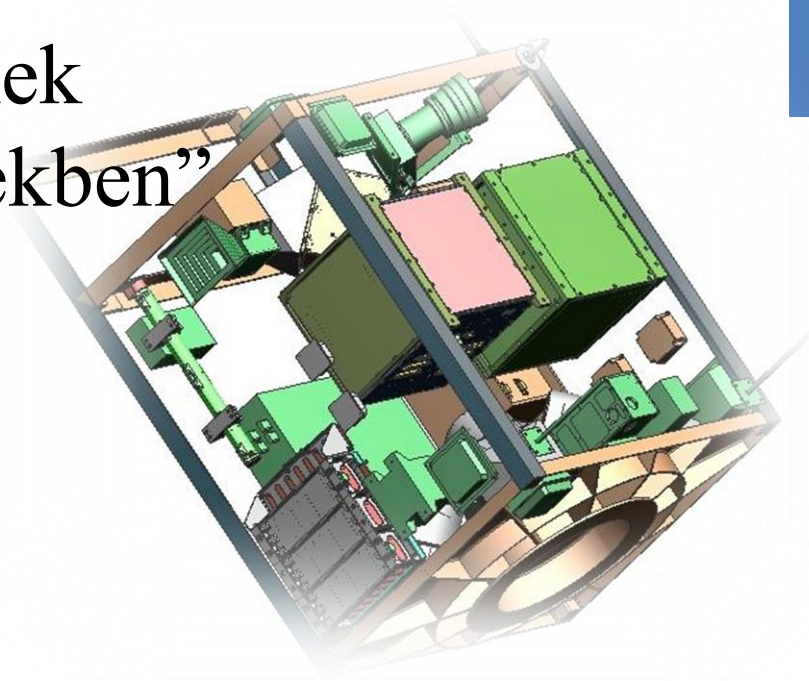


Az Űrprojektek szervezésének folyamata az ESA „műhelyekben”



Kocsis Gábor

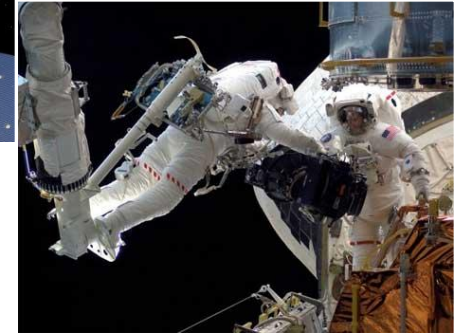
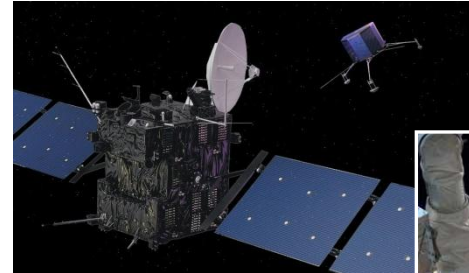
BME HVT Űrkutató Csoport
708. labor



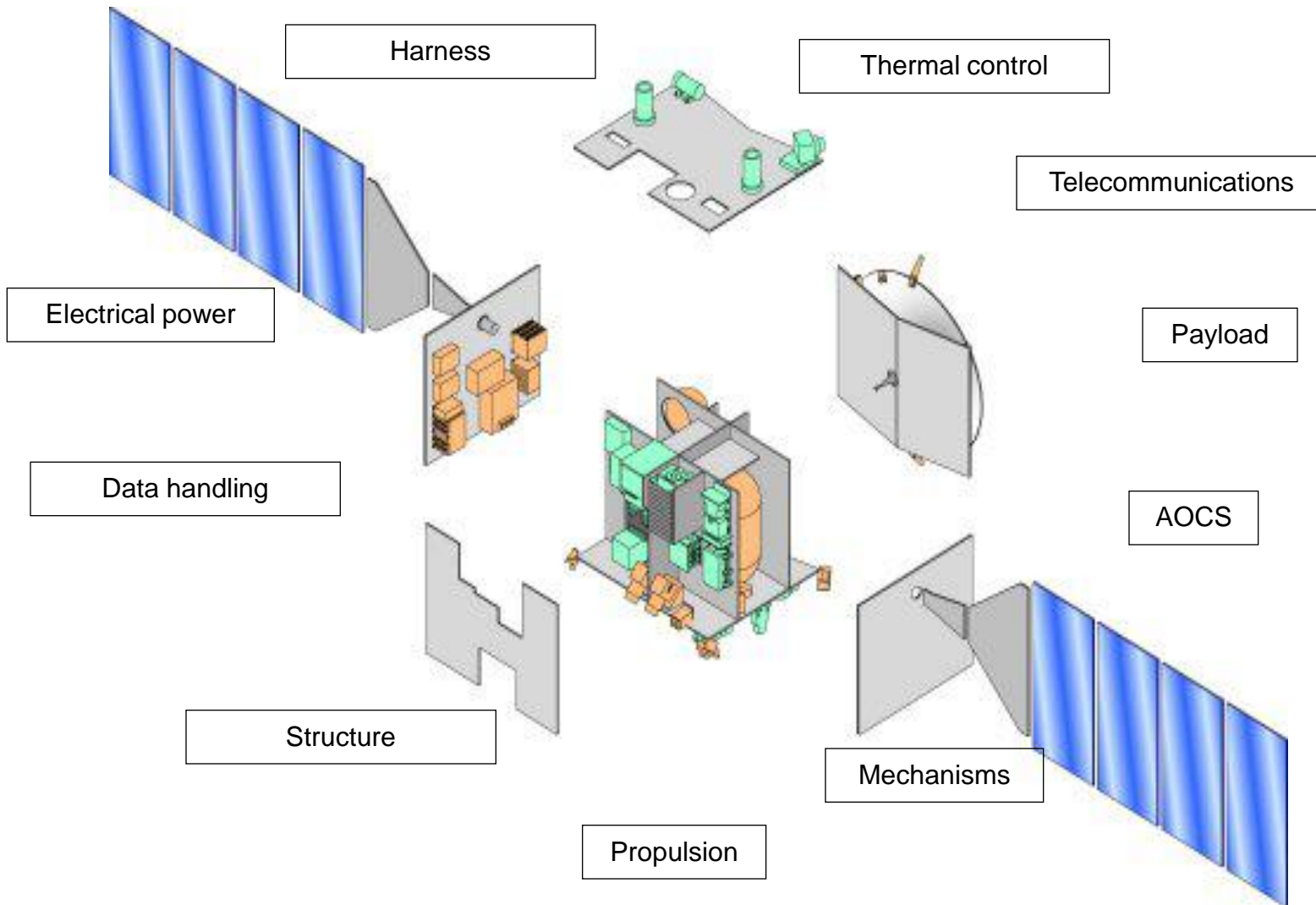
Űrprojektek felépítése

- Célkitűzés:
 - űreszköz kifejlesztése
 - meglévő űreszköz reprodukálása
 - meglévő űreszköz javítása, továbbfejlesztése

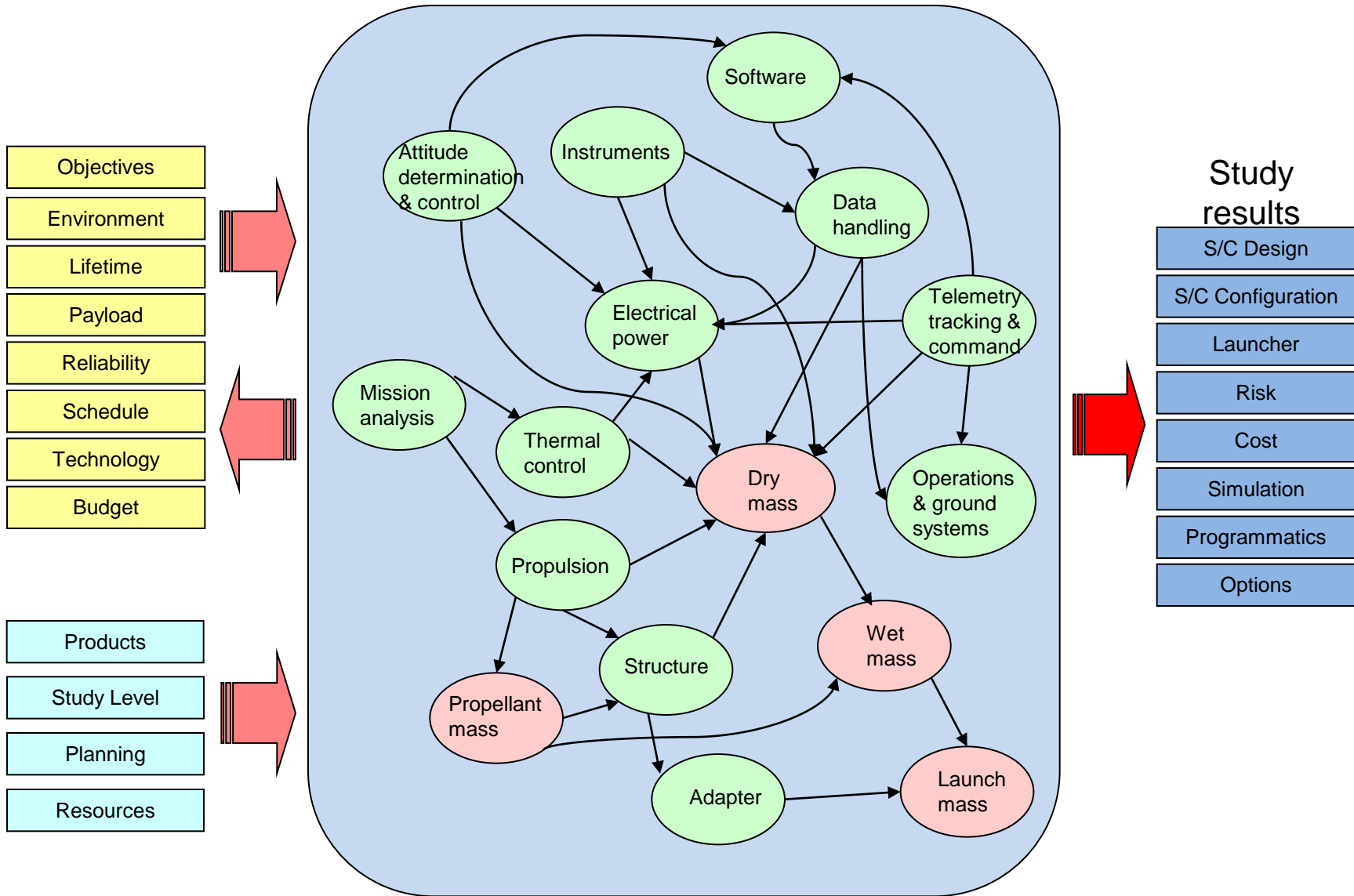
- Résztvevők:
 - projekt menedzsment
 - projektet felügyelő vezető
 - szerződéses ügyek kezelője
 - konfigurációért felelős csoport
 - dokumentációért felelős csoport
 - beszerzések intézője
 - integrációért és verifikációért felelős csoport
 - minőségbiztosításért felelős csoport
 - misszió analízist végző csoport
 - mérnöki fejlesztéseket végző csoportok
 - tudományos háttérrel szolgáltató csoport
 - működtetésért felelős csoport



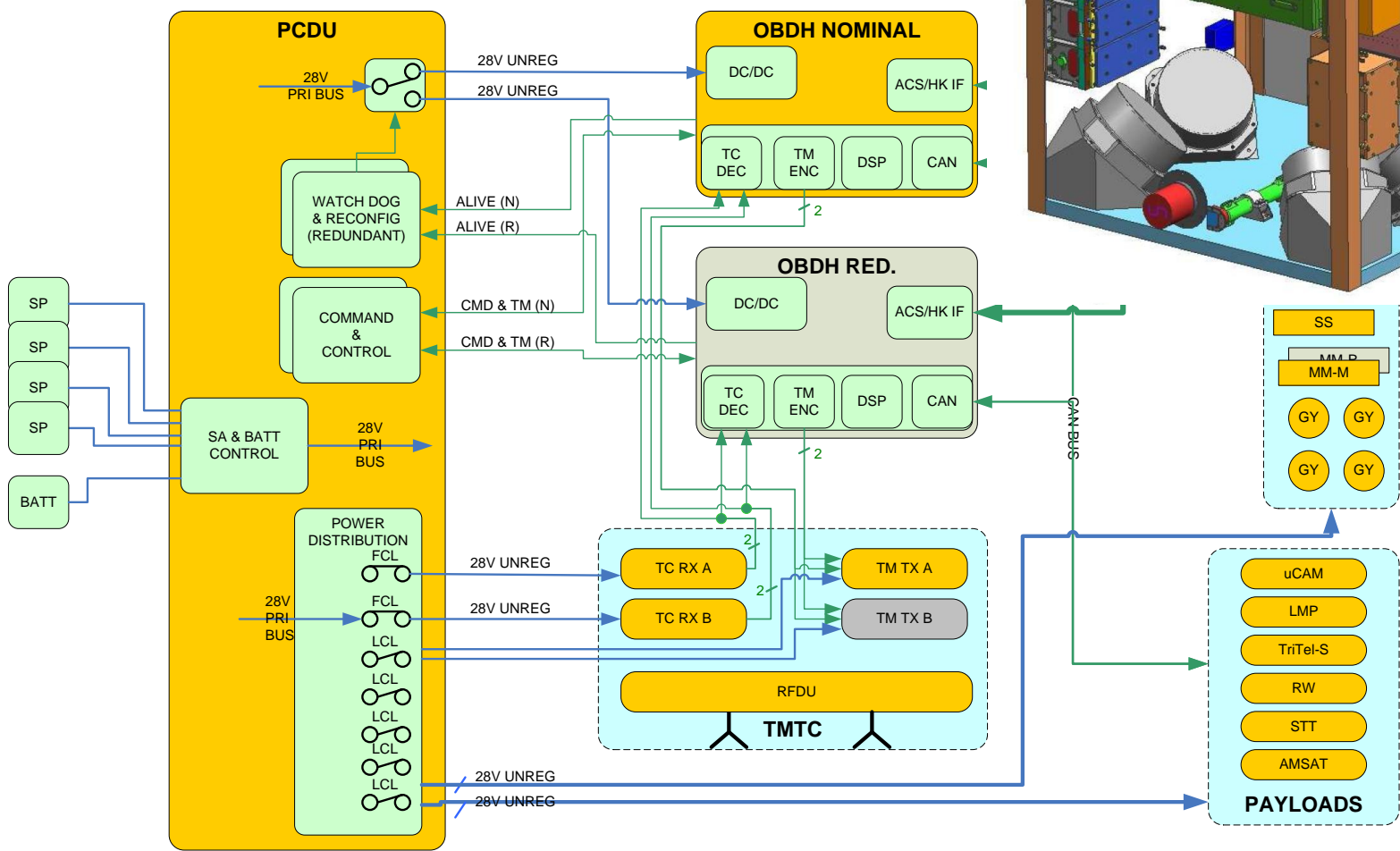
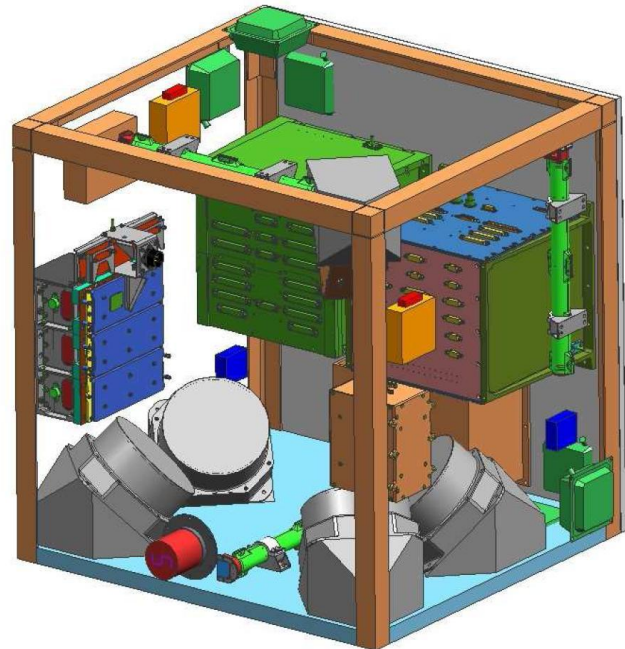
Űreszközök felépítése



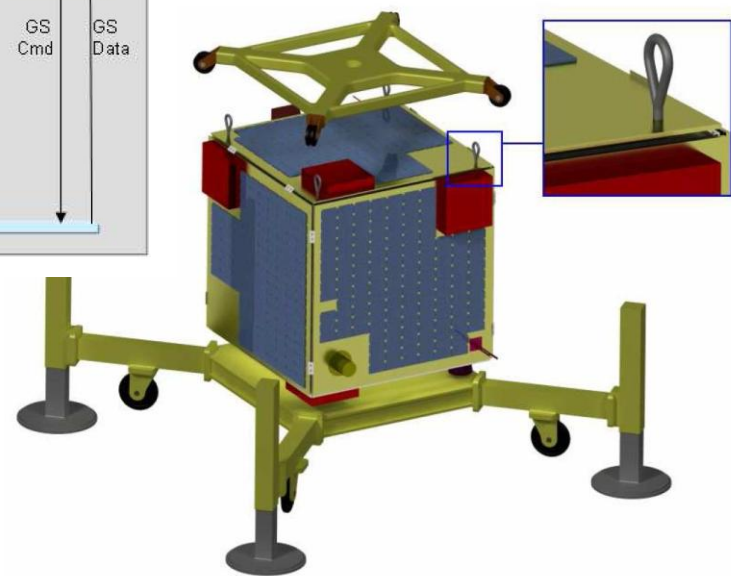
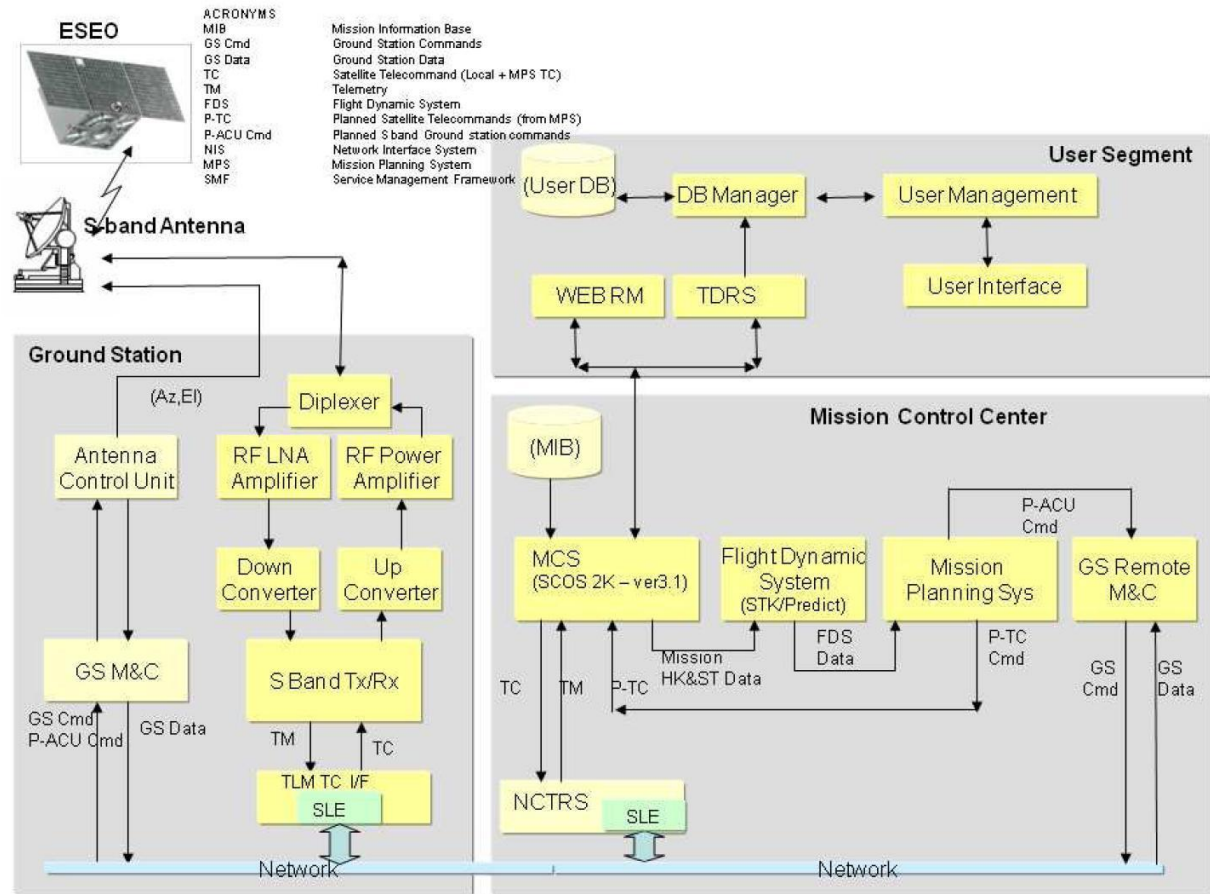
Űreszközök tervezésének folyamata



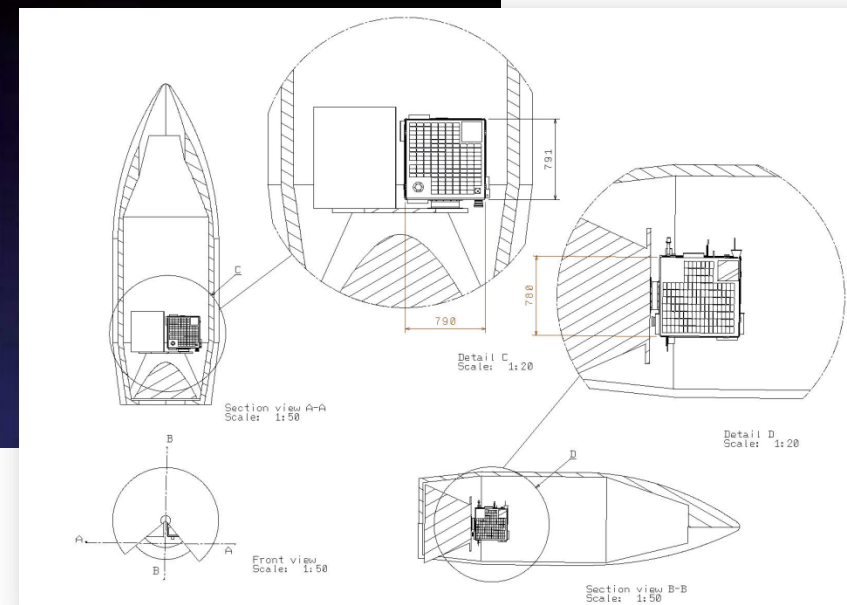
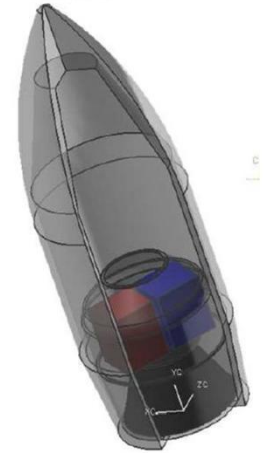
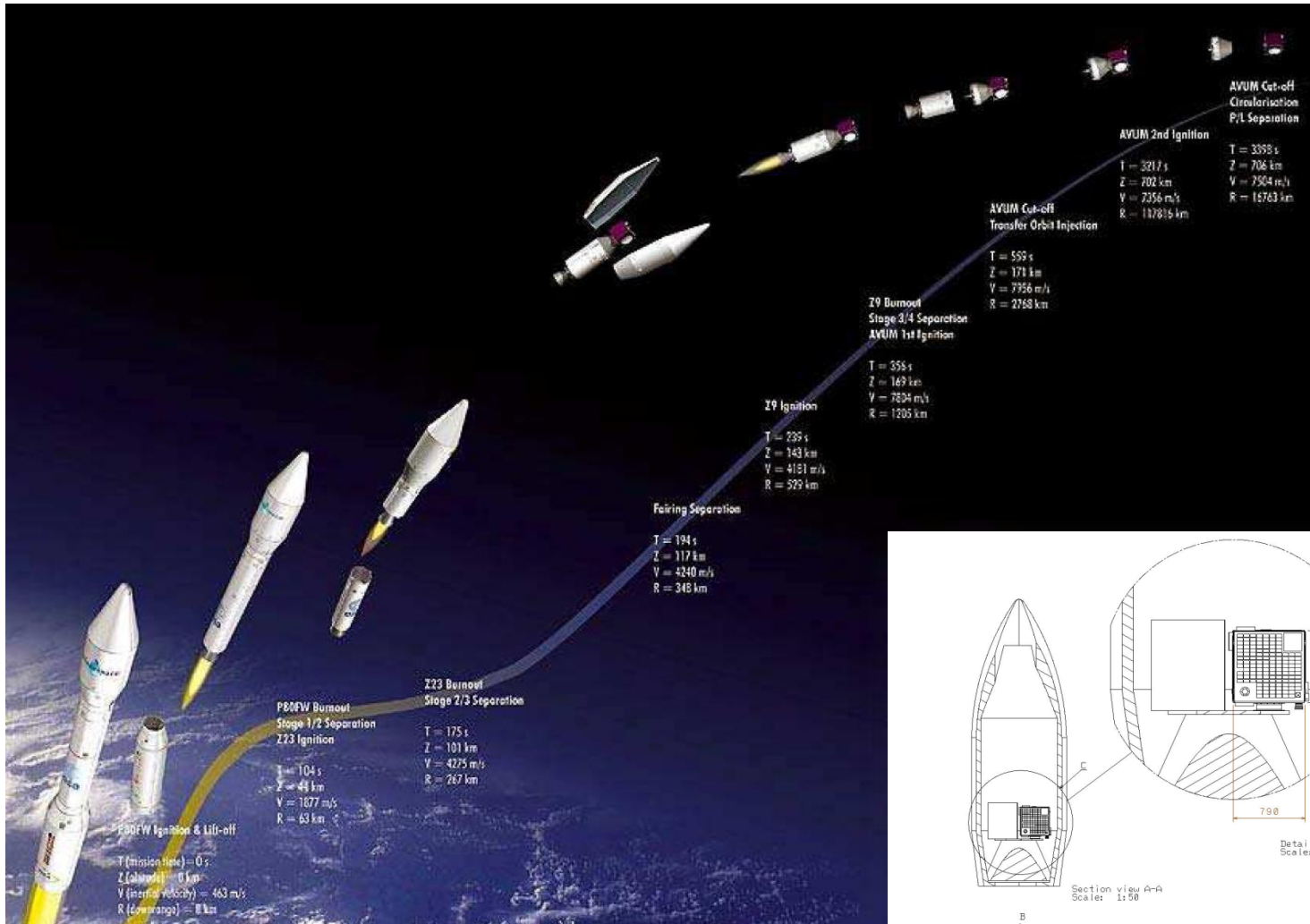
Úr szegmens



Földi szegmens



Hordozórakéta szegmens



Projektszervezés

A projekt sikeres teljesítésére irányuló folyamat.

- Mitől sikeres?
 - technikai célkitűzések ✓
 - költség ✓
 - ütemterv ✓
- Mikor/hol kell alkalmazni?
 - a projekt teljes időtartama alatt
 - a hierarchia minden szintjén
- Miről is szól ez az egész?



How the customer explained it



How the Project Leader understood it



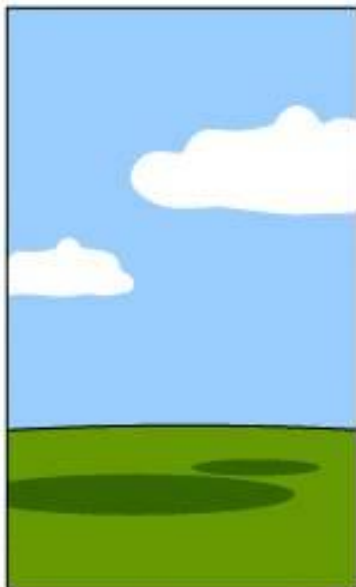
How the Analyst designed it



How the Programmer wrote it



How the Business Consultant described it



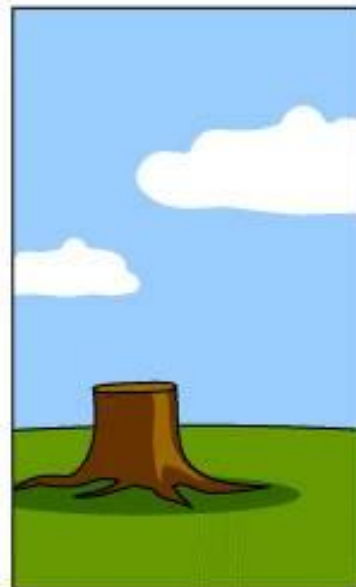
How the project was documented



What operations installed



How the customer was billed



How it was supported



What the customer really needed

Projektszervezés

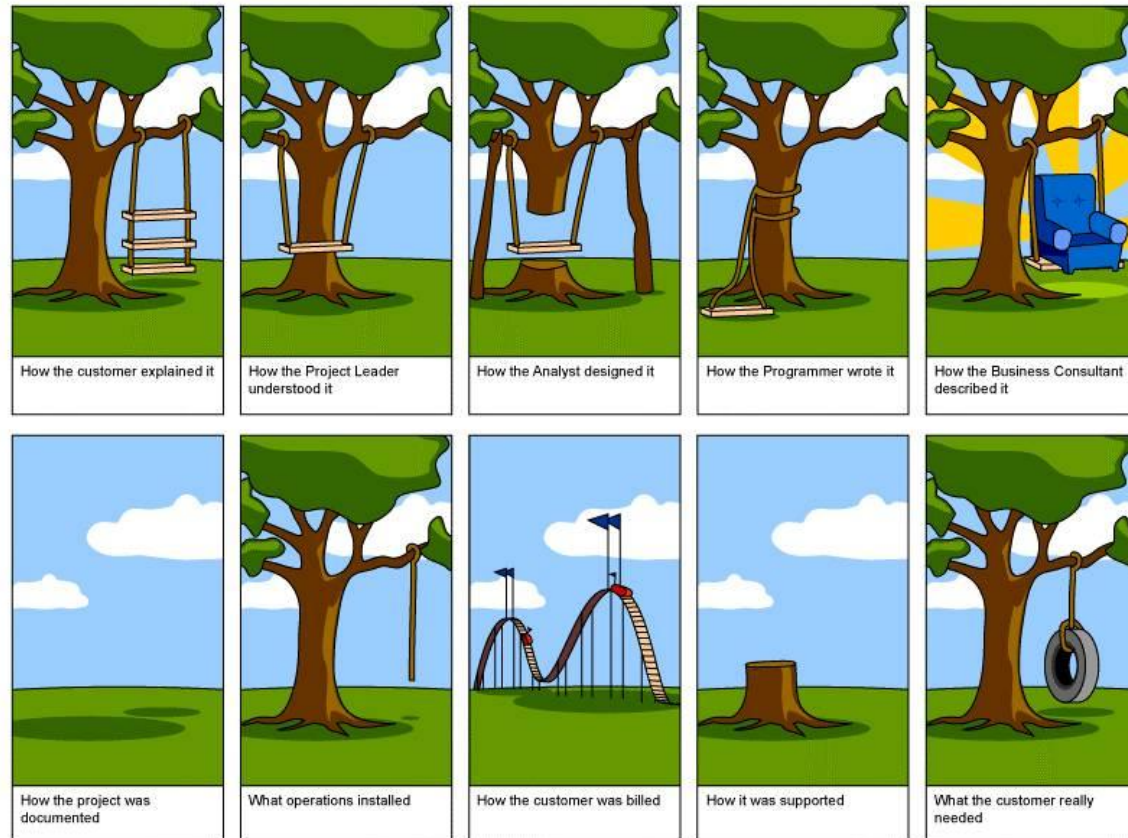
A projekt sikeres teljesítésére irányuló folyamat.

- Mitől sikeres?
 - technikai célkitűzések ✓
 - költség ✓
 - ütemterv ✓

- Mikor/hol kell alkalmazni?
 - a projekt teljes időtartama alatt
 - a hierarchia minden szintjén

- Miről is szól ez az egész?

- projekt célkitűzések definiálása, közvetítése
- strukturálás → kezelhetőség (felelőségek kiosztása, tervezés, követhetőség)
- eredmények értékelése
- résztvevők közötti kapcsolat
- minőségbiztosítás
- kockázatok kezelése
- humán erőforrás kezelés



Projektszervezés elemei

- **Strukturálás (Breakdown Structures”)**

kezelhető, egymással összefüggő feladatok felelősségek meghatározása

- **Szervezés**

részfeladatok összehangolása a projekthez tartozó igényekkel és megszorításokkal

- **Ütemezés**

technikai, időzítési és gazdasági kockázatok csökkentése fejlesztési fázisok és mérföldkövek

- **Konfiguráció menedzsment**

rendszer elemek fejlesztési lépéseinek, módosításainak követése konformitás a követelményekkel és a többi egységgel

- **Információ/dokumentáció kezelés**

fejlesztés követhetősége, technikai információk biztosítása a projekt minden résztvevője számára

- **Költség és ütemterv kezelése**

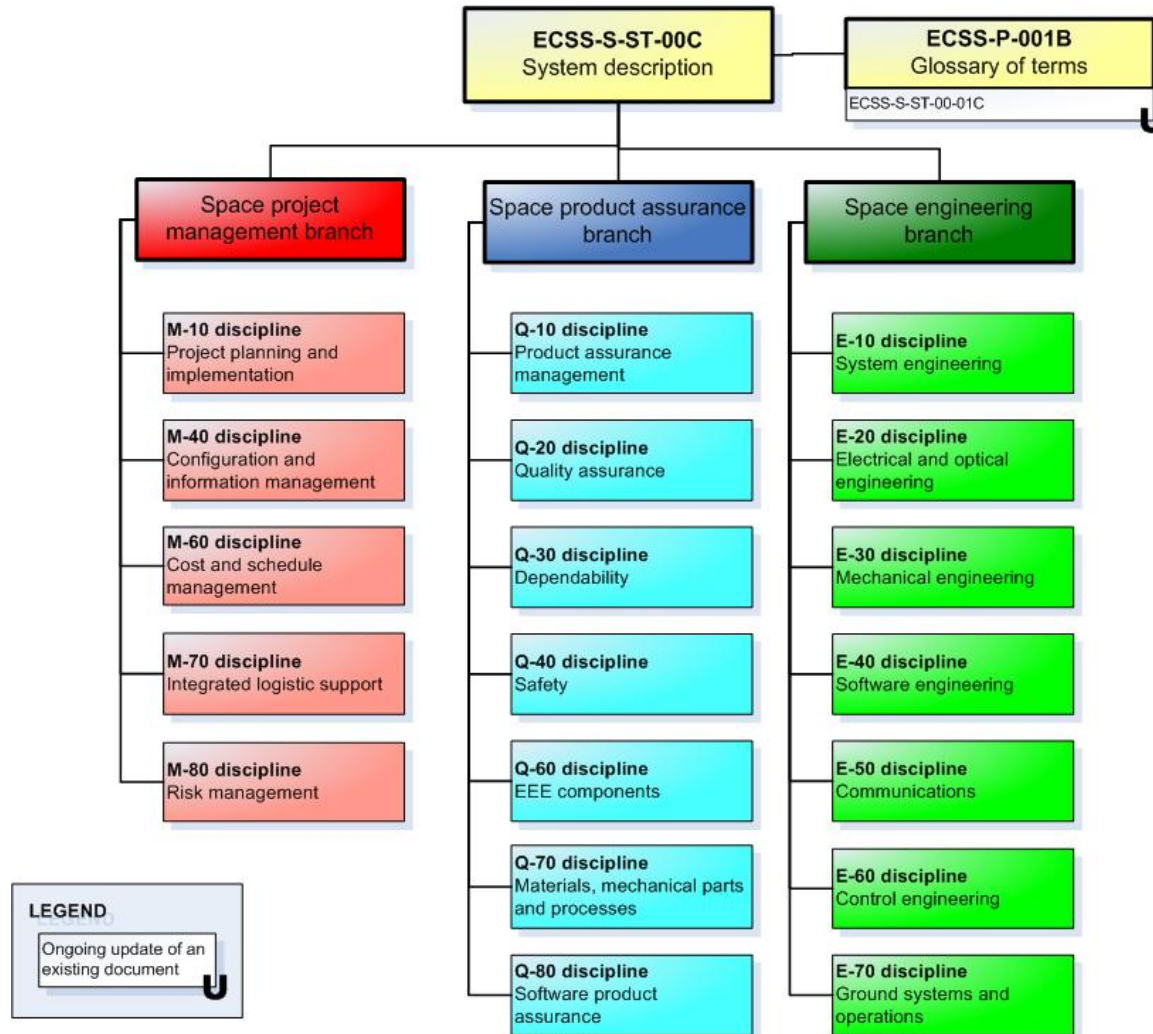
erőforrások optimális felhasználása

- **Logisztika**

projekt megvalósítását segítő anyag-, személy-, ill. információ áramlás tervezése

ECSS

- ECSS = European Cooperation for Space Standardization
- ajánlások egységes rendszerének kidolgozása és fenntartása az európai űrkutatás számára
- ESA, nemzeti űrügynökségek, űripari szervezetek
- alkalmazás: misszió specifikus követelményekhez igazítva



Fejlesztési fázisok

Tevékenységek

Missziós és funkcionális tevékenységek
A kívánt funkciók és a misszió alapjainak meghatározása

Követelmények felállítása
Rendszer követelmények meghatározása

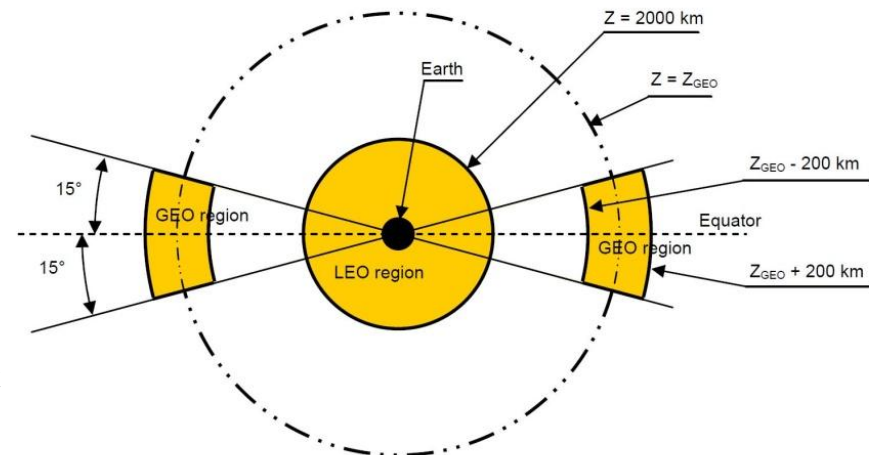
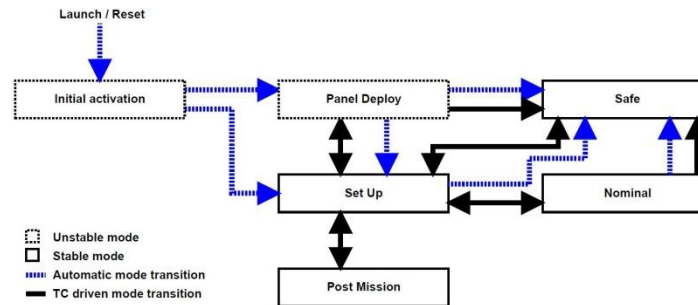
Tervezés és a választások indoklása
A specifikációnak megfelelő rendszer és alrendszerek megtervezése, az optimalizálás lépéseinek igazolása

Ellenőrzés és minősítés
Tesztelési feltételek és módszerek meghatározása, valamint annak bizonyítása, hogy a rendszer (és a fejlesztési módszer) megfelel a követelményeknek

Gyártás
A végleges rendszer megépítése, tesztelése

Felhasználás
Az űreszköz céljainak teljesítése

Megsemmisítés
Az űrszemét csökkentésére vonatkozó előírások szerint



O

Misszió analízis
Szükségletek meghatározása
Működési feltételek és környezet definiálása

A

Rendszer koncepciók felvázolása és összehasonlítása
Megvalósíthatósági tanulmány
Kritikus elemek és kockázati tényezők meghatározása
Rendszer követelmények meghatározása
Megszorítások (költség, ütemezés, erőforrások, felhasználás) meghatározása

B

Technikai megoldások kiválasztása, működőképességük igazolása
„Beszerzés/fejlesztés” döntés
Előzetes tervek elkészítése, rendszer tulajdonságainak meghatározása

C

Részletes tervek elkészítése
Legfontosabb hardver és szoftver elemek elkészítése
Alrendszerek közötti interfészek kialakítása

D

Fejlesztési szakasz lezárása
EQM (Engineering Qualification Model) elkészítése
Földi kvalifikációs tesztek
Repülő példány (FM) elkészítése

E

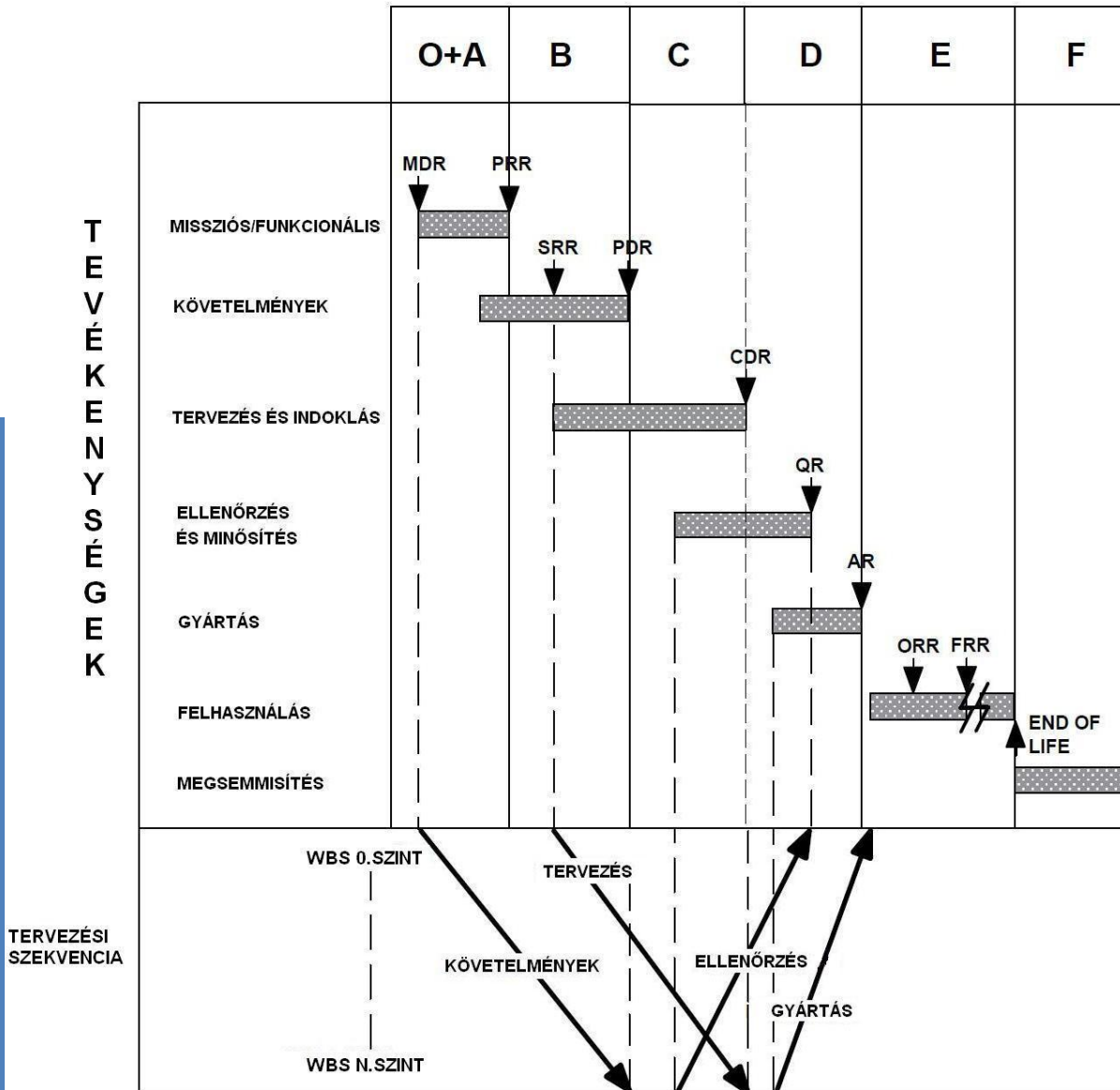
Az üreszköz felkészítése a startra, majd pályára állítása
Tesztelés valós környezetben
Felhasználás, missziós célok megvalósítása

F

Misszió befejezése és megsemmisítés

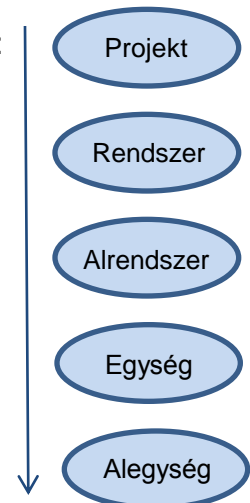
Fázisok és tevékenységek összekapcsolása

FÁZISOK



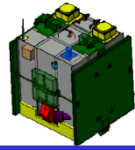
AR = Acceptance Review
 CDR = Critical Design Review
 FRR = Flight Readiness Review
 MDR = Mission Definition Review
 ORR = Operational Readiness Review
 PDR = Preliminary Design Review
 PRR = Preliminary Requirements Review
 QR = Qualification Review
 SRR = System Requirements Review
 WBS = Work Breakdown Structure

WBF szintek:

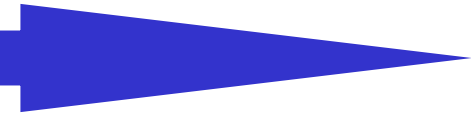


Működési fázisok

Space Segment



Mission Phases



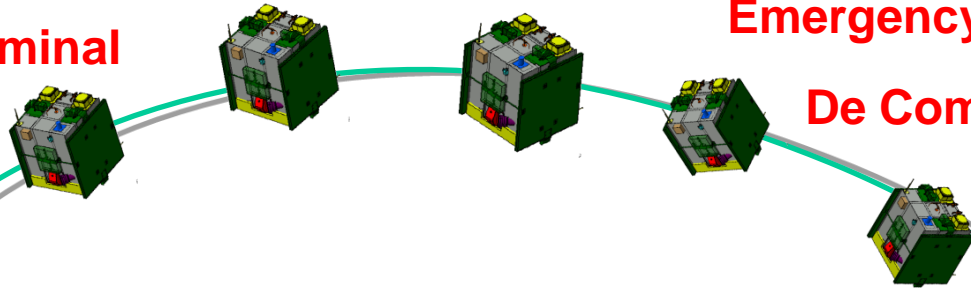
Commissioning Operational

Verification and Nominal

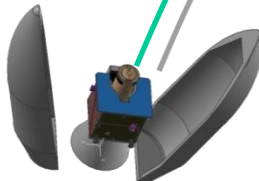
Emergency (if any)

De Commissioning

Activation & Stabilization



Launch Segment



Ground Segment



Mérföldkövek és felülvizsgálatok

Előkészületek

- Ütemterv, felkészült szakértői csoport → hatékonyság
- Dokumentáció (Review data package)
- RID-ek (Review Item Discrepancy)

Felülvizsgálat lebonyolítása

- Független szakértők → kockázat csökkentés
- Minden szakterületre külön szakértő
- Szakmai egyeztetések és döntések

Legfontosabb felülvizsgálatok:

MDR (Mission Definition Review)

Misszióhoz kapcsolódó követelmények

SRR (System Requirements Review)

Rendszer funkcionalitásával szembeni követelmények. Technikai specifikáció

PDR (Preliminary Design Review)

Rendszer technikai jellemzői és a követelmények kompatibilitása

CDR (Critical Design Reviews)

Tervezés helyességének igazolása.

QR (Qualification Review)

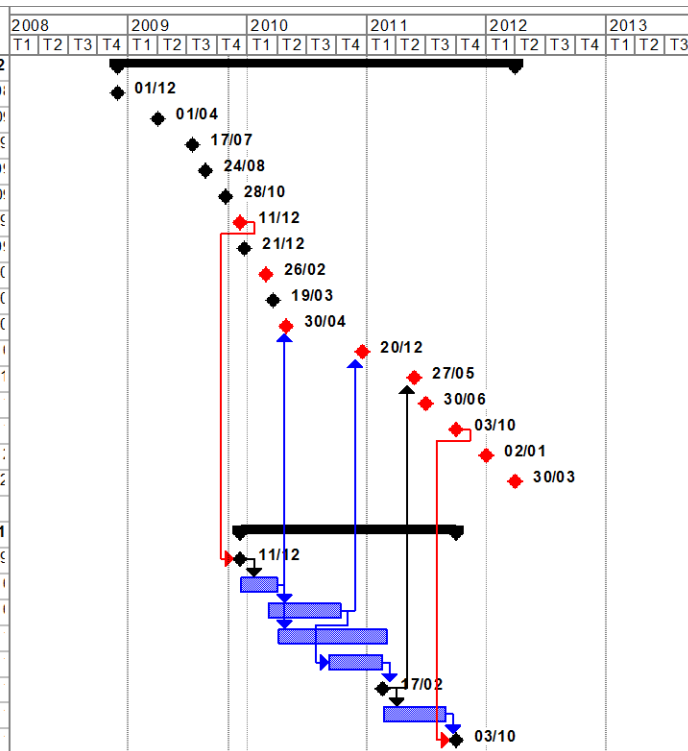
Rendszer minősítése földi tesztek alapján

AR (Acceptance Review)

Repülő példány felülvizsgálata

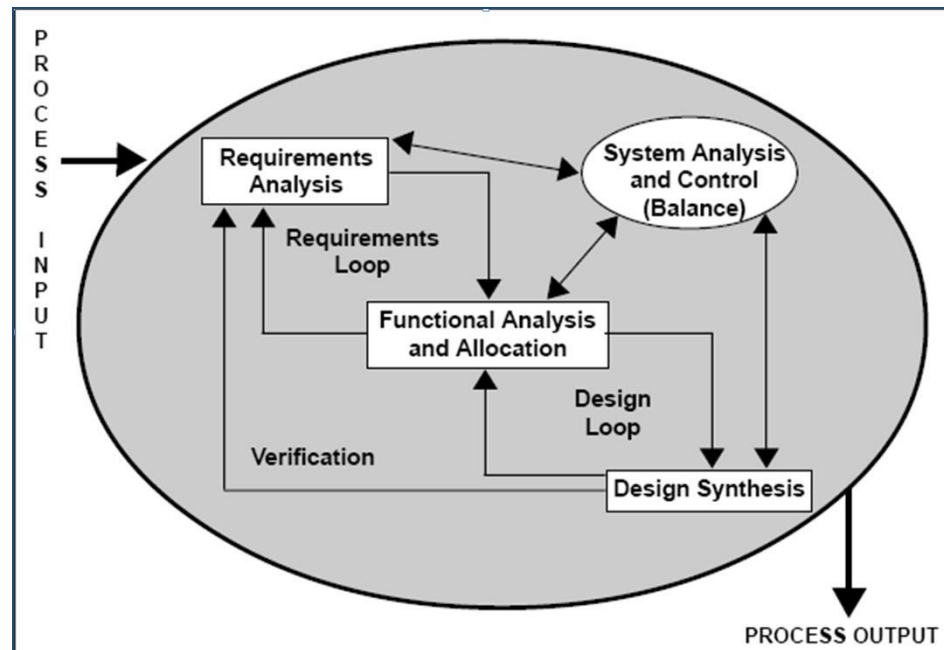
- Pl. ESEO ütemetrve
- 100kg-os kisműhold LEO pályán
- B2 → E fázis

ID	Task Name	Durata	Inizio	Fine	2008		2009				2010				2011				2012				2013				
					T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3
1	MILESTONES	868,88 giorni	lun 01/12/08	ven 30/03/12																							
2	Kick-off Meeting	0 me	lun 01/12/08	lun 01/12/08																							
3	MDR	0 giom	mer 01/04/09	mer 01/04/09																							
4	SRR Dcouments deliveryto ESA	0 giom	ven 17/07/09	ven 17/07/09																							
5	SRR colocation meeting & RID disposition and discussion	0 giom	lun 24/08/09	lun 24/08/09																							
6	SRR closeout ESA-CGS meeting	0 giom	mer 28/10/09	mer 28/10/09																							
7	Critical items (LLI) procurement KO (ESA authorization)	0 giom	ven 11/12/09	ven 11/12/09																							
8	SRR documentation update w.r.t. new architecture	0 giom	lun 21/12/09	lun 21/12/09																							
9	Preliminary Design Review (PDR) DRAFT Doc to ESA	0 giom	ven 26/02/10	ven 26/02/10																							
10	Preliminary Design Review (PDR) issued Doc to ESA	0 giom	ven 19/03/10	ven 19/03/10																							
11	Preliminary Design Review (PDR) & ATP ph. C/D + LLI procurement 2nd tranche	0 giom	ven 30/04/10	ven 30/04/10																							
12	Critical Design Review (CDR) - PDR + 8m	0 giom	lun 20/12/10	lun 20/12/10																							
13	Qualification Models readiness (STM & EEM) for qualification campaign - CDR + 5m	0 giom	ven 27/05/11	ven 27/05/11																							
14	Qualification Review (QR)	0 giom	gio 30/06/11	gio 30/06/11																							
15	Subsystem &P/L's Proto-Flight Models readiness for integration at system level	0 giom	lun 03/10/11	lun 03/10/11																							
16	Satellite Proto-Flight Model readiness for acceptance campaign	0 giom	lun 02/01/12	lun 02/01/12																							
17	Final Acceptance Review (FAR) + QM readiness + 10m	0 giom	ven 30/03/12	ven 30/03/12																							
18																											
19	OBDH HW/SW development	471 giorni	ven 11/12/09	lun 03/10/11																							
20	KO	0 giom	ven 11/12/09	ven 11/12/09																							
21	preliminary design	4 me	ven 11/12/09	gio 01/04/10																							
22	detailed Design	8 me	ven 05/03/10	gio 14/10/10																							
23	EM-PFMEEE parts procurement	12 me	ven 02/04/10	gio 03/03/11																							
24	EM MAT	6 me	ven 03/09/10	gio 17/02/11																							
25	EM availability	0 me	gio 17/02/11	gio 17/02/11																							
26	PFM MAT + environmental test campaign	7 me	ven 18/02/11	gio 01/09/11																							
27	PFM availability	0 giom	lun 03/10/11	lun 03/10/11																							



Rendszermérnöki feladatok

- System engineering: "The interdisciplinary collaborative approach governing the total technical effort required to transform a requirement into a system solution" (IEEE P1220)
- Olyan átfogó folyamat, mely elősegíti a megrendelő igényeinek teljesülését a projekt teljes életciklusa alatt
- „top-down”, iteratív és rekurzív problémamegoldó folyamat



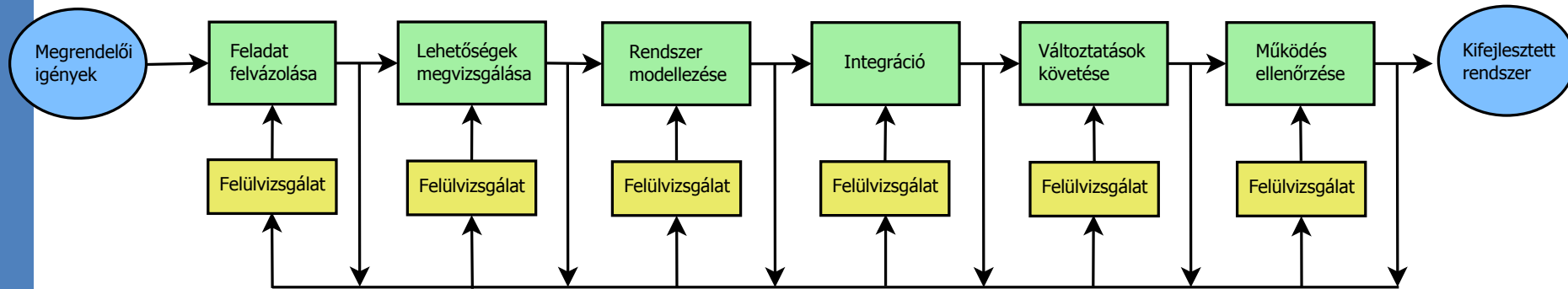
- Két alapvető terület
 - technikai tudásbázis
 - menedzsment (fejlesztői csoportok és fejlesztés folyamatainak koordinálása)

Rendszermérnöki feladatok

Rendszermérnök szerepe:

- felelősség a teljes tervezési folyamatért
- alapvető ismeretek az üreszköz összes alrendszeréről
- átfogó ismeretek az alrendszerek közti kapcsolatról (összekapcsolásuk, egymásra hatásuk)
- döntés az egyes megvalósítási lehetőségek között
- alapvető jellemzők (tömeg, teljesítmény, adatforgalom, költségek, ütemterv, stb)

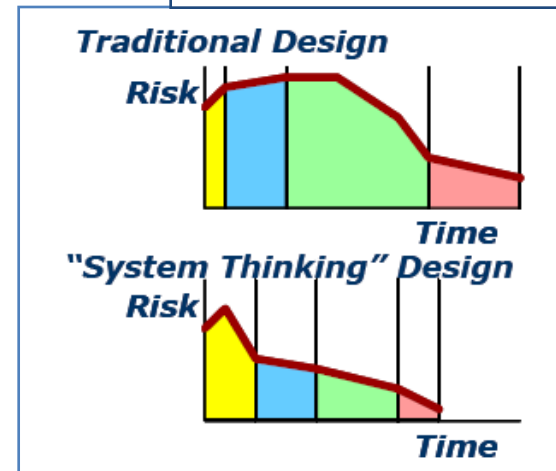
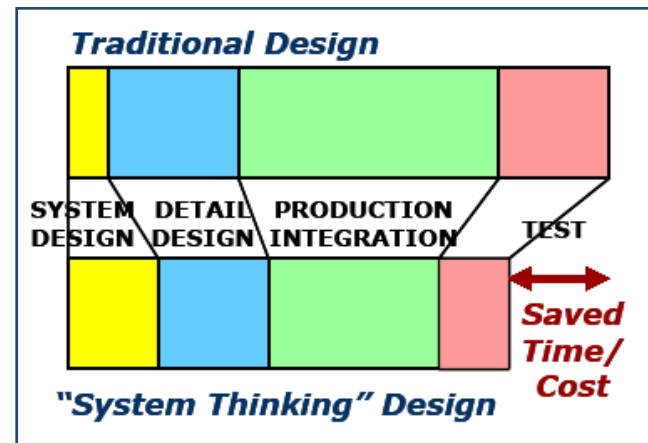
meghatározása és ellenőrzése a projekt folyamán



Rendszermérnöki feladatok

Lépések:

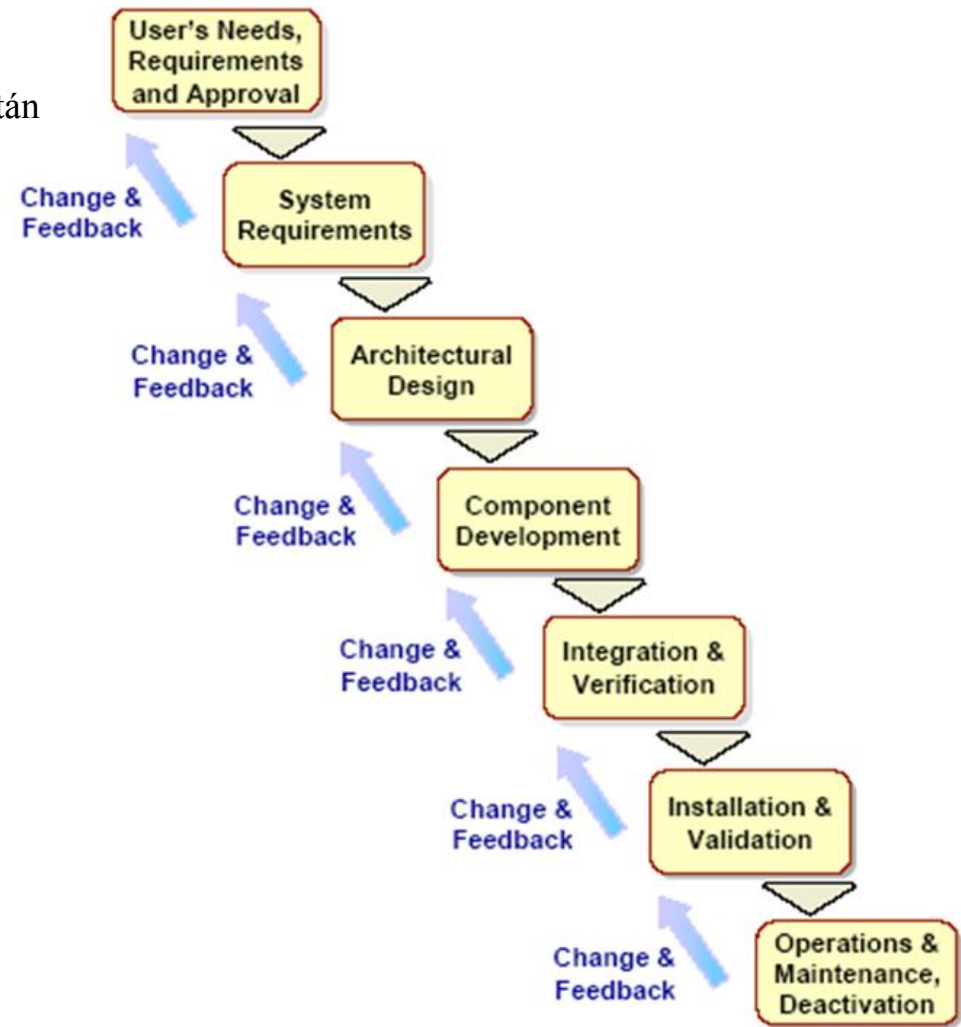
1. megrendelő által támasztott igények és a technikai megvalósítás részleteinek összhangba hozása
2. rendszer és alrendszer szintű követelmények felvázolása (kötelező/preferált követelmények)
3. követelményeknek megfelelő rendszer/alrendszer alternatívák felvázolása
4. Teszt kritériumok és tesztelési módok meghatározása
5. Rendszer modellek készítése (rendszerterv, szimuláció, matematikai modell, hardver, ...)
6. Rendszertervezés
7. Funkcionális analízis
8. Kockázat elemzés és megbízhatósági kérdések
9. Integráció: alrendszerek közötti interfészek
10. Konfiguráció menedzsment: minden változtatás követése, kompatibilitás ellenőrzése
11. Dokumentáció
12. Rendszer tesztelése



Fejlesztés ütemezésének modelljei

1. Szekvenciális (vízesés) modell

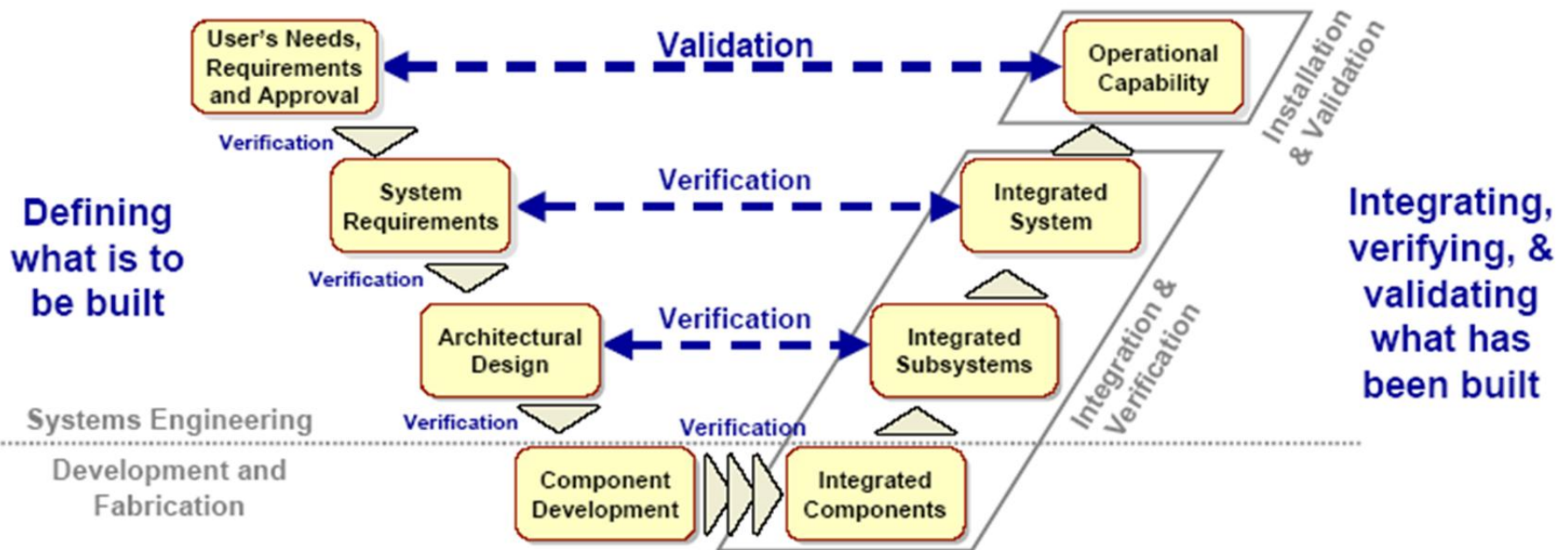
- „Top to bottom” struktúra, folyamatok egymás után
- Eredetileg nem volt visszacsatolási lehetőség
- Alkalmazása: egyszerű rendszerek, alacsony kockázat, jól definiált követelmények, stabil költség- és ütemterv



Fejlesztés ütemezésének modelljei

2. V-diagram

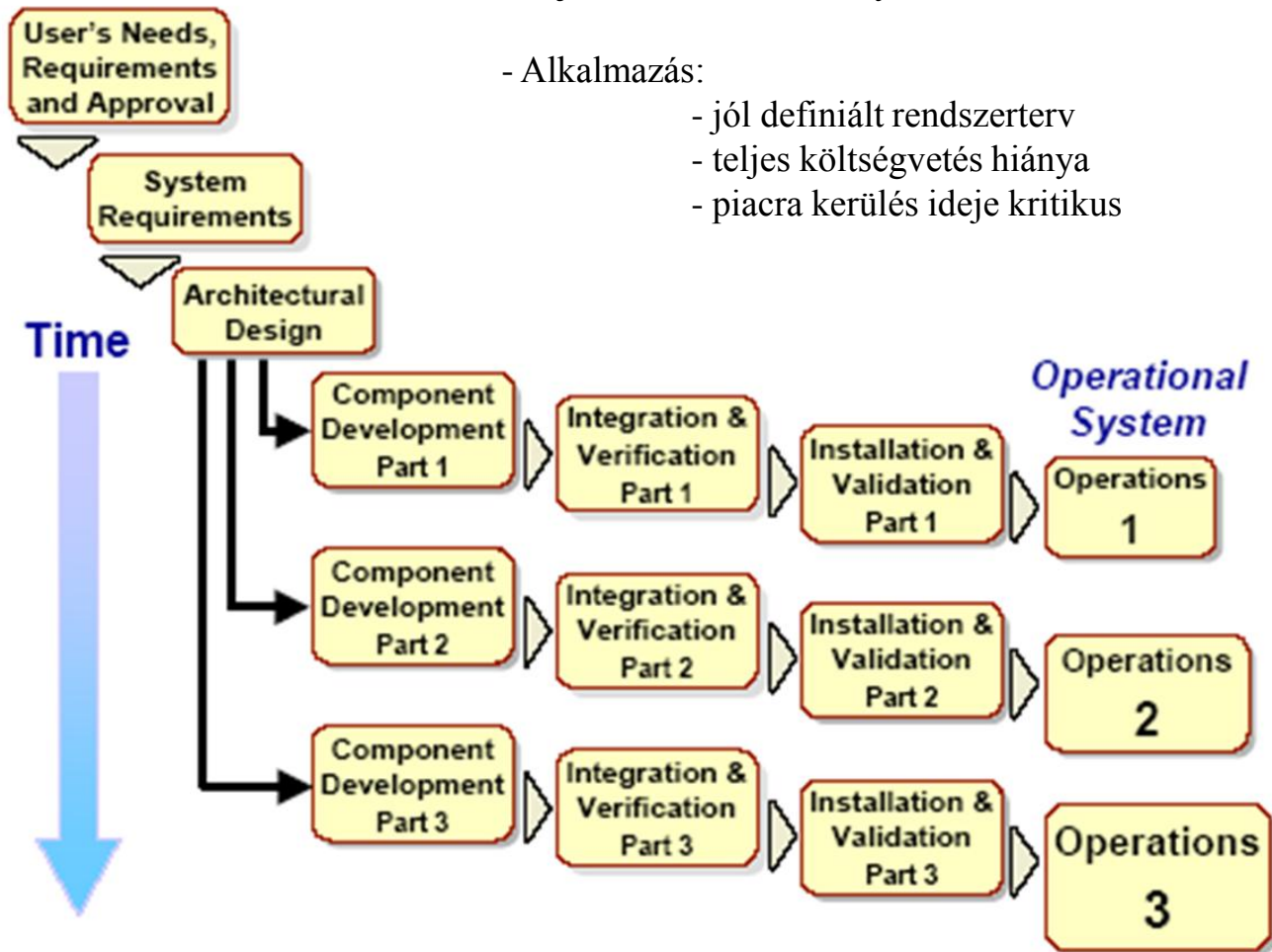
- A szekvenciális struktúra átrendezése
- Kihangsúlyozza az egyes fázisok közötti verifikációt



Fejlesztés ütemezésének modelljei

3. Növekményes modell

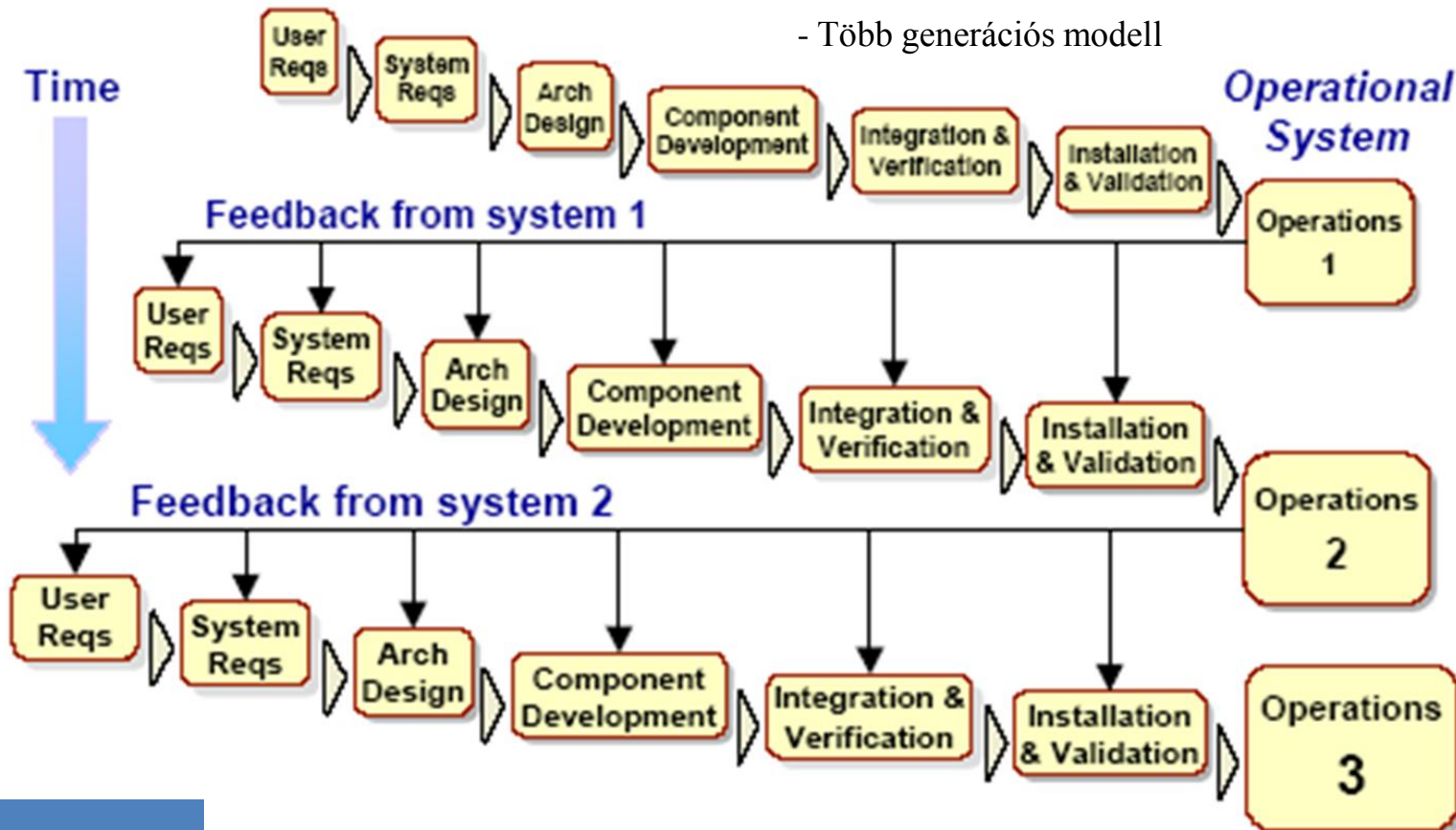
- Jól definiált rendszer architektúra és követelmények
- Fejlesztési részeredmények: korlátozott funkció v. teljesítmény, stb.
- Alkalmazás:
 - jól definiált rendszerterv
 - teljes költségvetés hiánya
 - piacra kerülés ideje kritikus



Fejlesztés ütemezésének modelljei

4. Evolúciós modell

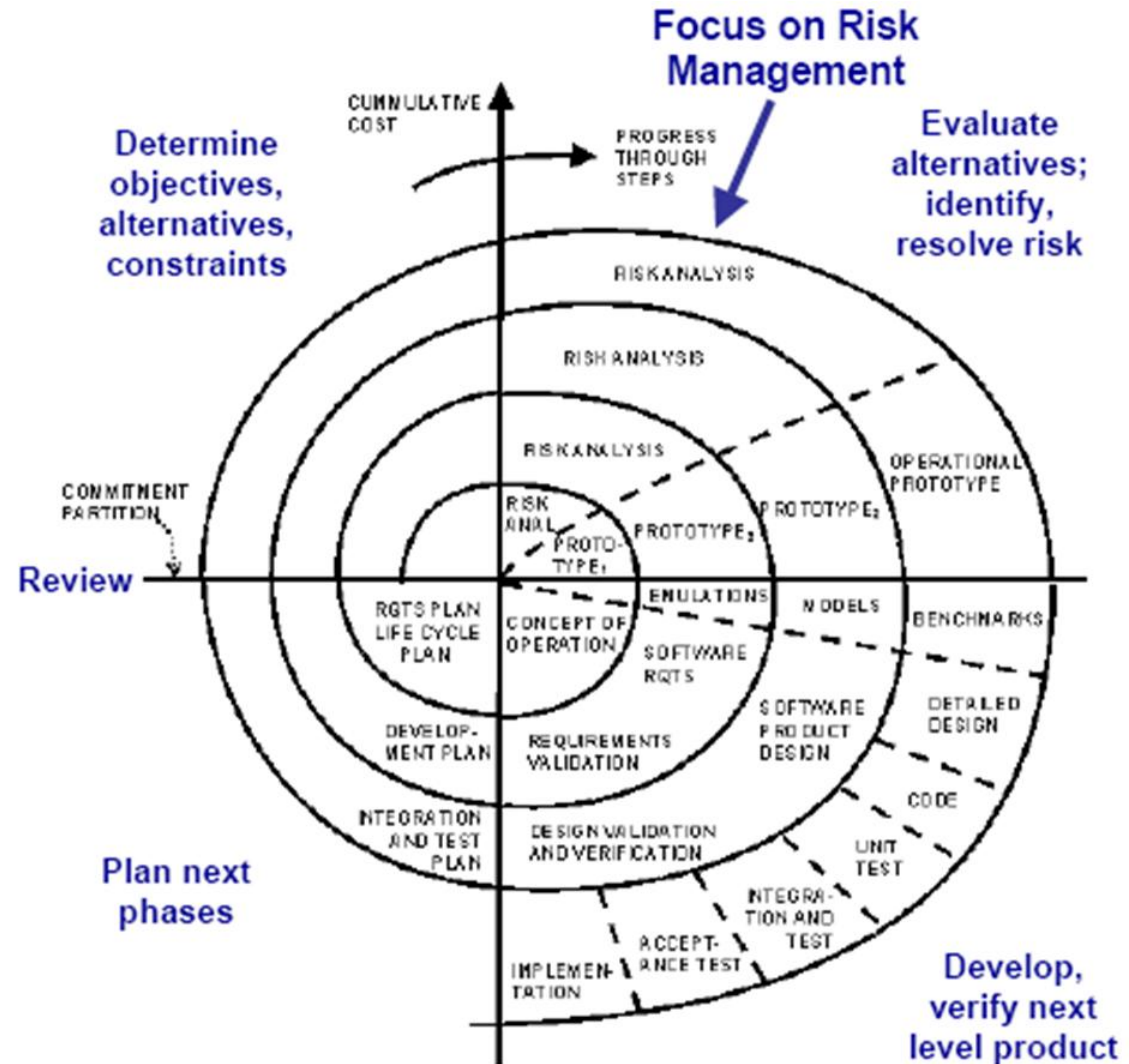
- Végleges rendszer és a követelmények nem feltétlenül jól definiált a kezdeti szakaszban
- Felhasználó látni akar egy kezdetlegesebb verziót, hogy jobban meghatározza az igényeit
- Gyorsan változó környezetbe készülő rendszer
- Több generációs modell



Fejlesztés ütemezésének modelljei

5. Spirál modell

- Evolúciós modell kiegészítése kockázatelemzéssel
- Fő cél: kockázatok csökkentése
- Alkalmazás: magas kockázatú rendszerek esetén



Egyidejű tervezés (Concurrent Engineering)

Szekvenciális tervezés

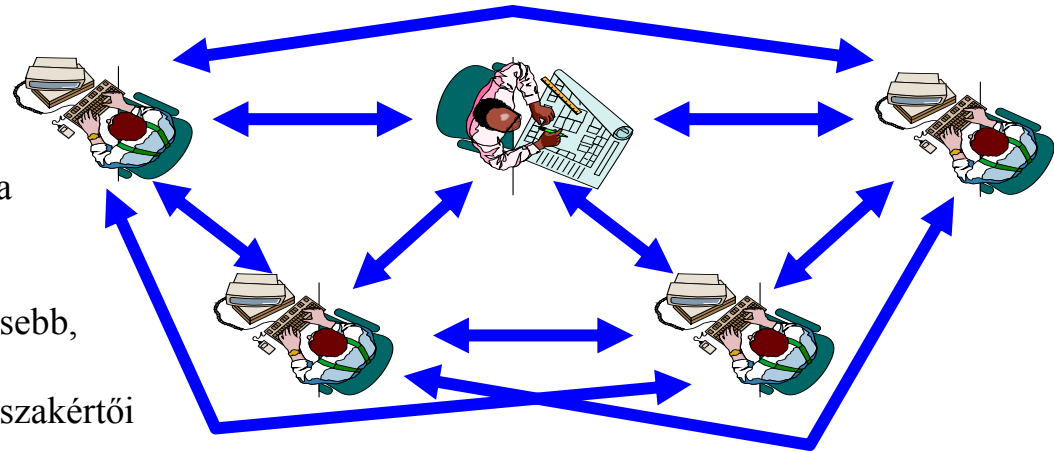
- Részfeladatok egymásutánisága
- Probléma megoldás és újratervezés
- Magasabb rendű szempontok (ár, megvalósíthatóság, kockázatok, stb) kiértékelése az egyes tervezési fázisok után



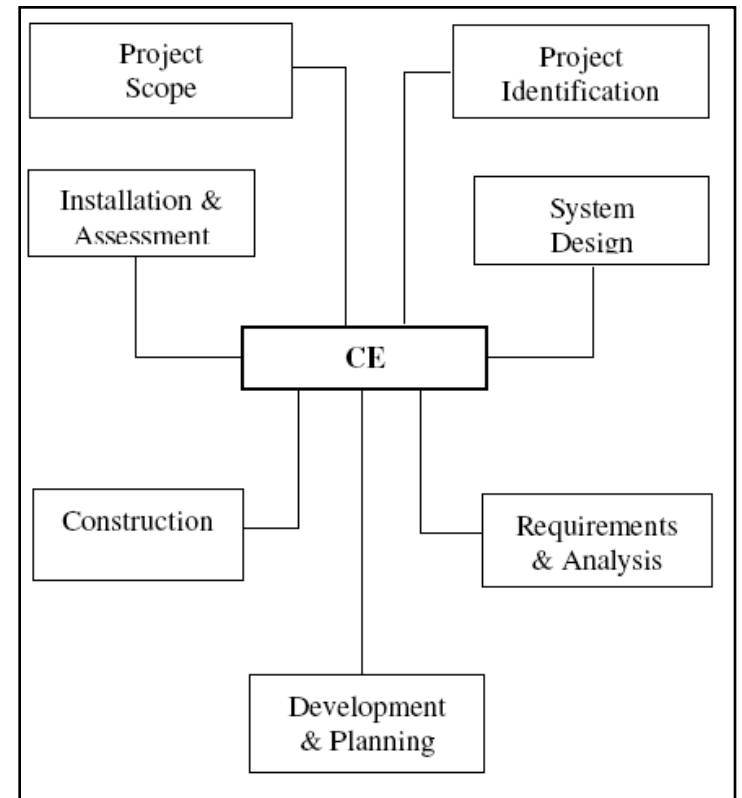
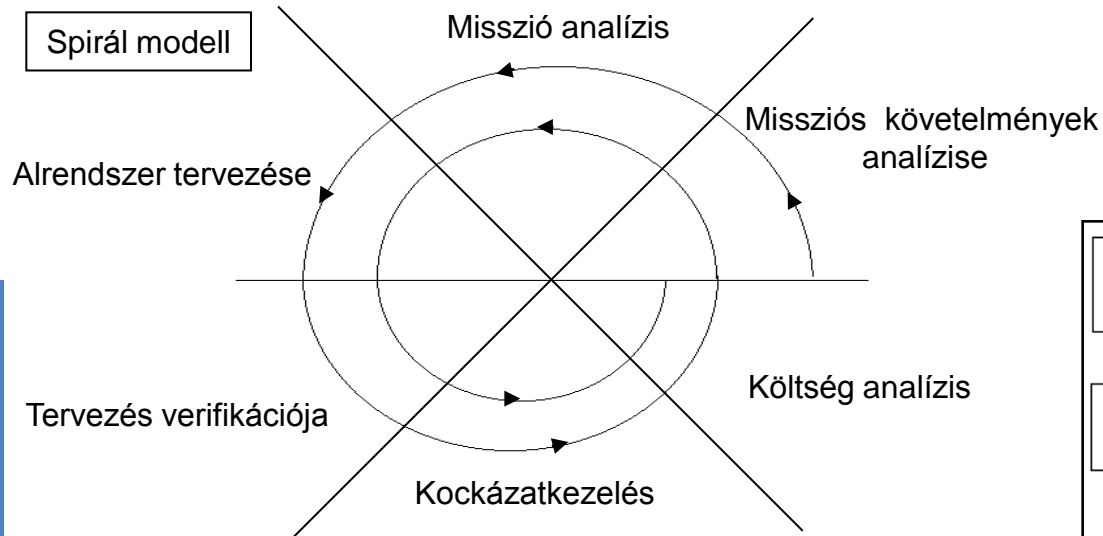
- „over the fence”
- tervező és felhasználó közötti kommunikációs gát

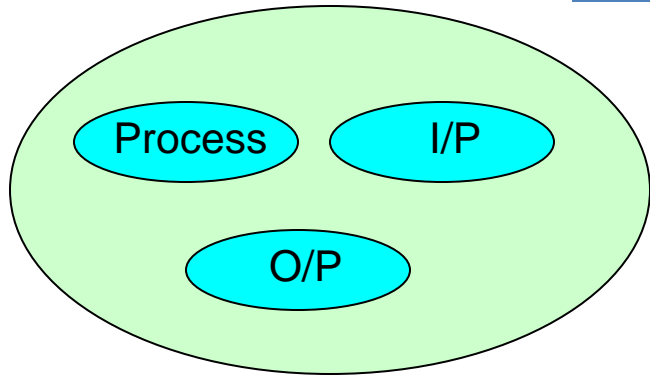
Egyidejű tervezés

- Bizonyos feladatok egyidejű elvégzése
- Probléma megelőzés
- Magasabb rendű szempontok figyelembe vétele a tervezési fázisok közben
- Változtatások rugalmasan kezelhetők
- Szükséges emberi erőforrás nem feltétlenül kevesebb, de a tervezési idő jelentősen lecsökken
- Résztevők: a projekt minden egyes területének szakértői által alkotott tervezői csoport

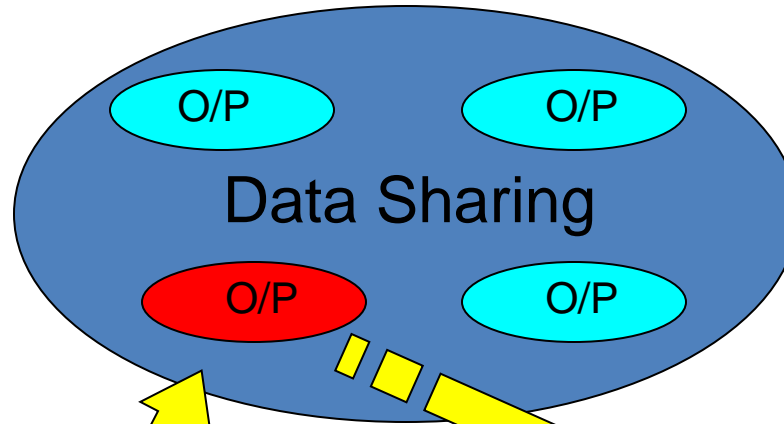


Egyidejű tervezés folyamata

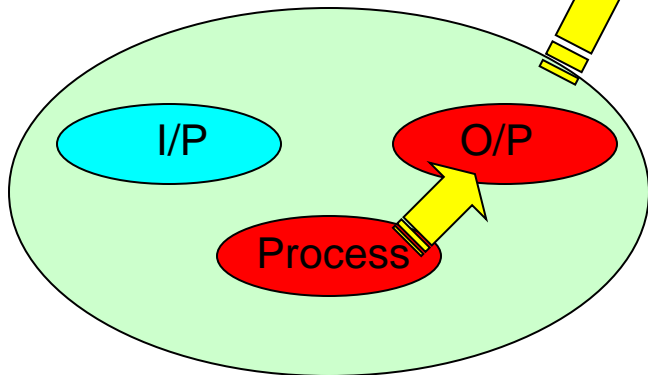




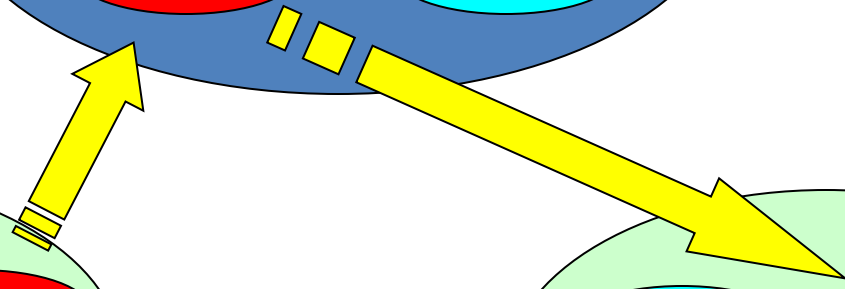
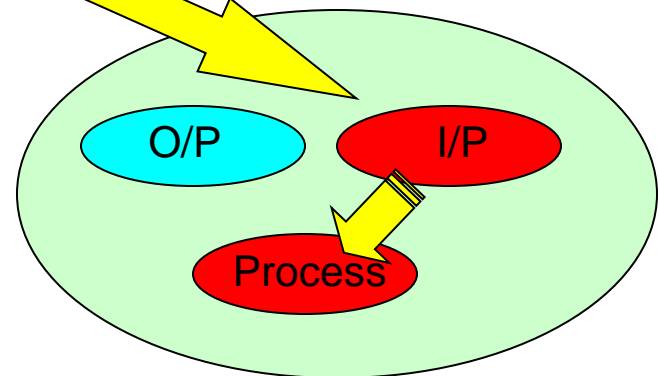
Subsystem 3
Workbook



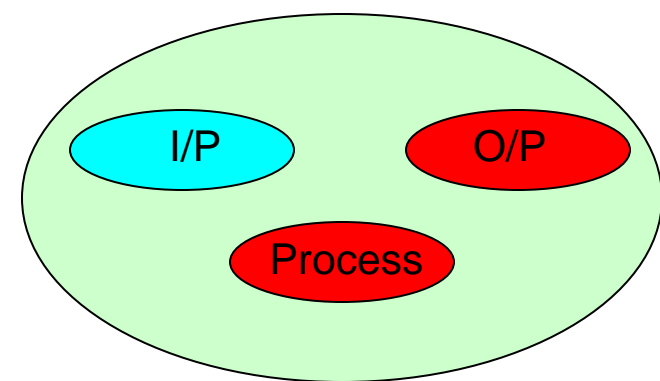
Subsystem 1
Workbook



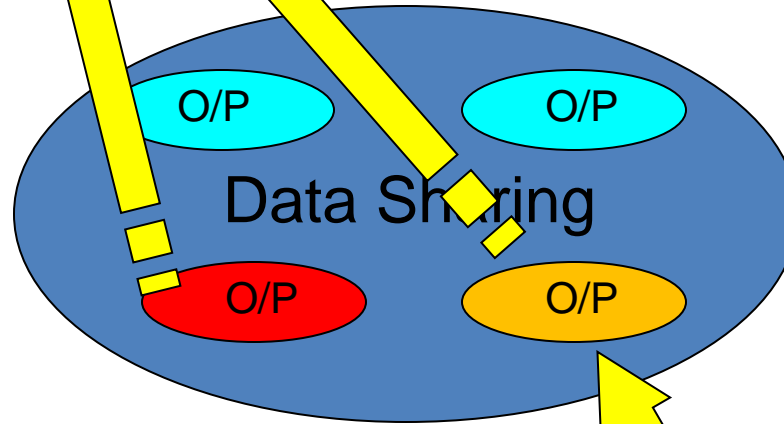
Subsystem 2
Workbook



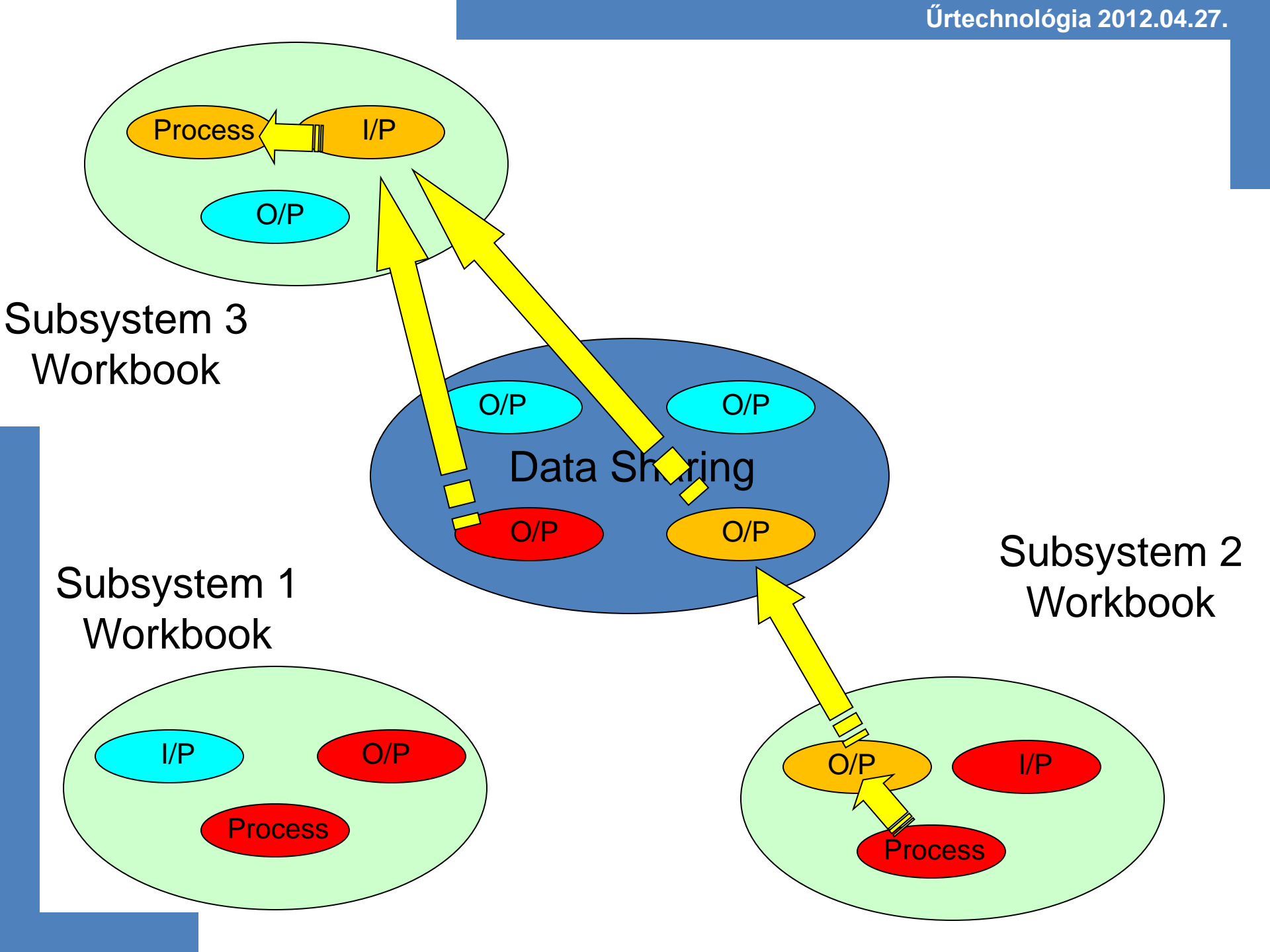
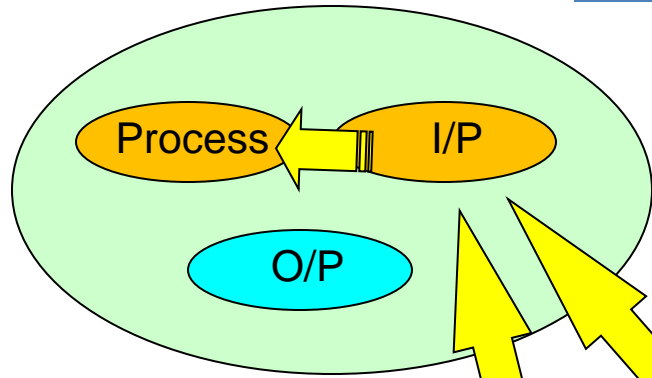
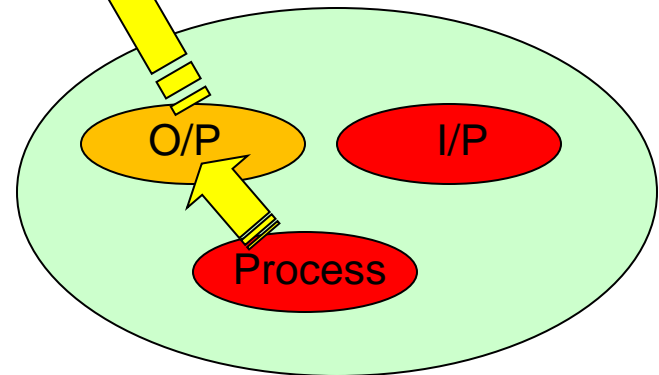
Subsystem 3
Workbook



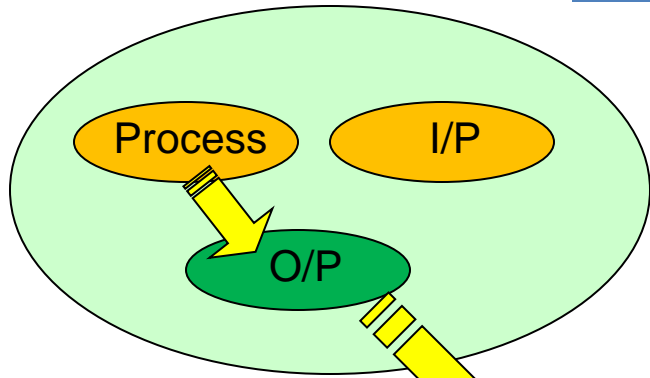
Subsystem 1
Workbook



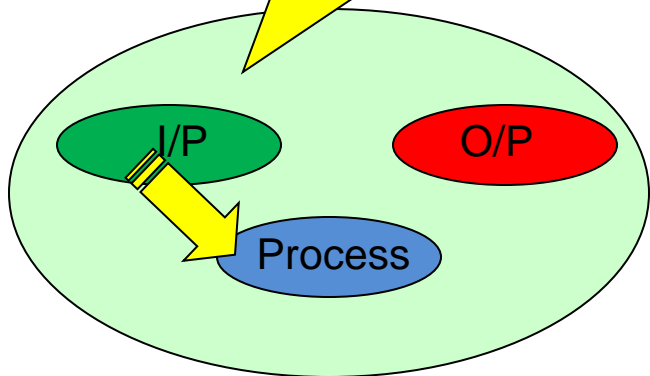
Subsystem 2
Workbook



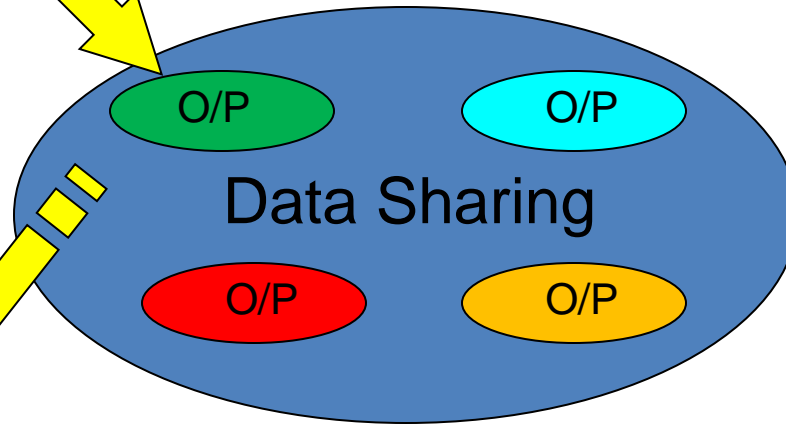
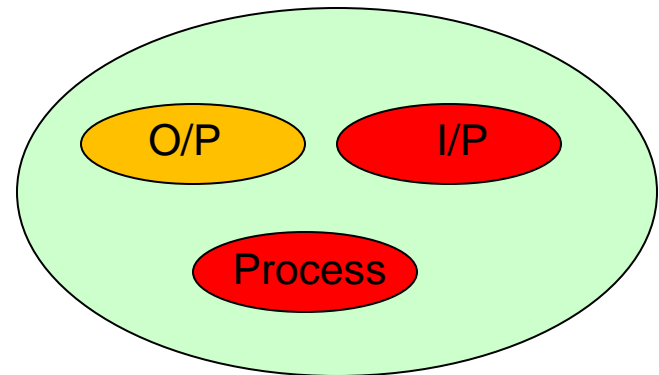
Subsystem 3
Workbook



Subsystem 1
Workbook



Subsystem 2
Workbook

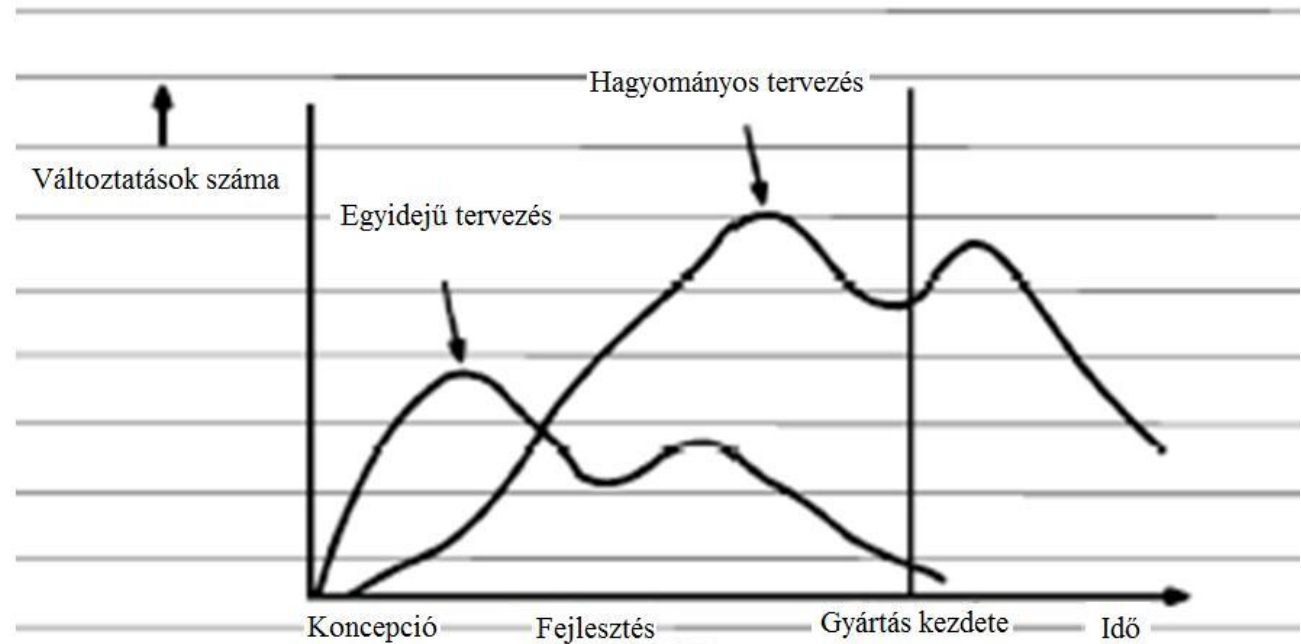


Egyidejű tervezés (Concurrent Engineering)

Előnyök

(egy tipikus „A fázis”-beli tanulmány esetén)

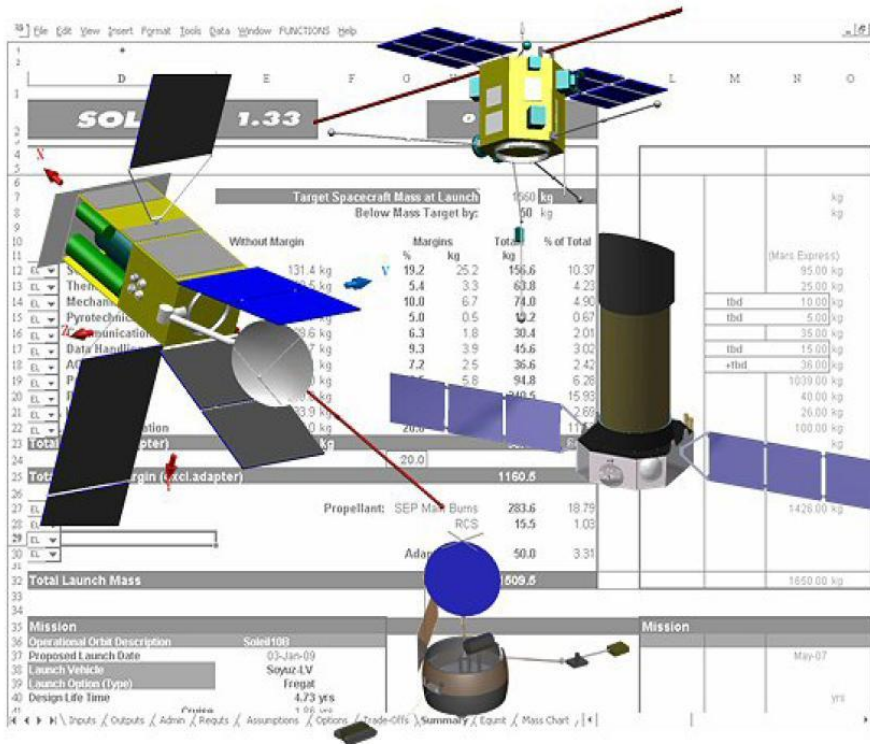
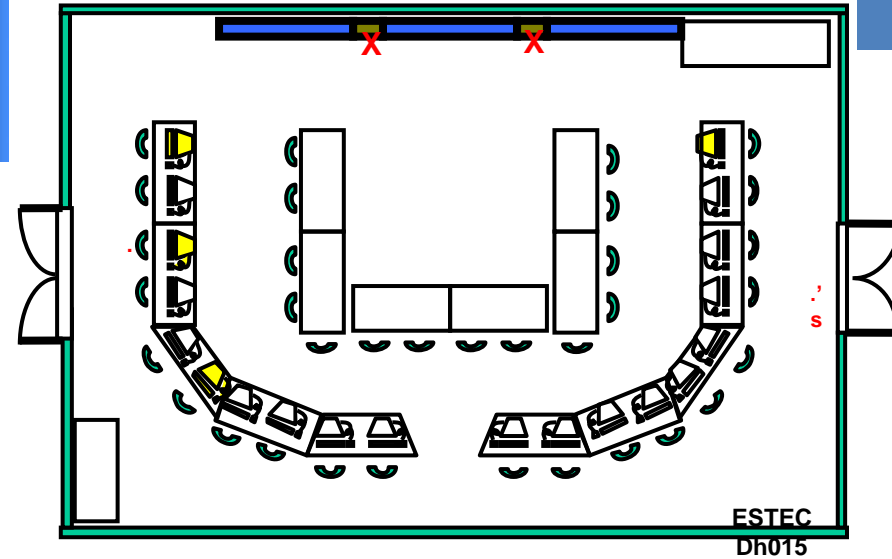
- Tanulmány elkészítésének ideje: 3-6 hét (v.ö hagyományos esetben 6-9 hónap!)
→ tervezési idő negyedére csökken
- Felhasználói költségek felére csökkennek



Egyidejű tervezés (Concurrent Engineering)

ESA Concurrent Design Facility (CDF)

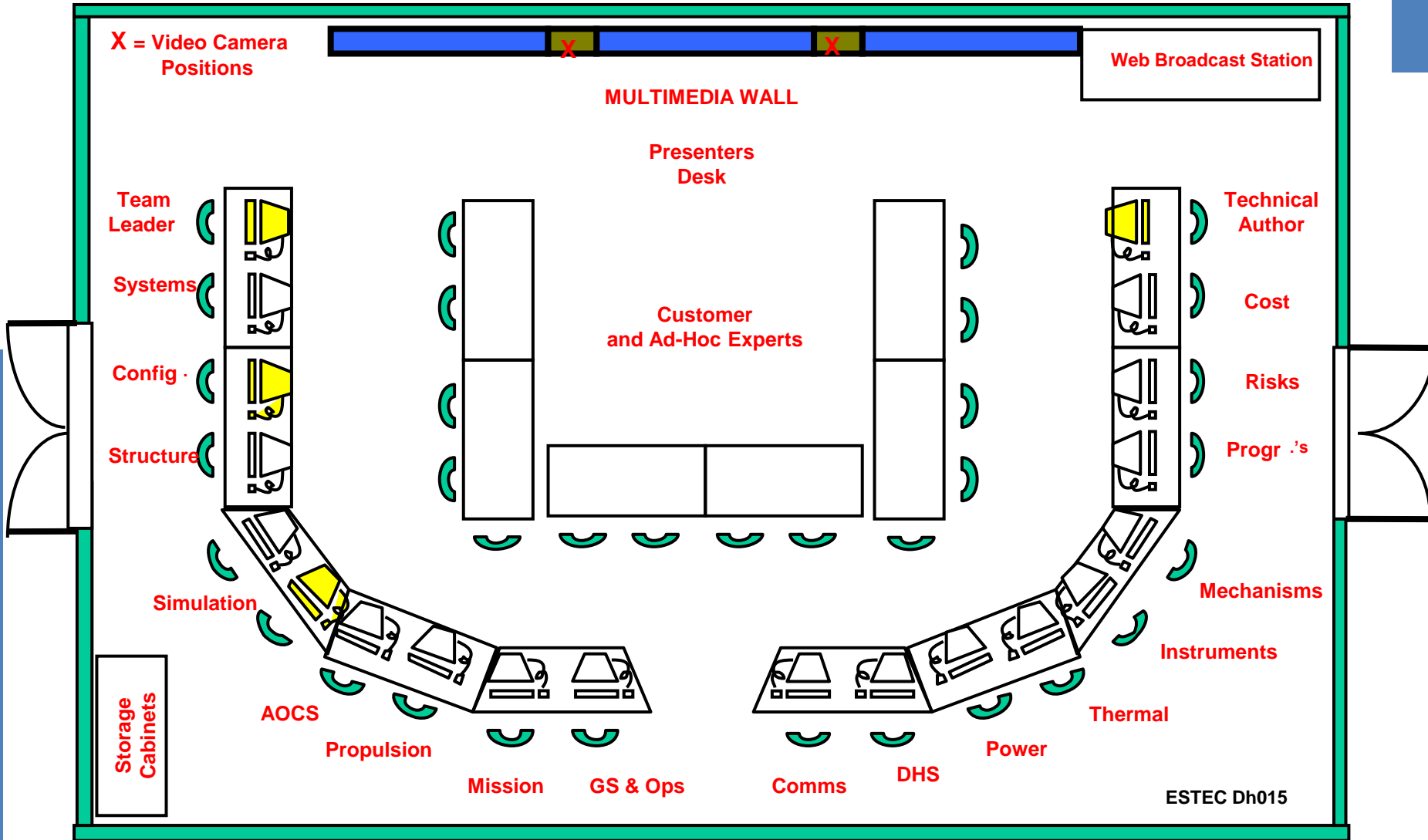
- hely: ESTEC, Noordwijk (NL)
- 1988 Nov.: első kísérleti felhasználás
- 2008: új CDF terem
- 90+ jövőbeni misszió tanulmánya (2009)



integrált tervezői környezet:

- Tervezés
- Előadás
- Felülvizsgálat
- Dokumentáció

ESA Concurrent Design Facility



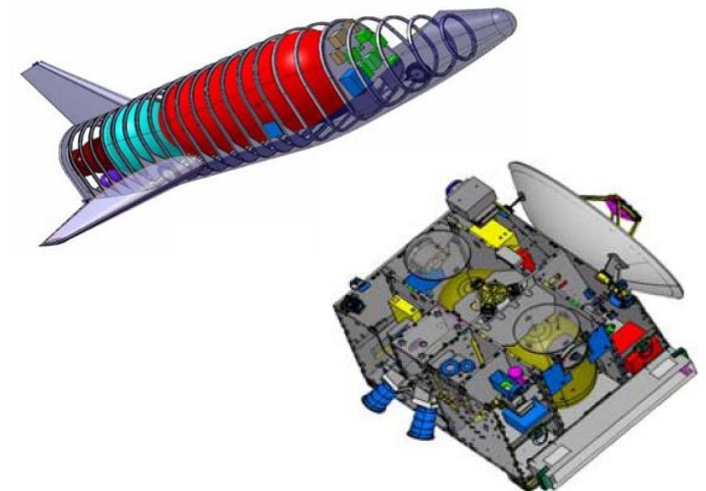
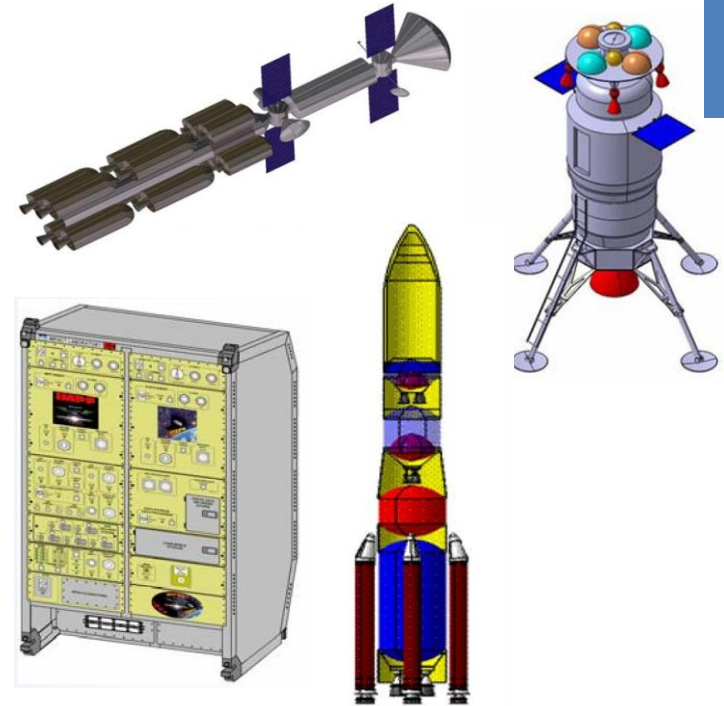
ESA CDF – jelentősebb missziók

- CESAR99 (Central European Sat. for Advance Research)
- **Solar Orbiter** (Study of the Sun and Inner Heliosphere)
- WSO/UV (World Space Observatory)
- STORMS (3x Constellation for Magnetosphere Storms)
- **Hyper** (Cold atom interferometry)
- **Ocean Earth Watch** (operational mission for Ocean and coastal zone monitoring)
- Space Weather (3x monitoring missions)
- **Mars Exobiology (ExoMars)**
- Bepi Colombo (review of industrial studies)
- **Mars Sample Return**
- ISS Dusty Plasma Facility (scientific req.'s definition)
- ISS Droplet Combustion Insert (DCI)
- Human Missions to Mars
- Socrates (reusable launcher demonstrator)
- XEUS X-ray evolving-universe spectroscopy mission
- Lunar Exploration Missions X3
- Near Earth Object Missions X3
- HLLV Heavy Lift Launch Vehicle
- SPAESS Space Alternative Energy Storage System
- PROBA3 Formation Flight Technology Demonstrator
- JEP Jupiter Entry Probe
- XMWR Design of Cross Track Scanner Microwave
- WFI Wide Field Interferometer for Supernovae Survey
- FIRI Far Infrared Interferometer Technology Reference
- WiFLY Wireless Technology Application
- SGEO Small Geostationary Telecomms Satellite
- ESMO European Student Moon Orbiter
- Education and training
 - Students lectures, workshops, courses, training of staff

ASI
SCI-PF
SCI-SA
SCI-PF
SCI-PF

EOPP
GSP/TOS-E
Aurora
SCI-PF
Aurora
D/MSM
D/MSM
Aurora
D/LAU
D/SCI-A
Aurora

GSP
GSP
ACT
GSP
SCI-AP
EOP-FPP
SCI-AM
SCI-AM
GSP
EUI-TP
EXR-EP



CDF létesítmények világszerte

	Név	Megnyitás
<u>NASA:</u>		
▪ NASA/JPL	PDC (Project Design Center)	1996
▪ NASA/JPL	Mission System Design Center	2000
▪ Minden jelentősebb NASA létesítmény		> '99
<u>USA űripari szervezetek:</u>		
▪ Aerospace Corp.	CDC (Concept Design Center)	1998
▪ Lockheed Martin	CEE	
▪ TRW	
<u>Európai űrkutatási és űripari szervezetek:</u>		
▪ EADS ASTRIUM	SDO (Satellite Design Office (D))	1999
▪ CNES	CIC	2005
▪ AAS	CDF (Turin & Cannes)	2006
▪ ASI	CEF	2007
▪ OHB(CGS)		2008
▪ Egyetemek

Kockázatkezelés

Úr-projektek sajátosságaiból adódó kockázatok

- Speciális működési környezet
- Kiemelten magas megbízhatósági követelmény
- Kiszériás gyártás
- Magas költségek
- Teljesen élethű tesztelés hiánya
- Működés közben hozzáférés hiánya /esetleg korlátozott hozzáférés/

Osztályozás: következmények szerint

- Életveszély vagy személyi sérülés
- Misszió kudarc
- Környezet szennyezése
- Missziós célok sérülése
- Költségnövekedés
- Csúszás az ütemtervhez képest
- Megrendelő/felhasználó elégedetlensége

Számszerűsítés

- Bekövetkezés valószínűsége
- Elfogadhatósági szint

Következmények súlyossága

- Katasztrofális
- Kritikus
- Kiemelten fontos
- Jelentős
- Elhanyagolható



Risk magnitude		Risk trend during project phases A, B, C/D	
$R \geq 20$	Maximum	S1	
$15 \leq R < 20$	High	S2	
$10 \leq R < 15$	Medium		
$4 < R < 10$	Low	S3	
$R \leq 4$	Minimum		
		Phase A	Phase B
		Phase C/D	

Kockázatkezelés

Kiindulás:

- Megbízhatóság / Biztonság
- Meghibásodás okai:
 - interakció alrendszerek között
 - emberi hiba (pl. „sneak circuit”)
 - külső hatás
- Worst case analízis:
hőmérséklet, öregedés, EMC, sugárzás, kezdeti tolerancia, elektromos interfészek, stb.
- Hibatolerancia:
 - 1 pont meghibásodás
 - emberes missziók: 2 pont meghibásodás ne legyen katasztrofális/kritikus hatású

Kockázatok felismerése

- korábbi missziók tapasztalatai (lessons learned)
- szakértői vélemények
- extrapoláció
- szimuláció, tesztelés
- analízis

Kockázatkezelés

FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis)

- Rendszer kritikus elemeinek meghatározása
- Funkcionális modell felállítása
- Tervezési javaslatok a meghibásodás megszüntetésére/csökkentésére

Súlyossági kategória	SN (Severity Number)
Katasztrofális	4
Kritikus	3
Jelentős	2
Elhanyagolható	1

Előfordulás	Határérték	PN (Probability Number)
Valószínű	$P > 10E-2$	4
Esetleges	$10E-4 < P \leq 10E-2$	3
Ritka	$10E-5 < P \leq 10E-4$	2
Nagyon ritka	$P \leq 10E-5$	1

Felderíthetőség	DN (Detection Number)
Nagyon valószínű	1
Valószínű	2
Nem valószínű	3
Nagyon nem valószínű	4

- Criticality Number: $CN = SN * PN * DN$

- kritikus elem:
 - $SN \geq 3$
 - $PN = 4$
 - $DN = 4$
 - $CN \geq 12$

Köszönöm a figyelmet!



Kapcsolódó kérdések

Milyen fázisokra osztható egy űrprojekt? Mik az egyes fázisok legfontosabb tevékenységei?

Mik a rendszermérnök legfontosabb feladatai?

Mi az egyidejű tervezés koncepciója? Milyen előnyei vannak a hagyományos tervezéssel szemben?

Miért kiemelt fontosságú a kockázatkezelés az űrprojektekben? Milyen tényezőket kell figyelembe venni a kockázatelemzés során?