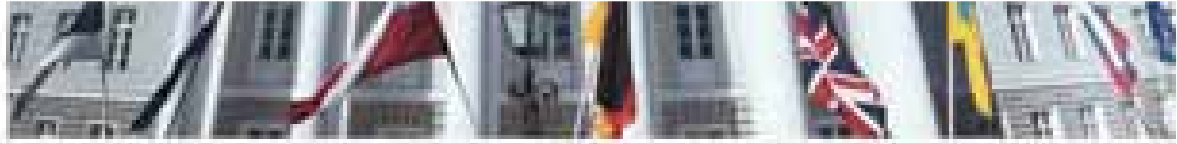


# Materjalid kosmosetehnoloogias

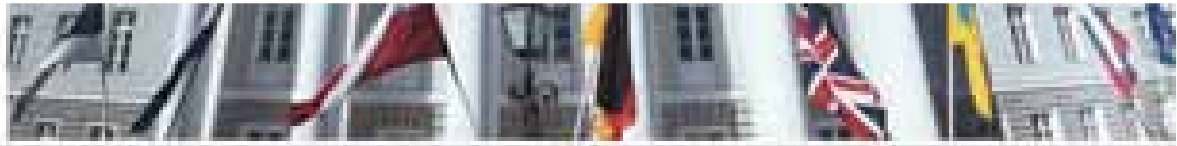
Kaupo Voormansik





# Ülevaade teemadest

- Materjalide kasutusvaldkonnad kosmosetööstuses
- Nõuded materjalidele
- Praegu kasutatavad materjalid
- Tulevikumaterjalid
- Töövõimalusi materjaliteadlastele kosmosetehnoloogias

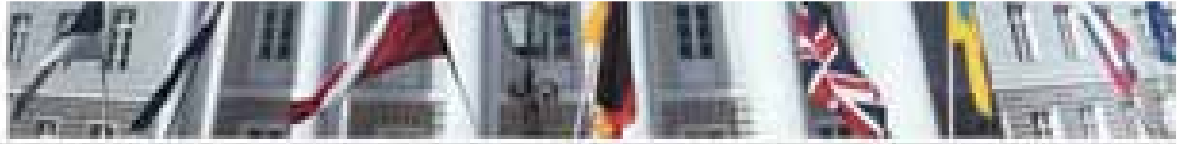


# Satelliidid

Vastupidavus:

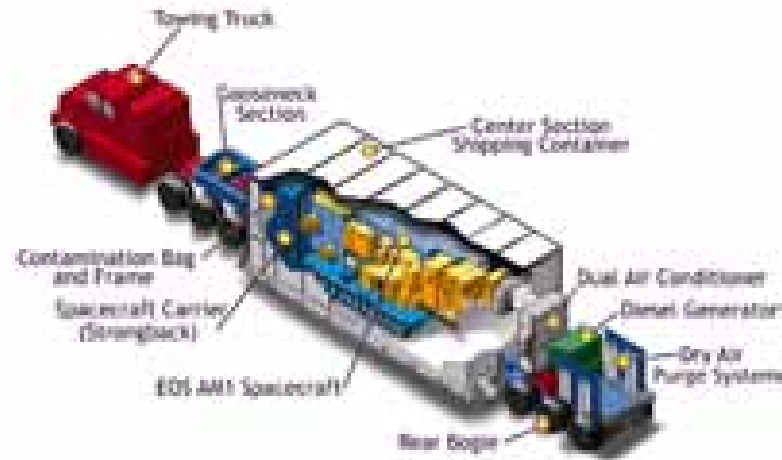
- Maal ehituse ja testimise ajal
- Kanderaketi stardil ja lennul orbiidile
- Orbiidil kosmose tingimustes

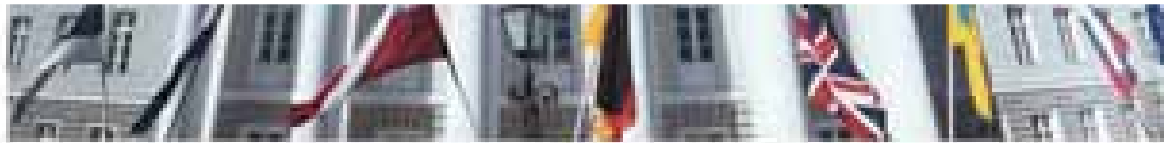




# Tingimused Maal ehituse ja testimise ajal

- Vastupidavus säilitamistingimustel
- Vastupidavus transpordile (lennukiga, laevaga või mööda maad)
- Vastupidavus käsitlemisele kokkupaneku ajal

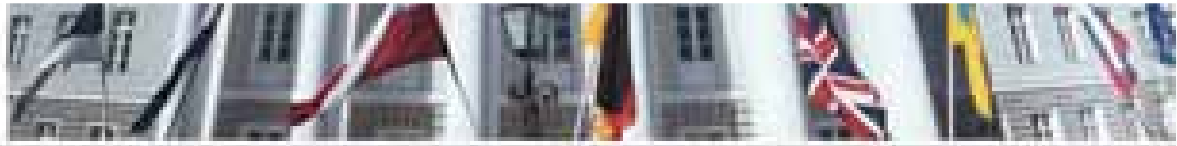




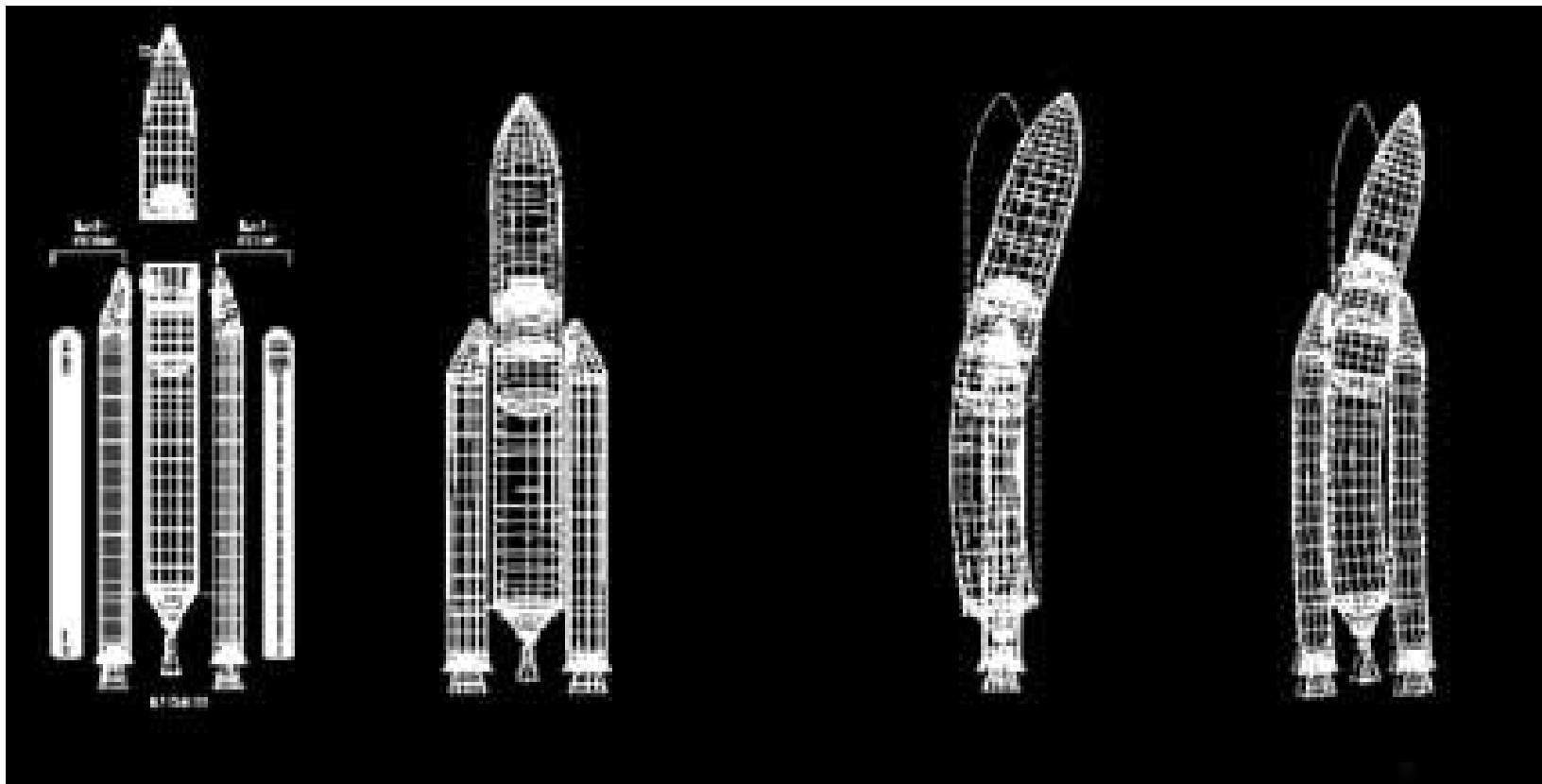
# Tingimused kanderaketis

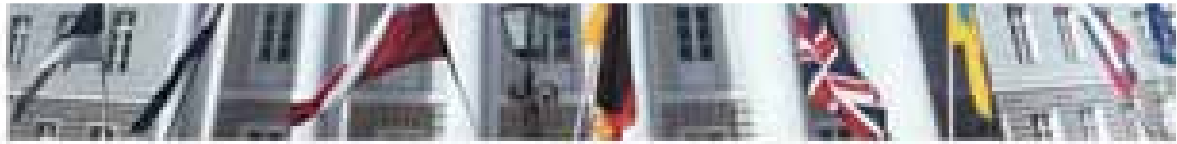
- Kõige ekstreemsemad
- Enamasti määravad struktuuridele esitatud tugevusnõuded
- Muutuv kiirendus
- Madalsageduslik vibratsioon (õhutakistus, astmete eraldus)
- Kõrgsageduslik vibratsioon (mootorite turbopumbad, põlemisprotsess)
- Akustiline müra





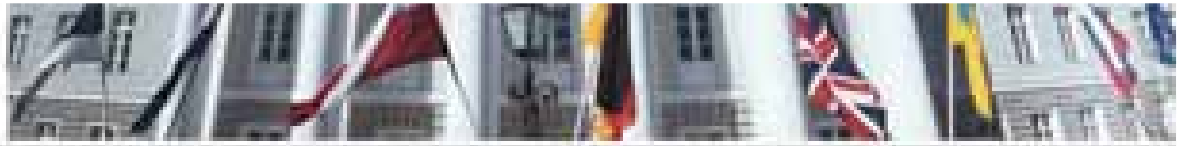
# Kanderaketi vibratsioon





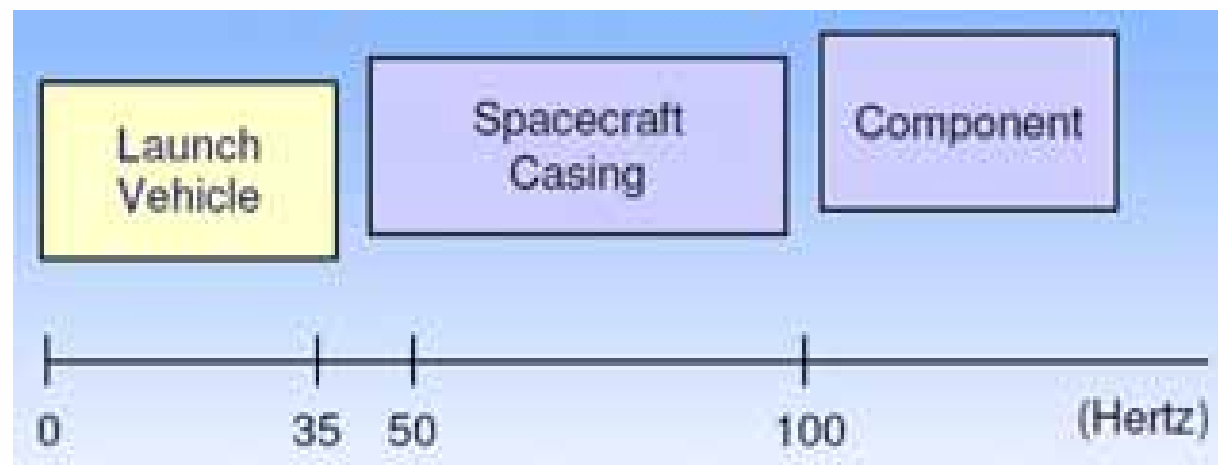
# Erinevate kanderakettide andmed

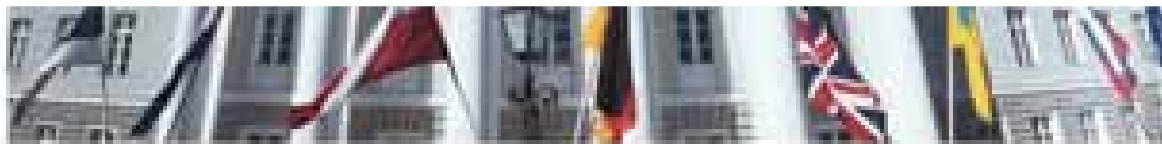
Launch Vehicle	Natural Frequency (Hz)	
	Axial (Thrust) Axis	Lateral Axis
Atlas 5	15	10
Ariane 5	31 (dual payloads) 15 (single payload)	10
Delta 3	35	15 (3-stage) 12 (2-stage)
Long March 2E	26	10
Pegasus	18	18
Proton KM	30	15
Scout	18	20
Space Shuttle	13	13
Delta 4 Heavy	30	13
Titan III	26	10



# Tingimused kanderaketis

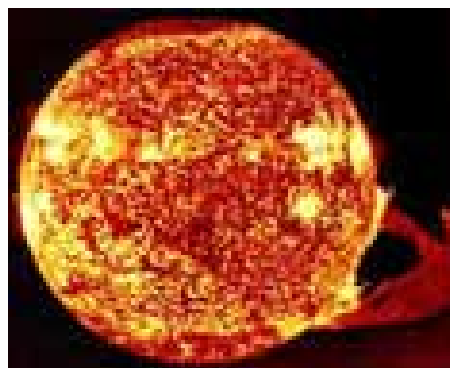
- Satelliit kavandatakse vastu pidama nominaalsetest 1.25-2.5 korda tugevamaid koormusi
- Selline disain, et omasagedused ei lange kokku

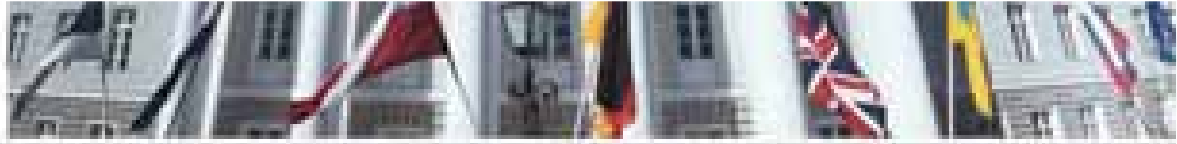




# Tingimused kosmoses

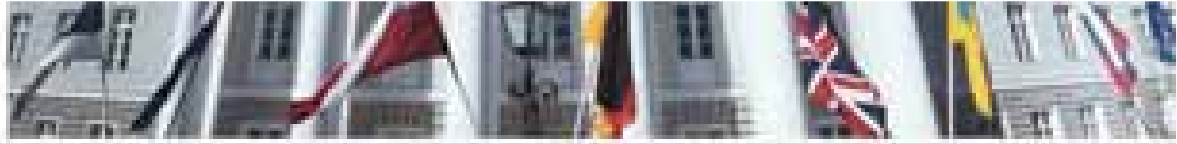
Tingimus	Mõju satelliidi struktuurile
Vaakum	Materjali ja töötlusprotsessi valik
Suur temperatuuride kõikumine	Asendihälbed ja eluea lühenemine
Mikrogravitatsioon	Massi ja struktuuri optimeerimine
Radioaktiivsus	Vähene mõju
Atomaarne hapnik	Pindade oksüdeerumine
Mikrometeor. ja kosmoseprügi	Võimalikud kokkupõrked





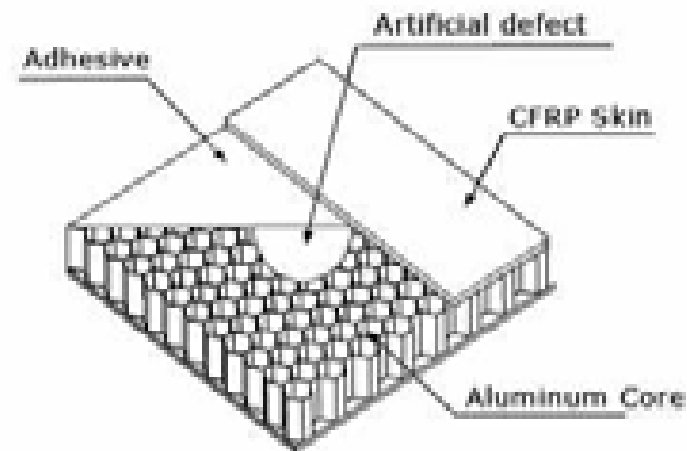
# Koormused orbiidil

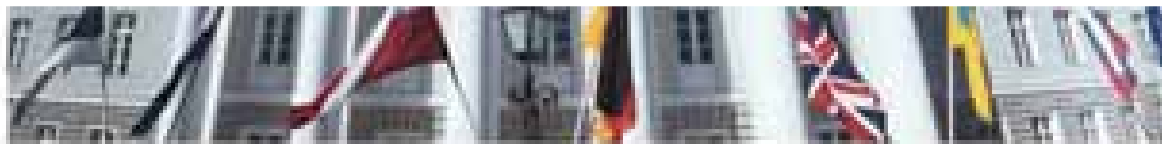
- Väikesed võrreldes kanderaketi stardiga
- Enamasti vibratsioon (kaamera ja antennide suunamisest, mootorite tööst, krüogeensete jahutite põhjustatud)
- Struktuuri piisav jäikus on peamine nõue



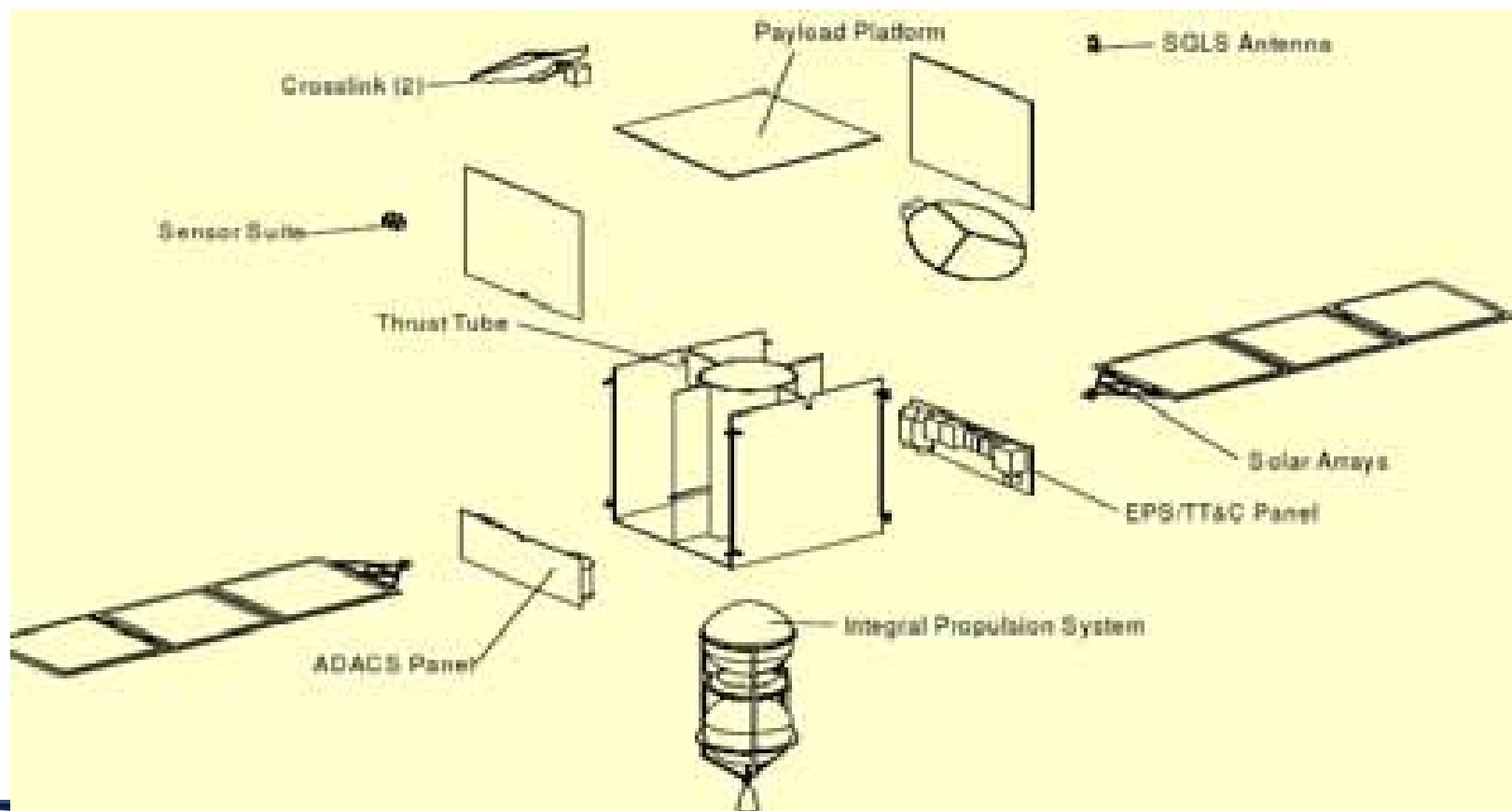
# Üldised nõuded

- Minimaalne mass
- Maksimaalne vastupidavus
- Minimaalne hind

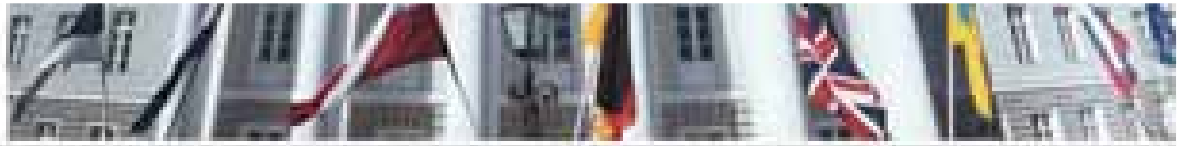




# Tüüpiline geostat. sidesatelliit

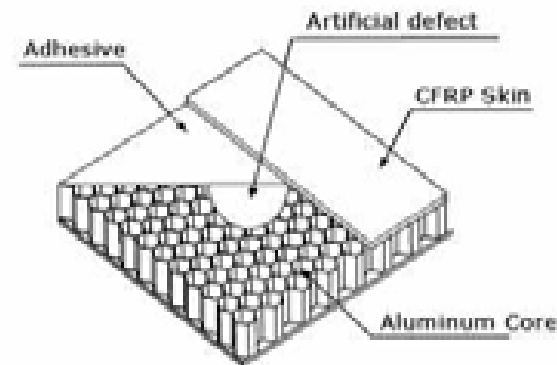


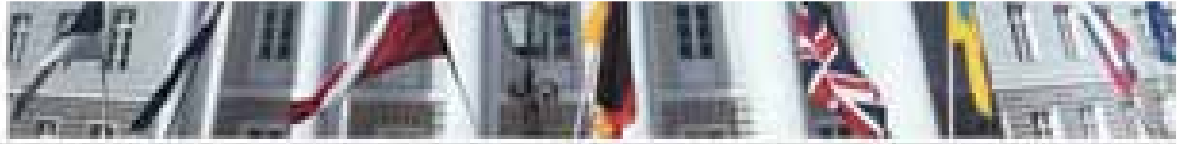




# Struktuurielemendid

- Külgpaneelid
  - monokokk (nt. alumiiniumtahvel)
  - semimonokokk (tugevdusribidega)
  - kärestruktur
- Toruraamid
- Survestatud mahutid
- Komponentide karbid

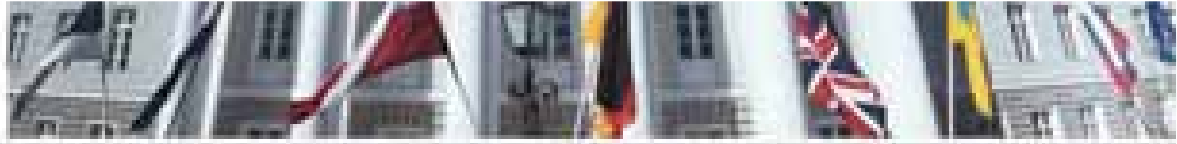




# Nõuded materjalidele

- Eri-jäikus ( $E/\rho$ )
- Eri-tugevus ( $\sigma/\rho$ )
- Hind
- Kättesaadavus
- Tööeldavus
- Vastupidavus tingimustele kosmoses

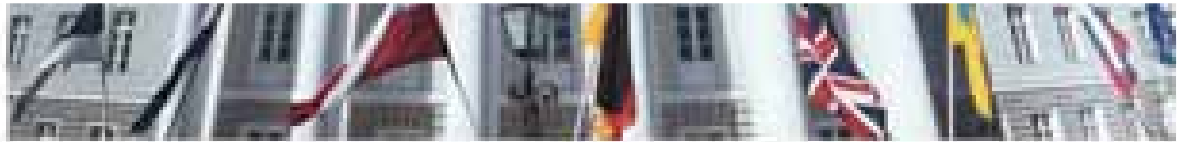




# Materjalid

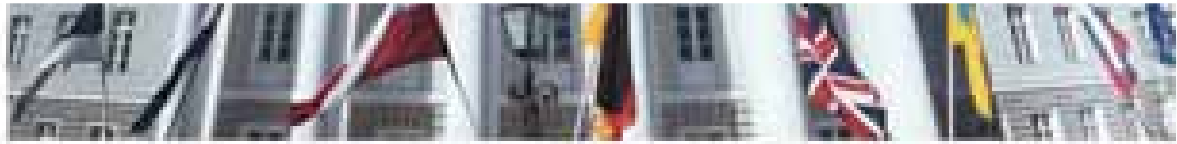
- Alumiiniumsulamid – seni levinuim materjal
- Teras ja titaan – suure koormusega ja kuumade tingimuste jaoks (rakettmootorite detailid, rõhu all kütusemahutid)
- Komposiidid – tugistruktuurid (aina populaarsemad, kuid vajavad eritöötlemist ja kaitset kosmosetingimuste eest)



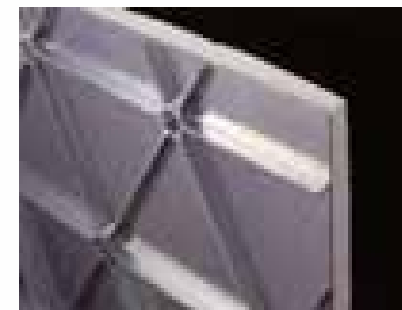


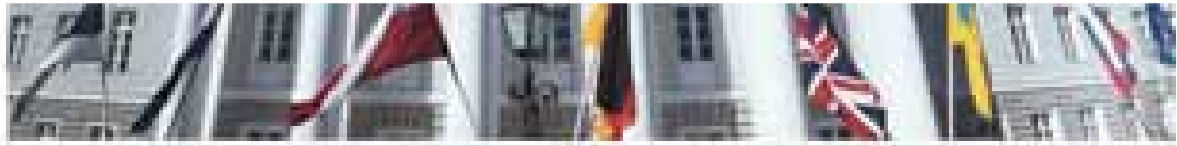
# Materjalid

Material	Advantages	Disadvantages
Aluminum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High strength vs. weight</li> <li>• Ductile</li> <li>• Easy to machine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relatively low strength vs. volume</li> <li>• Low hardness</li> <li>• High coefficient of thermal expansion</li> </ul>
Steel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High strength</li> <li>• Wide range of strength hardness and ductility obtained by treatment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Not efficient for stability (high density)</li> <li>• Most are hard to machine</li> <li>• Magnetic</li> </ul>
Heat-resistant	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High strength vs. volume</li> <li>• Strength retained at high temperatures</li> <li>• Ductile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Not efficient for stability (high density)</li> <li>• Not as hard as some steels</li> </ul>
Magnesium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Low density – very efficient for stability</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Susceptible to corrosion</li> <li>• Low strength vs. volume</li> </ul>
Titanium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High strength vs. weight</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hard to machine</li> <li>• Poor fracture toughness if solution treated and aged</li> </ul>
Beryllium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High stiffness vs. density</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Low ductility and fracture toughness</li> <li>• Low short to transverse properties</li> <li>• Toxic</li> </ul>
Composite	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Can be tailored for high stiffness, high strength, and extremely low coefficient of thermal expansion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costly - requires development program</li> <li>• Strength depends on workmanship – requires individual proof testing</li> </ul>



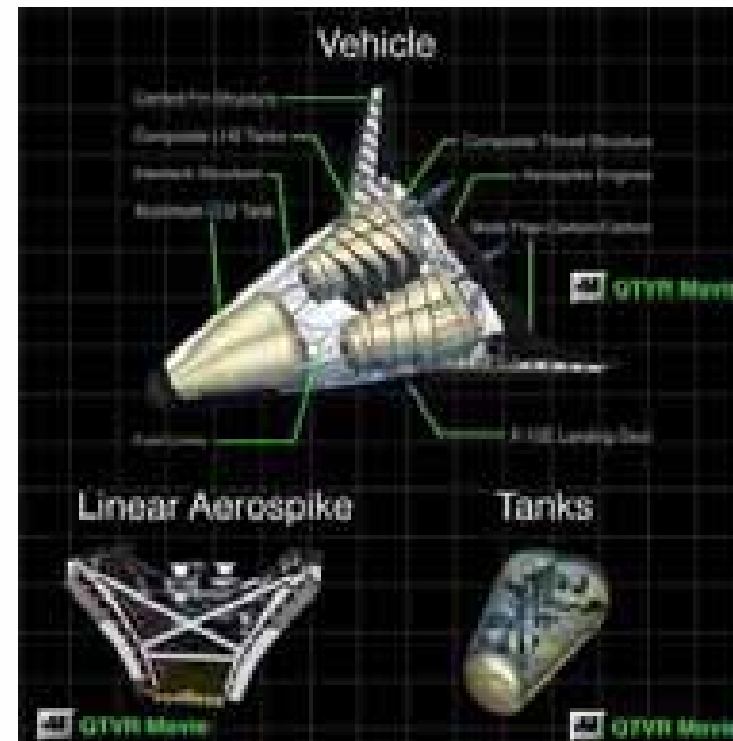
# Kanderaketid

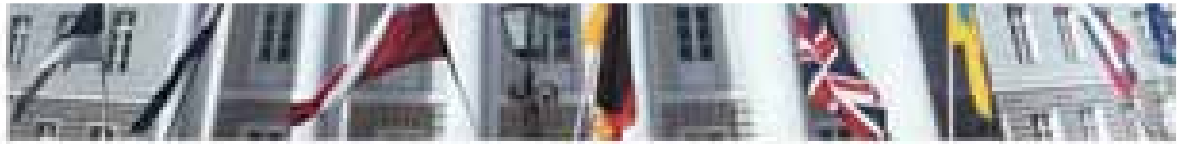




# X-33 lugu

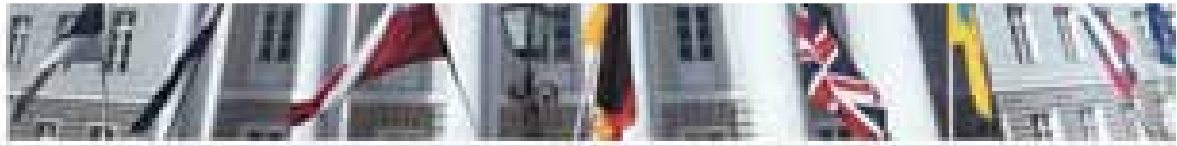
- Üheastmeline taaskasutatav kosmosesüstik
- Lockheed Martini arendusprojekt 1996-2001





# X-33 lugu



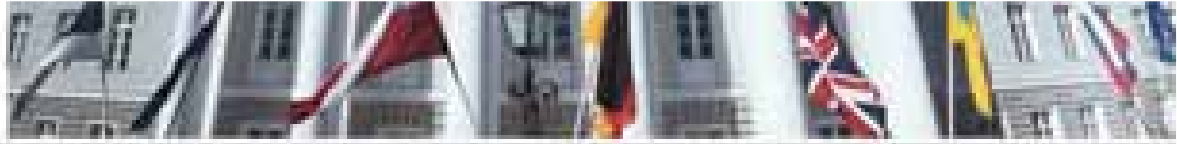


## X-33 lugu

- Projekt lõpetati sobiva materjali puudumise tõttu



- Materjali leidmine võiks muuta transporti orbiidile palju odavamaks!



# Veel väljakutseid

- Praegune parim mootor:  $H_2 + O_2$ , eri-impulss 433 s
- $H_2 + F_2$  pakuks rohkem
- Leida materjal, kus säilitada  $F_2$  või teisi üliaktiivseid aineid

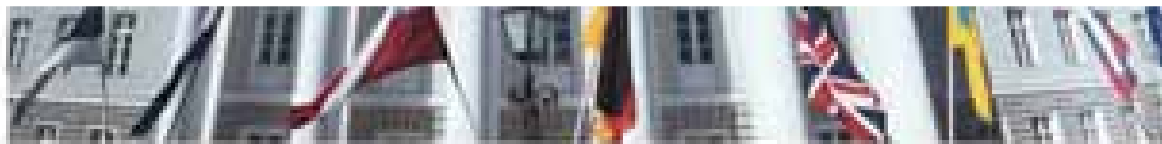




# Kuumuskaitised (*re-entry*)



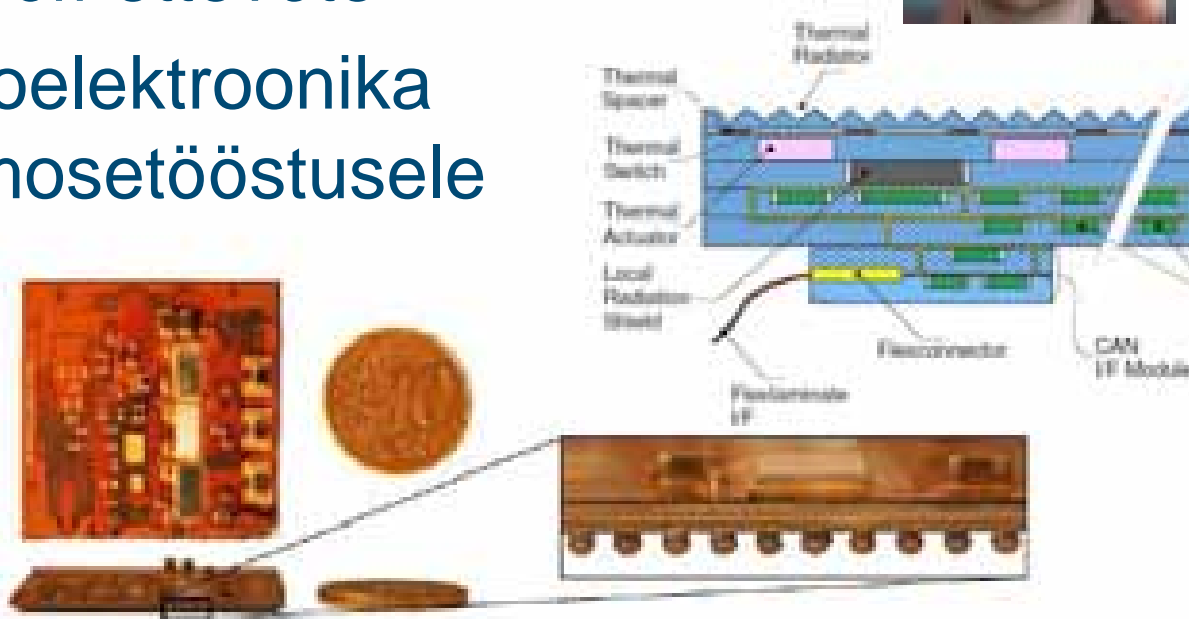
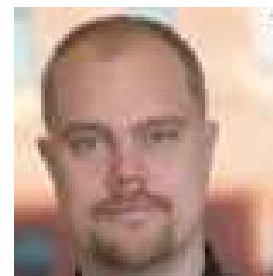




# Karjäärivõimalus materjaliteadlastele

## AAC Microtec

- Uppsala Ülikooli *spin-off* ettevõte
- Mikroelektronika kosmosetööstusele





# Täna tähelepanu eest!

## Küsimused?