE IN INDUSTRIJSKE ZGRADBE

Sodobno gradbeništvo ima poleg zgoraj opisanih še veliko drugih delovnih področij, kjer si mora zares pomagati z vsemi sredstvi sodobne tehnike, da zmore delo v razmeroma kratkem času in z ne prevelikimi stroški.

Vzemimo samo avtomobilske ceste, ki že danes prepezeajo nekatere kontinente in ki bodo v doglednem času vezale tudi n. pr. Severno Evropo z Osrednjo Afriko ali Evropo z Vzhodno Azijo, čeprav ni bilo o njih pred 60 leti ne duha ne sluha. Res je sicer, da so imele že takrat nekatere napredne države zelo močno razvito cestno mrežo; toda ogromna večina teh cest je imela za podlago le kamniti tlak z valjanim peščenim kritjem, ki ne prenese sodobnega gostega avtomobilskega prometa. S katraniziranjem in še bolj z asfaltiranjem se da sicer odpornost takih cest proti motornim vozilom znatno povečati; toda kljub temu gradijo danes skoraj vse države (sl. 80) poleg navadnih še posebne avtomobilske ceste, na katerih je treba voziti hitro in je zato promet s počasnimi vozili na njih prepovedan.



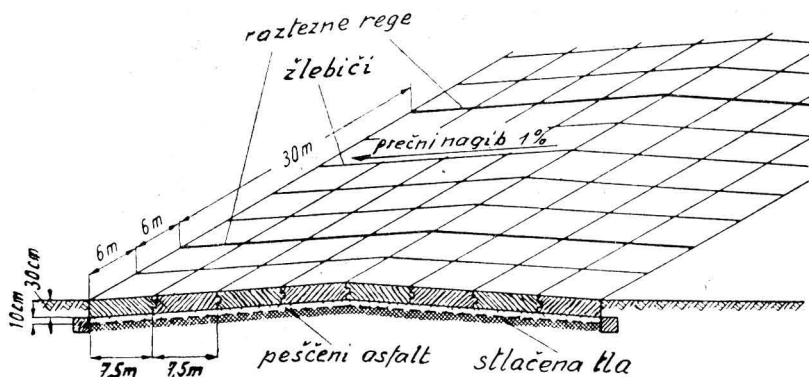
Sl. 80. Osnutek francoskih avtomobilskih cest.

Izdelava avtomobilske ceste zahteva veliko dela, ki ga moramo v kratkem času opraviti le z uporabo številnih strojev. Saj je treba najprej izdelati dobro podlago in nasuti nanjo skoraj četrt metra debelo plast prav dobrega betona, ga z nabijanjem zgostiti in vložiti vanjo še gosto mrežo tankih žic. Pri avtomobilskih cestah z ločenima stezama za vsako smer vožnje porabimo zato pri skupni širini obeh cestišč v višini 15 metrov za vsak kilometer ceste nekaj nad 3300 kubičnih metrov betona. Poleg tega je treba stranske robove ceste nekako v širini 60 cm še posebej ojačiti, da se ne začnejo krušiti. Zato so potrebne velikanске množine materiala, ki v znatni meri zvišajo ceno takih cest proti ostalim vrstam poti. Zato pa smejo voziti po njih avtomobili s hitrostjo do 160 km na uro, če imajo seveda dovolj močne motorje, da tako naglavo res zmorejo.

Velik sovražnik nagle vožnje pri avtomobilih je vlaga, v še večji meri pa sneg ali led na cesti. Medtem ko je namreč na suhi cesti razmerje med težo avtomobila in silo, ki je potrebna za drsenje, zelo majhno in se giblje med 1 in 2 po kakovosti ceste, naraste ta količnik že na mokri cesti na 2 do 4 in utegne pri poledeneli cesti doseči tudi vrednost do 10. To pa pomeni, da se menja sila trenja ceste pri dani teži v razmerju 1 proti 10! Silno menjavanje razmerja med torno silo in težo ali — kakor pravimo — tornega količnika pomeni precejšnjo pomanjkljivost sedanjih gum, ki jo skušajo tovarne po možnosti odpraviti predvsem z iskanjem novih snovi za pokritje površin na pnevmatikah. Prvi poskusi so pokazali, da zavisi torni količnik za drsenje gume po cesti v znatni meri od števila majhnih vzboklin premera približno 0,1 milimetra na stični površini pnevmatike s cesto. Toda gostota takih vzboklin nikakor ni edino merilo za velikost trenja, ker močno vplivajo tudi drugi činitelji.

Vzletišča za sodobna težka potniška letala morajo biti podobno izdelana kakor ceste za najtežji avtomobilski promet. Današnja velika potniška letala tehtajo tudi pri spuščanju, ko so porabila že vse ali vsaj velik del goriva, skoraj 100 ton. Pristajalne ceste, ki služijo navadno tudi za vzletanje, pa morajo ne le prenesti brez škode težo letala, temveč tudi 3- do 4-krat večje sile, ki nastanejo med trdim spuščanjem letala na tla. Zato so vzletišča pokrita z betonsko ploščo debeline vsaj 30 cm, ki mora biti razdeljena v kvadratne odseke z dolžino robov okrog 6 m (sl. 81), da ne bi plošče v mrazu razpokale. Betonske plošče so medsebojno zvezane in segajo ena v drugo, da se ne bi nekatere od njih pod udarci letal med spuščanjem preveč podale.

Pod betonsko plastjo je še debela plast peska, ki ga nasujemo na poravnana in zgoščena tla in ki ga nato še s težkimi valjarji temeljito povaljamo. Vzletne ceste na letališčih za krajše letalske zveze so navadno dolge okrog 1000 metrov, zračna pristanišča za mednarodni promet pa imajo do 3000 metrov dolge in 60 metrov široke betonske ceste.



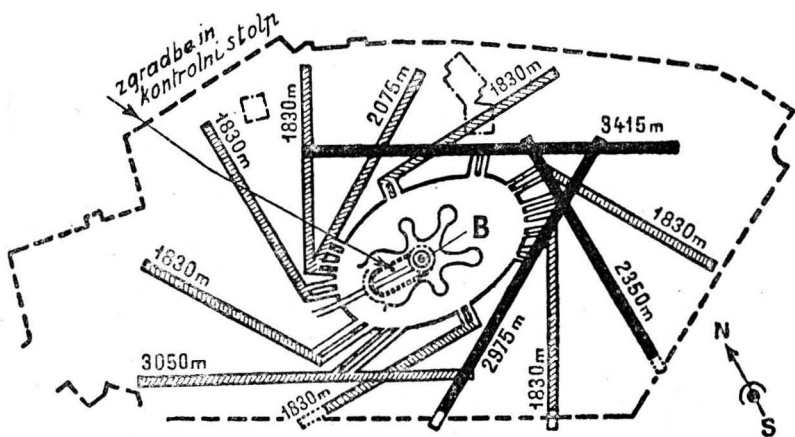
Sl. 81. Betonsko vzletišče.

Letalo more varno vzleteti in se spuščati v glavnem le proti vetru. Čeprav so ponekod smeri močnejših vetrov zelo stalne, ne moremo kljub temu nikdar izhajati z eno samo cesto, temveč jih je treba zgraditi več. Kako te ceste združiti v celoto in jih vrhu vsega povezati z različnimi letališčnimi zgradbami (upravna poslopja, hangarji, skladišča prtljage in blaga), zavisi od velikosti prometa, od načina dela in tudi od razpoložljivih sredstev. Na sl. 82 vidimo v pogledu od zgoraj zračno pristanišče Idlewild (čitaj ajdl-uajld pri New Yorku, ki ima upravne zgradbe združene v sredini in okrog katerih so nameščene številne ceste za vzletanje, pristajanje in za vožnjo proti upravnim zgradbam.

Sodobna tehnika pa ni omogočila le izvedbo najbolj drznih načrtov zgradb za promet po suhem in po zraku, temveč je tudi odprla številne nove možnosti vodnemu prometu in vodnim zgradbam v splošnem. Gradnja velikih in dolgih kanalov, ki je predstavljala še tja do leta 1920 prav težak podvig, je posebno po drugi svetovni vojni z uvedbo močnih strojev znatno olajšana in omogoča izvedbo takih načrtov, ki so se še pred nekaj desetletji zdeli neizvedljivi. Zato širijo v številnih močno razvitih državah še naprej mrežo kanalov tako za plovbo kakor za namakanje.



Saj je prevoz po vodi sicer razmeroma počasen, toda zato silno poceni, in od uspešnega namakanja zavisi ponekod ves kmetijski pridelek.



Sl. 82. Načrt vzletišč v letalskem pristanišču Idlewild pri New Yorku.

Na Nizozemskem so se z velikim uspehom lotili tudi naloge, za katero bi lahko rekli, da je ravno nasprotna gradnji kanalov: osušitvi velikega zaliva, ki je znan pod imenom Zuydersko jezero (čitaj: zujdersko) in ki je nastal med strahovito poplavo l. 1284, ko je morje poplavelo 72 vasi. Z velikanskimi nasipi (sl. 83), katerih jedro je deloma sestavljeno iz ogromnih jeklenih škotel, so ves zaliv razdelili na manjša slana jezera, iz katerih črpajo velike črpalke vodo čez zunanji nasip v odprto morje. Dela, ki so jih začeli že l. 1930, niso sicer še končana; toda že danes so osušili znaten del cele površine in zdi se, da bo ves podvig zelo dobro uspel.

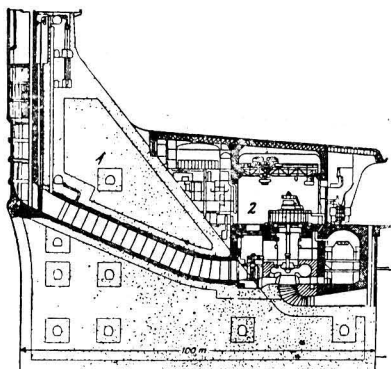
Od ostalih gradbenih del, ki so tudi bila združena z velikimi napori in nemajhnimi izdatki, naj na kratko omenimo le še gradnjo velikih vodnih pregrad. Če zapremo reki njeno naravno pot po strugi navzdol s tem, da zgradimo povprek k njenemu toku visoko pregrado, se bo začela nabirati voda za pregrado, dokler se ne bo začela razlivali čez najnižje dele pregrade v spodnjo strugo. Tudi če vodne množine na zgornji strani pregrade mirujejo, so njihovi pritiski na zgradbo posebno v velikih globočinah zelo veliki. Toda če pridejo k temu še visoki valovi na vodni gladini, n. pr. zaradi močnega vetra, udarja včasih voda na pregra-

do z naravnost neverjetnimi silami. Zato nastane vprašanje, kako prestreči vse te velikanske sile, ki skušajo v glavnem potisniti pregrado vodoravno v smeri vodnega toka.



Sl. 83. Načrt osušitve Zuyderskega jezera.

Pikčasto označena območja morja bodo z jezovi zaprli in jih osušili.



Sl. 84. Navpični prerez čez težnostno pregrado.

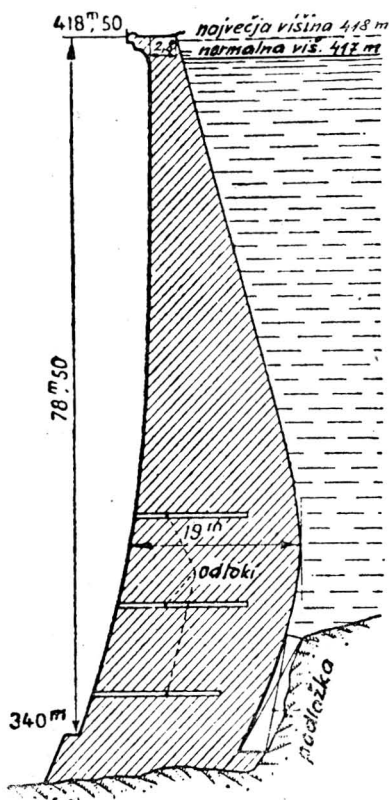
Voda se nabira za pregrado 1 zgoraj na levi strani slike in pride po ceveh do turbin v centrali 2.

Glede na način, kako rešimo to nalogo, ločimo tri vrste pregrad: težnostne, ločne in razčlenjene. Pri prvi vrsti napravimo pregrado v primeri z njeno višino tako debelo (sl. 84), da teža pregrade onemogoča njeno prevrnitev; saj pritiska teža pregrado s tolikšno silo na tla, da pritisk vode te sile na nekaterih mestih le zmanjša, ne more jih pa popolnoma uničiti. Take pregrade, ki jih gradijo tudi iz kamna ali celo iz zemlje, pridejo v poštev predvsem za majhne višine in so v splošnem zelo zanesljive.

Pri zelo visokih pregradah pa bi porabili za takšne izvedbe silno veliko materiala, ker bi morali povečati obenem z višino sorazmerno tudi njeno debelino. Če sta bregova na obeh straneh rečne struge iz trdnega skalovja, pa se pri velikih višinah kaj hitro pojavi misel opreti pregrado tako, da se prenaša ves vodni pritisk v glavnem le na skalnato steno na obeh straneh pregrade. To dosežemo zelo hitro na ta način, da sestavimo tako rekoč celo pregrado iz večjega števila vodoravnih lokov, ki se vsi opirajo na skalo. Debelino teh lokov je treba vzeti v večji globčini večjo

(sl. 85) kakor bolj pri vrhu pregrade; toda tudi največja debelina takih pregrad globoko spodaj je še vedno veliko manjša od debeline težnostnih pregrad. Prihranek na množini materiala je zato silno velik in čeprav je treba uporabiti pri gradnji ločnih pregrad dober beton, je pri večjih višinah tudi cena ločnih pregrad znatno nižja kakor za ostali dve vrsti pregrad.

Pri gradnji ločnih pregrad moramo upoštevati, da je včasih zelo težko določiti zanesljive vrednosti za obremenitve njenih



Sl. 85. Navpični prerez čez ločno pregrado.

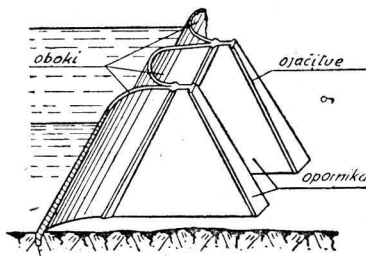
Ločne pregrade imajo v pogledu od zgoraj obliko loka, ki se naslanja na obeh koncih na skalna pomočja in se tako upira pritisku zgornje vode.

posameznih delov in da zavisijo te obremenitve v veliki meri tudi od podajnosti skalnih pomočij. Majhne obremenitve, ki jih dobimo ob ugodnih pogojih v takih pregradah, so zapeljale konstruktorje do izbire silno majhnih debelin. To še ni samo po sebi nevarno, če pač držijo vsi privzetki o podajnosti tal in obeh bregov. Toda če se pod kakršnimi koli vplivi podajnost enega ali drugega brega močno poveča, pride kaj rado do katastrofe.

Pri tretji vrsti je sestavljena pregrada vsaj v glavnem iz dveh delov, ki prenašata neposredno oz. posredno vodne pritiske v tla. Tudi tu pritiska namreč voda navadno na enega ali več lokov; toda sile ne gredo od tam v bočno skalovlje, temveč preidejo v posebne oporne stene (sl. 86) in od tam v glavnem v tla. Prenašanje sil v tla je možno v splošnem le tedaj, če vplivajo vsi deli pregrade na tla s pritiski podobno kakor pri težnostni pregradi. Da to dosežemo, ne da bi morali nakopičiti velike množine materiala, nagnemo ločne nosivce poševno navzgor proti nizvodni strani. Ker pritiska voda na telo vedno

v pravokotni smeri k ploskvi dotika, gre pritisk vode na pregradi poševno proti desni navzdol. To pa pomeni, da voda sama pomaga stiskati pregrado oziroma jez k tlom in da zato vodoravni del te sile ne more tlakov med oporami in med podlago popolnoma uničiti, čeprav je teža te vrste konstrukcij še vedno znatno manjša kakor pri težnostnih pregradah.

Glede ostalih velikih zgradb naj za zaključek samo omenimo, da smo se v zadnjih desetletjih naučili graditi tudi silno lahke strehe iz železobetona, s katerimi se dajo brez vsake vmesne podpore pokriti velikanski prostori. V glavnem gre za tanke ukrivljene plošče ali lupine iz kovine oz. železobetona. Obliki lupin izberemo tako, da prenašajo po možnosti vsi njihovi deli obremenitve zaradi teže in vetra kolikor mogoče enakomerno kot celota. V takem primeru se namreč zaradi velikih razsežnosti lupine znatno zmanjšajo napetosti v njih in s tem odpade tudi nevarnost porušitve. Na ta način se dajo dandanes brez posebnih težav zgraditi tudi železobetonske strehe za pokritje prostorov, ki so dolgi in široki po 100 metrov, medtem ko je delala v preteklosti gradnja kupol s premerom nad 30 metrov še veliko sitnosti.



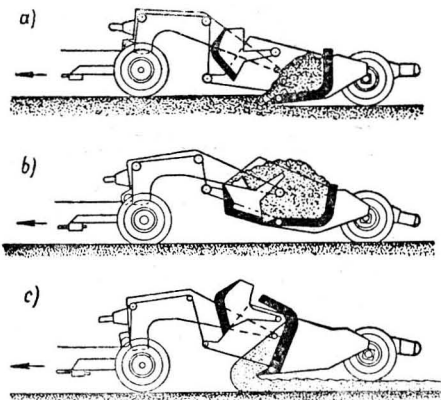
Sl. 86. Razčlenjena pregrada.

#### 14. GRADBENI STROJI IN GRADIVA

Dela na velikih zgradbah v preteklosti so po navadi zahtevala velikansko število delavcev; saj je šlo za odstranjevanje oz. prestavljanje silnih množin zemlje in za vgraditev znatnih količin gradbenega materiala kakor opeke, kamna, betona in jekla. Za opravljanje takih velikih del so seveda stroji kakor nalašč. Toda konstrukcija strojev, ki bi mogli v res zelo veliki meri nadomestiti delavce, ni tako lahka stvar in zato se je uveljavila skoraj popolna mehanizacija gradbeništva šele v zadnjih desetletjih, čeprav so prevzeli stroji določene vrste gradbenih del že zdavnaj prej.

Ker je treba opraviti celo vrsto del, da pridemo do končne zgradbe, so tudi gradbeni stroji kaj različni. Toda če izvzamemo posebne stroje, ki opravljajo le določeno vrsto del, ki pridejo redko v poštev, se dajo ostali stroji uvrstiti v eno izmed nasled-

njih skupin: stroji za kopanje, odstranjevanje ali prestavljanje zemlje, dvigala in transportni trakovi za gradbeni material, vrtni stroji, naprave za zabijanje kolov, stroji za drobljenje in sejanje kamna, stroji za izdelovanje, prevažanje in nabijanje betona in stroji za predhodno obdelavo tal. Ker je v vsaki od navedenih skupin več izvedb, ki se včasih med seboj tudi močno ločijo po načinu dela, ne bomo niti poskušali opisati po vrsti vseh strojev, temveč se bomo omejili na nekaj bolj znanih in zanimivih naprav.



Sl. 87. Skrejper.

Obe polovici je mogoče premakniti, da skrejper najprej koplje, nato prevaža in končno stresa material na tla.

Stroji za kopanje mehkih tal (pesek, gramoz ali glina) imajo v bistvu le močna rezila, s katerimi izrežejo kose tal in jih naložijo na prevozno sredstvo ali jih celo sami prestavijo drugam, če ni razdalja med obema mestoma prevelika. Tako ima n. pr. skrejper<sup>1</sup> (sl. 87) veliko rezilo, s katerim reže iz tal debelo rezino. Obenem pa se da sestaviti rezilo z drugim podobnim delom stroja v odprto posodo, v kateri prenesemo izkopani material tudi več sto metrov daleč. Na cilju se oba dela posode obrneta in material pade na tla. Narisani skrejper nima svo-

jega motorja in ga mora vleči za sabo traktor; namesto tega pa se da seveda tudi traktor združiti s skrejperjem v eno samo napravo, ki ne potrebuje pomoči za delo od zunaj.

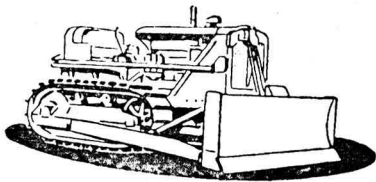
Namesto skrejperja uporabljamo pri kopanju in za premikanje zemlje na manjše razdalje raje buldozer<sup>2</sup>, ki je bolj pripraven, ker obenem koplje in potiska pred seboj skopano zemljo. Stroj je po navadi opremljen z močnim bencinskim motorjem in opravlja zato vse delo sam. Nož z navpičnim ščitom (sl. 88) se da dvigniti ali spuščati, tako da prilagodimo množino izkopane materiala uporu tal. Buldozer z motorjem 140 konjskih moči mo-

<sup>1</sup> Beseda pride od angleškega glagola to scrape, ki pomeni praskati ali strgati.

<sup>2</sup> Ameriški izraz bulldozer je prvotno pomenil ustrahovavca.

re skopati in prenesti v eni uri okrog 320 kubičnih metrov zemlje na razdaljo 25 metrov; pri večjih razdaljah pa se seveda velikost izkopa sorazmerno zmanjša.

Obe opisani pripravi in še nekaj drugih vrst strojev uporabljamo predvsem pri kopanju plitvih jam. Kadar pa želimo na razmeroma majhnem prostoru izkopati globoko vdolbino, uporabljamo raje ekskavatorje<sup>3</sup>. Te naprave imajo eno ali več posod, ki morejo naenkrat zajeti



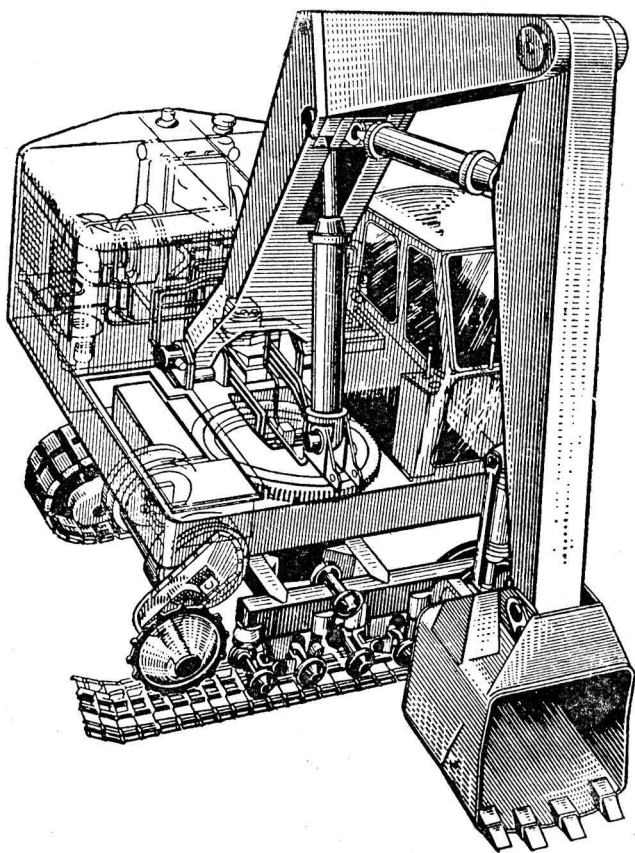
Sl. 88. Buldozer ali rinež.

od 0,15 do 3 kubične metre zemlje in ki imajo tri ostre robove (sl. 89). Če potisnemo tako posodo z veliko silo v zemljo, se ostri robovi vderejo vanjo in zajamejo s primernimi gibi velik kup zemlje. Nato dvigne stroj posodo z zemljo, posoda se zavrti okrog navpične osi, tako da lahko stroj strese zemljo n. pr. v tovorni avto. Če je tak ekskavator dobro opremljen, more izkopati in natovoriti v uri okrog 150 m<sup>3</sup> zemlje pri moči motorja okrog 120 do 160 konjskih moči.

Pri ekskavatorjih z več zajemavkami se posode pomikajo v sklenjenem krogu po ogrodju posebne oblike. Močan stroj vleče celo verigo posod okrog tako, da le-te najprej zajamejo zemljo in jo stresejo nato na drugem mestu v voziček. Taki stroji morejo nakopati še več zemlje kakor zgoraj navedene naprave, ker poteka kopanje in prenašanje zemlje veliko hitreje zaradi velikega števila zajemavk. Njihova slaba stran je, da so precej omejeni pri svojem delu in da je treba zato skrbno premisliti njihovo razmestitev proti jami in proti vozičkom za odvažanje izkopane zemlje.

Še hitrejšje kakor ekskavatorji delajo hidromehanične naprave za kopanje, prenašanje in nalaganje peska. Taka naprava je sestavljena iz dveh glavnih delov: iz priprave za odplakovanje, ki se imenuje tudi hidromonitor, in iz priprave za črpanje. Prva koplje pesek z odplakovanjem, nato pa ga prevzame črpalna naprava in ga pomešanega z vodo potiska po ceveh na drugo mesto. Take naprave morejo odplakniti in prestaviti drugam do 1000 kubičnih metrov peska na uro in porabijo za tako delo moči do 4400 kilovatov. S podobnimi napravami naplavlajo med ostalim tudi velike množine peska iz Donave na nižje ležeča mesta pri Novem Beogradu.

<sup>3</sup> Beseda je vzeta iz latinskih besed: ex.. iz in cavare.. votliti.



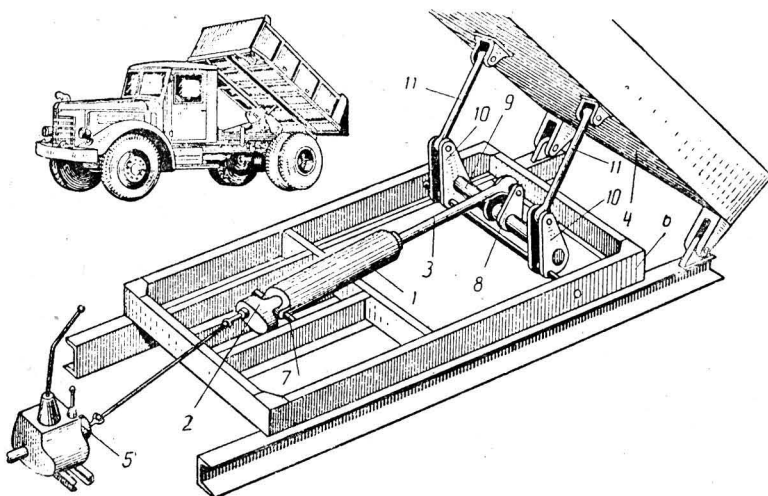
Sl. 89. Ekskavator z enim vedrom.

S pripravami za dviganje velikih bremen, ki igrajo v gradbeništvu predvsem pri gradnji stavb iz velikih posameznih delov (montažne<sup>4</sup> zgradbe) zelo važno vlogo, se ne moremo podrobno ukvarjati. Prav tako ne moremo opisovati naprav za vrtnanje tal, ki so zelo važne pri preiskovanju tal glede na njihovo sestavo in nosilnost in priprav za zabijanje tako imenovanih pilotov. Piloti so koli iz lesa ali iz železobetona, ki segajo od temeljev do bolj trdnih plasti v večjih ali manjših globinah in ki omogočajo grad-

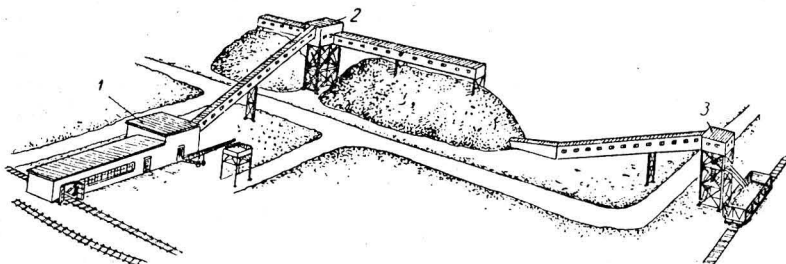
---

<sup>4</sup> Francoska beseda *montage* (beri *montaž*) je prvotno pomenila dviganje.

njo zelo težkih poslopij na razmeroma mehkih tleh. Od naprav za prevažanje gradbenega materiala naj samo na kratko omenimo tovarne avtomobile — prekucnike (sl. 90), pri katerih se da ves material naenkrat prekucniti iz zaboja. Ko črpamo olje v valj 1 hidravlične stiskalnice, se pomakne bat proti desni in zavrti ročico 10, da dvigne z ojnici 11 zaboj v skoraj navpično lego. Če torej odpremo pred prekucevanjem vrata zaboja, zdrkne ves material hitro na tla, ne da bi bilo treba pomagati z lopatami. Ker teče na primer tudi nakladanje zemlje z ekskavatorjem zelo hitro, je dandanes kopanje in odvažanje zemlje skoraj popolnoma avtomatizirano in poceni.



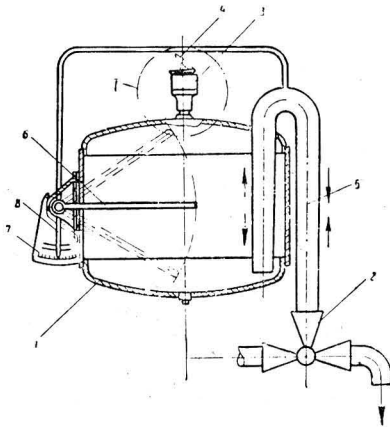
Sl. 90. Avtomobil prekucnik.



Sl. 91. Naprava za drobljenje gramoza.



Poleg dviganja je tudi prevažanje gradbenega materiala na zelo majhne razdalje velikega pomena za ceneno gradnjo raznih naprav. Pri taki vrsti prevažanja igrajo precej važno vlogo razne vrste transportnih trakov. Pri teh napravah vleče elektromotor sklenjen trak iz močne plastične snovi čez valjarje, tako da se premika s trakom vred tudi material, ki ga na enem mestu nasujemo na trak, dokler ne pride do druge skrajne točke traku, kjer pade sam po sebi v bunker za shranjevanje materiala ali na drugi trak.



Sl. 92. Odmerjanje vode za izdelovanje betona.

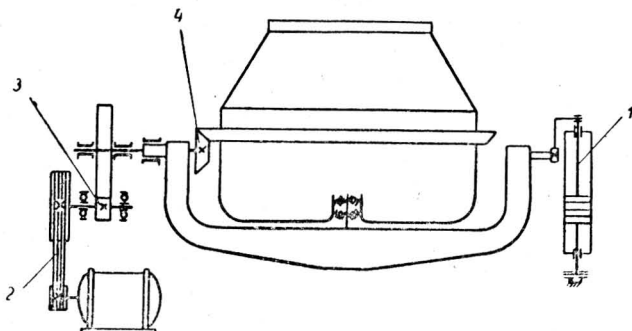
Voda pride spodaj z leve strani po cevi (5) v rezervoar (1) in ga napolni. Če obrnemo pipo (2) na drugo stran, izteče iz rezervoarja določena množina vode, ki se da z napravo (6 do 8) po volji spremenjati.

Celó drobljenje kamena za izdelavo betona je važen člen v verigi gradbene dejavnosti, saj porabimo navadno zanj okrog 7 odstotkov cele vsote, ki je potrebna za nabavo vsega gradbenega materiala. Poleg priprav za drobljenje samo in za sejanje zdrobljenega kamna so pri taki napravi posebno važni transportni trakovi (sl. 91), ki znatno olajšajo delo oziroma bistveno zmanjšajo število zaposlenih delavcev. Transportne trakove imamo med drobilno postajo 1 in med sejalnimi napravami 2, dalje med temi napravami in med zalogo kakor tudi med zalogo in nakladalno postajo 3.

Kakovost betona je odvisna v veliki meri od pravilnega razmerja med cementom, gramozom in vodo, in od tega, ali smo te tri snovi medsebojno dobro zmešali ali ne. Sodobna podjetja imajo zato še posebne naprave za dovajanje zelenih količin vseh treh sestavin betona, ki se imenujejo dozatorji. V mehaničnih mešalnikih se nato vsi ti deli temeljito zmešajo. Dozatorji za cement in gramoz so v bistvu avtomatične tehtnice, ki natehtajo določeno težo snovi in jo nato spustijo v mešalnik, dozatorji za vodo

pa so včasih neke vrste natega, skozi katero izteče vsakokrat iz zaprtega rezervoarja 1 vsa voda do višine notranjega ustja cevi 5 (sl. 92).

Betonske mešalnike najdemo na vsakem večjem gradbišču. Za izdelovanje zelo velikih množin betona imamo take naprave, pri katerih dovajamo na eni strani stalno sveže sestavne snovi in pri katerih prihaja na drugi strani neprestano sveži beton. Bolj pogosti pa so mešalniki, kjer dovajamo snovi za mešanje v presledkih in kjer tudi dobimo pripravljeno zmes šele tedaj, ko je mešanje končano. Glavni del takega mešalnika (sl. 93) je votel

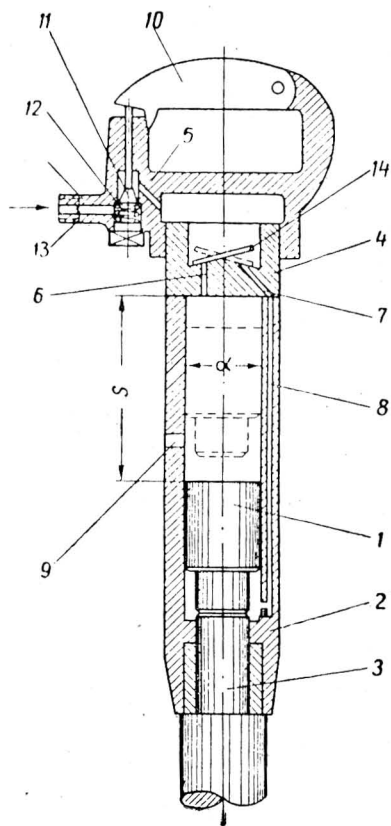


Sl. 93. Betonski mešalnik.

boben v katerega nasujemo v pravem razmerju vse tri sestavine betona in ki ga elektromotor vrti čez stožčaste zobnike 4 okrog njegove navpične osi. Ko je beton zaradi vrtenja v bobnu dovolj zmešan, nagnemo boben okrog vodoravne osi z ustjem navzdol in ga izpraznimo. Nato nasujemo v boben znova vodo, cement in gramoz in mešanje se začne znova. Če želimo doseči še boljši beton, namestimo v notranjščini bobna nepomične pokončne plošče iz pločevine, ki rijejo med vrtenjem po mešanici in jo na ta način še bolj temeljito premešajo.

Pri vrtnanju predorov, pa tudi drugod v gradbeništvu, rudarstvu in strojništvu igrajo zelo važno vlogo pnevmatični svedri. Na spodnjem koncu držala 3 takega svedra (sl. 94) je pritrjeno dleto (spodnji del držala in dleto nista narisana na sliki), katero pri vsakem gibu bata 1 navzdol tudi samo odleti navzdol in udari z veliko silo ob skalo. Stisnjeni zrak s pritiskom 6 do 7 atmosfer prihaja po gumijasti cevi skozi nastavek 13 v notranjščino kladiiva, čim odpre delavec s pritiskom na vzvod 10 zraku pot. Zaklopka 14 odpira izmenoma dostop stisnjenega zraku na

zgornjo in spodnjo stranjo bata 1, ki se zato giblje gor in dol in ki udari pri vsakem gibu navzdol s podaljškom na nastavek 3 držala.



Sl. 94. Pnevmatično kladivo.

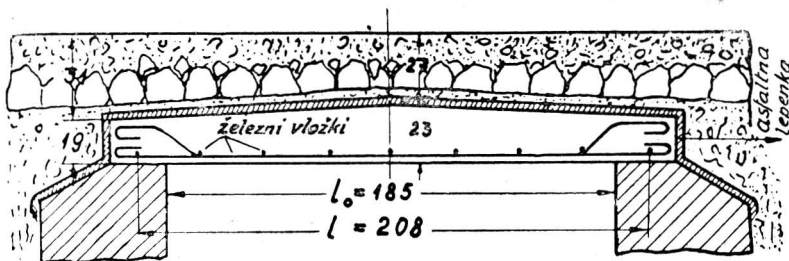
O gradivih ne bomo obširno razpravljali, ker jih več ali manj vsi poznamo. Poleg kamna in opeke so posebno za gradnjo nosilnih ogrodij velikih zgradb pomembne tudi kovine, v prvi vrsti določene vrste jekla in v novejši dobi v posameznih primerih tudi duraluminij in druge zlitine. Pri nas in tudi v številnih drugih državah pa je le beton eno najbolj pogostih gradiv za številne manjše in večje zgradbe. Kakor smo že omenili, dobimo beton z mešanjem cementa, gramoza in vode. Cementov imamo več vrst, od katerih pa je najvažnejši portlandski cement (imevan po otoku Portland v južni Angliji). Dobimo ga z močnim segrevanjem mešanice apnenca in gline, ki se med pečenjem sesedata in dasta po shladitvi kakor kamen trdo prepeko. Prepeko je treba nato še z majhnim dodatkom sadre zmleti v fino moko in jo spraviti tako, da je varna pred vlago. Včasih tudi dodamo prepeki že pred mletjem druge snovi in

dobimo tako posebne vrste cementov. Sem spada na primer žlindrast cement, kateremu dodajamo še žlindro iz visokih peči.

Lastnosti betona so odvisne v veliki meri od množine cementa, od razmerja dodatkov v obliki gramoza in peska in od množine dodane vode. Značilna za beton je zelo velika trdnost na pritisk in izredno majhna odpornost proti nateznim napetostim. Vzrok tej majhni odpornosti je silna krhkost betona, v katerem nastanejo majhne razpoke že pri izredno nizkih nateznih obremenitvah. Ta značilna lastnost betona v zvezi s težnjo po čim bolj učinkoviti

gradnji je tudi dovedla do dveh načinov gradnje, od katerih je eden že star, drugi pa razmeroma nov. V mislih imamo ojačeni in prednapeti beton.

Zamisel, s katero so prišli do ojačenega betona, je zelo preprosta. Pokaže se, da povzročijo vse obremenitve na koncu koncev v vsaki snovi v okolici vsakega mesta po tri pravokotne sile, ki ležijo tudi same v treh med seboj pravokotnih prerezih. Te sile morejo biti le natezne ali tlačne, ker vleče sosednja snov tak majhen del nosivca v okolici vsake točke ali k sebi ali pa ga potiska proč od sebe. Ker beton nateznih sil skoraj ne prenese, vložimo vanj v mali medsebojni razdalji jeklene žice ali palice v smeri nateznih sil ali vsaj približno v smeri nateznih sil. Smeri omenjenih sil se namreč z obtežbo spreminjajo in tudi če bi šle žice oziroma palice pri določeni obtežbi natančno v smeri nateznih sil, se obe smeri pri spremenjenih obtežbah navadno ne ujemata več. Poleg tega se tudi smeri takih sil od enega mesta v nosivcu k drugemu včasih zelo močno menjajo, tako da bi morali ukriviti zato železne vložke v zelo zamotane oblike, kar pa je zelo težko napraviti. Zato prilagodimo žice in palice le v glavnem poteku nateznih sil in jih poleg tega na obeh koncih vedno še zakrivimo v kljuko, da jih beton bolj pritegne k nošenju bremen.



Sl. 95. Jekleni vložki v nosilni betonski plošči.

Na sliki 95 vidimo prerez čez železobetonsko ploščo nad odprtino, ki je široka le 185 cm. Plošča je v sredi debela 23 cm in je pokrita s tanko plastjo asfaltne lepenke. Na lepenko je vložena plast kamenja in nad njo je še plast pustega betona, ki le malo pomaga pri prenašanju bremen. V plošči so spodaj položene vzdolž in počez železne palice, od katerih je vsaka druga vzdolžna palica na obeh koncih plošče zavihana še navzgor, da bolj sledi smeri prej omenjenih nateznih sil.

Da bi imel beton dovolj veliko trdnost in da bi bil povsod kolikor mogoče enako gost, ga po navadi takoj po betoniranju

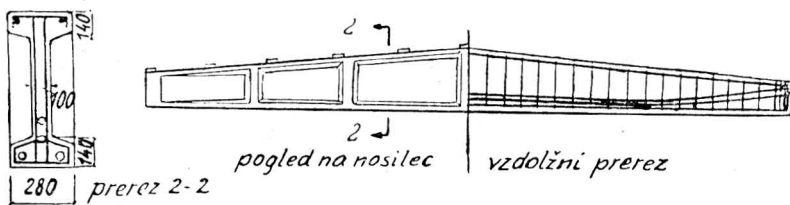
čim bolj zgostimo s teptanjem ali še bolje s številnimi udarci, ki jih dajejo posebni stroji (vibratorji ali pervibratorji).

Uvedba prednapetega ojačenega betona pomeni še en korak naprej v dosledni težnji po čim boljši izrabi vseh nosilnih sposobnosti železa in betona. Pri ravnokar opisani plošči iz navadnega ojačenega betona so tako železne palice kakor beton skoraj brez vsakih napetosti, dokler ne pride na ploščo težko breme. Med močnim obremenjevanjem pa se raztegnejo na spodnji strani plošče tako železne palice kakor tudi beton. Toda ker je beton zelo krhek, nastanejo hitro v njem razpoke, ki preprečijo vsako nadaljnje sodelovanje betona pri prenašanju nateznih napetosti. Toda ne le to; v take razpoke prihaja večkrat tudi voda, ki jih pri zmrzovanju še bolj poveča. V vsakem primeru pa je beton v razpokanih nateznih območjih mrtev, ker nič ne pomaga pri prenašanju bremen in služi le kot neke vrste ovitek za železne žice in palice.

Kako preprečiti razpoke v betonu pod vplivom nateznih sil, ki jih povzročijo obtežbe? Rešitev je v bistvu zelo preprosta. Namesto navadnih železnih palic vzamemo več močnih žic in jih najprej z veliko silo napnemo. Nato šele izdelamo betonski nosivec okrog žic tako, da bodo ležale žice v spodnjem delu nosivca, tam kjer se pač pojavijo natezne sile, ko premostimo z nosivcem jarek ali drugo oviro in ga obremenimo. Ko se beton strdi, odstranimo napenjalno napravo. Žice se bodo takoj skušale skrčiti; toda ker so trdno sprijete z betonom, to ni mogoče. Tako ostanejo žice še napete na nateg, v betonu pa se že pred obremenitvijo pojavijo tlačne napetosti, ki držijo ravnotežje nateznim silam v žicah. Če sedaj tak nosivec obremenimo na upogib, se bodo žice še naprej raztezale in z njimi vred tudi beton v spodnjem delu nosivca. Toda ker smo imeli prej v betonu zaradi natezih žic tlačne napetosti, se pri raztezanju betona samo tlačne napetosti zmanjšajo, ne da bi se v njem zares pojavil nateg. Beton zato ne razpoka in pomaga po celem prerezu pri prenašanju upogiba.

Opisani način izdelave prednapetega betonskega nosivca je le eden od možnih in ima celo določene slabosti, o katerih ne moremo podrobno razpravljati. Prednapeti nosivec bi dobili ravno tako tudi na ta način, da vbetoniramo žice brez vsake napetosti in jih šele naknadno napnemo, ko se beton že strdi in postane dovolj trden. Seveda je to možno le tedaj, če preprečimo sprijetje žic ob betonu, ker moramo napeti na nateg le žice, ne pa tudi beton. Sprijemanje žic ob betonu preprečimo na razne načine, na primer tako, da žice pred vbetoniranjem premažemo s

posebno vrsto laka. Ko smo žice napeli, jih moramo seveda na koncih nosivca še zasidrati v beton, ker morajo natezne sile žic pri napenjanju povzročati v betonu tlačne napetosti.



Sl. 96. Prednapeti strešni nosivec.

Na sl. 96 je pokazan strešni nosivec iz prednapetega betona. Desna polovica nosivca je risana tako, da se vidi na spodnji in zgornji strani potek žic v vzdolžni smeri nosivca. Čisto na levi strani je podan prečni prerez takega nosivca. Kakor vidimo, je tukaj število glavnih žic v vzdolžni smeri in pomožnih žic poprek k dolžini veliko večje kakor pri ojačenem betonu.

Prostor, ki je na razpolago za drugi del naših pomenkov o tehniki, gre proti kraju, čeprav smo se mogli doslej seznaniti le z glavnimi vprašanji prometne in gradbene tehnike, od katerih niti ne posegajo prav vsa posebno globoko v naše vsakdanje življenje. Popolnoma ob strani pa smo pustili druge veje tehnike, s katerimi se skoraj vsak dan srečujemo, kakor so npr. tekstilna, kinematografska, papirna in tiskarska tehnika, ali pa take, ki so vsaj enako ali pa še bolj pomembne kakor nekatere od že opisanih. Sem spadajo gotovo pridobivanje in predelava rud, premoga in nafte, izdelovanje raznih umetnih snovi, shranjevanje živil in izdelovanje strojev, ki posredno ali neposredno tako močno vplivajo na naš način življenja. Če pojde vse po sreči, bomo delo in dosežke na tem in na nekaterih drugih področjih skušali pokazati v tretjem delu teh črtic.

## KAZALO

	Stran
1. Letalo in druga zračna vozila .....	3
2. Nekaj aerodinamike .....	8
3. Kako je zgrajeno letalo? .....	18
4. Hitrost zvoka in njen pomen v letalstvu .....	29
5. Letalski motorji .....	35
6. Kaj zmore današnja letalska tehnika? .....	45
7. Sputniki in vesoljske ladje .....	51
8. Ladje .....	60
9. Posebne vrste ladij .....	69
10. Avtomobili .....	74
11. Kaj bo z železnicami? .....	79
12. Mostovi in tuneli .....	87
13. Prometne in industrijske zgradbe .....	95
14. Gradbeni stroji in gradiva .....	101





