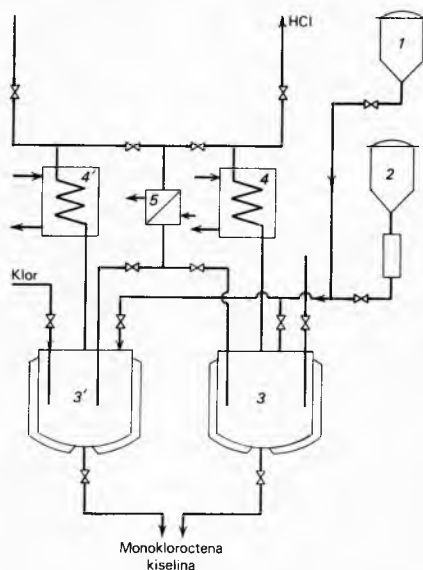


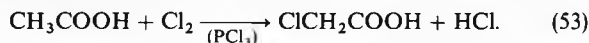
a tekući *o*-izomer prečišćava se frakcijskom destilacijom uz sniženi tlak.

Monokloroctena kiselina, $\text{Cl} \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{COOH}$. Ta se kiselina može pripremiti brojnim postupcima od kojih su dva važna za tehničku proizvodnju: šaržno ili kontinuirano kloriranje octene kiseline, te hidroliza 1,1,2-trikloretana. Prema prvom postupku,



Sl. 4. Sinteza monokloroctene kiseline. 1 spremnik octene kiseline, 2 spremnik fosfortriklorida, 3 i 3' reaktori, 4 i 4' hladila, 5 kondenzator

(sl. 4), octena se kiselina klorira u prisutnosti fosfortriklorida koji služi kao katalizator:



Jedan od grijanih emajliranih reaktora, koji se pune naizmjenično, napuni se octenom kiselinom uz dodatak fosfortriklorida. Iz susjednog reaktora, u kojem je reakcija u toku, u prvi se reaktor uvode izlazni plinovi, koji se sastoje od smjese otparene octene kiseline i reakcijom nastalih acetilklorida i klorovodika. Nakon njihove apsorpcije reakcijska smjesa se zagrije na 100°C i tada uvodi klor. U proizvodnji tehničkog produkta reakcija se provodi uz utrošak jednog mola klora po molu octene kiseline. Produkt tada sadrži oko 5 molarnih postotaka dikloroctene kiseline. Želi li se dobiti čišći produkt, reakcija se provodi uz utrošak samo 0,5 mola klora po molu octene kiseline.

LIT.: M. Coenen, Halogenierung, i R. Criege, Halogenverbindungen — Organische, u djelu: Ullmanns Encyclopädie der technischen Chemie, Bd. 8. Urban u. Schwarzenberg, München-Berlin 1957. — J. S. Sconce, P. H. Groggins, H. P. Newton, Halogenovanje, u djelu: P. H. Groggins (red.), Tehnološki procesi u organskoj sintezi (prijevod s engleskog). Građevinska knjiga, Beograd 1967. — H. O. House, Modern synthetic reactions — Halogenation, W. A. Benjamin, Inc., Menlo Park, 1972. — M. F. Ansell, Preparation of acyl halides, u djelu: S. Patai edit., The chemistry of acyl halides. Interscience Publ., London 1972. — R. T. Morrison, R. N. Boyd, Organic Chemistry. Allyn and Bacon, Inc., Boston 1973.

K. Jakopčić

HELIKOPTER, dinamička letjelica sposobna da vertikalno poleti, sleti i lebdi ili krivolinijski manevrira u atmosferi, vlastitom pogonskom grupom, motorom i obrtnim krilima — rotorom, ostvaruje aerodinamičnu uzgonsku i vučnu silu savlađujući svoju težinu, aerodinamični otpor i inercijalne sile ubrzanog ili krivolinijskog kretanja kroz atmosferu. Helikopter služi za prijevoz ljudi i tereta u određenim uvjetima. Može vertikalno polijetati, slijetati i lebjeti na određenoj visini, a može se kretati bočno i unazad, okretati se u mjestu i penjati

se, odnosno spuštati pod željenim kutom prema horizontu. Specijalne konstrukcije mogu izvoditi i složenije manevarske letove.

Naziv helikopter izveden je prema grčkom *ἑλῑξ* heliks vijak, i *πτερον* pteron krilo.

Ideju o helikopteru prvi je pismeno formulirao Leonardo da Vinci (1475) svojim crtežom sprave za vertikalno penjanje okretanjem zavojnih ploha koje pokreće čovjek snagom svojih mišića (sl. 1). Ruski znanstvenik M. V. Lomonosov (1754) predložio je model aparata težeg od zraka sa dva koaksijalna rotora. Prvi model helikoptera sposobnog za vertikalno penjanje (1784) prikazali su Lounoy i Bienvenu Francuskoj akademiji znanosti. U Velikoj Britaniji W. H. Phillips prvi je predložio da se lopatice rotora pokreću reakcijom plinskog mlaza koji istječe na njihovim vrhovima, a stvara se izgaranjem mješavine ugljene prašine, salitre i sadre. Model izgrađen prema ovom prijedlogu dostigao je određenu visinu i preletio 1842. priličnu udaljenost. H. Bright je 1859. prvi dobio patentno pravo za shemu kontrarotirajućih koaksijalnih rotora. Ta je ideja kasnije prihvaćena od mnogih pionira kao što su T. von Karman, C. d'Ascanio i L. Breguet. C. Persons (1893) eksperimentirao je s rotorima koje pokreće parni stroj. Za uravnoteženje obrtnog momenta upotrijebljeno je vertikalno kormilo. Sustav rotora sa šest dvokrakih elisa promjera 7,60 m bio je iskorišten za helikopter koji je izradio Denny 1905. Postoji izvještaj da se ovaj helikopter odvojio od tla.

Na početku ovoga stoljeća braća W. i O. Wright su uspjeli letjeti pomoću letjelice s nepomičnim krilom, dok su 1907. Francuzi L. Breguet i L. C. Richet uspjeli letjeti s helikopterom. U SAD prvi je E. Berliner 1908. letio na svom helikopteru s koaksijalnim rotorima. U Rusiji je I. Sikorsky 1910. izgradio helikopter s koaksijalnim rotorima koji je polijetao bez pilota, dok je B. Jurjev za svoj jednorotorni helikopter 1912. dobio međunarodna priznanja.

Brzi razvoj aviona, letjelica s fiksnim krilima, donekle je odvratio pozornost konstruktora od koncepcije helikoptera. Rotirajući kraci (lopatice) unosili su vrlo složene probleme pri projektiranju i gradnji zbog teškoća oko uravnoteženja sile i momenta koji su uzrokovali snažne vibracije, osobito u režimima progresivnog, horizontalnog leta.

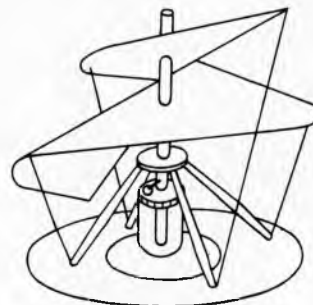
Mnogobrojni pioniri, kao Danac J. Ellehammer (1912), S. Petroczy (1916), Mađar u Austro-Ugarskoj i Ivan Sarić (1917) iz Subotice, doprinijeli su razvoju konstrukcija letjelica, prema tome i helikoptera. Talijan V. Isacco 1920. ispitivao je helikopter koji je na krajevima krakova imao motore s elisama.

Razvoj autogira otpočeo je Španjolac J. de la Cierva 1920, a već 1923. preselivši se u Veliku Britaniju, uspješno je letio zahvaljujući primjeni slobodnog mahanja lopatica koje je omogućilo i brz razvoj helikoptera. Promjena skupnog, kolektivnog koraka ili nagibnog kuta lopatica, također je prvi put upotrijebljena u autogiru, koji je imao pogonsku grupu s motorom i elisom za neovisno generiranje vučne sile, dok je uzgon ostvarivao slobodni rotor u režimu jedrenja, odnosno autorotacije lopatica.

L. Brennan je izgradio i ispitao svoj helikopter u Farnboroughu 1925. Taj helikopter imao je rotor promjera 18,3 m, a dvije elise na vrhovima krakova, povezane sa središnjim motorom koji se također okretao, pokretali su rotor. Postoje dokazi da je taj helikopter preletio 60 metara neposredno iznad tla.

H. Glauert je 1927. priopćio Kraljevskom aeronautičkom društvu u Londonu svoj poznati rad o teoriji rotora sa slobodnim mahanjem krakova, omogućivši tako brži razvoj helikoptera.

Španjolac P. Pescara 1928. izradio je više helikoptera opremivši ih sustavima za upravljanje, a C. d'Ascanio već je 1930. izvršio više uspješnih letova u Italiji, od kojih je jedan trajao 5 minuta i 40 sekunda preletjevši 1 km. Iste godine je letio Danac A. Baumhaur, a u Francuskoj su 1936. L. Breguet i R. Dorand uveli sustav upravljanja pokretnim krakovima na koaksijalnim rotorima. Grupa stručnjaka u SSSR, u godinama prije drugoga svjetskog rata, postigla je zapažene rezultate s nekoliko konstrukcija od kojih je jednorotorni jednosjed 1-EA dostigao visinu od 605 m.



Sl. 1. Skica helikoptera Leonarda da Vincija iz 1475.

Nijemac H. Focke prvi je konstruirao helikopter koji je 1936. poletio (FW 61), a kasnije je bio dugo u praktičnoj upotrebi. Letio je do visine od 3427 m, brzina mu je bila 122 km/h, autonomija leta 1 sat i 20 minuta, a dolet 230 km. I. Sikorsky u SAD izgradio je helikopter VS-300 koji je letio 1939. da bi nakon modifikacija 1941. nadmašio FW 61 u trajanju leta za jednu minutu i 26 sekundi. Iste godine helikopter Sikorskog je uspješno poletio i sletio na vodu. U toku drugoga svjetskog rata Sikorsky je razvio nove tipove helikoptera u SAD, I. P. Bratuhin i B. N. Jurjev u SSSR, a u Njemačkoj H. Focke i A. Flettner. Prvi mlazni helikopter izgrađen je 1943. u Njemačkoj, a konstruirao ga je F. von Doblhoff.

Poslije 1945. nastaje era razvoja suvremenih helikoptera. Sve su bitne komponente i ideje razrađene, te je ostalo samo

da se još tehnološki i industrijski problemi riješe u serijskoj proizvodnji. Bilo je, prirodno, mnogih poboljšanja u konstrukcijskim rješenjima; povećana je pouzdanost i vijek trajanja rotora, svladane su vibracije i pojave nestabilnosti, uvedeni su servouređaji u komandama leta, troškovi proizvodnje i ispitivanja lopatica znatno su smanjeni, a neprekidno su poboljšavane performanse i raznovrsne mogućnosti primjene.

Mlazni je motor već šezdesetih godina uveden za srednje i veće helikoptere kao izrazito bolje rješenje, a suvremena elektronika kao obvezna oprema.

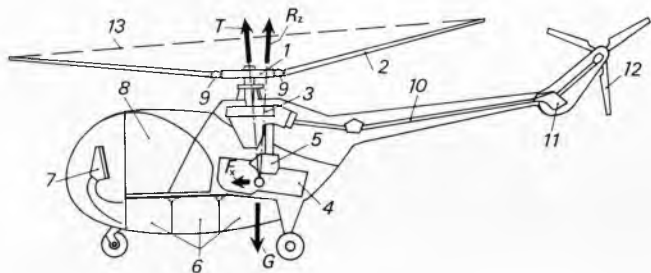
Novi materijali, osobito armirane umjetne smole sa sačastim ispunama (honeycomb), zadnjih deset godina radikalno djeluju na koncepcije lopatica i glave rotora. Složena i često nedovoljno pouzdana rješenja prijenosa centrifugalnih opterećenja preko konvencionalnih ležajeva danas se izvodi pomoću kombinacije torzijskih šipki i teflonskih ležajeva.

Razvoj elektronike utjecao je bitno na suvremeno opremanje helikoptera autopilotima za stabilizaciju, ali i za sigurnije instrumentalno letenje u složenim uvjetima.

Uspješne konstrukcije plinskih turbina, koje zapremaju relativno malen prostor, omogućile su ugradnju dvaju paralelnih motora radi povećanja sigurnosti ako otkaze jedan od njih, budući da je snaga motora odabrana tako da omogući pouzdani let i sletanje sa samo jednim motorom u pogonu.

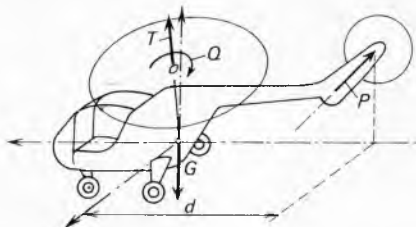
KONSTRUKCIJA HELIKOPTERA

Tipična izvedba helikoptera sastoji se od trupa za smještaj posade i korisnog tereta, pogonske grupe koja ima motor vezan preko *transmisije* za *glavu rotora* i *rotor*, te *repnog rotora* što uravnotežuje okretni moment (sl. 2).



Sl. 2. Tipična konfiguracija helikoptera. 1 glava rotora, 2 lopatica rotora, 3 glavni reduktor, 4 motor, 5 prvi reduktor, 6 rezervoari goriva, 7 ploča s instrumentima, 8 posada, 9 zglobovi lopatica, 10 repna transmisija, 11 repni reduktor, 12 repni rotor, 13 ravnina vrhova krakova, G težina, R_z uzgon, F_x vučna sila, T rezultanta rotora

Optimalni rad motora obično iziskuje visoke brojeve okretaja, dok optimalni rad rotora, a osobito ograničenja zbog kritičnog Machovog broja, zahtijeva relativno male, dozvučne brzine lopatica, te se snaga motora predaje preko transmisije koja više puta smanjuje broj okretaja preko prvog (uz motor) i glavnog reduktora (uz glavu rotora). Dio snage također se

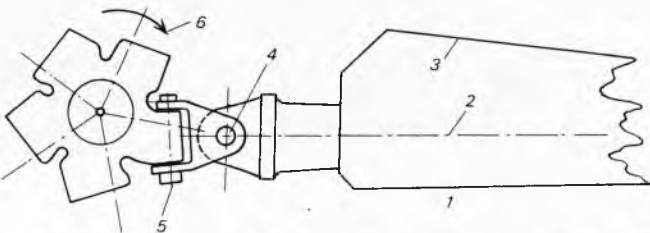


Sl. 3. Uravnoteženje okretnog momenta glavnog rotora momentom vučne sile repnog rotora. T rezultanta glavnog rotora, Q vučna sila repnog rotora, G težina, d krak vučne sile repnog rotora

predaje repnom rotoru koji uravnotežuje okretni moment glavnog rotora, ali se *promjenom koraka* repnog rotora može mijenjati bočna sila tako da se omogući okretanje, odnosno upravljanje oko vertikalne osi helikoptera (sl. 3).

Motor helikoptera preko prvog reduktora, što je konstrukcijski vezan za motor, prenosi dio snage do glavnog reduktora gdje se broj okretaja reducira na potrebnu razinu za rad lopatica, a dio snage predaje preko dugog vratila do reduktora repnog rotora, a zatim i do lopatica repnog rotora. Uz glavni ili prvi reduktor obično se još ugrađuju i spojke pogodne konstrukcije radi mogućnosti postupnog zaleta glavnog rotora ili naglog odvajanja glave rotora od motora pri prijelazu u režim autorotacije, ili jedrenja krakova, ako iznenadno prestane rad motora te je potrebno vlastitom težinom ostvariti dovoljan uzgon za sigurno spuštanje i prizemljenje.

Glava rotora mora zadovoljiti brojne zahtjeve. Treba da osigura zglobovnu ili dovoljno elastičnu vezu lopatica tako da se omogući slobodno mahanje i zabacivanje u određenom području kutova, te da omogući promjenu nagibnih kutova lopatice i to skupno, za sve lopatice istodobno, i u toku jednog okreta lopatice — ciklično (sl. 4 i 5). Pored toga, veze moraju biti pouzdane pri prijenosu opterećenja i, osobito, pri radu sustava upravljanja.



Sl. 4. Tipična veza lopatice za glavu rotora. 1 napadna ivica lopatice, 2 os promjene koraka, 3 izlazna ivica lopatice, 4 zglobov zabacivanja, 5 zglobov mahanja, 6 smjer okretanja



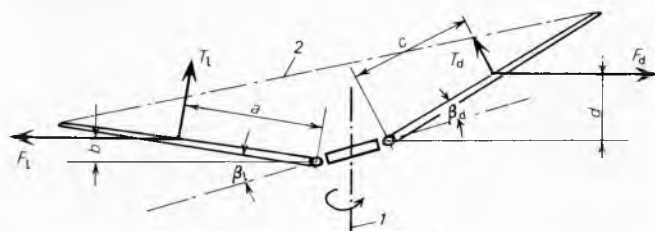
Sl. 5. Helikopter Sikorsky YCH-53E. Na slici je vidljiva promjena cikličnog koraka pojedinih lopatica rotora

Ciklički korak, ili nagibni kut referentnog lokalnog aeroprofila na lopatici, mora se mijenjati u toku kretanja po krugu zbog toga što su u horizontalnom letu različite brzine lopatica koje se kreću u smjeru leta od brzine lopatica što se kreću u suprotnom smjeru. Pri tome, veće brzine daju uvećani uzgon pri istom kutu, pa se smanjivanjem kutova na jednoj strani rotorskog kruga i povećavanjem na drugoj strani uravnotežuju sile, ili se upravljanjem namjerno naginje ravnina vrhova kako bi se proizvela potrebna horizontalna komponenta vučne sile.

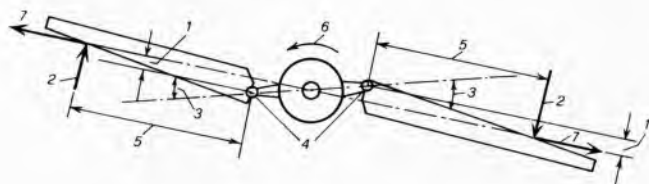
Kutove *mahanja* omogućuju zglobovi koji imaju graničnike što određuju određeno područje kutova. Mahanjem se uravnotežuju momenti uzgona i momenti centrifugalnih sila lopatice

tako da se preko zgloba prenose samo sile, a to znatno umanjuje neuravnoteženi dio momenata za središte glave rotora (sl. 6).

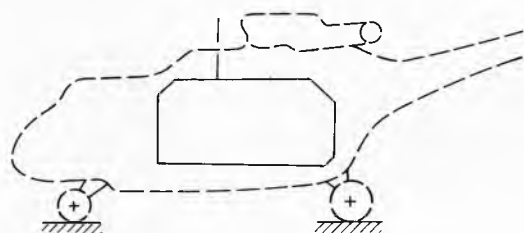
Kutovi *zabacivanja* imaju istu funkciju, ali za sile otpora i centrifugalne sile lopatica (sl. 7).



Sl. 6. Mahanje lopatica — ravnoteža momenata centrifugalne i uzgonske sile lopatica. T_d uzgon desnog kraka, T_t uzgon lijevog kraka, F_d centrifugalna sila desnog kraka, F_t centrifugalna sila lijevog kraka, a i c krak uzgonske sile, b i d krak centrifugalne sile, β_d i β_t kutovi mahanja desne i lijeve lopatice, 1 os rotacije, 2 ravnina vrhova lopatica



Sl. 7. Zabacivanje lopatica — ravnoteža momenta otpora i centrifugalne sile lopatica. 1 krak centrifugalne sile, 2 sila otpora lopatice, 3 kut zabacivanja, 4 zglobovi zabacivanja, 5 krak sile otpora, 6 smjer rotacije, 7 centrifugalna sila lopatice



Sl. 8. Prikaz uobičajenog položaja prostora za smještaj putnika ili tereta

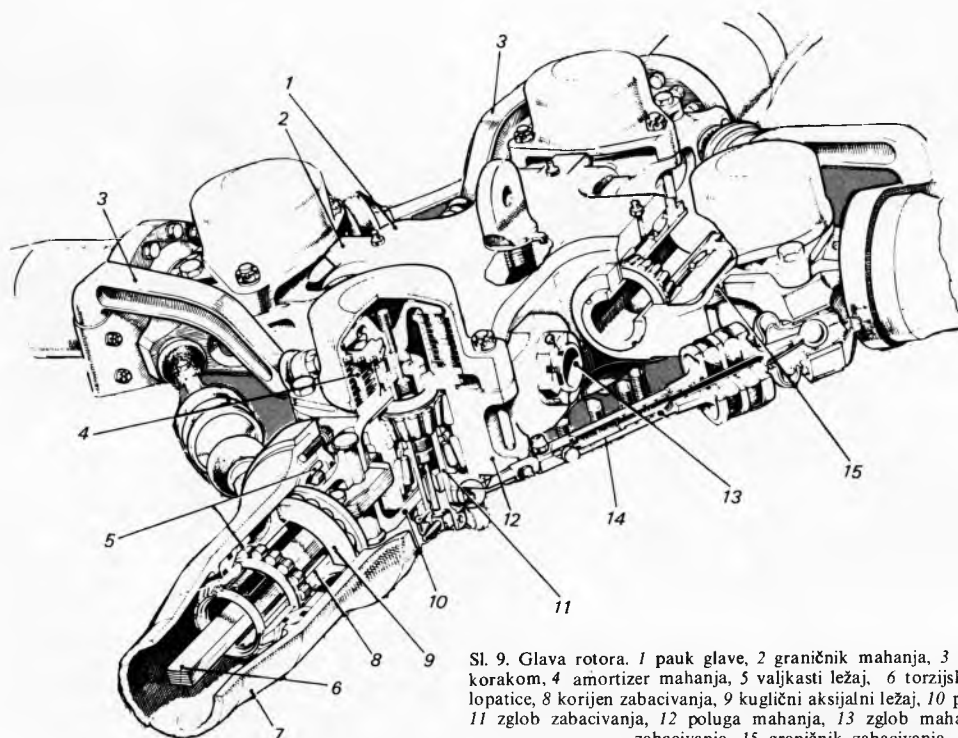
Motori (danas se sve češće ugrađuju po dva motora koji paralelno pokreću transmisiju i rotore) i gorivo smješteni su u središnjem dijelu trupa tako da se potrošnjom goriva malo pomiče težište kako bi se očuvala stabilnost i zadovoljavajuća upravljivost u toku svih faza trajanja leta.

Posada i instrumenti nalaze se u prednjoj kabini, dok se koristan teret kod većine tipova helikoptera nalazi u posebnoj prostoriji u središtu trupa. Ako je koristan teret većih gabarita, podižu se motori iznad ove prostorije kako bi se ostvario u blizini težišta dovoljni volumen za promjenljiva opterećenja koja nastaju zbog raznolike težine tereta i putnika (sl. 8).

Glava rotora. Osnovna je funkcija glave rotora da prenese snagu od transmisije krakovima rotora (lopaticama), da omogući upravljanje nagibnim kutovima aeroprofila lopatica (i to promjenom skupnog i cikličkog nagibnog kuta ili koraka), da umanjí do dozvoljenih veličina neuravnotežene momente, da omogući prigušenje nepoželjnih vibracija, da prenese velika opterećenja od centrifugalnih i aerodinamičkih sila bez deformacija u toku zadanog vijeka eksploatacije i da udovolji svim zahtjevima lakog održavanja, kontrole i brojnim proizvodno-tehnološkim ograničenjima.

Na sl. 9 vidi se shema tipičnog rješenja glave rotora za veće helikoptere sa četiri kraka — lopatice. *Pauk glave* je masivno metalno tijelo koje prima snagu od pogonskog vratila i prenosi je na lopatice. Za izdanke pauka vezani su zglobovi mahanja, pri čemu je mahanje ograničeno graničnicima. Poluga mahanja polazi od zgloba mahanja, a završava se zglibom zabacivanja. Zglob zabacivanja početak je poluge zabacivanja za koju se vezuje torzijska šipka. Ta šipka sastavljena je od tankih čeličnih listova (lamela) tako da ima veoma malu krutost na torziju, a istodobno veliku nosivost na istezanje. Zbog tih svojstava ta šipka prenosi opterećenje zbog centrifugalnih sila tako da potpuno ili djelimično rasterećuje ležajeve koji tada imaju višak sigurnosti. Za vrijeme upravljanja šipka svojom neznatnom krutošću na torziju dozvoljava lako okretanje lopatica. Torzijska šipka je vanjskim krajem vezana za konstrukciju lopatice, a unutrašnjim za polugu zabacivanja. Upravlja se pomicanjem poluge koraka koja okreće lopaticu oko ležajeva i time mijenja nagibne kutove u skladu s radom komandi cikličkog ili skupnog koraka.

Zahvaljujući novim materijalima osobito umjetnim smolama armiranim staklenim predivom (u novije vrijeme i ugljikovim



Sl. 9. Glava rotora. 1 pauk glave, 2 graničnik mahanja, 3 poluga upravljanja korakom, 4 amortizer mahanja, 5 valjkasti ležaj, 6 torzijska šipka, 7 korijen lopatice, 8 korijen zabacivanja, 9 kuglični aksijalni ležaj, 10 poluga zabacivanja, 11 zglob zabacivanja, 12 poluga mahanja, 13 zglob mahanja, 14 amortizer zabacivanja, 15 graničnik zabacivanja

vlaknima) znatno se može pojednostavniti konstrukcija glave rotora za manje helikoptere; ako se još upotrijebe elastične ploče od titana tako da preuzimaju dio funkcija zglobova mahanja, mogu se pojednostavniti i helikopteri srednjih veličina (sl. 10).



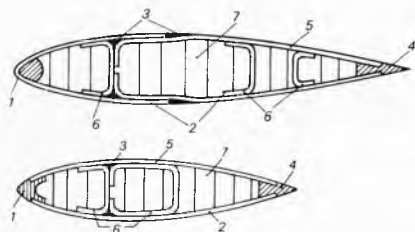
Sl. 10. Glava rotora s titanskom pločom za elastično mahanje

Semirigidni (polukruti) rotori, ili rotori s vrlo elastičnim lopaticama obično od armiranih umjetnih smola (fiberglassa), mogu imati jednostavne glave koje osiguravaju samo promjenu koraka, dakle, bez zglobova mahanja i zabacivanja (sl. 11).



Sl. 11. Glava semirigidnog rotora koja omogućuje samo promjene koraka

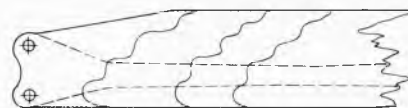
Lopatica rotora gradi se u obliku krila s evolutivnim aeroprofilima i s odgovarajućim vitoperenjem tetivne plohe. Danas se lopatice proizvode od različitih materijala, s ramenjačama i oblogom od lima lakih legura ili armirane umjetne smole koje se lijepe na spojnim ploham. Ispuna se često gradi od sačastih struktura, pretežno od umjetnih smola ali nekad i od



Sl. 12. Struktura presjeka lopatice. 1 napadna ivica, 2 obloga donje površine (donjake), 3 plastična ispuna, 4 izlazna ivica, 5 obloga gornje površine (gornjake), 6 ramenjače, 7 sačasta ispuna

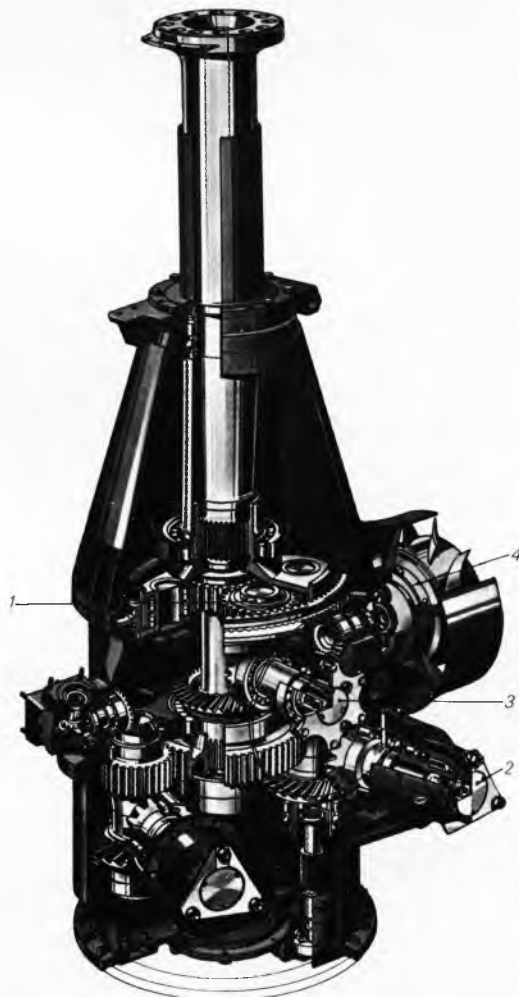
legura lakih metala. U napadnoj ivici ugrađuju se grijači radi sprečavanja zaleđivanja koje najprije nastaje na prednjim površinama. Metalna ispuna na napadnoj ivici ugrađuje se i zato da se težišna i elastična os što više približe, kako bi se smanjio uzajamni utjecaj torzijskih i fleksijskih vibracija (sl. 12 i 13).

Struktura lopatica spaja se lijepljenjem zbog toga što je u radu izložena intenzivnim promjenljivim opterećenjima, te bi svako bušenje provrta za spojne elemente uzrokovalo koncentracije naprezanja u radu, a to bi smanjilo vijek trajanja lopatica koji je još uvijek granični faktor ekonomičnosti helikoptera.



Sl. 13. Tipično pojačanje korijena lopatice

Transmisija. Redukciju broja okretaja od motora do glave rotora i prijenos snage lopaticama glavnog i repnog rotora osigurava transmisija helikoptera. Transmisija povezuje motor



Sl. 14. Reduktor helikoptera. 1 planetni prijenosnik, 2 uvođenje snage motora, 3 izvod snage za repni rotor, 4 pokretač pogonske grupe

s rotorima preko jednosmjerne spojnice s valjcima smještene uz motor, i centrifugalne spojnice uz rotor. Pri startu jednosmjerna spojnica trenutno prenosi okretni moment do centrifugalne spojnice koja se postupno spaja s rotorom, jer on ima veliki moment inercije te bi bilo nemoguće trenutno uključivanje bez udara i preopterećenja. Kada motor iz bilo kojih razloga smanji broj okretaja, jednosmjerna spojnica razdvaja motor od

rotora, te lopatice mogu lako preći u režim autorotacije ako je to zbog kvara motora potrebno.

Broj okretaja reducira se više desetaka puta da bi se postigli optimalni uvjeti rada rotora i motora. Zato se često sreću planetarni reduktori u različitim kombinacijama s koničnim i cilindričnim zupčanicima. Sve su češće konstrukcije koje spajaju glavni reduktor sa dva motora što istodobno, paralelno, uvode snagu za rad lopatica. Pokretači motora, zatim generatori i različite pumpe vezuju se za izvode glavnog reduktora preko zupčanih prijenosa. Za reduktorsko kućište vezuju se redovno glavni dio komandi leta, prsteni skupne i cikličke promjene koraka, te poluge organa upravljanja (sl. 14).

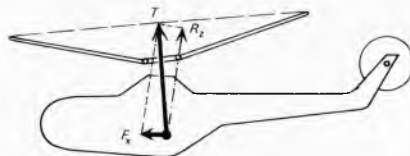
Kućiste reduktora, izrađeno od legura lakih metala, veže se u priključnim zglobovima za nosač, a on za konstrukciju trupa helikoptera.

Paralelno uvođenje snage iz dviju turbina zahtijeva posebnu pažnju i preciznost projektiranja i izradbe. Reduktori i kompletne transmisije ispituju se u posebnim stanicama radi verifikacije pouzdanosti elemenata i sklopova, te radi svodenja mehaničkih gubitaka snage na najmanju moguću mjeru.

Komande leta. Pilot desnom rukom upravlja palicom cikličkog koraka, dakle, promjenom nagibnih kutova lopatica za vrijeme jednog okreta. Upravljanjem cikličkim korakom mijenjaju se, u stvari, uzgonske sile na lopaticama u toku jedne rotacije tako da se rezultatni uzgon naginje na željenu stranu. Kolektivnim korakom mijenja se veličina rezultatne sile uzgona, a ovu komandu pilot ostvaruje palicom u lijevoj ruci na kojoj je ugrađena još i ručka za upravljanje raspoloživom snagom, tj. gasom motora. Nožnim komandama upravlja se korakom repnog rotora, te se povećanjem ili smanjivanjem vučne sile repnog rotora ostvaruje potrebno skretanje oko vertikalne osi (sl. 15).

Na većim su helikopterima ručne komande povezane sa servouređajima koji omogućuju generiranje dovoljno velikih sila za uspješni rad komandi, a u nekim helikopterima komande su još povezane s uređajima automatskog pilota za stabilizaciju.

Pomicanjem palice cikličkog koraka prema naprijed, naginje se naprijed ravnina vrhova lopatica, a time i rezultatni uzgon, pa se pored uravnoteženja masa, koja se postiže kolektivnim korakom, ostvaruje i dovoljna komponenta za progresivni horizontalni let (sl. 16). Tako se pomicanjem palice prema sebi ostvaruje komponenta uzgona unazad, a isto tako za lijevo, odnosno desno pomicanje. Za manevarski let potrebno je sin-



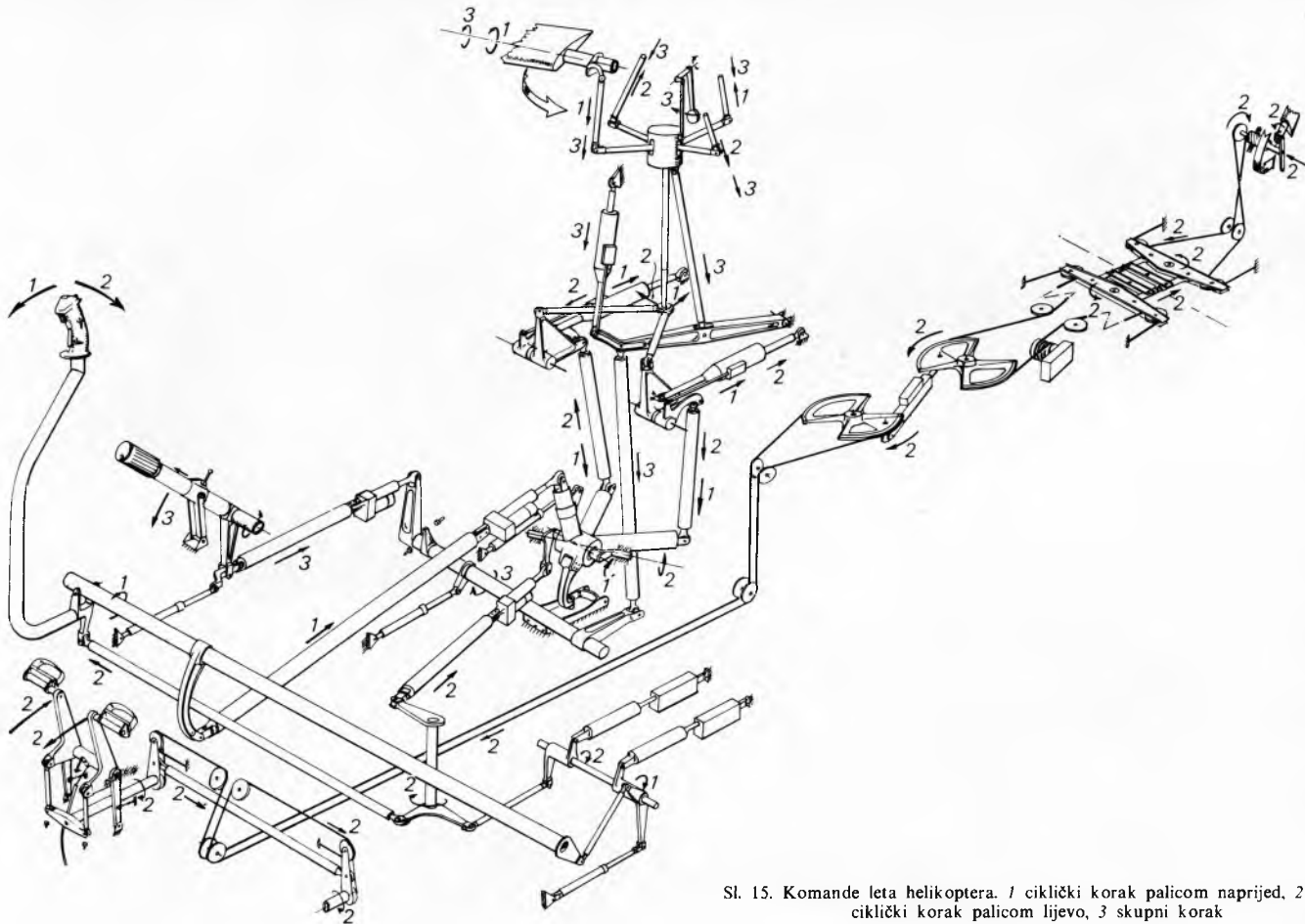
Sl. 16. Nagibom ravnine vrhova lopatica stvara se komponenta uzgona potrebna za progresivni let. R_z , uzgon, F_x horizontalna (vučna) sila, T rezultanta rotora

hronizirano upravljanje palicama cikličkog i skupnog koraka, te ručkom gasa što se okreće u lijevoj ruci na palici skupnog koraka, korigirajući stalno još i korak repnog rotora nožnim komandama.

MEHANIKA LETA HELIKOPTERA

Opis leta helikoptera ovisi o općoj konfiguraciji konstrukcije i posebno o koncepciji veze rotora s trupom. Tri su danas osnovne koncepcije ovih veza: helikopter s *koaksijalnim kontrarotirajućim* rotorima (sl. 17), helikopter sa dva *paralelna* (ili *tandem*) kontrarotirajuća rotora (sl. 18) i helikopter s *glavnim i repnim* rotorima (sl. 19).

Kontrarotirajući rotori uravnotežuju obrtne momente, ali unose znatne mehaničke komplikacije što utječe na pouzdanost kompletne konstrukcije. Paralelni (tandem) rotori pogodniji su za velike helikoptere za putnički promet, te za prijenos većih tereta.

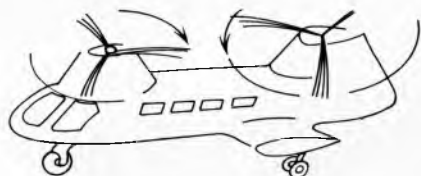


Sl. 15. Komande leta helikoptera. 1 ciklički korak palicom naprijed, 2 ciklički korak palicom lijevo, 3 skupni korak

Karakteristična stanja leta za helikoptere jesu lebđenje, penjanje, horizontalni let, bočno kretanje, skretanje, autorotacija, poniranje i slijetanje.

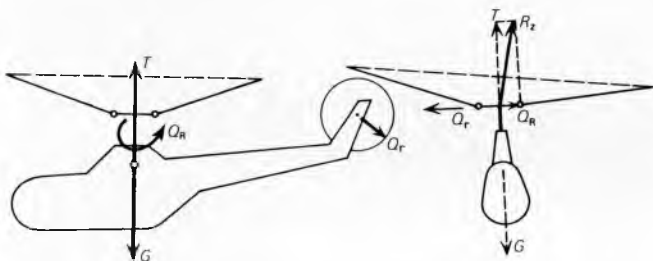


Sl. 17. Helikopter s koaksijalnim kontrarotirajućim rotorima

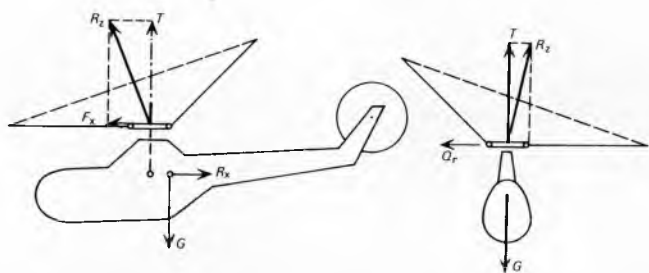


Sl. 18. Helikopter s kontrarotirajućim rotorima u tandemu

Lebđenje. Ravnoteža sila pri lebđenju svodi se na jednakost težine s vertikalnom komponentom uzgona, dok se bočna, horizontalna komponenta uzgona izjednačuje sa silom repnog rotora čiji moment uravnotežuje okretni moment glavnog rotora (sl. 19).



Sl. 19. Lebđenje. R_x uzgon, T rezultanta rotora, G težina, Q_R zakretni moment glavnog rotora, Q_r zakretni moment repnog rotora

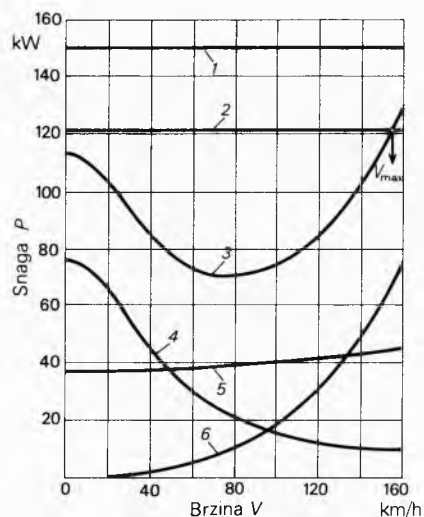


Sl. 20. Ravnoteža sila u horizontalnom letu. R_x uzgon, R_x otpor, T rezultanta rotora, F_x horizontalna (vučna) sila, G težina, Q_r moment repnog rotora

Horizontalni let helikoptera omogućuje ravnoteža vertikalne komponente uzgona s težinom, bočne komponente uzgona s vučnom silom repnog rotora i ravnoteža horizontalne komponente uzgona u smjeru kretanja s aerodinamičnom silom otpora i inercijalnom silom (sl. 20).

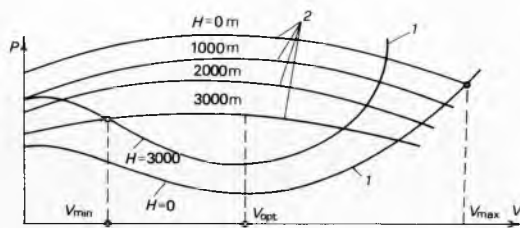
U režimu horizontalnog leta uspostavlja se i ravnoteža potrebne i raspoložive snage, i to za dvije moguće brzine, jednu vrlo malu i drugu maksimalnu. To se postiže pri određenom režimu rada motora za odabranu visinu. Pri brzinama s viškom raspoložive snage u usporedbi s potrebnom snagom može se izvesti penjanje.

Na sl. 21 prikazane su karakteristične krivulje snage jednog lakog helikoptera pri horizontalnom letu.



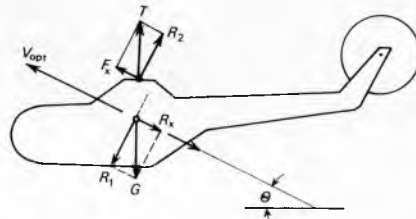
Sl. 21. Karakteristične krivulje snage lakog helikoptera u horizontalnom letu. 1 snaga motora, 2 snaga privedena rotoru, 3 potrebna snaga motora, 4 inducirani otpor, 5 otpor profila, 6 štetni otpor

Lebđenje i vertikalno penjanje pri horizontalnim brzinama jednakim nuli moguće je kada je raspoloživa snaga jednaka ili veća od potrebne. Penjanje s maksimalnim viškom raspoložive snage u usporedbi s potrebnom snagom izvodi se pri tzv. optimalnoj progresivnoj brzini V_{opt} (sl. 22).



Sl. 22. Dijagram potrebne i raspoložive snage. 1 krivulja potrebne snage, 2 krivulja raspoložive snage

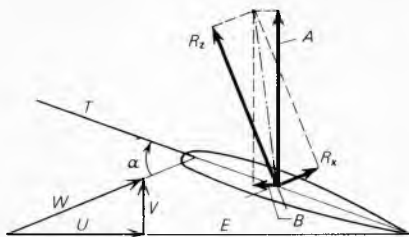
Posebno treba naglasiti da je u svim spomenutim režimima potrebna i ravnoteža momenata. Budući da između težine i komponente uzgona, koja ju uravnotežuje, egzistira stanoviti krak, moment ovih sila obično je suprotnog smjera i po iznosu jednak s momentom vučne komponente i otpora. (sl. 23).



Sl. 23. Sile pri ustaljenom penjanju optimalnom brzinom

Let bez rada motora. Kada motor iz bilo kojeg razloga prestane s radom, nestaje i pogonske snage što pokreće rotor pa je potrebno naglo odvojiti spoj motora s rotorom. Tako rotor prelazi u poseban režim rada, kada težina helikoptera na određenoj visini postaje izvor energije za rad rotora pri spuštanju. Potencijalna energija pri vertikalnom kretanju troši se na svladavanje aerodinamičnih otpora. Ta se energija, i to većim dijelom, može iskoristiti za pogon rotora koji pri tom generira vučnu silu što se suprotstavlja gravitaciji. Tom prilikom lopatice rade u režimu jedrenja. Tako se rezultantna brzina aeroprofila sastoji od obodne brzine i vertikalne brzine, pa je veoma važno da napadni kut aeroprofila omogućuje stvaranje pozitivne tangen-

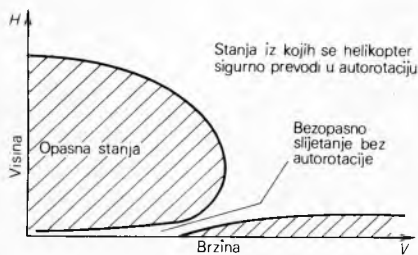
cijalne komponente koja ostvaruje potrebni smjer rotacije lopatica (sl. 24). Vertikalna komponenta aerodinamičnih sila u ravnoteži je sa silom gravitacije, a tangencijalna komponenta, ako je usmjerena prema napadnoj ivici, omogućuje rotiranje lopatica.



Sl. 24. Brzine i sile na elementu lopatice u režimu autorotacije. R_z uzgon, R_x otpor, V vertikalna brzina zraka, W rezultirajuća brzina zraka, U obodna brzina, A komponenta koja se suprotstavlja težini, B komponenta koja daje potrebni moment autorotacije, α napadni kut, T tetivna ravnina, E ravnina okretanja

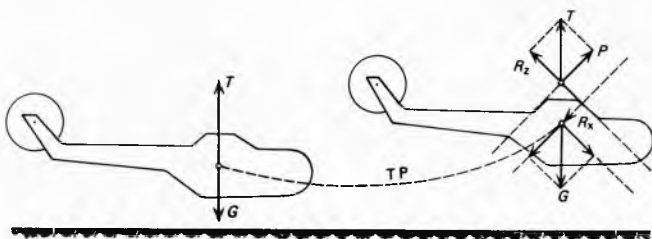
Prevođenje lopatica u autorotaciju nakon iznenadnog prekida rada motora mora se brzo izvesti, u propisanim vremenskim granicama i s propisanim procedurom za svaki tip helikoptera. Pri prekidu rada motora naglo pada vrijednost obrtnog momenta, pa sila na repnom rotoru daje višak momenta što uzrokuje naglo skretanje. Režim autorotacije daje obrtni moment suprotnog smjera što se mora kompenzirati silom repnog rotora. Ako se autorotacijom koristi u planiranju, dakle pravolinijskom spuštanju pod određenim kutom, mora se voditi računa o cikličnim promjenama koraka koji moraju biti u dozvoljenim granicama koje traži autorotacija.

Svaki helikopter mora imati definirane visine i brzine pri kojima može bez opasnosti prijeći u režim autorotacije. Time se istodobno određuju i one visine i brzine koje ne omogućuju prijelaz u autorotaciju. Tako za lebđenje mora postojati rezerva visine da bi se potencijalna energija pri prestanku rada motora mogla transformirati u kinetičku energiju spuštanja sa sigurnom brzinom koja se može održavati autorotacijom (sl. 25).



Sl. 25. Zone sigurnih i opasnih režima leta

Polijetanje i slijetanje. Helikopter započinje polijetanje vertikalnim odvajanjem od tla da bi se na visini 1,5...2m kontrolirao rad svih uređaja; zatim se helikopter prevodi u režim penjanja po nagnutoj trajektoriji uz povećanje brzine. Kada se naginje rotor da bi se ostvarila vučna sila, umanjuje se vertikalna komponenta uzgona, pa se pri prijelazu nešto smanjuje visina što može dovesti do udara stajnih organa o zemlju, ako nije

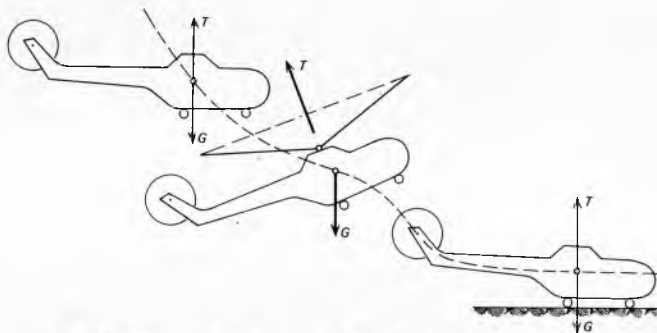


Sl. 26. Polijetanje. T uzgon u početnom lebđenju, G vlastita težina, TP trajektorija polijetanja, R_z uzgon, R_x otpor, P vučna sila u penjanju

ostvarena dovoljna rezerva visine, ili ako se istodobno sa promjenom cikličkog koraka ne promijeni i skupni korak uz povećanje snage motora (sl. 26).

Normalno slijetanje s radom motora odvija se obrnutim redom. Ponekad se slijetanje helikoptera izvodi prema sličnoj proceduri kao i slijetanje aviona ako to uvjeti traže, osobito na visinama gdje se ne može lebjeti.

Slijetanje pri autorotaciji, s isključenim motorom, izvodi se obično po nagnutoj trajektoriji i zahtijeva tvrdu i ravnu sletnu stazu. Proces slijetanja pri autorotaciji ima slijedeće etape: planiranje s konstantnom brzinom i stalnim kutom, kočenje smanjivanjem kuta planiranja i vertikalne brzine spuštanja apsorbiranjem kinetičke energije, prizemljenje i rulanje s umanjnjem koraka rotora. Osobito je važna etapa *kočenja* kada se povlačenjem palice prvo rotor naginje unazad, da bi se odmah uvećao skupni korak radi iskorištenja kinetičke energije helikoptera i rotora za generiranje što veće vučne sile za meko prizemljenje (sl. 27).

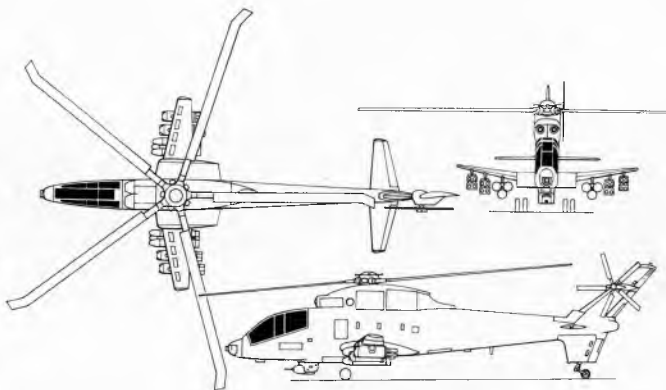


Sl. 27. Slijetanje iz autorotacije. T rezultanta rotora, G težina

Kočiti se mora na dovoljno maloj visini, propisanoj za svaki helikopter, kako bi se sigurno sletjelo. Ako bi se kočilo iznad propisane zone visina, izgubili bi se uvjeti autorotacije nakon kočenja pa bi slijetanje moglo biti opasno, jer bi se ostvarilo s većim vertikalnim brzinama.

STANJE I PERSPEKTIVE RAZVOJA HELIKOPTERA

Helikopter je danas letjelica koja služi za vrlo različite primjene. Armije gotovo svih zemalja svijeta upotrebljavaju helikopter za borbu, transport i izvidanje. Različite konstrukcije, nekad s dodatnim uzgonskim površinama i dodatnim motorima samo za vuču, uvećale su opće sposobnosti helikoptera, povećale horizontalne brzine i nosivost. Helikopteri su često nosači različitog tereta, automatskog, bombarderskog i raketnog (sl. 28), naoružanja. Sve češće se opremaju kompliciranom opremom za otkrivanje podmornica ili za ometanje radarskih informacija i raketnog vođenja. Izvedeno je automatsko stabiliziranje leta, ugrađene su girostabilizirane platforme za precizno nišanje i vođenje raketa. Usavršene su metode letenja bez vanjske vidljivosti.



Sl. 28. Suvremeni vojni helikopter



Sl. 29. Helikopter prenosi teret u besputnom kraju

U civilnoj primjeni, pored kontrole prometa i prijenosa bolesnika radi hitnih intervencija, helikopter služi za transport elemenata konstrukcija koje se grade u besputnim krajevima te za prijevoz putnika (sl. 29).

Konstrukcija helikoptera zajedno s opremom uspješno je riješena s obzirom na zadane funkcije. Proizvodni troškovi, tehnološke teškoće i strogi zahtjevi kontrole kvalitete i funkcionalnih ispitivanja, te relativno mali vijek trajanja lopatica, ograničenja su zbog kojih je cijena helikoptera još relativno visoka, a njegova primjena nesrazmjerno manja od stvarnih potreba.

Neki proizvođači helikoptera, kao što su Sikorsky, Bell, Hughes, Westland, Sud Aviation, Bölkow, Agusta i proizvođači u SSSR, dostigli su visoku tehničku razinu kvalitete zajedno s razvojem obujma produkcije. U nas je bio u proizvodnji licenčni helikopter S-55 u radnoj organizaciji Soko-Mostar.

LIT.: M. L. Миль, А. В. Некрасов, А. В. Браверман, Л. Н. Гродко, М. А. Леканд, Вертолёты. Издательство Машиностроение, Москва 1966/67. (1. Аэродинамика 1966, 2. Колебания и динамическая прочность 1967). — R. Hafner, British rotorcraft. Journal of the Royal Aeronautical Society, Centenary Journal 1966. — Interavia, 1/1976, 3/1976, 4/1977. — Wehrtechnik, 4/1977. — T. L. Ciasula, The Development of the P. 531. Royal Aeronautical Society, London 1963. — Д. И. Базов, Аэродинамика вертолётов. Москва 1959.

M. Momirski

HETEROCIKLIČKI SPOJEVI, ciklički organski spojevi u kojima se u prstenima pored ugljikovih atoma nalazi i neki drugi atom ili atomi (heteroatom). Najčešći heteroatomu jesu kisik, dušik i sumpor. Mnogi su heterociklički spojevi biološki veoma važni. Heterociklički prsteni, kao dijelovi složenih spojeva, nalaze se u mnogim prirodnim tvarima i spojevima bitnim za odvijanje životnih funkcija u biljnom i životinjskom svijetu (v. *Alkaloidi*, TE1, str. 202, *Antibiotici*, TE1, str. 302, *Vitamins*). Sastavni su dio brojnih lijekova, bojila (v. *Bojila*, TE2, str. 84), sredstava za zaštitu bilja, insekticida itd., u kojima su to često dijelovi koji molekulama takvih tvari daju potrebnu aktivnost. Heterociklički spojevi ponašaju se slično karbocikličkim spojevima sa sličnom elektronskom strukturom, uz neka specifična svojstva zbog prisustva heteroatoma u molekuli. Tako npr. aromatski heterociklički spojevi pokazuju kemijska svojstva slična aromatskim spojevima bez heteroatoma (v. *Aromatski ugljikovodici*, TE1, str. 418), te podliježu reakcijama elektrofilne supstitucije, ali uz neke razlike u brzinama i mjestu reakcije. Postoje, međutim, i razlike u kemijskim svojstvima kao što je npr. bazičnost piridina u usporedbi s benzenom kao posljedica mogućnosti dušika da daje slobodan par elektrona (Lewisova baza).

Nazivlje (nomenklatura) heterocikličkih spojeva jest složeno zbog brojnih *nesistematskih* trivijalnih i polutrivijalnih imena, koja su u upotrebi za mnoge poznate i jednostavnije spojeve (tabl. 1).

Tablica 1

PRIMJERI NESISTEMATIČNIH IMENA HETEROCIKLIČKIH SPOJEVA

furan	tiofen	pirol	izotiazol	pirazol
imidazol	piridin	piperidin	piridazin	pirimidin
pirazin	indol	kinolin	purin	

Sistematska imena monocikličkih spojeva koji sadrže 3...10 atoma u prstenu, te jedan ili više heteroatoma, tvore se vezanjem prefiksa, koji opisuje heteroatom, na osnovno ime koje označuje broj atoma u prstenu. Tako se za heteroatome koji se najčešće susreću, tj. kisik, sumpor, dušik, selen i telur, upotrebljavaju prefiksi *oksa-*, *tia-*, *aza-*, *selena-* i *telura-* (završetak *a* obično se izostavlja). Osnovna se imena temelje na veličini prstena (tabl. 2). Imena nezasićenih spojeva odnose se na spojeve, čiji prsteni posjeduju maksimalan broj konjugiranih dvostrukih veza. Djelomična nezasićenost izražava se prefiksima, npr. dihidro-, tetrahidro- itd. Označavanje atoma u prstenu brojevima počinje uvijek od heteroatoma. Imena spojeva s više istovjetnih heteroatoma sadrže prefiks *di-*, *tri-* itd.,

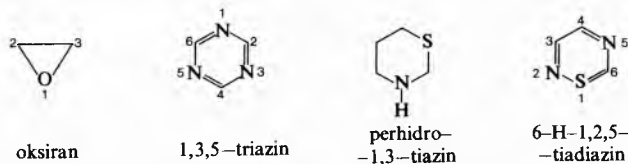
Tablica 2

OSNOVE ZA TVORBU SISTEMATSKIH IMENA HETEROCIKLIČKIH SPOJEVA

Broj atoma u prstenu	Prsteni bez dušika		Prsteni s dušikom	
	zasićeni	nezasićeni	zasićeni	nezasićeni
3	—iran	—iren	—iridin	—irin
4	—etan	—et	—etidin	—et
5	—olan	—ol	—olidin	—ol
6	—an	—in	*	—in
7	—epan	—epin	*	—epin
8	—ocan	—ocin	*	—ocin
9	—onan	—onin	*	—onin
10	—ecan	—ecin	*	—ecin

* Pred ime nezasićenog spoja stavlja se prefiks *perhidro-*

a atomi se označuju brojevima na taj način da heteroatomu imaju najmanje moguće brojeve. Kada je u prstenu prisutno više različitih heteroatoma, nabrojanja prefiksa i brojanje pokorava se dogovornom redosljedu: kisik, sumpor, selen, telur, dušik, fosfor, arsen itd. Nekoliko slijedećih primjera ilustriraju navedena pravila za nomenklaturu heterocikličkih spojeva:



Imena heterocikličkih spojeva s *priljubljenim* (kondenziranim) prstenima tvore se često dodavanjem prefiksa *benz-* ili *benzo-* na osnovno ime monocikličkog spoja. U spojevima s različitim heteroatomima temelj imena je prsten s dušikom. Ako spoj ne sadrži dušik, redosljed nabrojanja heteroatoma je isti kao u imenima monocikličkih spojeva: