

Hidravlika na vse bolj elektrificiranih letalih

1. del – koncept Fly-by-Wire in hidravlika

Darko LOVREC

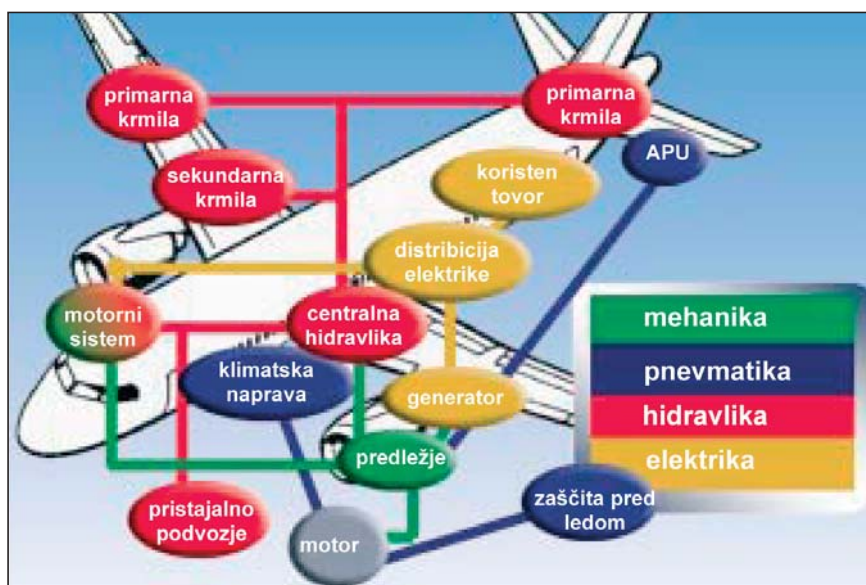
Za krmiljenje letenja se je v zgodnjih izvedbah letal uporabljal koncept neposrednega mehanskega krmiljenja, sprva preko vzvodov, kasneje pa pletenic. V 40. letih je mehanski koncept dobil podporo hidravlike kot mehansko hidravlično krmiljenje in kasneje kot hidromehansko krmiljenje leta. V obdobju med 60. in 70. leti se je prvič pojavil koncept vodenja letenja po žici – Fly-by-wire, ki ga je kot prvo uporabljalo potniško letalo Concorde. Aktuatorji so pri tem sistemu še vedno hidravlični, po večini napajani centralno. Zaradi svoje velike gostote moči se je hidravlična pogonska tehnika v različnih oblikah in kombinacijah ter konceptih ohranjala vse do danes. V zadnjem času pa sistem Fly-by-Wire zaradi vse večjih pritiskov na zniževanje stroškov nadomeščajo novejša filozofije gradnje letal. Pri tem pa hidravlična pogonska tehnika izgublja svoj položaj.

Vloga hidravlike na današnjih letalih

Na vse bolj konkurenčnem trgu letalskih prevoznikov, še posebej nizkocevnovnih, igra vse bolj pomembno vlogo strošek letala oz. stopnja dobička, gledano na sedež-kilometer. Da bi zmanjšali operativne stroške letala, dajejo izdelovalci vse večji poudarek novim, cenejšim tehnologijam, ki vplivajo na stroške vzdrževanja in porabe goriva. Poleg ekonomskega vidika pa je v zadnjem času v ospredju (mogoče bolj kot reklama za večjo konkurenčnost) tudi poudarjanje večje prijaznosti do okolja.

Da bi dosegli nižje stroške, ima letalska industrija po mnenju strokovnjakov tri možne opcije: optimizacija opreme letala in motorjev (t. i. sklop AES – aircraft equipment system), optimizacija celotnega sistema zgradbe letala kot celote, pri čemer se uporabi nova filozofija pristopa

Doc. dr. Darko Lovrec, univ. dipl. inž., Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo

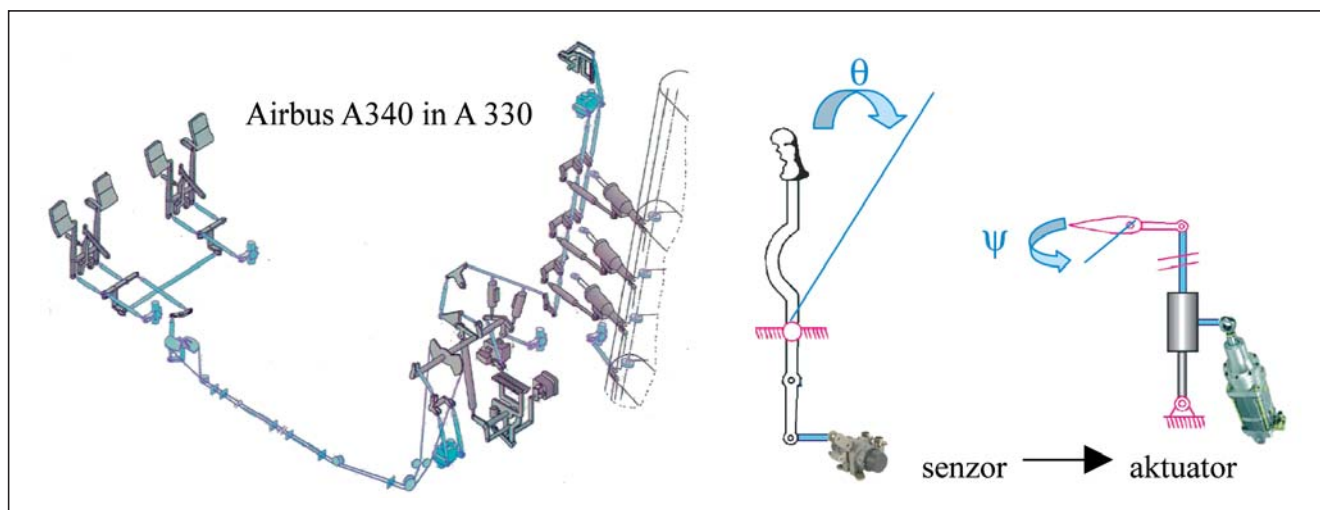


Slika 1. Viri moči na potniškem letalu [1]

h gradnji, in kot tretja optimizacija rešitev, ki izpolnjujejo zahteve po funkcioniranju [1].

V preteklosti je letalska industrija večinoma uporabljala le prve možnosti – optimizacija opreme letala. Skozi desetletja razvoja so letalski inženirji vlagali velike napore in sredstva v izpopolnjevanje posamezne

opreme, iskanje rešitev za izboljšanje učinkovitosti, premagovanje negativnih interakcij med raznovrstnimi sistemi, ..., kar je pripeljalo do velike (komajda obvladljive) kompleksnosti sistemov na letalu. Kljub vsemu pa so na letalu še vedno mnogi energetsko in funkcijsko neučinkoviti porabniki, tudi takšni večjih moči. Vzrok za to je potrebno iskati v zgodovinskem



Slika 2. Od mehanskega sistema krmiljenja letala s podporno hidravlike (levo) do sistema Fly-by-Wire (desno) [3]

odporu pri reševanju problemov na ravni celotnega letala, delno tudi zaradi pomanjkanja primerne tehnološke alternative in pa raznovrstnosti sistemov na letalu.

Raznovrstnost vgrajene tehnike in konvencionalno porazdelitev moči oz. vrste energije na običajnem večjem potniškem letalu prikazuje slika 1.

Hidravlična pogonska tehnika je bila v tradicionalnih sistemih letalske tehnike do sedaj kar dobro zastopana. Zaradi visoke gostote energije in zanesljivosti se hidravlični aktuatorji uporabljajo:

- v primarnih sistemih za krmiljenje leta, kot so krilca, višinsko krmilo, smerno krmilo, spojlerji, ...

- v sekundarnih sistemih za krmiljenje leta, kot so zakrilca na zadnjem robu krila, višinski stabilizator, smerni stabilizator, zračne zavore, ...
- pristajalno podvozje, skupaj z aktuatorji za izvlečenje in uvlečenje podvozja, zavorami koles in krmiljenem nosnega kolesa,
- ostale naprave, kot so npr. vrata za potnike in tovor, ...

Običajno sta na velikem potniškem letalu dva glavna centralna sistema s črpalkama, ki dobavljata hidravlično energijo vsem hidravličnim aktuatorjem. Črpalke poganjata letalska motorja preko zobniškega prenosnika.

Primarne krmilne površine imajo dvojni ali trojni pogon – t. i. redun-

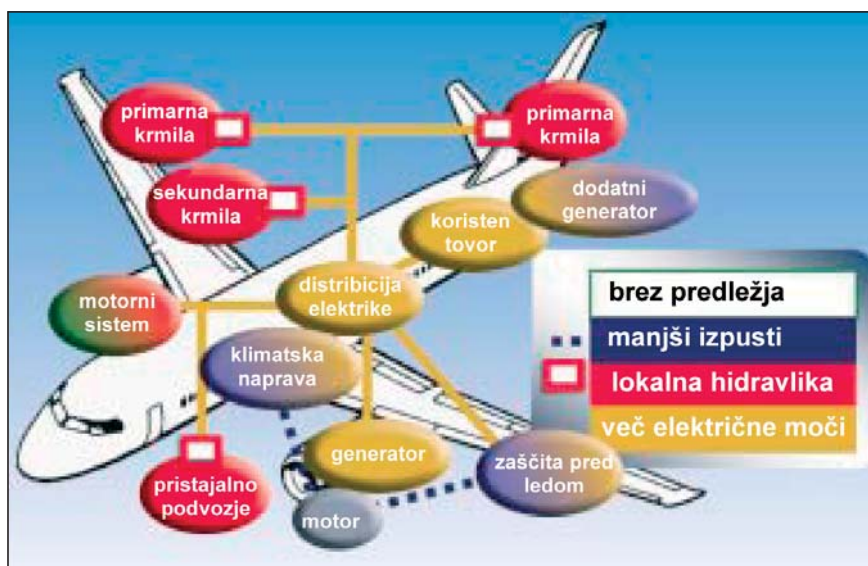
danca pogonov – za primer izpada napajanja glavne črpalke pa obstajajo še rezervne črpalke, gnane z električnimi motorji. Poleg električno gnanih črpalk obstajajo še črpalke, ki jih poganja vetrnica, ki se v primeru odpovedi vseh ostalih črpalk spusti iz trupa letala in zagotavlja hidravlični tlak. Po mnenju nekaterih strokovnjakov s tega področja in glede na novo filozofijo gradnje sistemov na letalu so sedanji krmilni sistemi na letalu zasnovani preobsežno.

Fly-by-Wire in elektrifikacija letala

Nekoč so letala za krmiljenje potrebovala mehanske povezave med posameznimi sklopi – stare dobre Cessne še vedno uporabljajo tak sistem. Potem se je pojavil Fly-by-Wire, ki je povzročil majhno revolucijo, predvsem zaradi zmanjšanja teže in večje svobode pri oblikovanju zrakoplovov.

Mehanski in hidromehanski sistemi za krmiljenje leta so težki in zahtevajo skrbno usmerjanje krmilnih površin s pomočjo kablov, uporabo sistemov jermenic, ročic, žic, ob pomoči hidravlične podpore, hidravličnih cevi ... Primer mehanskega sistema krmiljenja s podporno hidravliko na Airbusu A340 in A330, zasnovan v 40. letih, in prvi koncept Fly-by-Wire prikazuje slika 2.

Fly-by-Wire (FbW) dejansko pomeni sistem prenosa električnega signala nadzorno-krmilnega sistema po ele-



Slika 3. Potencial optimirane arhitekture – elektrificirano letalo

kričnem vodniku – »po žici«. Ta pojem pa se na splošno uporablja tudi v smislu računalniške nastavitve kontrole, kjer računalniški sistem posreduje med ukazom upravljalca in končno akcijo – proženje aktuatorja in posledično, ob upoštevanju kar se da največjega operativnega in varnostnega učinka, premik določene krmilne površine letala.

Zaradi povečanja zanesljivosti delovanja so določene funkcije in aktuatorski sistemi izvedeni večkratno (redundanca) in z različnimi vrstami energije. Sistemi so grajeni tudi s štirimi neodvisnimi krmilnimi kanali in aktuatorji, pri čemer sistem v primeru izpada celo dveh signalov ali aktuatorjev še vedno deluje varno. Nadaljnja prednost sistema FbW je manjša teža izvedbe kot podobna zasnova z v celoti mehansko ali hidravlično tehniko.

Prednosti nadzora FbW so najprej izkoriščali na področju vojaških letal in šele nato v komercialnih letalskih družbah. Prvič se je FbW pojavil v 60. oz. 70. letih prejšnjega stoletja na Concordu, Airbus je začel uporabljati ta sistem s serijo letal A320, A330 (čeprav so nekatere funkcije omejenega sistema FbW obstajale tudi že na A310), Boeing pa je temu konceptu sledil z modelom 777 in kasnejšimi modeli.

Današnji elektronski sistemi FbW se prožno odzivajo na spreminjajoče se aerodinamične pogoje, zahtevajo manj vzdrževanja (kot v celoti samo mehanski in hidravlični sistemi, npr. preverjanje puščanja, menjavo

tekočine ipd.), poleg tega pa sta povečana varnost in nadzor sistema. Sistem FbW dejansko preko elektronskega vmesnika nadomešča ročni nadzor letenja letala. Krmilni signali pilota se pretvorijo v elektronski signal, računalnik pa določi kako premakniti ustrezen aktuator, da se doseže pričakovani odziv. Aktuatorji so običajno hidravlični, lahko pa tudi električni.

Glavna zaskrbljenost glede uporabe sistemov FbW je namenjena njihovi zanesljivosti. Medtem ko tradicionalni mehanski ali hidravlični krmilni sistemi navadno izgubljajo svojo funkcijo postopoma, pa električni sistem povzroči nenadno izgubo celotne kontrole letenja, tako da letalo lahko postane neobvladljivo. Iz tega razloga večina sistemov FbW predvideva uporabo več računalnikov (sistemi tripleks, kvadrupleks itd.), neko vrsto rezervnih mehanskih ali hidravličnih sistemov ali pa kombinacijo obeh – mešani sistem za nadzor. Zaradi različnih sistemov, ki posledično vodijo do izredno kompleksne, energetske potratne in težke izvedbe letala, letalski inženirji iščejo poti za zmanjšanje omenjenih problemov. Ena od rešitev je povečana uporaba električno delujočih sistemov.

V bolj električni koncept se je krmilni sistem letala razvijal iz potrebe po zmanjšanju količine hidravličnih vodov, ne samo zaradi zmanjšanja problemov vzdrževalnega osebja, ampak tudi zaradi zmanjšanja kompleksnosti in teže instalacije. To se danes lahko dosega zaradi večje zmogljivosti komponent za proizvo-

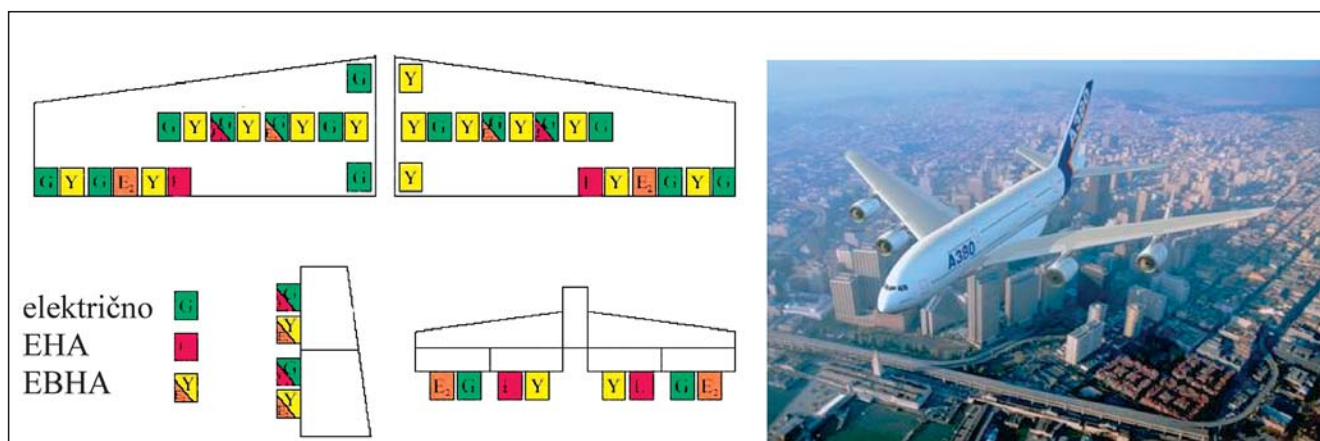
dnjo električne energije in njenega prenosa ter sodobnejše tehnologije gradnje in izvedbe aktuatorjev.

K zmanjšanju obsega hidravličnega omrežja v letalu pripomore uporaba kompaktnih elektrohidravličnih aktuatorjev. Dejansko so to miniaturne kompaktne hidravlične pogonske enote (t. i. hydraulic power pack). Z njihovo uporabo centralno hidravlično omrežje dejansko ni več potrebno. S takšnimi lokalnimi sistemi se izvajajo funkcije primarne in sekundarne kontrole leta ter ostalih uporabnikov hidravlike – npr. podvozja (slika 3).

Trend zasnove pogonskih sistemov se tako pomika od obsežnih centralnih hidravličnih sistemov, v katerih glavno črpalko poganja letalski motor, v smeri k električnemu pogonu – s povečano zmogljivostjo električnega generatorja in večjim številom samostojnih, avtonomnih elektrohidravličnih kompaktnih pogonov. Končni cilj takšnega razvoja je sicer popolnoma elektrificirano letalo, opremljeno s sodobnimi generatorji, vgrajenimi v pogonski motor. Kljub vsemu se danes krmilne površine za najbolj zahtevne aplikacije še vedno premikajo s hidravličnimi aktuatorji. Občutno se je zmanjšal samo obseg hidravličnega cevnega omrežja.

Fly-by-Wire na sodobnih širokotrupnih potniških letalih

Teža in kompleksnost izvedbe hidravličnega sistema za krmiljenje potniškega letala s 500 do 600 potniki predstavljata enega večjih problemov.



Slika 4. Vrsta aktuatorjev za krmiljenje leta na A380 [5]

Pri razvoju takšnih letal so se pri Airbusu zamislili nad tem problemom in začeli uporabljati električno krmiljene aktuatorje. Primer takšnega velikopotniškega letala je njihov A380.

Zaradi izjemne velikosti letala je bilo potrebno poiskati nov pristop k tehnologiji krmiljenja letala. Razpon krila znaša približno 80 m, kar je skoraj dolžina nogometnega igrišča, dolžina letala pa je le nekoliko manjša. Te dimenzije dokazujejo, da gre za eno največjih letal klasične oblike, ki so bila zgrajena do sedaj. Potniki so v dveh nadstropjih, pri čemer spodnje odgovarja velikosti letala A340, dodano zgornje pa velikosti letala Boeing B747.

Čeprav so bili vertikalni in horizontalni stabilizatorji letala zaradi manjše teže zasnovani čim manjši, so glede na prejšnje modele Airbusov še vedno izredno veliki. Vertikalni stabilizator A380 ima npr. površino enako površini krila letala A320, velikost horizontalnega stabilizatorja pa je enaka velikosti krila letala A310.

Za premikanje vseh teh ogromnih površin je potrebna hidravlična pogonska tehnika. Ker pa je potrebno nadzorovati veliko večje površine kot pri letalih prejšnjih generacij, bi bilo v primeru A380 potrebne mnogo več hidravlične moči in seveda več tekočine. To bi predstavljalo dodano maso in kompleksnost izvedbe sistema za distribucijo energije.

Ker je A380 veliko večjih dimenzij kot njegovi predhodniki, bi izvedba zahtevala veliko dolžino hidravličnih vodov večjega premera, da bi lahko obvladovali padce tlaka. Takšni cevovodi pa so veliko težji, težje pa jih je tudi vgraditi. Zaradi večjih pogonskih motorjev letala je zahtevnejše tudi speljati cevovod vzdolž trupa. Uporaba elektrificiranih kompaktnih aktuatorjev omogoča letalskim inženirjem med seboj učinkovito ločiti razvod energije in pri tem prihraniti na teži – namesto centralnega hidravličnega omrežja uporaba električnih vodnikov in kompaktnih hidravličnih aktuatorjev.

Nadaljnji velik prihranek na teži pa omogoča dvig nivoja tlaka v preosta-

lih hidravličnih vodih. Ideja izhaja že iz leta 1942, ko so vojaška in nekatera potniška letala že uporabljala tlak, višji od tipičnih 210 bar (DC4 Skymaster). Pri Airbusu so testiranja v letu 1999 pokazala, da se z uporabo visokotlačne hidravlike, ki deluje na tlaku približno 345 bar (5000 psi), občutno zmanjša teža izvedbe. Zelena izvedba z vseelektričnimi aktuatorji je bila zavrnjena zaradi nezrelosti za prenašanje obremenitev. V takšni izvedbi bi pristajalno ogrodje tehtalo več kot 20 ton. Končna rešitev je uporaba delno decentraliziranega sistema, ki vsebuje hidravlični rezervoar za napajanje več elektrohidravličnih aktuatorjev, kar omogoča povprečen prihranek na teži okoli 100 kg.

Povečanje tlaka od 210 na 345 bar posledično omogoča tudi uporabo komponent manjših izmer. Na ta način niso manjše samo uporabljene komponente, temveč tudi celotno cevno omrežje, količina potrebne tekočine, instalacija pa lažja. Za primerjavo omenimo, da že sedaj znaša premer sesalne cevi okoli 50 mm, v primeru sistema z nižjim tlakom pa bi bil veliko večji. Pretočne količine so pri 345-barskem sistemu za 40 % manjše kot pri 210 bar, saj se namesto črpalke kapacitete 265 l/min. lahko uporabijo s 160 l/min. Že na ta način je Airbus dosegel 20 % zmanjšanje teže samo na račun črpalk manjših izmer in pretočnih količin.

Vsesplošna korist je jasna: izboljšana zanesljivost in vzdrževalnost, zmanjšana teža, večji prihranek stroškov, nenazadnje tudi večja varnost zaradi uporabe različnih vrst uporabljenih energije. Kombinacija višjega hidravličnega tlaka in »več električnega« nadzora sta pripeljali do zmanjšanja mase tega letala za približno 1500 kg.

Tudi na snovanju arhitekture pogonov in sistemov na A380 so letalski inženirji delali več kot desetletje. Rezultat tega dela je arhitektura »dva plus dva«: aktuatorski sistem nadzora leta je izveden z neodvisnim napajanjem iz štirih neodvisnih virov energije – dveh hidravličnih in dveh električnih. Primer različnih virov

energije in pogonov na letalu Airbus A 380 – električni servoaktuator, elektrohidrostatični aktuator EHA ali elektromehanski servoaktuator s hidravlično podporo EBHA – prikazuje *slika 4*.

S spreminjanjem konceptov gradnje letal in arhitekture pogonov ter sistemov za krmiljenje leta se je spreminjala tudi vloga hidravlike na letalu. Tako se je hidravlika v desetletjih razvoja preoblikovala iz centralno napajanih aktuatorjev v obliko z decentraliziranimi kompaktnimi hidravličnimi sistemi, ki delujejo z višjim delovnim tlakom. Osnovno vodilo »preobrazbe« je bilo zmanjšati težo in s tem porabo goriva oz. pridobiti več na koristnem tovoru. Vse večjo vlogo pa dobiva uporaba elektrike.

Danes uporabljeni koncept upravljanja letala »po žici« – Fly-by-Wire – je samo uvod v t. i. vseelektrično letalo, pri katerem vse površine, pomembne za let, premikamo zgolj s pomočjo električne energije ob optimalni porabi moči. Ob uvajanju teh konceptov pa je vloga hidravlike na letalih vse manjša.

Literatura

- [1] Faleiro, L.: Beyond the More Electric Aircraft; Aerospace America, september 2005; American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- [2] Jones, R. I.: The More Electric Aircraft – The Past and The Future?; College of Aeronautics, Cranfield University; The Institution of Electrical Engineers. Printed and published by the IEE, Savoy Place, London WC2R, 1999.
- [3] Wheeler, P.: The More Electric Aircraft, Why Aerospace Needs Power Electronics; University of Nottingham, Nottingham, UK, 2008.
- [4] Rosero, J. A., Ortega, J. A., Aldabas, E., Romeral, L.: Moving Towards a More Electric Aircraft, IEEE A & E SYSTEMS MAGAZINE, MARCH 2007.
- [5] N. N.: <http://www.airbus.com/en/aircraftfamilies/a380/> (25. 07. 2009).