



PIENOISRAKETTIEN KÄSIKIRJA

**Suunnittelu, Rakentaminen,
Operointi**

Matti Lepomäki

Matti Lepomäki

PIENOISRAKETTIEŦ KÄSIKIRJA

© 2022 Lepomäki, Matti

Kustantaja: BoD - Books on Demand, Helsinki, Suomi

Valmistaja: BoD - Books on Demand, Norderstedt, Saksa

ISBN: 978-952-80-6621-7

Sisällys

1 Pienoisraketit Harratuksena	9
2 Pienoisraketin rakentamisen yksityiskohdat	19
3 Lennättäminen	35
4 Työtilat ja tarvikkeet	53
5 Moottorit	61
6 Laukaisulaitteet	75
7 Kuinka korkealle pääsee?	103
8 Raketin suunnitteleminen	113
9 Paluu	133
10 Stabiilius	149
11 Aerodynamiikka	159
12 Monimoottoriraketit	165
13 Monivaiheraketit	181
14 Hyötykuormat	201
15 Edistyneet raketit	225
16 Mitä seuraavaksi?	253
17 lähteet	263

Erotuslausuma ja varoitus

Eng. Disclaimer and Warning, eli lailliset huomiot tästä kirjasta. Kirjan kirjoittaja esittää kirjassa mielipiteitään- Ne perustuvat kirjailijan omiin kokemuksiin pienoisorakettien parissa, ja kursiiviseen (epätäydelliseen) katsaukseen alan kirjallisuudesta.

Kirjan sisältämää tietoa ei ole testattu tieteellisesti, analyysijä tai erityisiä tarkastuksia kirjan sisällöstä ei ole tehty.

Raketit eivät lähtökohtaisesti ole vailla riskejä. Ne ovat pyroteknisiä, reaktiivisia laitteita joiden käyttöön sisältyy aina riskejä. Kirjan kirjoittaja ja kustantaja sanoutuvat irti kaikista vastuista ja vahingonkorvauksista joita kirjassa esitettyjen toimien tekeminen voi aikaansaada; vaikka kirjassa esitettyjä mielipiteitä olisikin noudatettu tarkasti

Rakettien toimintaa säätelee kokoelma lakeja ja asetuksia Suomessa ja Euroopan Unionissa; nämä asetukset ovat luettavissa tai hankittavissa Valtiovirastoista (mm. Traficom).

Kirjassa esitetyt hankkeet ovat tarkoitettu täysi-ikäisille aikuisille. Alaikäisten toiminta kirjan hankkeiden parissa on tapahduttava huoltajan luvalla ja valvonnassa.

Tämä kirja ei ole valmistajan ohjeiden korvike. Lue ja noudata valmistajan antamia ohjeita aina kun käsittelet raketteja tai niiden apulaitteita.

Tämä kirja on julkaistu siinä ymmärryksessä, että kirjailija tai julkaisija eivät asetu laillisesti sitovaan- tulos, tai ammatilliseen velvoitteisiin tämän kirjan kautta. Jos lakitekniistä- tai asiantuntijan neuvot ovat tarpeen, palkkaa alan asiantuntija.

Esipuhe

Kahdeksankymmentä luvulla Suomessa oli kaksi kanavaa, kaapelilla kymmenen lisää ja Yleisradio lähetti ohjelmistossaan tiedeohjelmia ihmiskunnan edesottamuksista avaruudessa.

Mieleenpainuvimmat olivat ehdottomasti teknologia katsaukset Apollo-ohjelman eri vaiheisiin, alkaen USA - Neuvostoliitto Avaruuskilvasta joka kulminoitui Apollo 11 laskeutumiseen kuuhun.

Moottorien jyly, Apollon nousu tulipilarin päällä kohti avaruutta. Nämä tekivät minuun lähtemättömän vaikutuksen ja raketit ovat olleet siitä lähtien merkittävä osa harrastuksiani.

80-luvulla Suomen länsirannikolla, jossa vietin lapsuuteni, raketit eivät olleet harrastus jota voisi harrastaa. Koko ajatus oli... vieras. Rakettien jokamiesluokka, pienoizraketit olivat kyllä esillä muutamissa artikkeleissa Tekniikan Maaailmassa, Tieteenkuvalehdessä ja Pienoismalli lehdissä- mutta lähin seura joka teki asialle yhtään mitään oli Suomen Avaruustutkimusseura, joka kokoontui ja operoi Helsingissä.

Niin lähellä ja silti niin kaukana.

Maailma ei kuitenkaan jäänyt niille sijoilleen, enkä jäänyt minäkään. Varsin vaiherikkaiden vuosien jälkeen löysin itseni Helsingistä, lueskelemasta hybridiraketeista. Olin jättänyt raketit harrastuksena syrjään nopin kolmeksi vuosikymmeneksi ja huomasin, etten tiennyt oikein mitään propulsiolaitteista, enkä rakettien operoinnista. Enkä tiennyt mistä edes aloittaa; Mutta... asuin kaupungissa jossa oli pienoizrakettiseura, Suomen Avaruustutkimusseura, johon päädyin ottamaan yhteyttä.

Kävin laukaisupaikalla katsomassa mistä oikein on kyse. Selvittelin mitä tarvitsisin harrastuksen aloittamiseen ja sain käsiini tiedot muutamasta kirjasta ja selvät linjanvedot miten kannattaisi edetä.

Ostin kirjat ja totesin harmikseni, että teokset, niin hyviä kuin Model Rocket Handbook (Harry Stine) ja Make: Model Rockets (Mike Westerfield) olivatkin, ne olivat täysin kiistatta tarkoitettu Yhdysvaltoihin. Lupa-asioilla ei ollut mitään tekemistä Suomen tai edes Euroopan kanssa ja Mittayksiköt olivat tuumissa ja kaikki kaupat olivat samoin EU:n ulkopuolella.

Kuljetuskustannukset olisivat toivottomat ja propellantin osto Rapakon takaa oli kutakuinkin mahdotonta. Mutta, elämme nettiaikaa. EU on raketitöiminnassa Yhdysvaltoja perässä pari vuosikymmentä, ja se pätee jokamiesluokkaan samoin kuin oikeisiin raketteihin, mutta siksi tämä kirja on laadittu; helpottamaan Suomalaisen raketoijan tietä. Ensimmä-

mäiset rivit muistiinpanoissani tästä harrastuksesta on lista nettikauppoja joista ennekaikkea moottoreita voi ostaa. (Vinkki, se on edelleen raketenbaumlage klima).

Kenelle kirja on kirjoitettu? Jokaiselle joita raketit ja niiden rakentaminen kiinnostaa jossakin muodossa. Sopiiko harrastus lapsille? Todellakin. Nuorimmat laukaisuoperaattorit (jotka ovat vieläpä raketinsä itse rakentaneet) ovat olleet 4-vuotiaita.

Sopiiko harrastus varttuneemmalle? Ei tässä harrastuksessa oli ikäylärajaa. Raketteja voi tehdä juuri niin vaikeaksi kuin haluaa. Kirjan lopussa on pienoisorakettitekniikan kruununjalokivi. Vilkaiskaa viimeistä kappaletta, selvittääkää mitä tarkoittaa TVC ja etsikää YouTubesta termi "Landing Model Rockets" ja voitte katsoa miten syvälle kaninkolo johtaa.

Tämä suuri ikähaitari, kiinnostuksen ja haastavuuden tason vaihtelu on syy miksi kirja on jaettu kolmeen osaan. Ensimmäiset kappaleet ovat pika-opas joka kertoo esimerkinomaisesti hyvin yksinkertaisen raketin rakentamisen- juuri sellaisen jonka voisi rakentaa aloituspakeista, sen jälkeen on kappale lennätysohjeista, jossa käydään läpi miten ja missä rakettia voi lennättää.

Myöhemmät kappaleet jakautuvat vielä kahteen edelliseen opukseen, joista ensimmäisessä käsitellään perusasiat perusteellisemmin: Miten rakennetaan laukaisukalusto; Torni ja laukaisukonsoli, miten suunnitellaan ja simuloidaan raketti. Viimeinen osuus kattaa katsauksen raketin fysiikkaan, eli miksi raketit lentävät, mitä on raketin vakavuus ja miten ilma vaikuttaa raketin lentoon. Vastaus saattaa yllättää.

Luku 1

Pienoisraketit Harratuksena

Merkittävä ero sähläämisen ja rakettitieteen välillä on tulosten taltiointi.

Historiaa

Pienoismalliraketteja on lennätetty maailmalla Sputnikin (1957) ajoista lähtien, kun ihmisten kiinnostus rakettitekniikkaan heräsi. Harrasteena pienoismalliraketit ovat monimuotoisia; Ne ovat rakettitekniologiaa minikoossa, täynnä insinööriosaaamista, oivalluksia ja hyväinkin parempi syy suunnata ulos lennätysalueelle sunnuntaina. Alkuunsa raketit olivat kaukana tämänpäiväisestä turvallisuudestaan. Harrastajat rakensivat raketinsä metallista, sekoittivat polttoaineet itse ja menettivät sormia, silmiä ja jopa henkensä.

Yhdysvalloissa valtionhallinto puuttui peliin kovalla kädellä ja pienoisraketti harrastuksena oli tuhoutua alkutaipaleellaan. Moderni rakettiharrastaminen alkoi kun Orville Carisle patentoi luotettavan ja turvallisen pienoisraketin jolle myönnettiin patentti 1958. Harry Stine ja Orville Carisle aloittivat samaan aikaan lainsäätäjien kanssa markkinoimaan turvallisia raketteja jotka valmistettaisiin paperista, balsasta ja kevyestä muovista- Ja onnistuivatkin siinä. Rakettimoottorien, joka oli samalla tärkein ja riskialttein komponentti tuotti kuitenkin edelleen ongelmia, mutta kun Stinen ja Carislen yritys (Model Missiles Inc)oli kaatumassa, sen jäämistöt päättyivät Vernon Estesin käsiin joka kehitti massatuotantokoneen rakettimoottoreille. Estes Industries on edelleen suurin toimija pienoisrakettien keskuudessa.

Suomessa rakettiharrastus on ollut haastavaa. Viranomaiset määrittivät harrasteraketit ilotulitteiksi (joita pienoisraketit eivät todellakaan ole) ja kun 1997 sattui vakavia onnettomuuksia Komet Bomb nimisen ilotulitteen kanssa, rakettiharrasteelle löytiin likipitään kuolinisku.

Suomen Avaruustutkimusseura teki urauurtavia toimia ja sai lopulta hyväksytettyä viranomaisille raketit miehittämättöminä, vapaastilentävinä lennokkeina (joka on jo huomattavasti lähempänä mitä raketti on)ja

seuran perustajajäsen Bernt Höffren alkoi tuottamaan Waco Pyrotechnik GmbH mustaruutimoottoreita Suomeen jolla suomessa lennätettiin aina Wacon toiminnan päättymiseen 2012- Mutta Raketen Baumlage Klima GmbH oli tässä vaiheessa lanseerannut omat moottorinsa markkinoille.

Klima ei valmistanut mustaruutimoottoreita. Kliman moottorit ovat komposiittirakenteisia ammoniumperkloraattia käyttäviä moottoreita. Tämä propellanttiyhdistelmä on käytössä myös oikeussa kiintopolttoaineisissa rakettimoottoreissa. Amatööriraketit ovat seuraava askel, jota Suomessa yritetään edelleen ottaa.

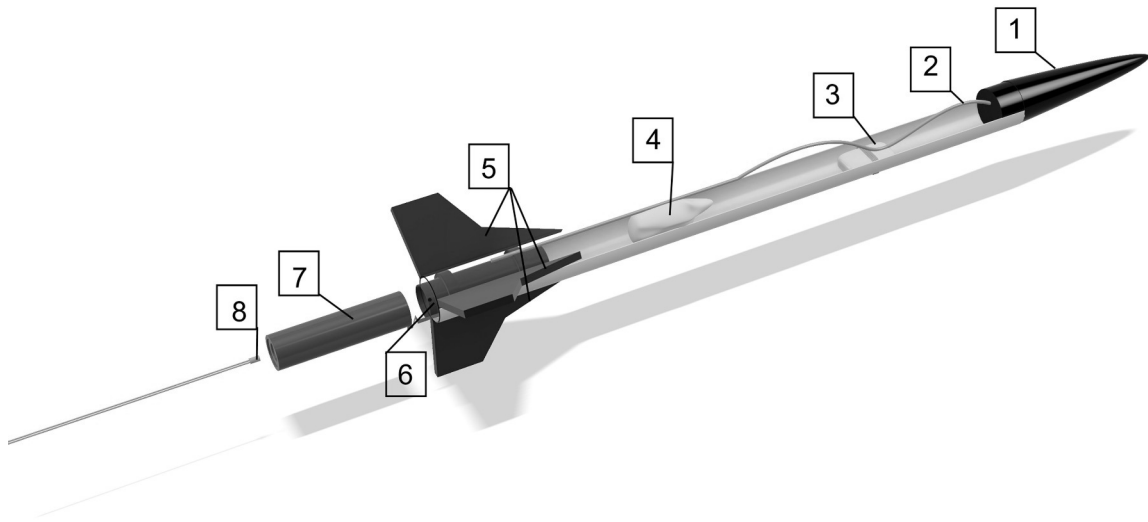
Nämä raketit vaativat merkittävää suunnittelua ja huomattavaa panostusta toimiakseen. Amatöörirakettien rakenteet ovat lasi- tai hiilikuitua, moottoreissa kymmeniä kilogrammoja työntöä- ja lennättäminen on toistaseksi suomessa mahdotonta, mutta työtä asian muuttamiseksi tehdään.

Onneksi Suurtehomootoreiden ja pienmoottoreiden välissä on mielenkiintoinen alue, keskitehoraketit, johon perehdytään kirjan edistyneemmissä kappaleissa.

Mikä on pienoISRaketti

Määritellään ensin raketti

Raketti on ilmaa raskaampi objekti, joka tuottaa liikehtimisvoimansa ilman ilmakehän tarvetta. Ts. Raketti kykenee tuottamaan liike-energiaa omasta massastaan. Raketti voi käyttää ilmakehää lentonsa vakavoimiseen, mutta aktiivisella ohjauksella tähän ei ole tarvetta.



Kuva 1.1: PienoISRaketti

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1. nokkakartio | matonta vanua/paperia/kan-
gasta) |
| 2. paluuvaljas | |
| 3. paluulaite (laskuvarjo tai il-
maliina) | 5. siivet |
| 4. Kipinäloukku (Joko kiinteä
mekaaninen laite, tai pala- | 6. moottoriteline |
| | 7. rakettimoottori |
| | 8. sytytin |

Pienoraketti on raketti. Se on pienikokoinen ja heikkotehoinen, mutta samat fysiikan lait jotka vaikuttavat SpaceX:n Falcon 9 rakettiin laukaisussa, vaikuttavat myös pienoraketeissa. Kiintopolttoaisella moottorilla varustettu pienoraketti täyttää kaikki seuraavat määritelmät:

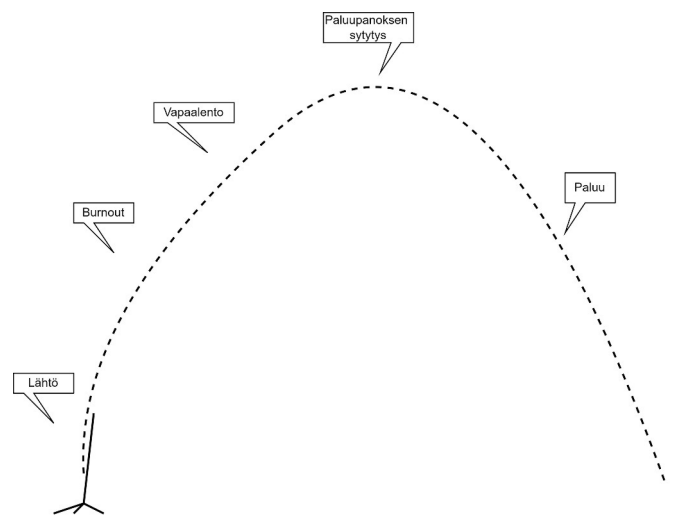
1. Rakennusaineina on käytetty paperia, balsaa, muovia, pahvia ja muita ei-metallisia osia.
2. panostetun raketin paino on alle 1000g, jossa on enintään 125g propellantia
3. käytetyt moottorit ovat kaupallisesti suunniteltuja ja valmistettuja, CE-hyväksytyjä tuotteita. Omatekoiset moottorit ovat kiellettyjä.
4. moottori voidaan sytyttää sähköisesti vähintään 10m etäisyydeltä, käyttäen paristokäyttöistä sähkösytytyslaitteistoa, jossa on turva-avain ja jousikuormitteiset painikkeet, ja jolla moottori voidaan sytyttää lähtölaskennan päätteeksi
5. laitteessa on hitaan paluun mahdollistama laite, joten laite voidaan valmistella uudelleen lennätettäväksi.

Lennon vaiheet

Raketilla on lento-operaatiossa tarkkaan määritelty määrä vaiheita. Kun moottori sytytetään, alkaa voimitettu lento, jossa raketin nopeus kasvaa moottorin työntövoiman ansiosta.

Kun moottori palaa loppuun alkaa vapaalentovaihe, joka päättyy viivepanoksen sytyttäessä avauspanos, jolla yleensä hallitusti halkaistaan raketti kahtia ja avataan paluuväline, yleensä laskuvarjo.

Kun raketti laskee maahan, lento on päättynyt ja raketti noudetaan maastosta.



Kuva 1.2: Tyypillisen raketin lennon vaiheet

Tätä kokonaisuutta kutsutaan lento-operaatioksi.

Raketit Harrastuksena Suomessa

Pienoisrakettiharrastuksen alkuun pääsee edullisesti. Perustarvikkeet jotka pitää jokaisella raketoijalla olla ovat

- raketti
- laukaisuteline
- sytytyslaite
- rakettimoottoreita + sytyttimet

Suomessa ei ole toistaiseksi helppoa tapaa haalia näitä, mutta nettikaupat palvelevat oivasti. Amazon.de on kaikkien tuntema, eurooppalainen nettikauppa josta aloituskitin saa ostettua 60 euron hintaan. Alla on lista nettikaupoista jotka on todettu luotettavaksi.

- klima (<https://www.raketenmodellbau-klima.de>)
- <https://eurospacetechnology.eu>
- <http://www.sierrafoxhobbies.com/>
- <https://www.modelrockets.co.uk/shop/>

Näistä kaupoista moottorit saa helpoimmalla Klimalta.

Kauppoja selatessa tulee varmasti mieleen, että mitä ihmettä nämä lyhenteet tarkoittavat- Ja mitä tarkoittavat vaikeustasot.

Osa	Kuvaus
RTF	Ready-To-Fly, raketti on valmis panostettavaksi ja lennätettäväksi, yleensä A-C moottoreille. Sovelias nuorelle aloittelijalle.
ARTF	Almost ready to fly, jokunen osa pitää liimata itse, mutta pääpiirteissään valmis raketti. Yleensä A-C moottoreille. Sovelias nuorelle aloittelijalle.
Class 1	Luokka 1, Korkea esivalmisteluaste, helppo rakennettava raketti- sovelias aloittelijalle.
Class 2	Luokka 2, Keskitason raketti, vaatii kokemusta. Sopii alakoululaiselle edistyneelle raketoijalle, tai yläkouluikäiselle aloittelijalle
Class 3	Luokka 3, Vaativa raketti, vaatii merkittävää osaamista, vain kokeneelle rakentajalle.
Class 4	Luokka 4, Vaikein kitti saatavilla, ehdottomasti vain edistyneille rakentajille

RTF

Tyypillinen rakennusaika: 0 tuntia

RTF raketti on pienoisoraketti joka on valmiiksi rakennettu. Raketti tällaisesta paketista tarvitsee vain moottorin ja laukaisulaitteiston. Tällaisella kitillä on hyvä tutustuttaa lapset rakettiharrastukseen.

Näitä raketteja tarjotaan yleensä osana paketteja jotka sisältävät yleensä:

- Raketti (teline ja moottorit ostettava erikseen)
- Starttipaketti. (Kaikki mitä tarvitset tämän harrastuksen aloittamiseen)
- Raketti ja teline paketti. (Teline, Raketti ja sytytinlaite, mutta ei moottoreita)

ARTF

Tyypillinen rakennusaika: 0,5 - 1 tuntia



Kuva 1.3: Falx

Jos raketti ei tule aivan valmiina, mutta vaatii pientä kokoamista (esim. siipien asettaminen muoviseen siipipukkiin), tai yksinkertaista maalausta. Nämä raketit ovat erinomainen tapa nuorelle raketoijalle aloittaa rakentaminen.

ARTF raketit jakavat seuraavat ominaisuudet

- yksivaiheisia, yksimoottorisia raketteja, joiden moottorin yläkoko on C-luokka
- yksinkertainen rakenne. Aikaisempaa kokemusta ei tarvita.
- siipiasetelmat putken läpi, valmiisiin siipikuiluihin.
- yksinkertaisia mittauksia
- ei maalausta, tai yksinkertainen maalaus
- yksinkertaiset liimaukset
- liimattavat dekalit

Luokka 1

Tyypillinen rakennusaika: 2-3 tuntia, 12 tuntia liimasaumojen lujittumiseen.

Helppoja rakentaa ja vakaita lennossa. Erinomainen raketti aloittelijalle.



Kuva 1.4: Pataässä

Lähes kaikki luokan 1 raketit voidaan rakentaa ja laukaista samana päivänä. Ainoa rajoittava tekijä on käytetty liima. Muutamat puuliimat saavuttavat riittävän lujuuden samana päivänä, mutta eroja on. Liiman käyttöohjeesta selviää kuinka pitkän kuivumisajan liima tarvitsee.

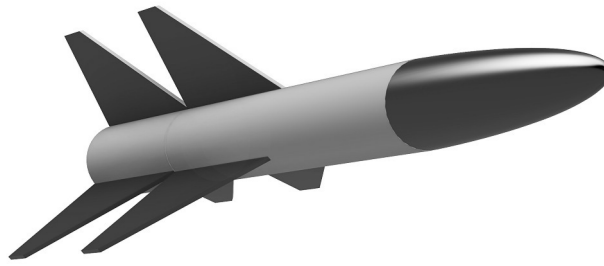
Luokan-1 rakettien ominaisuudet ovat yleensä:

- yksivaiheisia raketteja joiden moottorin yläkoko on D-luokka
- raketin rakentaminen vaatii jo hieman kokemusta
- siipien kiinnitys on yleensä pinta-asennus
- osa osista pitää valmistaa itse
- liimaukset, hionnat ja tiivistykset on tehtävä itse
- yksinkertaiset maalaukset
- dekalit, sikäli kun niitä on ovat yleensä paine- tai vesikiinnitettäviä

Luokka 2

Tyypillinen rakennusaika: 5-7 tuntia, 12 tuntia liimasaumojen lujittumiseen.

Kokemus aikaisempien rakettien rakentamisesta tarpeen. Luokan 2 raketit ovat hyvä valinta toiseksi raketiksi. Näissä raketeissa on tyypillisesti haastava moottoripukki, vaikea siipiasetelma, tai raketissa on huomattava määrä komponentteja ja siten vaikea kokoonpano. Nämä ovat hyviä raketteja nuorelle rakentajalle, jolla on jo aikaisempaa kokemusta, tai aloittelevalle, iäkkäämmelle rakentajalle jolla on jo aikaisempaa kokemusta jostakin teknisestä askartelusta.



Kuva 1.5: 2-vaiheinen raketti

Luokan kaksi tyypilliset ominaisuudet ovat:

- yksi tai monivaiheinen raketti jonka moottorien yläkoko on D-luokka
- aikaisempi kokemus rakentamisesta on välttämätöntä
- siipien rakenne ja asennus voi olla monimutkainen
- komponentit vaativat tarkkoja mittauksia ja valmistamista
- raketti vaatii runsaasti hiontaa, viimeistelyä tai pinta-maalaus on haastava
- monimutkaiset rakenteet

Luokka 3

Tyypillinen rakennusaika: 10-12 tuntia, 24-48 tuntia liimasaumojen lujittumiseen.



Kuva 1.6: Kraken viimeisteltynä

Vain edistyneille rakentajille. Aikaisempi kokemus tarpeen. Luokan 3 raketit käsittävät raketit aina rakettiliidoista monivaiheisiin raketteihin joiden moottorit ovat D tai E -luokassa. Nämä ovat soveliaita raketteja kun rakennuskokemusta on jo karttunut.

Luokalle kolme tavallisia ominaisuuksia ovat:

- yksi tai monivaiheinen raketti , jonka moottoreiden yläkoko on E-luokka
- haastavat, monimutkaiset rakenteet
- edistyneet runkorakenteet vahvistetusta puusta, paperista ja muovista.



PIENOISRAKETTIEN KÄSIKIRJA

**Suunnittelu,
Rakentaminen,
Operointi**

Raketti. Suurimmalle osalle meistä tuo sana tuo mieleen suunnattoman kalliit ja monimutkaiset koneet, joita voidaan lähinnä seurata mediasta.

Mutta tiesitkö, että raketeista on olemassa myös kansanluokka? Siis kenen hyvänsä ulottuvilla oleva tapa harrastaa raketteja?

Tämä "jokkisluokka" ovat pienoisoraketit: Raketteja joita kuka hyvänsä voi rakentaa ja lennättää.

Kenelle pienoisoraketit sopivat? Aivan kenelle hyvänsä, lapsista senioreihin, Projektina kouluille tai seuroille.

Tämän kirjan tarkoitus on helpottaa aloittelevan rakettiharrastajan tietä. Se antaa perustiedot raketin suunnittelusta, rakentamisesta ja seikkaperäiset ohjeet useaan rakettiin joilla aloitteleva raketööri pääsee hyvään vauhtiin.



9 789528 066217

Matti Lepomäki