

*Tuhatkertainen suorituskyky:
kuin harppaus 1990-luvun alun
webittömästä tietotekniikasta
nykypäivään tai kivikautisesta
ruuhesta valtamerifregattiin.
Uusi toimintaperiaate, uudet
sovellukset, uusi maailma.*

Sähköpurjekolumni s. 4



Kosmisen järjestyksen puolustaja tiikerin kimpussa

Tapatumahorisontti s. 4-5

Sisältö

Pääkirjoitus, OCO - laukaisu	2
Sähköpurjekolumni	4
Tapatumahorisontti: Kosmisen järjestyksen puolustaja	4
Vaihtoehtoja polttoaineiden syöttämiseksi	6
Hämmästyttävä avaruusseikkailu	8
Kevätkokouskutsu to 23.4.2009	12
Piloted Mars Landers, part VII	13
Planetary Rover Symposium, kutsu	15

SATSin
jäseneksi voit liittyä
täyttämällä jäsentietolomakkeen
osoitteessa:

<http://www.sats-saff.fi>

ja maksamalla jäsenmaksun seuran tilille
218518-129232. Jäsenyys astuu voimaan
kun jäsenmaksu on saapunut
seuran tilille.

SATS on keskeinen ja avoin avaruusalan yhteistyöfoorumi, joka edistää avaruusasioita Suomessa.

Suomen avaruustutkimusseura ry – Sällskapet för astronautisk forskning i Finland rf on 1959 perustettu yhdistys, jonka tarkoituksena on harjoittaa avaruusalan kokeilu-, harrastus-, tutkimus- ja tiedotustoimintaa sekä toimia avaruustutkimuksesta kiinnostuneiden henkilöiden yhdyssiteenä. Seura on Suomen äänivaltainen edustaja Kansainvälisessä astronautiikkaliitossa (IAF; International Astronautical Federation). Suomen avaruustutkimusseura julkaisee Avaruusluotain-lehteä ja ylläpitää kirjastoa, josta voi lainata alan kirjallisuutta, kuva- ja videomateriaalia. Seura järjestää avaruusaiheisia näyttelyitä ja tapahtumia sekä ylläpitää aihepiiriin liittyvää harrastustoimintaa.

Työ- ja kerhotila on osoitteessa Kauppalaatie 6-8, 00320 HELSINKI (puh/vastaaja 09-5874433).

Vuoden 2009 jäsenmaksut (sisältää Avaruusluotain-lehden):

Varsinaiset jäsenet 17 €,

Juniorijäsenet (alle 15 v.) 6 €,

Nuoriso-/ opiskelijajäsenet 8 €,

Järjestö-/Yritysjäsenet 170 €

Päätöimittaja: Sini Merikallio, Ilmatieteen laitos / ILM, PL 503, 00101 HELSINKI, sini.merikallio@fmi.fi

Fax: (09) 19294603

ISSN: 0356-021X – Ilmestymistaajuus: neljä kertaa vuodessa – **Vuosikerran tilaushinta: 22 €**

Ilmoitushinnat: mustavalkosivu 300 € (puolikas 200 €), värisivu 600 € (puolikas 350 €), takakansi 700 € (puolikas 400 €)

Julkaisija: Suomen avaruustutkimusseura – Sällskapet för astronautisk forskning i Finland – Finnish Astronautical Society,

<http://www.sats-saff.fi>. Pankki: Nordea 218518-129232

Vuoden 2009 aineistopäivät: 15.5, 15.7 ja 15.10

Nimellä tai nimimerkillä kirjoitetuissa artikkeleissa esitetyt mielipiteet ovat kirjoittajien henkilökohtaisia käsityksiä, eivätkä välttämättä vastaa seuran tai lehden virallista kantaa.

Vaihtoehtoja polttoaineiden syöttämiseksi

<http://gravityloss.worldpress.com/>

Valteri Maja

Ensimmäiset raketit toimivat ruudilla. Sen jälkeen on kokeiltu erilaisia kiinteitä sekä nestemäisiä kemikaaleja. Nesteraketit ovat ainoa käytännöllinen uudelleenkäytettävä tekniikka, joten seuraavassa keskitymme siihen.

Polttokammiossa vallitsee korkea paine (mitä korkeampi, sen tehokkaampi raketti), joten luonnollisin tapa siirtää polttoaine ja hapetin kammiioon, oli paineistaa tankit yhtä korkeaan paineeseen. Tätä voisi kutsua **painesyöttö**- tai ponnekaasuraketiksi (pressure fed). Yleensä paineistus tapahtuu erillisellä heliumpsäiliöllä.

Kuitenkin, tankkien paineistus vaatii niihin paksut seinämät, joka tekee raketista painavan. Kun otetaan vielä huomioon, että meren pinnan tasolla tarvitaan erityisen korkeita paineita tehokkaaseen raketimoottoriin, on tankkien paineistus huono tapa toteuttaa raketin ensimmäinen vaihe.

Tämän johdosta kehitettiin turbopumput. Niissä tankit voivat olla matalassa paineessa, sillä pumppu hoitaa paineistuksen juuri ennen polttokammioon syöttämistä. Turbopumpun ero pumppuihin yleisenä tekniikkana on se, että ne perustuvat pyöriviin turbiineihin, eivätkä esimerkiksi edestakaisin liikkuviin mäntiin.

Turbopumpun voi toteuttaa monella eri tavalla, ja niiden historia on mielenkiintoinen, aina ensikokeilija Goddardista lähtien.

TURBOPUMPPUTYYPIT

V-2:ssa vetyperoksidi hajotettiin **kaasugeneraattorissa** (gas generator) katalyytillä kuumaksi vesihöyryksi ja hapeksi, joita käytettiin pyörittämään turbiinia. Turbiini oli kytketty varsinaisen polttoaineen ja hapettimen (etanolin ja nestehapen) pumppuihin. Käytetty höyry ja happi ohjattiin ulos. Sojuz käyttää tätä järjestelmää edelleen, ja se on toiminut hyvin tuhansien lentojen ja viidenkymmenen vuoden ajan, joka lennolla useassa moottorissa.

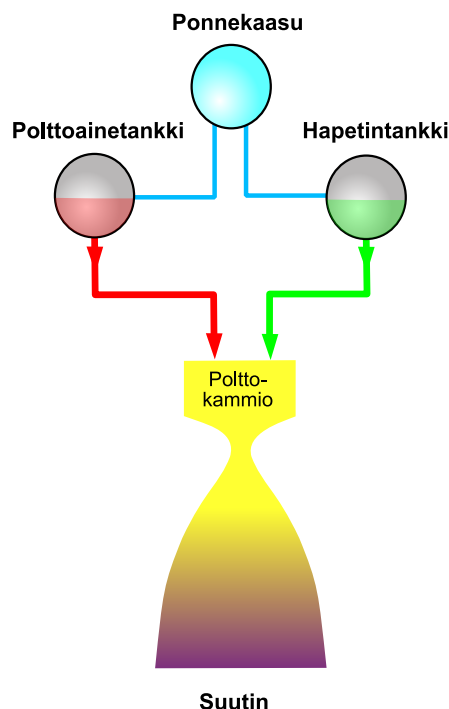
Seuraava vaihe kehityksessä oli varsinaisilla polttoaineilla toimiva kaasugeneraattori. Atlas ja Titan. Saturn 5:n kaikissa moottoreissa käytettiin tätä järjestelmää. F-1 käytti kerosiinia ja happea ja J-2 vetyä ja happea. Itseasiassa viime aikoina tämänkaltaisiin järjestelmiin on palattu: Delta 4:n RS-68 on yksinkertainen vetyhappi kaasugeneraattorimoottori, samoin kuin Ariane 5:n Vulcain 2 -päämoottori. Mitä suurempi osa polttoaineesta ohjataan kaasugeneraattoriin, sitä enemmän sitä menee

hukkaan, joten kovin suuriin pumpputehoihin ja korkeisiin paineisiin ei ole järkeä mennä.

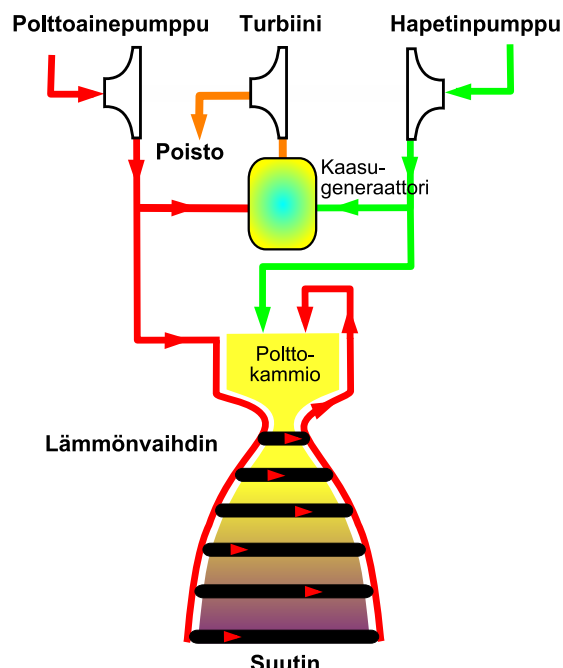
Neuvostoliitossa mentiin jo varhain askelta pidemmälle: Vaiheistetussa palamisessa (staged combustion) kaasugeneraattorin ulostulo turbiinin jälkeen ohjataan pääpolttokammioon jolloin se ei mene hukkaan. Tämä tosin vaatii sen olevan korkeapaineistettu. Jo Protonin RD-253:ssa sovellettiin tätä itsesytyvillä polttoaineilla. Avaruussukulan SSME on uudelleenkäytettävä vaiheistetun palamisen happi-vetymoottori. RD-170 Zenitissä ja RD-180 Atlas 5:ssä ovat erittäin korkeapaineisia happi-kerosiinimoottoreita. Kummatkin ovat kunnianhimoisia ja monimutkaisia laitteita, jotka saavuttavat korkean ominaispulsstin meren pinnan tasollakin.

Myös **laajennin** -toimintaperiaatetta (expander) on käytetty. Tässä pumppuja pyörittää polttokammion, kurkun ja suuttimen ympärillä lämmönvaihtimessa lämpeävä ja laajeneva polttoaine. Käytännössä tämä toimii vain vedyllä ja metaanilla. Kerosiini ei laajene tarpeeksi lämmitessään. RL-10 on käytännössä toistaiseksi ainoa kyseistä sykliä käyttävä moottoriperhe. Saavutettava paine ei

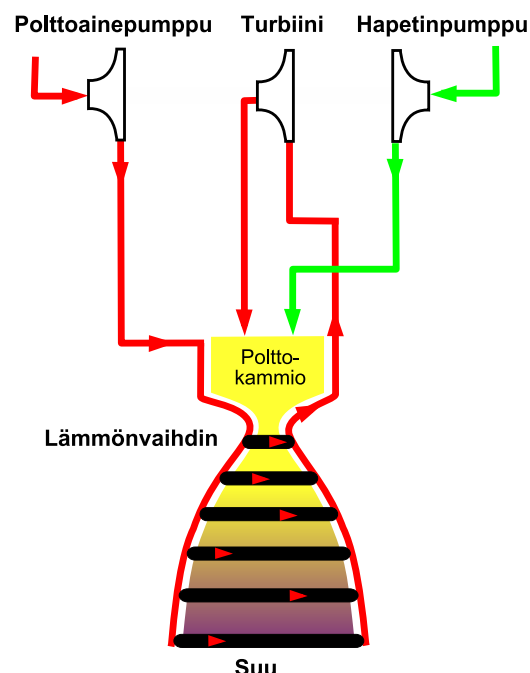
Painesyöttö



Kaasugeneraattori



Laajennin



ole suuren suuri, mutta polttoainetta ei mene hukkaan, joten impulssi on parempi kuin kaasugeneraattorimoottoreilla. Siksi moottori on parempi ylemmissä vaiheissa.

On myös erikoistapauksia, kuten erillisellä suljetun syklin työkaasulla toimiva laajennin, täyden virtauksen **vaiheistettu palaminen** (full flow staged combustion) tai vuotava laajennin (bleed expander). Joskus turbopumppuja on monta, erikseen hapettimelle ja polttoaineelle (sama kaasugeneraattori mutta erilliset turbiinit).



Sukkulan SSME-päämoottorissa on erilliset turbopumput vedylle ja hapelle. Vasemmalla vedyn ja oikealla hapen. Kummallakin on yläosassa oma kaasugeneraattori / esipoltin (harmaa), keskiosassa turbiini (punainen) ja alaosassa varsinainen pumppu (sininen). Keskellä kuvaa turbopumppujen välissä on moottorin injektori ja pääpoltokammio. Moottorissa on lisäksi matalan paineen esipumppu, mutta niitä ei ole kuvassa. Myös jäähdytysenergiaa käytetään pumppaamiseen. Vetypumppu on isompi, koska pumpattavan vedyn tilavuus on paljon suurempi. Pumput myös pyörivät eri nopeudella. kuva: Pratt & Whitney tms.

Yksi mahdollisuus on myös laukaista raketti rahtilentokoneesta, mikä oli Airlaunch LLC:n idea. Tällöin matalampi ilmanpaine kilometrien korkeudessa mahdollistaa lennon matalammalla moottoripaineella, ja voidaan käyttää painesyöttöä. Firma on tosin pistetty jäihin toistaiseksi valtion rahoituksen loputtua.

Tulevaisuus on hämärän peitossa. 70- ja 80-luvun kuvitelmat aina vain tehokkaammista vaiheistetun palamisen moottoreista on osittain haudattu, koska moottorit ovat osoittautuneet monimutkaisiksi ja kalliiksi. SSME:n huoltaminen lentojen välissä vaatii

LÄHIHISTORIA JA TULEVAISUUS

Viime vuosikymmeninä on kehitetty vain muutamia rakettimoottoreita. Amerikkalaisen SpaceX:n Merlin 1 on aivan perinteinen kaasugeneraattori-happi-kerosiinimoottori. Intiassa on kehitetty GSLV-raketin ylempään vaiheeseen oma "Indigenous Cryogenic Engine", pieni happi-vetymoottori joka toimii vaiheistetun palamisen periaatteella.

Pienet, uudelleenkäytettäviin raketteihin pyrkivät uuden aallon avaruusyritykset käyttävät toistaiseksi pääsääntöisesti painesyöttöä. Pumput

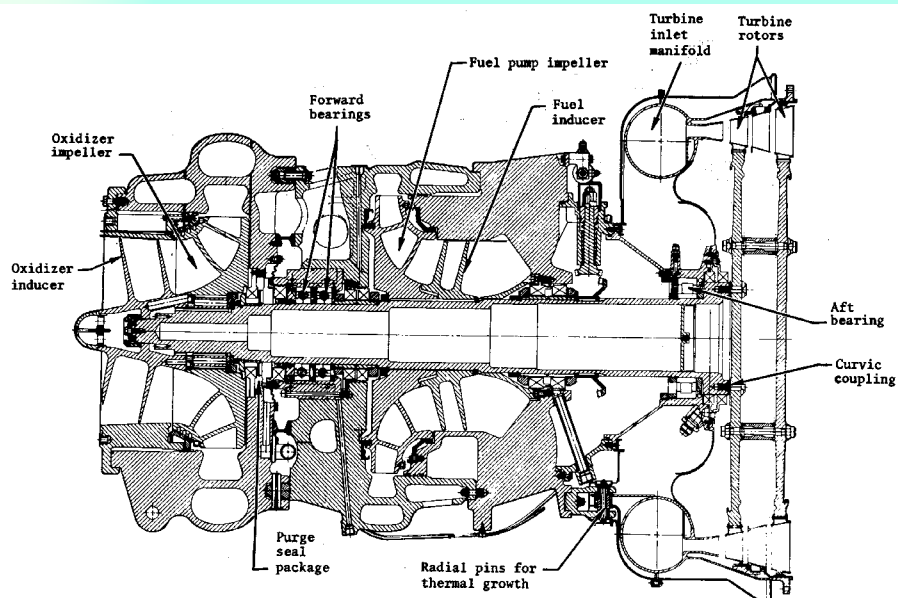
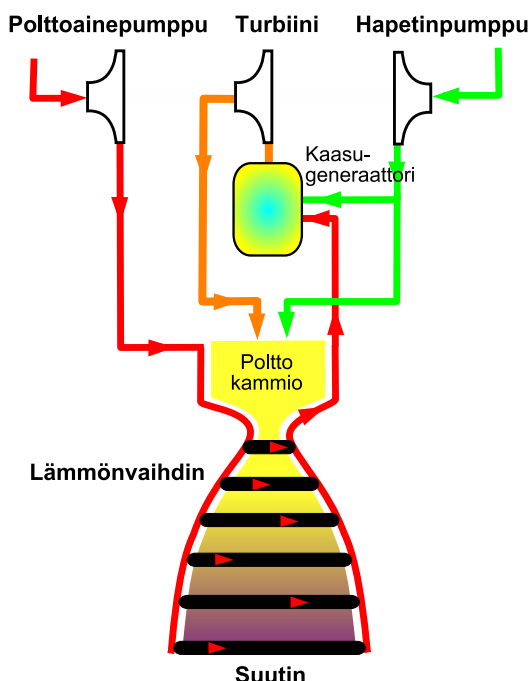
ovat vielä tässä vaiheessa liian kalliita kehittää eivätkä ne kannata pienissä raketeissa. Poikkeuksen muodostavat XCOR ilmeisesti laajenninperiaatteella toimivalla mäntäpumppullaan happi-alkoholimoottorissa sekä korealainen C&Space happi-metaanimoottorillaan, jossa on turbopumppu (syklistä ei tietoa). Pumppu mahdollistaa matalan paineen tankit, joiden ei tarvitse olla sylinterin muotoisia vaan ne voidaan sijoittaa esim. siipeen, kuten tavallisissa lentokoneissa - avaruushyppyjä tekevän rakettilentokoneen toteuttaminen helpottuu.

suuren määrän työtä, ja avaruussukkulassa on niitä kolme. Jossain vaiheessa metaani oli muodissa, ollen kompromissi vedyn ja kerosiin välillä, mutta metaanimoottoriohjelmistakaan ei ole vuosiin kuulunut enää mitään. Metaani mahdollistaisi ensimmäisen vaiheen toteuttamisen laajenninperiaatteella. Isoja laajenninmoottoreita ei ole juuri kokeiltu.

Rakettitekniikassa kokeiltiin paljon erilaisia ratkaisuja vielä 60-luvulla, mutta sen jälkeen edistys on ollut melko hidasta ja keskittyen konservatiivisiin ratkaisuihin. □

Vaiheistettu palaminen

F1



F-1:n yksiakselinen turbopumppu: Happi tulee vasemmalta ja poistuu pumpusta ylös, kerosiini sivusta ja poistuu ylös, oikeassa reunassa on turbiini johon tulee kuuma kaasu erillisestä kaasugeneraattorista ja poistuu oikealle. NASA SP-8107, Turbopump systems for liquid rocket engines 1974.