Rendszermérnöki eszköztár

Gyakorlati útmutató a V-modell lépéseihez

Abonyi János



Pannon Egyetem
University of Pannonia

Veszprém, 2026



Pannon Egyetem
University of Pannonia

Abonyi János: Rendszermérnöki eszköztár
Gyakorlati útmutató a V-modell lépéseihez

Pannon Egyetem, Veszprém, 2026

Változat: 0.3.0, 2026. november

Online: complexsystemsintelligence.github.io/rendszermernokseg

Forrás: github.com/ComplexSystemsIntelligence/rendszermernokseg

DOI: 10.5281/zenodo.24414135

© 2026 Abonyi János. A mű a Creative Commons Nevezd meg! – Ne add el! – Így add tovább! 4.0 Nemzetközi (CC BY-NC-SA 4.0) licenc feltételeivel szabadon másolható, terjeszthető és átdolgozható.

A Pannon Egyetem neve, címere és logója az egyetem arculati eleme; a licenc ezekre nem terjed ki.

Szedés: LuaLaTeX, IBM Plex és Raleway betűkkel; ábrák: TikZ.

Tartalom

Hogyan használd ezt az útmutatót? 1

1. A féléves projekt 5

I. rész – Projektindítás 9

2. A projekt V-terve 11

3. Kontextusdiagram és interfészlista 17

II. rész – A V bal ága 23

4. Érdekelt felek azonosítása 25

5. Hatalom–érdekeltség és fontossági elemzés 31

6. Interjú és megfigyelés 37

7. Kano-elemzés 41

8. Működési koncepció és forgatókönyvek 47

9. Követelményírás és -ellenőrzés 53

10. A siker mérőszámai: MOE, MOP, TPM 59

11. Nyomonkövethetőség 65

12. Minőségfunkció-telepítés (QFD) 69

13. Funkciófa és allokációs táblázat 73

14. N^2-diagram és DSM 79

15. Morfológiai doboz 85

16. TRIZ: ellentmondások és feltalálói elvek 89

17. Hat gondolkodó kalap 93

18. Ötletroham, névleges csoporttechnika, Delphi 97

19. Pugh-módszer 103

20. Súlyozott értékelés (trade study) 107

21. Hasznossági függvények (MAUT) 111

22. AHP – páros összehasonlítás 115

23. Dominancia és Pareto-front 119

24. Költség–haszon elemzés 123

25. Hierarchikus feladatelemzés (HTA) 129

26. Funkciómegosztás és automatizálási szint 135

27. Terhelés- és használhatóságmérés (NASA-TLX, SUS) 141

28. Kockázati mátrix 147

29. Előzetes veszélyelemzés (PHA) 153

30. FMEA 159

31. Megbízhatósági blokkdiagram 165

32. Hibafa-elemzés 169

33. Eseményfa-elemzés 173

34. STPA – rendszerelméleti veszélyelemzés 177

35. Tűréslánc-számítás 183

36. Kísérlettervezés (DoE) 187

III. rész – A V csúcsa 191

37. Folyamatábra és értékáram-térkép 193

38. Kapacitás és szűk keresztmetszet 199

39. Ütemidő és sorkiegyenlítés 205

40. OEE-számítás 211

41. BPMN-modellezés 217

42. Gantt-diagram és ütemezés 223

43. ABC-elemzés és készlethatékonyság 227

44. Sorbanállási modellek 231

IV. rész – A V jobb ága 235

45. Integrációs terv és interfészmátrix 237

46. Követelmény-verifikációs mátrix 243

47. Használhatósági teszt 249

48. Pareto-diagram 255

49. Ok-okozati (halszálka-) diagram 259

50. Kontrollkártya (SPC) 263

51. Hisztogram, szórás- és rétegzett diagram 267

52. PDCA, 8D és DMAIC 271

53. Folyamatbányászat alapjai 275

V. rész – Átívelő menedzsment 279

54. Munkalebontási struktúra (WBS) 281

55. Technikai felülvizsgálat lebonyolítása 287

56. Konfigurációkezelés és változáskérelem 293

Irodalom 299

Függelékek 307

A. Sablonok és notebookok 307

Hogyan használd ezt az útmutatót?

A *Rendszermérnöki eszköztár* a Rendszermérnöki ismeretek és módszerek – Ötlettől a működő rendszerig a V-modell mentén című kézikönyv párja. A kézikönyv elmagyarázza, *miért* és *mikor* van szükség egy-egy módszerre, és hogyan illeszkedik a fejlesztés folyamatába. Ez az útmutató azt mutatja meg, *hogyan* kell lépésről lépésre alkalmazni. Az eszközök a V-modell lépéseinek sorrendjében követik egymást, így egy fejlesztési projekt során elejétől a végéig használhatók. Egy-egy eszköz önállóan is elővehető.

Az útmutató ötvenöt eszköze a rendszermérnökség, a minőségügy, a döntéstámogatás, a biztonságtechnika, az emberközpontú tervezés és a folyamatmenedzsment bevált módszereit gyűjti össze, egységes leírásokkal. Minden eszközt az eredeti szakirodalma és a rá vonatkozó szabványok alapján mutatunk be, a mai gyakorlatnak megfelelően. A klasszikus eszközök egységes leírásainak jó gyűjteménye a NASA *System Engineering „Toolbox" for Design-Oriented Engineers* kiadványa (Goldberg és mtsai. 1994) és a NASA rendszermérnöki kézikönyve (NASA 2016); az eszközkártyák továbbolvasási sora megadja a kapcsolódó szakaszaikat. Az útmutató újdonságai:

- **ipari, szolgáltatási és informatikai példák:** minden eszközt a kézikönyv futó esettanulmányainak egyikén dolgozunk ki;
- **korszerű eljárások:** ahol a gyakorlat megváltozott, az újabb eljárást mutatjuk be, például a cselekvési prioritást az FMEA-ban;
- **tanulási eredmények:** minden eszközkártya rögzíti, mit kell tudnod az eszközlap feldolgozása után;
- **sablonok, notebookok, mintapromptok:** minden eszközhöz letölthető sablon, ahol érdemes, Python-notebook és a nagy nyelvi modellek felelős használatát segítő mintapromptok tartoznak.

Az eszközlapok szerkezete

Minden eszközlap ugyanazt a szerkezetet követi, hogy könnyen eligazodj benne:

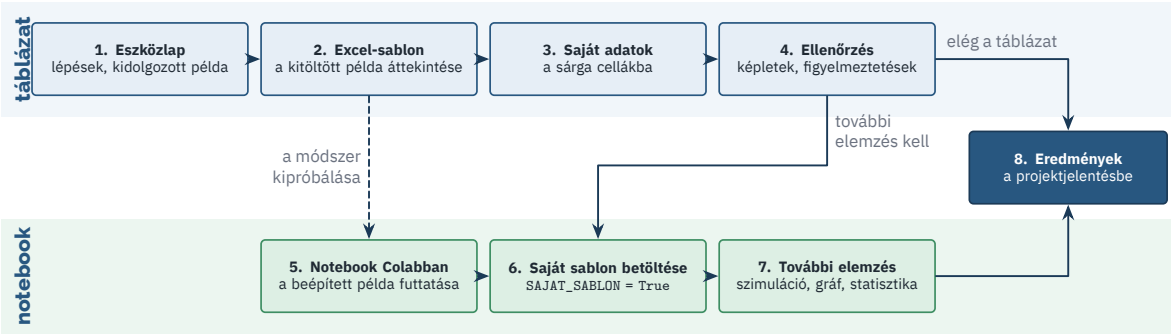
1. **Eszközkártya:**
    - mire való az eszköz;
    - mit fogsz tudni az eszközlap feldolgozása után (tanulási eredmény);
    - melyik V-lépésben használjuk;
    - mi kell hozzá, és mi lesz az eredménye;
    - mennyi időt igényel;
    - melyik kézikönyv-fejezet tárgyalja;
    - hol olvashatsz róla bővebben (továbbolvasás).
2. **Mikor használd?** Tipikus alkalmazási helyzetek és ellenjavallatok.
3. **Lépések:** folyamatábra és részletes, számozott lépésleírás.

4. **Kidolgozott példa:** az eszköz alkalmazása a kézikönyv futó esettanulmányainak egyikén.
5. **Sablon és eszközök:** letölthető Excel-sablon, szükség esetén Python-notebook.
6. **Előnyök és korlátok:** mire képes és mire nem.
7. **Gyakori hibák:** amit a tapasztalat szerint a leggyakrabban elrontunk.
8. **Mintapromptok:** hogyan segíthet egy nagy nyelvi modell, és mire kell figyelni.
9. **Feladat:** a féléves projekt soron következő lépése.

Sablonok és notebookok

A sablonok Excelben és a vele kompatibilis táblázatkezelőkben (LibreOffice Calc, Google Táblázatok) is használhatók. A kitöltendő cellák sárga hátterűek, kék betűsek. A halványkék cellák képleteket tartalmaznak, ezeket nem kell, és nem is szabad felülírni. Minden sablon egy kitöltött példát is tartalmaz a kézikönyv futó eseteiből.

A Python-notebookok opcionálisak. Azoknak szólnak, akik a számításokat programozottan szeretnék elvégezni, nagyobb adatmennyiséggel dolgoznak, vagy olyan elemzésre van szükségük, amely táblázatban nehézkes (szimuláció, gráfbejárás, statisztikai próbák). Google Colabban telepítés nélkül futtathatók. Minden notebook a sablon kitöltött példájával indul; a saját adatokhoz a `SAJAT_SABLON` változót `True` értékre kell állítani, és fel kell tölteni a kitöltött sablont (1. ábra).



1. ábra. A sablonok és a notebookok használata. A táblázat a legtöbb feladathoz elég; a notebook ugyanabból a kitöltött sablonból dolgozik tovább.

A sablonok és a notebookok teljes listáját a Sablonok és notebookok című függelék tartalmazza.

Nagy nyelvi modellek használata

A mintapromptok abban segítenek, hogy egy nagy nyelvi modell (például ChatGPT, Claude vagy Gemini) **ellenőrző társként** dolgozzon veled. Ötleteket ad, hiányokat jelez, kérdéseket tesz fel. Három szabályt érdemes betartani:

- **A modell nem forrás.** Az érdekelt felek elvárásait, a műszaki adatokat és a szabványi előírásokat mindig az eredeti forrásból ellenőrizd.
- **Ne adj meg bizalmas adatot.** Személyes adatot, céges titkot vagy nem nyilvános dokumentumot ne illessz be nyilvános szolgáltatásba.

- **Jelöld a felhasználást.** A projektmunkában írd le, mire és hogyan használtál mesterséges intelligenciát.

A féléves projekt

A következő fejezet a féléves csoportos projekt teljes útmutatója. A projekt a V-modell lépéseit járja végig egy szabadon választott fejlesztési feladaton, és az eszközlapok végén található feladatokból áll össze.

1. A féléves projekt

A projekt célja

A projekt során egy csapat egy valós vagy életszerű fejlesztési feladaton végigjárja a V-modell lépéseit, a problémafelvetéstől az ellenőrzés és a validáció megtervezéséig. A cél nem egy kész termék. A cél egy **átgondolt, nyomon követhető és indokolt fejlesztési terv**, amelyben minden lépés a korábbiakra épül, és minden döntés mögött ott van az elemzés.

1.1. Témaválasztás

A téma lehet egy elképzelt vagy valós vállalat, intézmény vagy közösség fejlesztési feladata. A jó téma három feltételnek felel meg:

- **valós problémára** felel (van kinek fájjon);
- **legalább néhány érdekelt felet** érint, köztük a szervezeten kívülieket is;
- **műszaki és működési oldala is van:** termék, berendezés, informatikai rendszer vagy folyamat, amelynek követelményei, koncepciói és folyamatai elemezhetők.

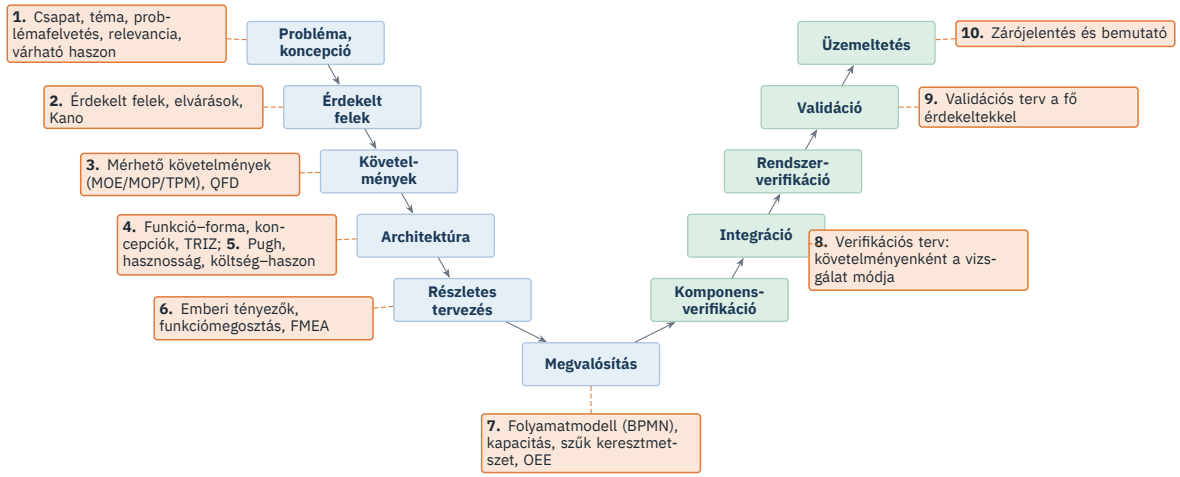
A témák kiválasztásához jó irányt ad a **zöld és digitális átállás**: olyan fejlesztések, amelyek erőforrást, energiát vagy kibocsátást takarítanak meg, illetve digitális eszközökkel tesznek egy működést hatékonyabbá, átláthatóbbá vagy emberközpontúbbá. Néhány javaslat:

1.1. táblázat. Javasolt projekttémák.

Téma	Jellege
Okos parkolásirányítás egy egyetemi kampuszon	informatika, szolgáltatás
Önjáró anyagmozgató robot bevezetése egy kis raktárban	mechatronika, folyamat
Állapotalapú karbantartás egy nyomdagépre	mechatronika, adatelemzés
Napelemes töltőállomás elektromos rollereknek	termék, energia
Digitális munkautasítás-rendszer egy összeszerelő soron	informatika, ember–gép
Hulladékcsökkentés egy pékség gyártási folyamataiban	folyamat, minőség
Okos öntözés városi parkokban	mechatronika, környezet
Laboreszköz-kölcsönző alkalmazás az egyetemen	informatika, szolgáltatás
Betegirányító kijelzőrendszer egy rendelőintézetben	ember–gép, folyamat
Visszaváltható ételcsomagolás egy közétkeztetőnél	folyamat, logisztika

1.2. A projekt lépései a V mentén

A projekt tíz lépésből áll (1.1. ábra). Minden lépés egy vagy több eszközlap végén található feladatra épül, és a zárójelentés egy-egy fejezetét adja.



1.1. ábra. A féléves projekt lépései a V-modell mentén. A bal ági lépésekből elemzések és döntések születnek, a jobb ági lépésekhez ellenőrzési és validációs tervek tartoznak.

1.2. táblázat. A projekt lépései, minimális elvárásai és a kapcsolódó eszközlapok.

Lépés	Tartalom	Minimális elvárás	Eszközlap
1.	Csapat, téma, problémafelvetés, relevancia, várható haszon; a projekt V-terve	Egyoldalas problémaleírás; kitöltött V-terv	2.
2.	Érdekelt felek azonosítása és priorizálása; elvárások feltárása	Legalább tíz érdekelt fél, közülük legalább három külső; hatalom–érdekeltség rács; legalább két interjú	4–7.
3.	Működési koncepció; követelmények: mérték és célérték; MOE, MOP, TPM; nyomonkövetés; QFD	Működési koncepció legalább két forgatókönyvvel; 5–10 számszerűsített követelmény verifikációs móddal; minőségház legalább 3–5 elvárással és 3–5 műszaki jellemzővel	8–12.
4.	Koncepcionális tervezés: funkció és forma, koncepciógenerálás	Funkció–forma dekompozíció legalább négy funkcióval; legalább három koncepcióváltozat; egy feloldott ellentmondás (TRIZ)	13–18.
5.	Koncepció-kiválasztás	Pugh-összevetés; hasznosságelemzés vagy súlyozott pontozás érzékenységvizsgálattal; költség–haszon becslés	19–24.
6.	Emberi tényezők és kockázat	Funkciómegosztás és automatizálási szint indoklással; FMEA legalább nyolc hibamóddal és intézkedésekkel	25–30.

Lépés	Tartalom	Minimális elvárás	Eszközlap
7.	A megvalósító folyamat tervezése	BPMN-modell legalább három résztvevővel és tíz lépéssel; kapacitás és szűk keresztmetszet; OEE vagy ennek megfelelő hatékonysági mutató	37–41.
8.	Integrációs és verifikációs terv	Követelmény-verifikációs mátrix minden követelményre, sikerkritériumokkal; integrációs terv (választható)	45–46.
9.	Validációs terv	A fő érdekelt csoportokkal végzendő próba terve, a MOE-k mérési módjával	47.
10.	Zárójelentés és bemutató	A jelentés az alábbi szerkezetben; kreatív bemutató (előadás, poszter, szerepjáték, makett)	–

1.3. A zárójelentés szerkezete

1. **Vezetői összefoglaló** (fél oldal): a fejlesztés célja, a legfontosabb megállapítások és javaslatok.
2. **A fejlesztési feladat:** probléma, relevancia, várható haszon; a projekt V-terve.
3. **Érdekelt felek és elvárásaik:** nyilvántartás, rács, a legfontosabb elvárások igényként; Kano-elemzés, ha készült.
4. **Követelmények:** szükséglet–cél–célkitűzés; számszerűsített követelmények MOE/-MOP/TPM besorolással és verifikációs móddal; QFD és értékelése.
5. **Koncepció:** funkció–forma dekompozíció, koncepcióváltozatok, a kiválasztás menete és indoklása.
6. **Ember és kockázat:** funkciómegosztás, FMEA és fő megállapításai.
7. **Megvalósítás:** folyamatmodell, kapacitás, szűk keresztmetszet, hatékonysági mutatók, javaslatok.
8. **Ellenőrzés és validáció:** verifikációs mátrix, validációs terv.
9. **Összegzés és kitekintés:** mit tanultunk, mi a következő lépés.
10. **Mellékletek:** kitöltött sablonok, interjújegyzetek, a mesterséges intelligencia használatának leírása.

1.4. Értékelési szempontok

A projektmunka értékelésekor az alábbi szempontokat javasoljuk. Az oktató ezeket a kurzus követelményeihez igazíthatja.

1.3. táblázat. Javasolt értékelési szempontok.

Szempont	Mit vizsgálunk?
Nyomonkövethetőség	Végigkövethető-e az út az érdekelt felektől a követelményeken és a koncepción át az ellenőrzésig?
Mérhetőség	Számszerűek, egyértelműek és ellenőrizhetők-e a követelmények és a célkitűzések?
Módszertani helyesség	Helyesen alkalmazták-e az eszközöket, és helyes-e a számítás?
Indokoltság	Elemzés és adatok támasztják-e alá a döntéseket? Megjelennek-e a kompromisszumok?
Az emberi szempontok	Megjelenik-e a felhasználók és az üzemeltetők nézőpontja a követelményekben és a tervben?
Kommunikáció	Világos-e a jelentés és a bemutató, és érthető-e egy kívülálló számára?

A projekt leggyakoribb hibái

- **A lépések elszigetelten készülnek.** A QFD vevői elvárásai nem azonosak az érdekeltfél-elemzés elvárásaival, az FMEA nem a kiválasztott koncepcióra készül. Minden lépésnek az előzőre kell épülnie.
- **A követelmények megoldást írnak elő** („legyen benne RFID-olvasó”) ahelyett, hogy azt mondanák meg, mit kell teljesíteni.
- **Hiányzik a szám.** A „gyors”, „megbízható”, „felhasználóbarát” nem követelmény, amíg nincs mértéke és célértéke.
- **A döntés megelőzi az elemzést.** A csapat már az elején tudja, mit akar, és az összevetés csak utólagos igazolás.

I. rész – Projektindítás

Pannon Egyetem
University of Pannonia

2. A projekt V-terve

Eszközkártya

- **Mire való?** A fejlesztés teljes ívének egyoldalas terve. Rögzíti, milyen munkatermék készül a V-modell egyes lépéseiben, hogyan ellenőrizzük őket, és hol vannak a felülvizsgálati pontok.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel egyoldalas V-tervet készíteni, amely a V-modell minden lépéséhez munkaterméket, felelőst, határidőt és ellenőrzési módot rendel.
- **V-lépés:** a teljes V; a projekt indításakor készül, és minden felülvizsgálatkor frissül.
- **Bemenet:** a problémafelvetés, az ismert korlátok (határidők, erőforrások), a fejlesztés tárgyának első leírása.
- **Kimenet:** kitöltött V-terv-táblázat, felülvizsgálati pontok belépési feltételekkel.
- **Időigény:** 1–2 óra csapatmunka a kezdéskor, utána rövid frissítések.
- **Kézikönyv:** 2. fejezet – A rendszerfejlesztés életciklusa és a V-modell.

2.1. Mikor használd?

- **A projekt indításakor**, hogy a csapat közös képet kapjon a teendőkről és a leadandókról.
- **A folyamat projekthez igazításakor:** egy kis projekt nem igényli a nagy szervezetek összes felülvizsgálatát, de a lényeges ellenőrzési pontokat nem szabad kihagyni.
- **Új csapattag vagy új megbízó bevonásakor:** a V-terv egy oldalon mutatja meg, hol tart a munka.
- **Felülvizsgálat előtt:** a V-terv alapján ellenőrizhető, hogy minden munkatermék elkészült-e.

Nem helyettesíti a részletes ütemtervet és a feladatlistát. Ezek a V-terv alapján, annak lépéseit lebontva készülnek.

2.2. Lépések

1. **Rögzítsd a rendszert és a határait.** Egy-két mondatban fogalmazd meg, mi a fejlesztés tárgya, és mi nem tartozik hozzá. Például a KoboCella-projektben a cella igen, a gyár MES-rendszere nem, de a cellához csatlakozó interfésze igen.
2. **Írd fel a V lépéseit a saját rendszeredre.** Használd a kézikönyv V-modelljét (2.4. ábra), de nevezd meg a lépéseket a saját projekted nyelvén. Egy szolgáltatásfejlesztésben a „komponens-verifikáció” lehet például „az egyes szolgáltatáselemek próbája”.
3. **Rendelj munkaterméket minden lépéshez.** Mi lesz a lépés kézzelfogható eredménye: dokumentum, modell, táblázat, prototípus vagy döntés?



2.1. ábra. A projekt V-tervének elkészítése. A szaggatott nyíl jelzi, hogy a terv a projekt során az új ismeretek alapján frissül.

4. **Írd fel minden bal ági lépés jobb ági párját, és azt, hogyan fogod ellenőrizni.** Ez a korai teszterv. Ha egy lépésnél nem tudod megmondani, hogyan ellenőrzöd majd, az jelzi, hogy a munkatermék még nem elég pontosan meghatározott.
5. **Jelöld ki a felülvizsgálati pontokat.** Egy kis projektben jellemzően három elég: a koncepció és a követelmények, a terv, végül az átadás előtt. Mindegyikhez írd fel a kulcskérdést és a belépési feltételeket, vagyis azt, hogy mely munkatermékeknek kell elkészülniük.
6. **Rendelj felelőst és határidőt** minden munkatermékhez.
7. **Tartsd karban a tervet.** Minden felülvizsgálaton nézd át, és jelöld a változásokat (változat, dátum).

2.3. Kidolgozott példa: a KoboCella V-terve

A Kobold Hajtástechnika projektcsapata a projekt első hetében készítette el a V-tervet (2.1. táblázat). A csapat a ciklusidő-követelményt az éves igényből, a munkaidőalapból és a tervezett berendezéshatékonyságból vezette le. A számítás menetét a folyamatelemzés eszközlapja mutatja be.

2.1. táblázat. A KoboCella V-tervének fő sorai.

Bal ági lépés	Munkatermék	Jobb ági pár	Hogyan ellenőrizzük?
Probléma, cél, működési koncepció	Problémaleírás (igénynövekedés, ergonómiai panaszok, 3,5% utómunka); műszakforgatókönyvek normál, hiba és típusváltás esetére	Átadás, üzemeltetés	Három hónapos üzem után: kibocsátás, utómunka-arány, ergonómiai panaszok száma a kiinduló állapothoz képest
Az érdekelt felek igényei	Érdekeltfél-nyilvántartás, hatalom–érdekeltség rács, operátori interjúk, munkavédelmi egyeztetés	Validáció	Kétműszakos próbaüzem valódi operátorokkal; terhelésfelmérés; a vevő minőségügyi auditja

Bal ági lépés	Munkatermék	Jobb ági pár	Hogyan ellenőrizzük?
Rendszerkövetelmények	Ciklusidő legfeljebb 75 s; első átmenetes kihozatal legalább 99%; minden meghúzás nyomatéknaplója; az ergonómiai kockázat alacsony szintre csökken; MES-interfész	Rendszerverifikáció	Nyolcórás folyamatos teszt mért ciklusidőkkel; 500 darabos mintán kihozatal; interfészteszt; ergonómiai felmérés
Architektúra és koncepció	Öt alrendszer; két koncepcióváltozat (közös vagy elválasztott munkaterület) összevetése	Integráció és alrendszer-verifikáció	Integrációs sorrend: kobot és csavarozó → biztonsági rendszer → MES; interfészenkénti ellenőrzőlista
Részletes tervezés	Megfogó, biztonsági zónák, kezelőfelület, FMEA	Komponens-verifikáció	Csavarozó nyomatékkalibrációja; a biztonsági funkciók egyenkénti tesztje; a megfogó tartóssági próbája
Megvalósítás	A cella építése, programozás, betanítási anyag	–	–

A felülvizsgálati pontok:

2.2. táblázat. A KoboCella felülvizsgálati pontjai.

Felülvizsgálat	Kulcskérdés	Belépési feltételek
Koncepció és követelmények (4. hét)	Értjük-e a problémát? Mérhetők-e a követelmények?	Érdekeltfél-elemzés, célkitűzések, követelménylista verifikációs módokkal
Terv (10. hét)	Teljesítheti-e a választott koncepció a követelményeket elfogadható kockázattal?	Koncepció-összevetés, architektúra, kockázatelemzés és FMEA, integrációs terv
Üzemkészség (próbaüzem előtt)	Igazoltuk-e a követelményeket? Felkészültek-e az operátorok?	Verifikációs mátrix kitöltve, biztonsági funkciók jegyzőkönyve, betanítás megtörtént

2.4. Sablon

- projekt_v_terv_sablon.xlsx: V-terv és felülvizsgálati lap, kitöltési útmutatóval.

2.5. Előnyök és korlátok

2.3. táblázat. A projekt V-tervének előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Egy oldalon mutatja a teljes fejlesztést és a lépések közötti kapcsolatokat	Nem ütemterv: a feladatokat és az időbeosztást külön kell megtervezni
A korai teszterv már az elején kiszűri a pontatlan munkatermékeket	A kezdeti terv bizonytalan; rendszeres frissítés nélkül gyorsan elavul
Segít a folyamatot a projekt méretéhez igazítani	Erősen iteratív, agilis fejlesztésben ciklusonként kell újragondolni

Gyakori buktató

- **Dokumentumlista ellenőrzés nélkül.** A bal ági oszlop kitöltött, a jobb ági üres. Pedig éppen a jobb ági pár teszi a V-tervet többé, mint egy feladatlista.
- **Általános ellenőrzési mód.** A „teszteléssel” nem válasz. Meg kell mondani, mit mérünk, milyen körülmények között, és mi az elfogadás feltétele.
- **Felülvizsgálat belépési feltétel nélkül.** Ha nem rögzítjük előre, mi kell a felülvizsgálathoz, a találkozó beszélgetéssé válik.

2.6. Mintapromptok

Mintaprompt: a V-terv kritikus átnézése

```
Szerepkör: tapasztalt rendszermérnök vagy, aki egy mérnökhallgatói projekt
V-tervét nézi át.

Bemenet: az alábbi táblázat a projektünk V-terve. A projekt tárgya:
[1–2 mondatos leírás]. Határidő: [x hét], csapat: [y fő].

[IDE ILLESZD BE A V-TERV TÁBLÁZATÁT]

Feladat:
1. Minden bal ági lépésnél vizsgáld meg, hogy a jobb ági ellenőrzési mód
   konkrét-e (mit mérünk, milyen körülmények között, mi az elfogadás
   feltétele). Ahol nem, jelezd és indokold.
2. Jelöld, ha egy munkatermék hiányzik vagy nem következik az előző lépésből.
3. Ne írj helyettünk új tartalmat. Ehelyett minden problémához tegyél fel
   egy-két kérdést, amely segít a javításban.
Formátum: táblázat (lépés | probléma | kérdés).
```

Mintaprompt: a folyamat projekthez igazítása

```
Egy [x] hetes, [y] fős projektben [fejlesztés tárgya] a feladatunk.
A V-modell mely felülvizsgálati pontjai indokoltak ekkora projektben?
Javasolj legfeljebb négy pontot, és mindegyikhez adj kulcskérdést és
belépési feltételeket. Indokold, mit hagysz el a nagyprojektes
gyakorlathoz képest, és milyen kockázattal jár az elhagyás.
```

A modell válaszát a kézikönyv 2.5. szakaszával vesd össze, és a csapatban döntsetek. A felülvizsgálati pontok kijelölése a csapat felelőssége.

2.7. Feladat

1. projektlépés: a projekt V-terve

Töltsd ki a sablon „V-terv” lapját a saját projektedre. Jelölj ki legalább három felülvizsgálati pontot belépési feltételekkel, és csatold a V-tervet a problémaleíráshoz (csapat, téma, problémafelvetés, relevancia, várható haszon).

3. Kontextusdiagram és interfészlista

Eszközkártya

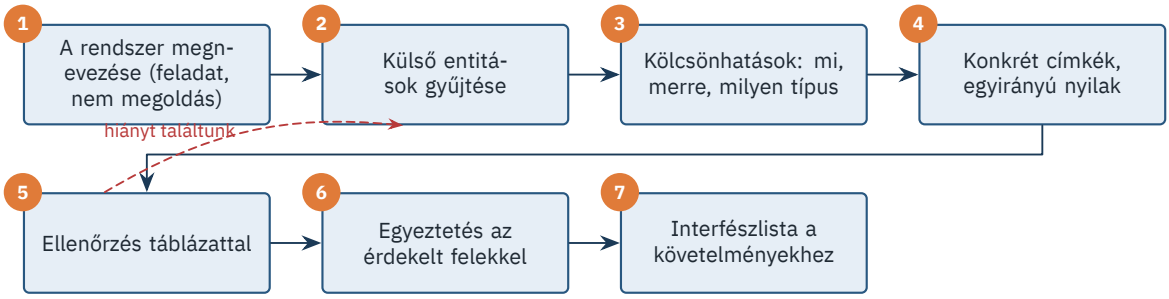
- **Mire való?** A rendszer határának kijelölése: mely külső entitásokkal és milyen áramlásokkal (adat, jel, anyag, energia, tevékenység) áll kapcsolatban a rendszer, és mi nem tartozik a fejlesztés tárgyához.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel kijelölni egy rendszer határát, felrajzolni a kontextusdiagramját, és a határon átmenő kölcsönhatásokat típus szerint besorolni és interfészlistába rendezni.
- **V-lépés:** 1. Probléma; a követelmények (interfészkövetelmények) és az integráció bemenete.
- **Bemenet:** a fejlesztési feladat leírása, az érdekelt felek első listája, a meglévő folyamatok és rendszerek ismerete.
- **Kimenet:** kontextusdiagram, interfészlista gazdákkal, a „mi nem a rendszer része” rögzítése.
- **Időigény:** az első változat 1–2 óra csapatmunka; a pontosítás az érdekelt felekkel folyamatos.
- **Kézikönyv:** 3. fejezet, 3.3. szakasz.

3.1. Mikor használd?

- **A projekt legelején**, amikor még a feladat megfogalmazása zajlik. A kontextusdiagram az egyik leggyorsabb módja annak, hogy a csapat és a megrendelő ugyanazt értse „a rendszeren”.
- **Ha vita van arról, mi tartozik a fejlesztéshez.** A diagramon minden, ami a középső alakzaton kívül van, a környezet része. Ezt nem tervezzük meg, de illeszkednünk kell hozzá.
- **Beszállítói egyeztetéskor**, ajánlatkéréskor. A diagram és az interfészlista egyértelművé teszi, mit kell a szállítónak megvalósítania, és mihez kell kapcsolódnia.
- **Integráció és átadás előtt.** Az interfészlista minden sora egy ellenőrizendő kapcsolat.

3.2. Lépések

1. **Nevezd meg a rendszert a feladata szerint.** Ne a megoldást nevezd meg („MES”, „mobilalkalmazás”), hanem azt, amit a rendszernek el kell végeznie („rendeléstelje-sítési rendszer”, „közösségi kerékpár-szolgáltatás”). Így a név nem zárja ki idő előtt a lehetséges megoldásokat.
2. **Gyűjtsd össze a külső entitásokat.** Forrásaid: az érdekeltfél-lista (4. eszközlap), a befoglaló rendszer elemei, az életciklus-szakaszok (ki szállít, ki szervizel, ki selejtez), valamint a meglévő informatikai rendszerek. Az entitás lehet szervezet, szereplő, másik rendszer vagy természeti környezet.



3.1. ábra. A kontextusdiagram elkészítésének lépései.

3. **Rögzítsd a kölcsönhatásokat.** Minden entitásnál kérdezd meg: mi megy át a határon, milyen irányba, és milyen típusú? A típusok: **adat** (feldolgozandó információ), **jel** (reakciót igénylő állapot vagy esemény), **anyag**, **energia**, **tevékenység** (egy külső szereplő munkája a rendszeren) (Kossiakoff és mtsai. 2011, 3.4. szakasz).
4. **Címkézz konkrétan, és használj egyirányú nyilakat.** Az „adatcsere a bankkal” helyett két nyíl: „fizetési kérelem” kifelé, „fizetési visszaigazolás” befelé. Az olyan címkék, mint az „adat” vagy a „kommunikáció”, semmit sem mondanak.
5. **Ellenőrizd táblázattal.** Az interfészlistából számold meg entitásonként a bemeneteket és a kimeneteket. A csak bemenettel vagy csak kimenettel rendelkező entitásnál gondold végig, nem maradt-e ki egy visszairányú áramlás (visszaigazolás, rendelés, elszámolás). Nézd meg azt is, kimaradt-e valamilyen környezeti hatás: hulladék, kibocsátás, zaj. Ha hiányt találsz, térj vissza a 2. lépéshez.
6. **Egyeztesd az érdekelt felekkel.** A diagramot mutasd meg a megrendelőnek és a legfontosabb érdekelteknek. A „kimaradt valami?” kérdésre adott válaszok gyakran a projekt legértékesebb információi.
7. **Vezesd tovább az interfészlistát.** Minden sorhoz rendelj gazdát (ki felel érte), és később kapcsolódó követelményt (9. eszközlap). A belső interfészeket az N²-diagram tárja fel (14. eszközlap).

> **Interfészelemek**
>
> Az interfészlistában azt is rögzítheted, milyen elem valósítja meg a kapcsolatot. Kossiakoff és szerzőtársai szerint az **összekötő** átviszi a hatást (kábel, tengelykapcsoló, kezelőpanel), a **szigetelő** gátolja (árnyékolás, tömítés, védőburkolat), az **átalakító** megváltoztatja a közeg formáját (A/D átalakító, hajtómű, billentyűzet) (Kossiakoff és mtsai. 2011, 3.5. szakasz). A külső interfészeknél ez a mező a koncepció szakaszában gyakran még üres; ilyenkor „–” jelet írj.

3.3. Kidolgozott példa: a VárosiBringa kontextusdiagramja

A projektcsapat a rendszert *VárosiBringa közösségi kerékpár-szolgáltatásnak* nevezte el. A szolgáltatás része a flotta, a dokkolók, az alkalmazás, a háttérrendszer, a szerviz és az áthelyező szolgálat. A határ kijelölésekor a legfontosabb döntés az volt, hogy az áthelyezés és a szerviz a rendszer *része*, akkor is, ha a konzorcium később alvállalkozóra bízza. A szolgáltatás minőségét ugyanis ezek határozzák meg.

A csapat kilenc külső entitást és tizennyolc kölcsönhatást azonosított (3.1. táblázat, a sablon „Példa –” lapjain teljes egészében).

3.1. táblázat. A VárosiBringa interfészlistája (összevont nézet; a sablonban minden irány külön sor).

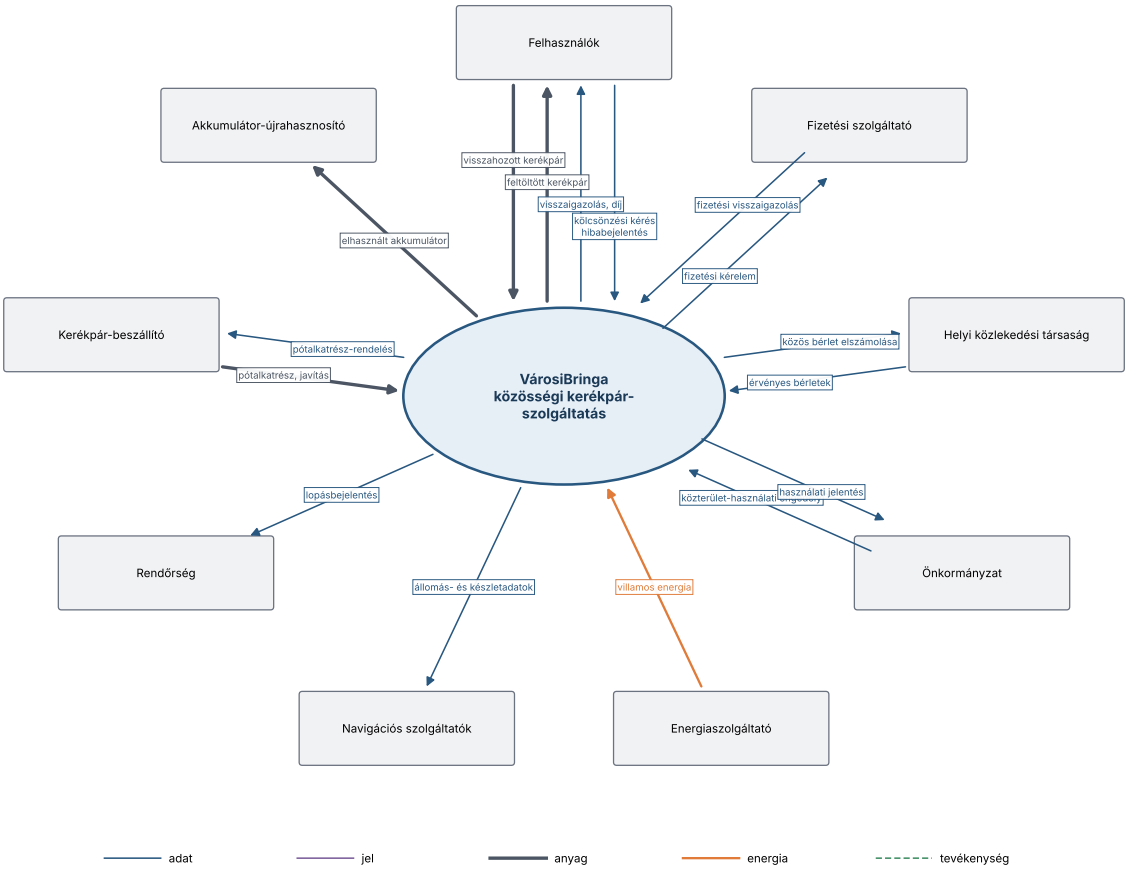
Külső entitás	Kölcsönhatás	Irány	Típus
Felhasználók	kölcsönzési kérés (alkalmazás vagy kártya)	be	adat
Felhasználók	kölcsönzési visszaigazolás, díjtájékoztatás	ki	adat
Felhasználók	feltöltött elektromos kerékpár	ki	anyag
Felhasználók	visszahozott kerékpár	be	anyag
Felhasználók	hibabejelentés	be	adat
Fizetési szolgáltató	fizetési kérelem / fizetési visszaigazolás	ki / be	adat
Helyi közlekedési társaság	érvényes bérletek listája / közös bérletes kölcsönzések elszámolása	be / ki	adat
Önkormányzat	közterület-használati engedély / használati és kibocsátási jelentés	be / ki	adat
Energiaszolgáltató	villamos energia a dokkolóknak	be	energia
Navigációs szolgáltatók	állomások helye, szabad kerékpárok száma	ki	adat
Rendőrség	lopás- és rongálásbejelentés	ki	adat
Kerékpár-beszállító	pótalkatrész-rendelés / pótalkatrész, garanciális javítás	ki / be	adat / anyag
Akkumulátor-újrahasznosító	elhasznált akkumulátorok	ki	anyag

Tanulságok:

- **Az ellenőrzés talált hiányt.** Az első változatban a kerékpár-beszállító csak bemenetként szerepelt („pótalkatrész, garanciális javítás”). A táblázat „csak bemenet – rendben?” jelzésére a csapat rájött, hogy a pótalkatrész-rendelés és a garanciális igény bejelentése kimaradt. Ezek nélkül a szerviz nem tud működni, és mindkettő a háttérrendszer feladata.
- **Nem minden jelzés hiba.** Az energiaszolgáltató felé valóban nem megy semmi, a navigációs szolgáltatók felől pedig nem érkezik semmi. A csapat ezeket tudatosan jóváhagyta.
- **A környezeti hatás is interfész.** Az akkumulátor-újrahasznosító eredetileg nem szerepelt. A környezetvédő civilek érdekeltfél-interjúján derült ki, hogy az elhasznált akkumulátorok sorsa számukra kulcskérdés. Az interfész jogszabályi nyilvántartási kötelezettséggel is jár.
- **Ami nincs a diagramon, az nem a rendszer része.** A buszhálózat menetrendjét, a város parkolási rendszerét és a navigációs alkalmazásokat a VárosiBringa nem tervezi újra, de a velük való kapcsolatát igen.

3.4. Sablon és notebook

- kontextusdiagram_sablon.xlsx: az „Interfészlista” lapon legördülő listák (irány, típus, interfészelem) és automatikus ellenőrzés (hiányzó adat, túl általános címke, gazda nélküli sor). Az „Entitások” lap entitásonként megszámolja a bemeneteket, a kimeneteket és a típusokat, és jelzi a gyanús eseteket. A „Példa –” lapok a VárosiBringa kitöltött listáit tartalmazzák.



3.2. ábra. A VárosiBringa kontextusdiagramja, a notebook által az interfészlistából rajzolva. Az azonos irányú és típusú kölcsönhatások egy nyílon szerepelnek.

- kontextusdiagram.ipynb · Megnyitás Google Colabban: az interfészlistából automatikusan felrajzolja a kontextusdiagramot (a 3.2. ábra így készült), és elvégzi a táblázatos ellenőrzéseket. A beépített példával azonnal futtatható. A saját, kitöltött sablon feltöltéséhez állítsd a `SAJAT_SABLON` változót `True` értékre.

3.5. Előnyök és korlátok

3.2. táblázat. A kontextusdiagram előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Egyszerű, gyorsan elkészíthető, bárki számára érthető	Nem mutatja a rendszer belsejét, sem az áramlások időbeli sorrendjét
A határvita korán, olcsón lezárható	Sok entitásnál és kölcsönhatásnál zsúfolttá válik; ilyenkor bontsd több nézetre
Az interfészlistából közvetlenül követelmények és integrációs tesztek vezethetők le	A minőségi jellemzőket (gyakoriság, késleltetés, adatformátum) csak az interfészlista tartalmazza
A hiányzó érdekelt feleket és környezeti hatásokat is felszínre hozza	Csak annyira teljes, amennyire a csapat tudása; az érdekelt felekkel való egyeztetés nem hagyható el

Gyakori buktató

- **Megoldás a középen.** Ha a középső alakzat neve „MES-szoftver”, a diagram már a megoldást rögzíti, és kimaradnak belőle az emberek és az eljárások.
- **Belső részletek a fekete dobozban.** Ha a középső alakzatba alrendszereket rajzolsz, az már architektúra, nem kontextus.
- **Kétirányú, semmitmondó nyilak.** Az „adatcsere” nyíl nem mondja meg, mi megy át, és merre.
- **A „csendes” entitások kihagyása.** A hulladékkezelő, a hatóság, az energiaszolgáltató vagy a karbantartó könnyen kimarad, pedig mindegyiknek van interfésze a rendszerrel.

3.6. Mintapromptok

Mintaprompt: interfészlista-vázlat szöveges leírásból

```
Az alábbiakban egy fejlesztendő rendszer leírása olvasható.
[IDE ILLESZD BE A LEÍRÁST]

Feladat: készíts interfészlista-vázlatot táblázatban a következő
oszlopokkal: külső entitás | kölcsönhatás (mi megy át a határon) |
irány (be/ki a rendszer szemszögéből) | típus (adat, jel, anyag,
energia, tevékenység).
Szabályok: minden sor egyetlen irány; a címke legyen konkrét
(ne „adat” vagy „kommunikáció”); a rendszer belső elemei NE legyenek
külső entitások. Jelöld csillaggal azokat a sorokat, amelyek nem a
leírásból következnek, hanem a te feltételezéseid.
```

Mintaprompt: hiányzó entitások és áramlások keresése

```
Ez a kontextusdiagram interfészlistája: [TÁBLÁZAT].
Vizsgáld meg a rendszer teljes életciklusát (beszerzés, telepítés,
üzemeltetés, karbantartás, selejtezés) és a környezeti hatásokat
(hulladék, kibocsátás, zaj, energia). Sorold fel, milyen külső
entitások vagy kölcsönhatások hiányozhatnak, és mindegyiknél írd le,
melyik életciklus-szakaszban vagy hatásnál merül fel. Ne egészítsd ki
a táblázatot; a döntés a csapaté.
```

3.7. Feladat

1. projektlépés (második rész): kontextusdiagram

Készítsd el saját projekted interfészlistáját a sablonban (legalább hat külső entitás, legalább tizenkét kölcsönhatás), és rajzold fel a kontextusdiagramot kézzel vagy a notebookkal. Az ellenőrző lap minden jelzésénél írd le egy mondatban, miért rendben van, vagy mit egészítettél ki. Mutasd meg a diagramot legalább egy érdekelt félnek, és rögzítsd, mit javasolt.

II. rész – A V bal ága

Pannon Egyetem
University of Pannonia

4. Érdekelt felek azonosítása

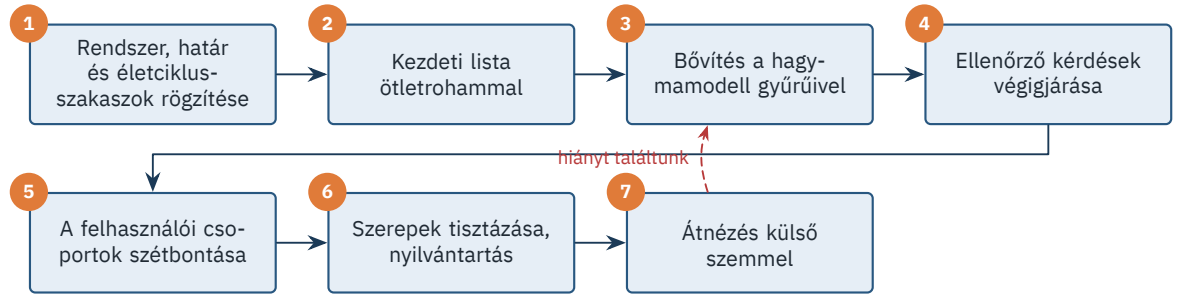
Eszközkártya

- **Mire való?** A fejlesztés érdekelt feleinek rendszerezett, teljességre törekvő összegyűjtése, és az érdekeltfél-nyilvántartás elkészítése.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel rendszerezetten, az életciklus-szakaszok és a hagymamodell segítségével összegyűjteni egy fejlesztés érdekelt feleit, a „csendes” és a negatív érdekelteket is beleértve.
- **V-lépés:** 2. Az érdekelt felek igényei; az életciklus során többször is frissül.
- **Bemenet:** a rendszer és határainak leírása, az életciklus-szakaszok, az első megbeszélések jegyzetei.
- **Kimenet:** érdekeltfél-nyilvántartás (szerepek, gyűrű, fő elvárások), a felhasználói csoportok listája.
- **Időigény:** 1–2 óra csapatmunka, utána egyeztetés néhány tájékozott kívülállóval.
- **Kézikönyv:** 5. fejezet – Érdekelt felek elemzése, 5.2. szakasz.

4.1. Mikor használd?

- **Minden fejlesztés elején**, a követelmények meghatározása előtt.
- **Az életciklus szakaszhatárain**, mert a gyártás, az üzemeltetés és a kivonás új szereplőket hoz.
- **Ha a projekt váratlan ellenállásba ütközik.** Ilyenkor gyakran kiderül, hogy egy érdekelt fél kimaradt.

4.2. Lépések



4.1. ábra. Az érdekelt felek azonosításának lépései. A szaggatott nyíl jelzi, hogy egy külső szem által feltárt hiány után újra be kell járni a bővítő lépéseket.

1. **Rögzítsd a rendszert, a határát és az életciklus-szakaszait.** Mi a termék vagy szolgáltatás? Hol ér véget? Ki gyártja, használja, tartja karban, vonja ki?

2. **Készíts kezdeti listát ötletrohammal.** Tíz percig mindenki írjon fel cetlikre minden szereplőt, aki eszébe jut, értékelés nélkül.
3. **Bővítsd a hagymamodell gyűrűivel.** Haladj belülről kifelé, és minden szerepnél kérdezd meg, ki tölti be:
   - *a mi rendszerünk*: napi kezelő, karbantartó, üzemeltetést segítő;
   - *a befoglaló rendszer*: a kimenet haszonélvezője, kapcsolódó rendszerek, megrendelő, szponzor;
   - *a tágabb környezet*: pénzügyi és politikai haszonélvező, szabályozó, fejlesztő, tanácsadó, beszállító, negatív érdekelt.
4. **Járd végig az ellenőrző kérdéseket** (kézikönyv, 5.2. szakasz): ki fizet, ki használja, ki építi és vonja ki, ki szabályozza, kit zavar, kinek a rendszerével kapcsolódik, kinek nincs hangja, ki akadályozhatja.
5. **Bontsd szét a felhasználói csoportokat.** Ahol a használat módja, gyakorisága, környezete vagy a felhasználók képességei eltérnek, ott külön csoportot vegyél fel.
6. **Tisztázd a szerepeket, és töltsd ki a nyilvántartást.** Vond össze a duplikációkat. Ahol egy szereplő több szerepben is megjelenik, a szerepeket külön sorba vedd fel. Minden sorhoz írj legalább egy fő elvárást, igényként megfogalmazva.
7. **Nézesd át külső szemmel.** Egy tapasztalt üzemeltető, egy hatósági szakember vagy egy felhasználó gyakran olyan szereplőt is megnevez, akire a csapat nem gondolt.

4.3. Kidolgozott példa: a ForgácsTech érdekelt felei

A ForgácsTech digitális átállási projektjének (kézikönyv, A. függelék) első megbeszélésén a csapat hat szereplőt sorolt fel: a tulajdonost, a termelésvezetőt, a gépkezelőket, a MES-szállítót, a vevőket és a könyvelést. A hagymamodell és az ellenőrző kérdések végigjárása után a nyilvántartás így bővült (részlet):

4.1. táblázat. A ForgácsTech érdekeltfél-nyilvántartásának részlete.

Gyűrű	Szerep	Ki tölti be?	Fő elvárás (igényként)
A mi rendszerünk	Napi kezelő	CNC-gépkezelők (három műszak)	A következő feladat aktuális rajzához és adataihoz a gép mellől, keresgélés nélkül hozzáférni
A mi rendszerünk	Napi kezelő	Gyártáselőkészítők, CNC-programozók	A rendelések állapotát és a programok változatait egy helyen látni
A mi rendszerünk	Karbantartó	Karbantartási csoport	A gépállások okait megbízhatóan rögzíteni és visszakeresni
A mi rendszerünk	Üzemeltetést segítő	Belső informatikus (részmunkaidős)	A rendszer üzemeltetése ne igényeljen állandó szakértői jelenlétet
Befoglaló rendszer	A kimenet haszonélvezője	Termelésvezető	Valós idejű kép a rendelések és a gépek állapotáról, megalapozott ütemezés

Gyűrű	Szerep	Ki tölti be?	Fő elvárás (igényként)
Befoglaló rendszer	Kapcsolódó rendszer	Könyvelés, vállalatirányítási szoftver	Az anyag- és munkaidő-adatok egyezzenek a számlázással
Befoglaló rendszer	Megrendelő, szponzor	Tulajdonos-ügyvezető	Rövidebb átfutás, kevesebb csúszás, megtérülő beruházás
Tágabb környezet	Pénzügyi haszonélvező	A fejlesztést támogató pályázat kezelője	A vállalt mutatók igazolható teljesülése
Tágabb környezet	Szabályozó	Adatvédelmi előírások, a vevői audit követelményei	Személyes adatok kezelése és nyomonkövethetőség az előírások szerint
Tágabb környezet	Fejlesztő, beszállító	MES-szállító, gépgyártók (vezérlőinterfészek)	Egyértelmű interfész-specifikáció, megfelelő hozzáférés a gépekhez
Tágabb környezet	A kimenet haszonélvezője	Járműipari vevők minőségügye	Alkatrészszintű nyomonkövethetőség, kimutatható folyamatképesség
Tágabb környezet	Negatív érdekelt	A gépkezelők egy része, aki ellenőrzéstől tart	A mérés ne egyéni teljesítményértékelésre, hanem a folyamat javítására szolgáljon

Tanulságok. A bővítés három olyan szereplőt hozott felszínre, amelynek kihagyása komoly kockázat lett volna.

- **Az ellenőrzéstől tartó gépkezelők.** Nélkülük a projekt a bevezetésnél ellenállásba ütközne. Igényük tervezési elvként azonnal bekerült a követelmények közé: a mérés a folyamatot szolgálja, nem az egyéni teljesítményértékelést.
- **A pályázatkezelő.** Az ő mutatói meghatározzák a hatékonyság mérőszámait.
- **A vállalatirányítási szoftverrel való kapcsolat.** Ez interfészkövetelményt jelent, amely különben csak az integrációnál derült volna ki.

4.4. Sablon és notebook

- erdekelt_felek_sablon.xlsx: nyilvántartás, legördülő gyűrűválasztás, automatikus negyed- és fontossági besorolás, rácsdiagram; kitöltött VárosiBringa-példával.
- erdekelt_felek.ipynb · Megnyitás Google Colabban: a nyilvántartásból kiszámítja a negyedeket és a fontossági osztályokat, bevonási javaslatot ad, és felrajzolja a hatalom–érdekeltség rácsot. A beépített VárosiBringa-példával azonnal futtatható; saját adatokhoz a kitöltött sablon tölthető fel.

4.5. Előnyök és korlátok

4.2. táblázat. Az érdekeltfél-azonosítás előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Szerepekben gondolkodtat, így a kevésbé látható érdekeltek is előkerülnek	Nem garantálja a teljességet; a helyismeretet nem pótolja
Gyors, csapatban is jól végezhető	Az elvárásokat csak vázlatosan rögzíti; a feltárás külön lépés
A nyilvántartás a teljes projekt során újrahasznosítható	Ha nem frissítik, elavul, mert az érdekelt felek köre változik

Gyakori buktató

- **Személyek a szerepek helyett.** Ha egy névsor készül, a szerepek elsikkadnak, és amikor egy személy távozik, a nézőpont is eltűnik.
- **Egyetlen „felhasználó” csoport.** A különböző felhasználói csoportok eltérő elvárásai így nem jelennek meg.
- **A negatív érdekeltek elhallgatása.** Kényelmetlen róluk beszélni, de ők a legnagyobb meglepetések forrásai.
- **Megoldás az elvárás oszlopban.** A „tablet minden gép mellé” megoldás. Az igény az, ami mögötte van.

4.6. Mintapromptok

Mintaprompt: hiányzó szerepek keresése

```
Szerepkör: rendszermérnök vagy, aki egy érdekeltfél-elemzést ellenőriz.

A rendszer: [1–3 mondatos leírás, határokkal együtt].
Életciklus: [koncepció, fejlesztés, gyártás, használat, támogatás, kivonás
– a projektre jellemző sajátosságokkal].
Eddigi listánk (szerep – ki tölti be):
[IDE ILLESZD BE A LISTÁT]

Feladat: Ian Alexander hagymamodelljének szerepei (napi kezelő,
karbantartó, üzemeltetést segítő, a kimenet haszonélvezője, kapcsolódó
rendszer, megrendelő, szponzor, pénzügyi és politikai haszonélvező,
szabályozó, fejlesztő, tanácsadó, beszállító, negatív érdekelt) és az
életciklus-szakaszok alapján jelezd, mely szerepek hiányozhatnak.
Minden javaslatnál írd le, milyen helyzetben érinti őket a rendszer.
Ne találj ki konkrét szervezet- vagy személyneveket. Ahol bizonytalan
vagy, kérdezz.
```

Mintaprompt: felhasználói csoportok szétbontása

```
A rendszerünk felhasználói jelenleg egyetlen csoportként szerepelnek:
"[felhasználók]". A rendszer: [leírás].
Javasolj legfeljebb hat felhasználói csoportot, amelyek elvárásai
érdemben eltérhetnek egymástól. Szempontok: használati gyakoriság,
környezet, képességek (például látás, mozgás, digitális jártasság),
cél. Minden csoporthoz adj meg egy-egy kérdést, amelyet interjúban
feltennénk nekik.
```

A modell javaslatai hipotézisek. Egy szerep csak akkor kerül a nyilvántartásba, ha a csapat igazolni tudja, hogy valódi érintettje a rendszernek.

4.7. Feladat

2. projektlépés (első rész): érdekeltfél-nyilvántartás

Készítsd el saját projekted érdekeltfél-nyilvántartását a sablon „Nyilvántartás” lapján: legalább tíz szerep, ebből legalább három a tágabb környezetből, és legalább egy negatív érdekelt. A felhasználókat bontsd legalább két csoportra.

5. Hatalom–érdekeltség és fontossági elemzés

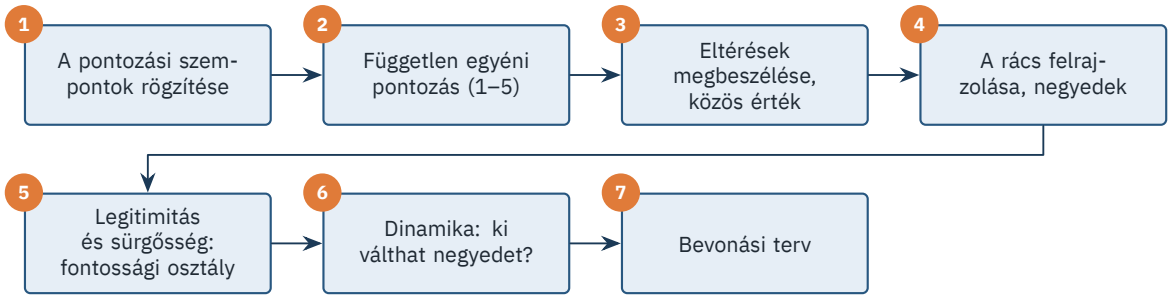
Eszközkártya

- **Mire való?** Az érdekelt felek priorizálása, és mindegyikhez a megfelelő bevonási mód kijelölése.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel elhelyezni az érdekelt feleket a hatalom–érdekeltség rácson és a fontossági modellben, és mindegyikhez indokolt bevonási módot rendelni.
- **V-lépés:** 2. Az érdekelt felek igényei; a felülvizsgálatokon frissül.
- **Bemenet:** érdekeltfél-nyilvántartás (4. eszközlap).
- **Kimenet:** pontozott nyilvántartás, hatalom–érdekeltség rács, fontossági osztályok, bevonási terv.
- **Időigény:** 1–2 óra csapatmunka.
- **Kézikönyv:** 5. fejezet, 5.3. szakasz.

5.1. Mikor használd?

- **Az érdekelt felek azonosítása után**, mielőtt az elvárások feltárására időt és energiát osztunk.
- **Ha korlátozott a kapacitás:** kivel készítsünk interjút, kit hívjunk workshopra, kit elég tájékoztatni?
- **Konfliktusos helyzetekben:** kik a kulcsszereplők, és kik válhatnak azzá?

5.2. Lépések



5.1. ábra. A hatalom–érdekeltség és fontossági elemzés lépései.

1. **Rögzítsd a pontozási szempontokat** (5.1. táblázat). Mindenki ugyanazt értse a pontszámokon.

2. **Pontozzatok egymástól függetlenül.** Minden csapattag egyedül pontozza az érdekelt feleket 1-től 5-ig mindkét szempont szerint. Így elkerülhető, hogy a leghangosabb vélemény határozza meg az eredményt.
3. **Beszéljétek meg az eltéréseket.** Ahol a pontszámok kettőnél többel eltérnek, ott valaki mást tud vagy mást ért. Ezek a viták a legértékesebbek. Rögzítsétek a közös értéket és az indoklást.
4. **Rajzold fel a rácsot.** A negyedek határa a skála közepe (3). A sablon a negyedet és a rácsdiagramot automatikusan elkészíti.
5. **Vizsgáld meg a legitimitást és a sürgősséget**, és határozd meg a fontossági osztályt (szunnyadó, mérlegelhető, követelőző, domináns, veszélyes, függő, meghatározó).
6. **Gondold végig a dinamikát.** Ki szerezhet hatalmat (szövetséggel, hatósági eljárással, sajtóval)? Kinek nőhet az érdekeltsége (egy rossz hír, egy baleset nyomán)? Kit érdemes tudatosan áthelyezni, például egy támogató érintettet kulcsszereplővé emelni?
7. **Készíts bevonási tervet:** a bevonás módja, csatornája, gyakorisága és felelőse érdekelt felenként.

5.1. táblázat. Pontozási útmutató a hatalom és az érdekeltség megítéléséhez.

Pont	Hatalom	Érdekeltség
1	Nincs eszköze a rendszer befolyásolására	A rendszer nem érinti, nem foglalkozik vele
2	Közvetve, más szereplőkön keresztül hathat	Érinti, de csak kis mértékben vagy ritkán
3	Véleményét figyelembe veszik; lassíthatja a projektet	Érzékelhetően érinti a munkáját, mindennapjait
4	Fontos erőforrás vagy jóváhagyás felett rendelkezik	Erősen érinti; aktívan figyeli, véleményt nyilvánít
5	Megállíthatja vagy alapvetően átalakíthatja a projektet	A rendszer a mindennapjai vagy az üzleti eredménye központi eleme

5.3. Kidolgozott példa: a KoboCella priorizálása

A csapat a hagymamodellben azonosított szerepeket (kézikönyv, 5.1. ábra) pontozta. Az eredmény és a bevonási terv részletét a 5.2. táblázat mutatja.

5.2. táblázat. A KoboCella érdekelt feleinek priorizálása és bevonási terve (részlet). H = hatalom, É = érdekeltség (1–5); L = legitim követelés, S = sürgős követelés (1 = igen).

Érdekelt fél	H	É	L	S	Negyed	Fontossági osztály	Bevonás
Üzemigazgató (szponzor)	5	4	1	1	kulcsszereplő	meghatározó	Kéthetente státuszegyeztetés; felülvizsgálatok résztvevője
Operátorok	2	5	1	1	érintett	függő	Két operátor a csapat tagja; makett- és próbaüzemi tesztek

Érdekelt fél	H	É	L	S	Negyed	Fontossági osztály	Bevonás
Üzemi tanács	3	4	1	1	kulcsszereplő	meghatározó	Korai tájékoztatás a munkaszervezési hatásokról; véleményezés
Munkavédelmi hatóság és szabványok	5	2	1	0	keretadó	domináns	A kockázatértékelés és a biztonsági koncepció korai egyeztetése szakértővel
Karbantartás	3	4	1	0	kulcsszereplő	domináns	Bevonás a részletes tervbe és az FMEA-ba
Robotintegrátor	3	4	1	0	kulcsszereplő	domináns	Szerződéses műszaki egyeztetések, közös tervfelülvizsgálat
Kerékpárgyártó vevő	4	2	1	0	keretadó	domináns	Tájékoztatás a minőségi mutatók javulásáról; auditra felkészülés
Anyavállalati központi beszerzés	4	1	1	0	keretadó	domináns	Beruházási javaslat a szabályzat szerint; tájékoztatás a mérföldköveknél

Tanulságok:

- **Az operátorok függő érdekeltek** (legitim és sürgős követelés, kis hatalom). A csapat nem várja meg, hogy az üzemi tanács révén hatalmat szerezzenek: a kezdetektől bevonja őket. Így a konfliktus helyett tudás érkezik a projektbe.
- **A munkavédelmi előírások keretadók.** Kevéssé érdekeltek a projekt részleteiben, de egy biztonsági hiányosság megállíthatja az üzembe helyezést. Ezért a biztonsági koncepciót korán egyeztetni kell.
- **A központi beszerzés szunnyadó hatalmú** volt, amíg a beruházás összege a helyi jogkörön belül maradt. Ha a költség átlépi a határt, közvetlenül érdekeltté válik. Ezt a kockázatot a csapat a kockázatlistára is felvette.

5.4. Sablon és notebook

- erdekelt_felek_sablon.xlsx: a „Nyilvántartás” lap pontozási oszlopai és automatikus besorolása, rácsdiagram, valamint a kézikönyv VárosiBringa-példája kitöltve.
- erdekelt_felek.ipynb · Megnyitás Google Colabban: a nyilvántartásból kiszámítja a negyedeket és a fontossági osztályokat, bevonási javaslatot ad, és felrajzolja a hatalom–érdekeltség rácsot. A beépített VárosiBringa-példával azonnal futtatható; saját adatokhoz a kitöltött sablon tölthető fel.

5.5. Előnyök és korlátok

5.3. táblázat. A priorizálás előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Egyszerű, szemléletes, csapatban gyorsan elvégezhető	A pontozás szubjektív; a független pontozás és a megbeszélés csak mérsékli ezt
A bevonási erőforrásokat tudatosan osztja el	Pillanatfelvétel: a helyzetek változnak, rendszeresen frissíteni kell
A fontossági modell a dinamikát és a kockázatokat is láthatóvá teszi	Az érdekelt felek közötti kapcsolatokat (szövetségeket) nem mutatja

Gyakori buktató

- **A hangerő nem hatalom.** Aki sokat panaszkodik, nem feltétlenül befolyásos. Aki hallgat, attól még megállíthatja a projektet.
- **A „tömeg” elfelejtése.** A kis hatalmú és kis érdekeltségű szereplők helyzete egyik napról a másikra megváltozhat.
- **A rács mint ítélet.** A rács belső munkaanyag. Érzékeny megítéléseket tartalmaz, ezért körültekintően kell kezelni és megosztani.

5.6. Mintapromptok

Mintaprompt: a pontozás ellenőrzése ördögügyvédként

```
Az alábbi táblázat egy fejlesztési projekt érdekelt feleinek
hatalom- és érdekeltségpontszámait tartalmazza (1–5), indoklással.
A projekt: [leírás].
[IDE ILLESZD BE A TÁBLÁZATOT]

Feladat: játszd az ördög ügyvédjét. Keress legfeljebb öt olyan
pontszámot, amelyet alul- vagy túlbecsülhettünk, és mindegyiknél írj
le egy konkrét forgatókönyvet, amelyben a becslésünk tévesnek bizonyul
(például szövetség, hatósági eljárás, sajtóhír). Ne javasolj új
pontszámot; a döntés a csapaté.
```

Mintaprompt: bevonási terv vázlata

```
A következő érdekelt feleket kulcsszereplőnek, illetve érintettnek
soroltuk be: [lista negyeddel és fő elvárással].
Javasolj mindegyikhez bevonási módot (közös döntés, konzultáció,
tájékoztatás), csatornát és gyakoriságot egy [x] hetes projektre.
Vedd figyelembe, hogy a csapat kapacitása heti [y] óra kapcsolattartás.
Ahol a kapacitás nem elég, jelezd, kit érdemes csoportosan bevonni.
```

5.7. Feladat

2. projektlépés (második rész): priorizálás és bevonási terv

Pontozzátok egymástól függetlenül a nyilvántartás érdekelt feleit, beszéljétek meg az eltéréseket, és készítsétek el a hatalom–érdekeltség rácsot. A kulcsszereplőkhöz és az érintettekhez írjatok bevonási tervet. Legalább egy érdekelt félnél írjátok le, milyen fordulat helyezhetné át egy másik negyedbe.

6. Interjú és megfigyelés

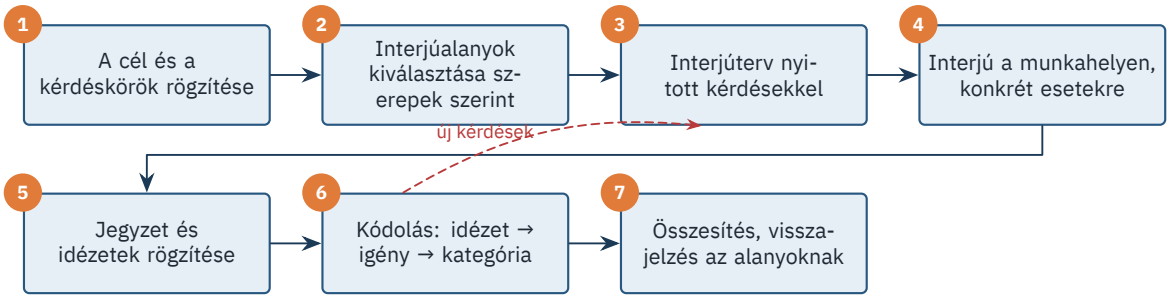
Eszközkártya

- **Mire való?** Az érdekelt felek elvárásainak, valódi igényeinek és a jelenlegi működés rejtett részleteinek feltárása személyes beszélgetéssel és a munka helyszíni megfigyelésével.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel félig strukturált interjút és helyszíni megfigyelést megtervezni, lebonyolítani és kiértékelni, és a nyers jegyzetekből megoldásfüggetlen igényeket megfogalmazni.
- **V-lépés:** 2. Az érdekelt felek igényei; a ConOps és a követelmények forrása.
- **Bemenet:** érdekeltfél-nyilvántartás és priorizálás (4. és 5. eszközlap), a probléma első megfogalmazása.
- **Kimenet:** interjújegyzetek, kódolt idézetek, megoldásmentesen megfogalmazott igények kategóriánként.
- **Időigény:** interjúnként 45–75 perc, a kódolás interjúnként további 1–2 óra.
- **Kézikönyv:** 5. fejezet, 5.4. szakasz; 4. fejezet.

6.1. Mikor használd?

- **Ha meg kell érteni, hogyan működnek a dolgok valójában**, nem csak papíron. A hivatalos folyamatleírás és a valós munka gyakran eltér.
- **Ha a kérések megoldások formájában érkeznek** („kell egy tablet”), és meg kell találni mögöttük az igényt.
- **A kérdőív előtt**, hogy kiderüljön, mit érdemes egyáltalán kérdezni, és milyen válaszlehetőségek vannak.
- **Rendellenes forgatókönyvek gyűjtésére**: a gyakorlott felhasználók tudják, mi szokott elromlani, és mit csinálnak ilyenkor.

6.2. Lépések



6.1. ábra. Az interjú és a megfigyelés lépései.

1. **Rögzítsd a célt és a kérdésköröket.** Mit akarsz megtudni? Milyen döntést fog segíteni az eredmény?
2. **Válaszd ki az interjúalanyokat szerepek szerint.** A hatalom–érdekeltség rács kulcsszereplőit és érintettjeit mindenképp. A felhasználói csoportokból több embert is kérdezz meg, mert egy ember véleménye nem a csoporté. Guest és szerzőtársai egy viszonylag egynemű csoporttal végzett vizsgálatában az új témák túlnyomó többsége már az első tizenkét interjúban megjelent, a későbbiek alig hoztak újat (Guest, Bunce, és Johnson 2006). Ha az újabb interjúk már nem hoznak új témát (telítődés), érdemes továbblépni.
3. **Készíts interjútervet.** Félig strukturált interjút javaslunk: rögzített témák és nyitó kérdések, de rugalmas sorrend és mélyítő kérdések. A kérdések nyitottak legyenek („mesélje el…”, „mi történt legutóbb, amikor…”), ne eldöntendők. Konkrét esetekre kérdezz, ne általánosságokra.
4. **Készítsd az interjút a munkahelyen.** Beyer és Holtzblatt kontextuális vizsgálati módszere szerint a legtöbbet akkor tudjuk meg, ha a felhasználót a saját munkakörnyezetében, munka közben figyeljük meg és kérdezzük. A kapcsolatot a mester és a tanítvány viszonyához hasonlítják: a felhasználó a szakértő, a tervező tőle tanul (Beyer és Holtzblatt 1998).
5. **Rögzíts szó szerint.** Az interjúhoz kérj hozzájárulást a jegyzeteléshez. Ha lehet, ketten menjetek: egy kérdez, egy jegyzetel. Az idézeteket szó szerint írd le. Az értelmezés a következő lépés.
6. **Kódold a jegyzeteket.** Minden idézethez fogalmazd meg a mögötte álló igényt megoldásmentesen, és sorold kategóriába (funkció, teljesítmény, kezelhetőség, megbízhatóság, biztonság, költség, adat). Kérdezd meg: *miért kell ez?* A válasz az igény.
7. **Összesíts, és adj visszajelzést.** A kategóriákban összegyűlt igényeket mutasd meg az interjúalanyoknak: jól értetted-e őket? Ez egyben az érdekeltek bevonásának is fontos eszköze.

> **Félig strukturált interjú**
>
> Brinkmann és Kvale kvalitatív interjúzásról írt kézikönyve szerint a félig strukturált interjú célja, hogy az interjúalany saját életvilágának leírását kapjuk meg, és ezt értelmezzük (Brinkmann és Kvale 2015). Az interjú nem kötetlen beszélgetés, de nem is szigorú kérdőív. Témákra és javasolt kérdésekre épül, de a kérdező a válaszok nyomán szabadon mélyít, és követi a váratlan, de fontos szálakat.

6.3. Kidolgozott példa: a ForgácsTech interjúi

A projektcsapat négy interjút készített: két CNC-gépkezelővel (megmunkáló központ, illetve esztergák), a termelésvezetővel és a minőségügyi vezetővel. A gépkezelőkkel a gépek mellett, műszak közben, a termelésvezetővel az irodájában beszéltek. A kódolt idézetek egy részét a 6.1. táblázat mutatja.

6.1. táblázat. A ForgácsTech interjúinak kódolt részlete.

Idézet (szó szerint)	Igény (megoldásmentesen)	Kategória
„Hétfőn megkapom a papírt, de szerdára már semmi sem igaz belőle.”	A gépkezelő a munka sorrendjének aktuális változását időben ismerje.	adat, információ

Idézet (szó szerint)	Igény (megoldásmentesen)	Kategória
„Ha nincs anyag, elmegyek a raktárba, és ott derül ki, hogy nincs.”	A munka kiadásakor ismert legyen, hogy az anyag rendelkezésre áll-e.	funkció
„Tablet kell minden gép mellé.”	A gépnél, kézmosás nélkül is elérhető legyen a munkautasítás és a rajz.	kezelhetőség
„Olajos kézzel nem tudom nyomkodni a képernyőt.”	A gépnél használt kezelőfelület olajos, kesztyűs kézzel is működjön.	kezelhetőség
„Pénteken mindig túlórázunk, mert a vevő szólt, hogy sürgős.”	A sürgős rendelések hatása a többi határidőre előre látható legyen.	funkció
„Az audit előtt két napig keressük a papírokat.”	Egy munkadarab gyártási adatai néhány perc alatt visszakereshetők legyenek.	adat, információ

Tanulságok:

- **A „tablet minden gép mellé” megoldás, nem igény.** A mögötte álló igény a munkautasítás és a rajz elérhetősége a gépnél. A második gépkezelő idézete („olajos kézzel nem tudom nyomkodni”) azonnal megmutatta, hogy a tablet nem is jó megoldás. A csapat később falra szerelt, kesztyűvel is használható ipari kijelzőt és vonalkódolvasót választott.
- **A megfigyelés többet mutatott, mint a kérdések.** Az egyik gépkezelő a beszélgetés közben háromszor ment el kérdezni a művezetőtől, hogy mi a következő munka. Ezt a szokást egyik interjúban sem említették, mert annyira megszokott volt.
- **Az igények a probléma okaihoz vezetnek.** A kódolt igények szinte pontosan a problémafa okait adták vissza (kézikönyv, 4. fejezet). Ez megerősítette a csapatot abban, hogy a problémát jól fogalmazták meg.

6.4. Sablon

- interju_sablon.xlsx: interjúterv nyitott kérdésekkel és időkerettel, interjúnapló a hozzájárulás rögzítésével, kódolási lap (idézet → igény → kategória → érdekelt fél → fontosság) és automatikus összesítés kategóriánként, diagrammal. A ForgácsTech példájával kitöltve.

6.5. Előnyök és korlátok

6.2. táblázat. Az interjú és a megfigyelés előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Mély megértés, váratlan összefüggések	Időigényes; kevés alannyal dolgozik, ezért nem reprezentatív
Feltárja a kimondott megoldás mögötti igényt	Az eredmény függ a kérdező ügyességétől és előfeltevéseitől
A helyszíni megfigyelés a hallgatólagos tudást is megmutatja	Az alanyok gyakran azt mondják, amit szerintük hallani akarunk

Előnyök	Korlátok
Egyben az érdekelt felek bevonásának eszköze	Érzékeny információk kerülhetnek elő; etikus adatkezelés kell

Gyakori buktató

- **Rávezető kérdések.** A „Ugye hasznos lenne egy tablet?” kérdésre mindenki igent mond. Kérdezz inkább így: „Hogyan jut hozzá most a rajzhoz?”
- **Megoldások gyűjtése igények helyett.** Minden megoldásjavaslatnál kérdezd meg: miért lenne ez jó?
- **Csak a vezetők megkérdezése.** A vezető tudja, mit *kellene* csinálni, a gépkezelő azt, mit *csinálnak*.
- **Értelmezés a jegyzetben.** Ha a jegyzetbe már a saját értelmezésedet írod, elveszik az eredeti szó. Idézz szó szerint, és külön oszlopba írd az értelmezést.
- **Visszajelzés nélküli adatgyűjtés.** Ha az interjúalany soha nem hallja, mi lett a véleményével, legközelebb nem fog őszintén beszélni.

6.6. Mintapromptok

Mintaprompt: interjúterv vázlata

```
Fejlesztési projektünk: [rövid leírás]. Interjút készítünk a következő
szereppel: [szerep, például CNC-gépkezelő], a munkahelyén, 60 percben.
Feladat: készíts félig strukturált interjútervet 6–8 témával. Minden
témához egy nyitott, konkrét esetre rákérdező nyitó kérdést és 2–3
mélyítő kérdést írj. Kerüld az eldöntendő és a rávezető kérdéseket,
és ne javasolj megoldást a kérdésekben. A végén jelöld meg, melyik
kérdés segít a rendellenes helyzetek feltárásában.
```

Mintaprompt: idézetek kódolásának ellenőrzése

```
Az alábbi táblázatban interjúidézetek és az általunk megfogalmazott
igények szerepelnek: [TÁBLÁZAT: idézet | igény | kategória].
Ellenőrizd soronként: (1) az igény megoldásmentes-e (nem nevez meg
technológiát vagy eszközt); (2) hű-e az idézethez, nem tesz-e hozzá
olyat, ami az idézetből nem következik; (3) jó-e a kategória.
Ahol hibát találsz, javasolj átfogalmazást, és indokold egy mondatban.
Ne találj ki új igényeket.
```

6.7. Feladat

2. projektlépés (harmadik rész): interjúk

Készíts legalább két interjút saját projekted kulcsszereplőivel vagy érintettjeivel a sablon interjútervének a projektedhez igazított változatával. Lehetőleg a munkahelyükön, legalább részben megfigyeléssel. Kódold az idézeteket (legalább 10 sor), és foglald össze kategóriánként a legfontosabb igényeket. Jelöld meg, melyik igény mond ellent a kezdeti problémamegfogalmazásodnak.

7. Kano-elemzés

Eszközkártya

- **Mire való?** Az érdekelt felek elvárásainak osztályozása aszerint, hogyan függ az elégedettség az egyes jellemzők teljesülésétől: alapvető, egydimenziós, vonzó, közömbös vagy fordított.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel Kano-kérdőívet összeállítani és kiértékelni, az elvárásokat Kano-kategóriákba sorolni, és kiszámítani az elégedettségi és elégedetlenségi együtthatókat.
- **V-lépés:** 2. Az érdekelt felek igényei; eredménye a követelmények súlyozásának és a QFD-nek a bemenete.
- **Bemenet:** a vizsgálandó jellemzők listája, a célcsoportok, elérhető válaszadók.
- **Kimenet:** jellemzőnkénti besorolás, elégedettségi együtthatók (CS^+, CS^-), elégedettségi diagram.
- **Időigény:** a kérdőív összeállítása 2–3 óra, az adatgyűjtés napok, a kiértékelés a sablonnal fél óra.
- **Kézikönyv:** 5. fejezet, 5.5. szakasz.

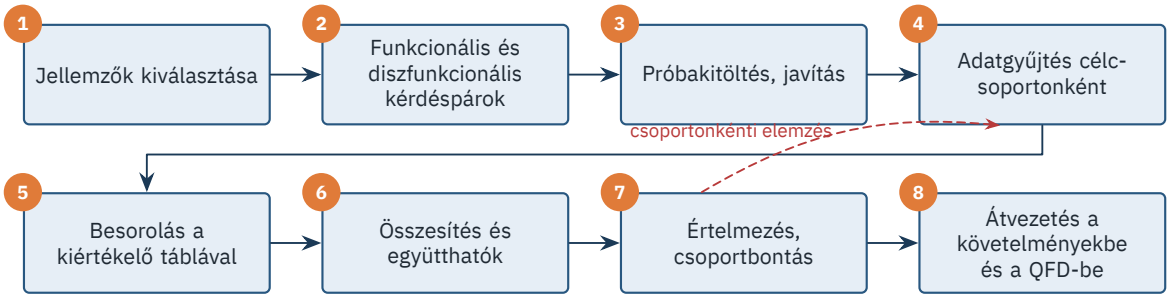
7.1. Mikor használd?

- **Ha sok lehetséges jellemző közül kell választani**, és tudni kell, melyik kötelező, melyikben érdemes versenyezni, és melyik lehet megkülönböztető.
- **Szolgáltatásoknál és felhasználói termékeknél**, ahol a felhasználók köre elég nagy ahhoz, hogy legalább néhány tucat válasz gyűljön össze csoportonként.
- **A követelmények súlyozása előtt**, a minőség házának bemeneteként.

Mikor ne? Ha a jellemző annyira új, hogy a válaszadók nem tudják elképzelni, előbb mutasd be leírással, képpel vagy prototípussal. Ha csak néhány válaszadó van (például egy megrendelő), interjú és megbeszélés a jobb eszköz.

7.2. Lépések

1. **Válaszd ki a jellemzőket.** Legyenek egymástól függetlenek, a felhasználó számára érthetők, és megoldásfüggetlenek, amennyire lehet. A kérdőív hossza miatt egyszerre legfeljebb 15–20 jellemzőt vizsgálj.
2. **Fogalmazd meg a kérdéspárokat.** Minden jellemzőhöz egy funkcionális kérdés („Mit érezne, ha …?”) és egy diszfunkcionális kérdés („Mit érezne, ha nem …?”) tartozik. A két kérdés szövege a tagadástól eltekintve legyen azonos.
3. **Próbáld ki a kérdőívet** néhány emberrel, és javítsd a félreérthető megfogalmazásokat.



7.1. ábra. A Kano-elemzés lépései. A szaggatott nyíl jelzi, hogy megosztott eredménynél a besorolást célcsoportonként meg kell ismételni.

4. **Gyűjts adatot célcsoportonként.** Rögzítsd a válaszadó csoportját is (például korcsoport, műszak, használati gyakoriság), hogy később szét lehessen bontani az eredményt.
5. **Sorold be a válaszpárokat** a kiértékelő táblázattal (7.1. táblázat).
6. **Összesíts és számold ki az együtthatókat** (7.1. egyenlet).
7. **Értelmezd az eredményt.** Ha két kategória gyakorisága közel azonos, vagy sok a fordított válasz, bontsd az elemzést célcsoportokra.
8. **Vezesd át az eredményt** a követelményekbe és a minőség házába. Az alapvető jellemzőkből kötelező követelmények lesznek. Az egydimenziósakhoz versenyképes célérték tartozik. A vonzók a koncepcióválasztás megkülönböztető szempontjai.

7.2.1. A kérdőív

Mindkét kérdésre ugyanaz az öt válaszlehetőség tartozik:

1. *Tetszene.*
2. *Elvárom, magától értetődő.*
3. *Közömbös.*
4. *Elviselném.*
5. *Nem tetszene.*

Példa egy kérdéspárra a KoboCella operátorai számára:

- **Funkcionális:** *„Mit érezne, ha a munkaasztal magassága gombnyomásra az Ön testmagasságához igazodna?”*
- **Diszfunkcionális:** *„Mit érezne, ha a munkaasztal magassága rögzített lenne?”*

7.2.2. Kiértékelés

7.1. táblázat. A Kano-kiértékelő táblázat. V = vonzó, E = egydimenziós, A = alapvető, Kö = közömbös, F = fordított, K = kétséges. Berger és mtsai. (1993) alapján.

Funkcionális \ diszfunkcionális	1 Tetszene	2 Elvárom	3 Közömbös	4 Elviselném	5 Nem tetszene
1 Tetszene	K	V	V	V	E
2 Elvárom	F	Kö	Kö	Kö	A
3 Közömbös	F	Kö	Kö	Kö	A

Funkcionális \ diszfunkcionális	1 Tetszene	2 Elvárom	3 Közömbös	4 Elviselném	5 Nem tetszene
4 Elviselném	F	Kö	Kö	Kö	A
5 Nem tetszene	F	F	F	F	K

Az elégedettségi együtthatók (Berger és mtsai. 1993):

$$CS^{+} = \frac{V + E}{V + E + A + Kö}, \qquad CS^{-} = -\frac{E + A}{V + E + A + Kö}. \tag{7.1}$$

A CS^{+} azt mutatja, mennyire növeli a jellemző megléte az elégedettséget (0 és 1 között). A CS^{-} azt, mennyire csökkenti a hiánya (–1 és 0 között). Az elégedettségi diagramon a CS^{+} értéket a $|CS^{-}|$ függvényében ábrázoljuk. A négy negyed (0,5-ös határokkal) a vonzó, az egydimenziós, az alapvető és a közömbös jellemzőket különíti el.

7.3. Kidolgozott példa: a KoboCella operátori Kano-elemzése

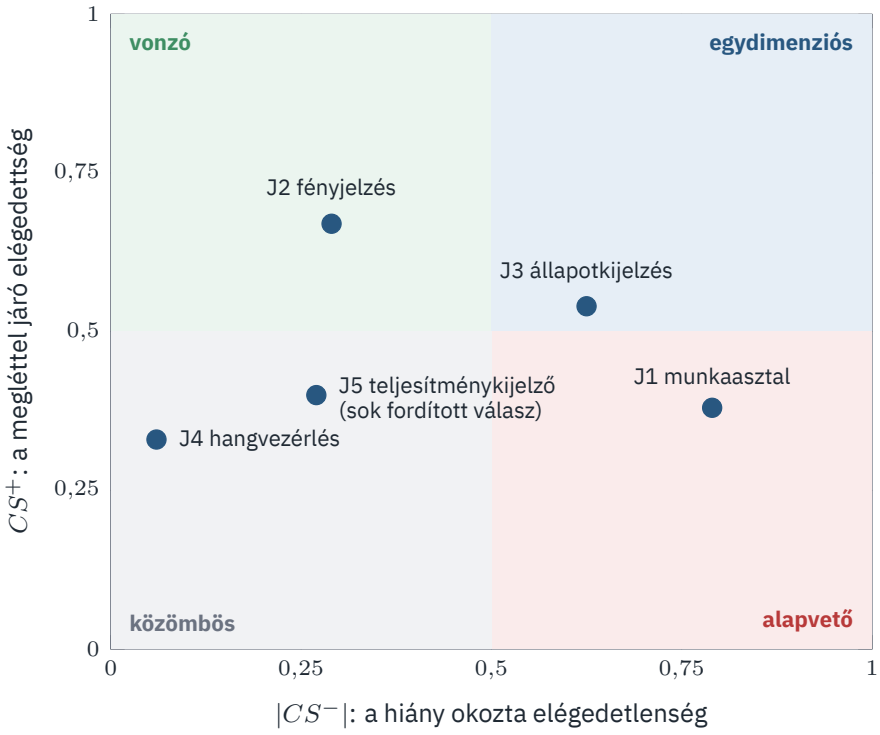
A KoboCella-csapat a cella kezelőfelületének és munkahelyének öt lehetséges jellemzőjéről kérdezte meg a három műszak 24 operátorát. A válaszok összesítését és az együtthatókat a 7.2. táblázat, az elégedettségi diagramot a 7.2. ábra mutatja (szemléltető adatok).

7.2. táblázat. A KoboCella operátori Kano-elemzésének eredménye (24 válaszadó, szemléltető adatok).

Kód	Jellemző	V	E	A	Kö	F	K	Besorolás	CS^{+}	CS^{-}
J1	Állítható munkaasztal-magasság	3	6	13	2	0	0	alapvető	0,38	–0,79
J2	Fényjelzés a következő műveletről	11	5	2	6	0	0	vonzó	0,67	–0,29
J3	A kobot állapotának és zónájának kijelzése	4	9	6	5	0	0	egydimenziós	0,54	–0,63
J4	Hangvezérlés	5	1	0	12	6	0	közömbös	0,33	–0,06
J5	Egyéni teljesítménykijelző a cellán	3	3	1	8	9	0	fordított	0,40	–0,27

Értelmezés:

- **Az állítható munkaasztal alapvető elvárás** ($CS^{-} = -0{,}79$). Hiánya erős elégedetlenséget okozna, ezért a csapat kötelező követelményként rögzítette.
- **A fényjelzés vonzó.** Nem várják el, de nagy elégedettséget okozna, és a betanulást is gyorsíthatja. Olcsó, ezért bekerült a koncepcióba.



7.2. ábra. A KoboCella operátori Kano-elemzésének elégedettségi diagramja. A CS^- értékek abszolút értékben szerepelnek.

- **Az állapotkijelzés egydimenziós.** Minél jobb, annál elégedettebbek. A biztonságérzet és a bizalom miatt itt a versenyképes szint a cél.
- **A hangvezérlés a többségnek közömbös**, a hat fordított válasz a zajos környezetből fakadhat. Nem kerül be a koncepcióba.
- **Az egyéni teljesítménykijelző fordított.** Az operátorok egy része kifejezetten nem szeretné. Ez fontos jelzés. A csapat nem egyéni, hanem műszakszintű, a folyamat javítását szolgáló kijelzést tervez, és a megoldást az üzemi tanáccsal is egyezteti. A kis mintán (24 fő) a besorolások bizonytalanok, ezért a csapat a fontos döntések előtt célzott interjúkkal is ellenőrzi az eredményt.

7.4. Sablon és notebook

- kano_sablon.xlsx: jellemzők és kérdések, válaszok kódolva (1–5), automatikus besorolás a kiértékelő táblázattal, összesítés, együtthatók és elégedettségi diagram. A kézikönyv VárosiBringa-példájának 120 válaszával feltöltve.
- kano_elemzes.ipynb · Megnyitás Google Colabban: ugyanez Pythonban: besorolás, együtthatók és elégedettségi diagram. A beépített példával azonnal futtatható; saját adatokhoz a kitöltött sablon „Válaszok” lapját olvassa be. Telepítést nem igényel.

7.5. Előnyök és korlátok

7.3. táblázat. A Kano-elemzés előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
A jellemzők nem lineáris hatását is megmutatja; segít a prioritások kijelölésében	Sok válaszadót igényel; kis mintán a besorolás bizonytalan
Egyszerű, szabványos kérdőív; gyorsan kiértékelhető	A kétkérdéses forma fárasztó, és a válaszadók félreérthetik
Feltárja a megosztó és a nem kívánt jellemzőket is	Pillanatfelvétel; a besorolás idővel változik (a vonzóból elvárt lesz)

Gyakori buktató

- **Nem tükörszimmetrikus kérdéspár.** Ha a két kérdés nem ugyanarról szól („Mit érezne, ha gyors lenne?” / „Mit érezne, ha lassú lenne?”), a besorolás torzul. A diszfunkcionális kérdés a jellemző *hiányára* kérdezzen.
- **Csoportok összemosása.** Ha a diákok és az idősebb lakók válaszait együtt összesítjük, a jellemző közömbösnek tűnhet, miközben az egyik csoportnak alapvető, a másiknak fordított.
- **Túl sok jellemző.** Harminc kérdéspár után a válaszok minősége romlik.
- **A „leggyakoribb kategória” túlértelmezése.** Ha a két legnagyobb kategória közel azonos, ne mondj ki egyértelmű besorolást.

7.6. Mintapromptok

Mintaprompt: kérdéspárok megfogalmazása és ellenőrzése

```
Kano-kérdőívet készítünk [célcsoport] számára a következő rendszerhez:
[rendszer leírása]. A vizsgálandó jellemzők: [lista].

Feladat:
1. Minden jellemzőhöz fogalmazz meg egy funkcionális ("Mit érezne, ha ...?")
   és egy diszfunkcionális ("Mit érezne, ha nem ...?") kérdést, egyszerű,
   a célcsoport számára érthető nyelven.
2. Ellenőrizd, hogy a két kérdés a tagadástól eltekintve azonos-e, és
   hogy egyik sem sugall választ.
3. Jelezd, ha egy jellemző valójában két jellemzőt takar, vagy megoldást
   ír elő igény helyett.
Formátum: táblázat (jellemző | funkcionális | diszfunkcionális | megjegyzés).
```

Mintaprompt: az eredmények értelmezésének ellenőrzése

```
Az alábbi táblázat egy Kano-elemzés összesített eredménye
(V, E, A, Kö, F, K darabszámok és CS+, CS− értékek), [n] válaszadóval,
[csoportok leírása].
[IDE ILLESZD BE A TÁBLÁZATOT]

Feladat: jelezd, mely besorolások bizonytalanok (közel azonos
kategóriagyakoriságok, sok fordított vagy kétséges válasz, kis minta),
és javasolj célzott kérdéseket vagy csoportbontást a tisztázásukra.
Ne számold újra az együtthatókat; ha számítási hibát látsz, jelezd.
```

7.7. Feladat

2. projektlépés (opcionális bővítés): Kano-elemzés

Válassz ki saját projektedben 5–8 jellemzőt, és készíts róluk Kano-kérdőívet. Gyűjts legalább 20 választ a fő felhasználói csoport(ok)ból, értékeld ki a sablonnal, és írd le, hogyan módosítja az eredmény a követelmények prioritását.

8. Működési koncepció és forgatókönyvek

Eszközkártya

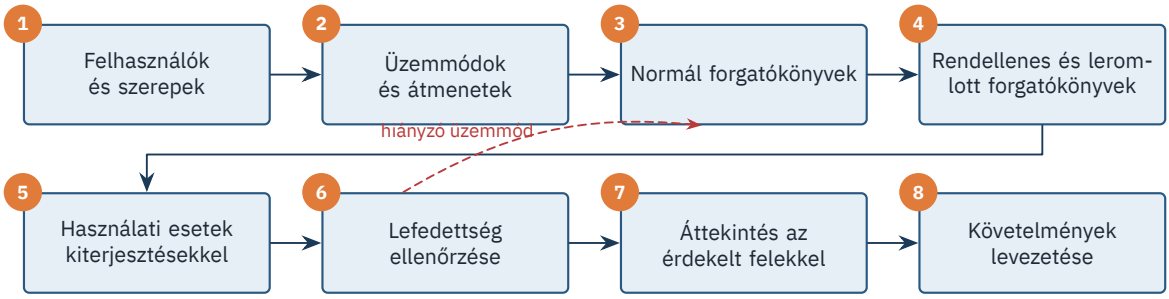
- **Mire való?** A jövőbeli rendszer használatának leírása a felhasználó nyelvén: üzemmódok és a köztük lévő átmenetek, valamint normál, rendellenes és leromlott üzemű forgatókönyvek, amelyekből követelmények és validációs tesztek születnek.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel működési koncepciót írni a felhasználó nyelvén, üzemmódokkal, normál és rendellenes forgatókönyvekkel, és abból követelményjelölteket levezetni.
- **V-lépés:** 1–2. Probléma és érdekelt felek; a validáció (47. eszközlap) alapja.
- **Bemenet:** problémamegfogalmazás, érdekeltfél-nyilvántartás, interjúk és megfigyelések, kontextusdiagram.
- **Kimenet:** ConOps-dokumentum, üzemmód-diagram, forgatókönyv-táblázat azonosítókkal, használati esetek, a lefedettség ellenőrzése.
- **Időigény:** az első változat 1–2 nap csapatmunka; a forgatókönyvek a projekt során bővülnek.
- **Kézikönyv:** 4. fejezet, 4.4. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (NASA 2016, 4.1. szakasz és S függelék).

8.1. Mikor használd?

- **A koncepció szakaszában**, a követelmények előtt. A forgatókönyvekből sok olyan követelmény adódik, amely a műszaki szemléletű listákból kimarad.
- **Ha az érdekelt felek nem mérnökök.** A ConOps az a dokumentum, amelyet a felhasználó, a megrendelő és a hatóság is el tud olvasni és jóvá tud hagyni.
- **Rendellenes helyzetek tervezéséhez.** Mi történik, ha valami elromlik, kifogy, késik, vagy ha a felhasználó hibázik?
- **A validációs tesztek tervezésekor.** Az elfogadási tesztek a ConOps forgatókönyveit játsszák le.

8.2. Lépések

1. **Írd le a felhasználókat és a szerepeket.** Kik használják, üzemeltetik, karbantartják a rendszert? A felhasználói csoportokat ne vond össze (4. eszközlap).
2. **Határozd meg az üzemmódokat és az átmeneteket.** Milyen állapotokban lehet a rendszer (indítás, normál, korlátozott, leromlott, vészhelyzeti, karbantartási, kivonási)? Mi váltja ki az átmeneteket? Rajzolj állapotdiagramot.
3. **Írd meg a normál forgatókönyveket.** Konkrét szereplővel, konkrét helyzetben, időrendben. A forgatókönyv a felhasználó céljáról és tapasztalatáról szóljon, ne a kezelőfelület részleteiről.



8.1. ábra. A működési koncepció elkészítésének lépései.

4. **Írd meg a rendellenes és a leromlott üzemű forgatókönyveket.** Minden normál forgatókönyv minden lépésénél kérdezd meg: mi romolhat el? Mi történik, ha a bemenet hibás, késik, hiányzik? Mi történik, ha egy alrendszer kiesik?
5. **Rendszerezd használati esetekkel.** A fontos forgatókönyveket általánosítsd használati esetté: elsődleges szereplő, cél, előfeltétel, fő sikerforgatókönyv, kiterjesztések, utófeltétel (Cockburn 2001).
6. **Ellenőrizd a lefedettséget.** Minden üzemmódhoz tartozik-e legalább egy forgatókönyv? Van-e rendellenes forgatókönyv a normál üzemhez? A magas valószínűségű vagy súlyos következményű helyzetek mind szerepelnek-e?
7. **Tekintsd át az érdekelt felekkel.** A ConOps-ot a felhasználóknak, az üzemeltetőnek és a megrendelőnek mutasd meg. Az érdekelt felek elvárásait és a működési koncepciót a koncepció-felülvizsgálaton közösen véglegesítik, és jóváhagyásuk után alapvonalba kerülnek (kézikönyv, 2.5. szakasz).
8. **Vezess le követelményeket.** Minden forgatókönyv-lépésből és kiterjesztésből egy vagy több követelmény születhet. A forgatókönyv azonosítóját írd a követelmény forrásához (9. eszközlap).

> **A ConOps tartalma**
>
> Az IEEE 1362 útmutató vázlata, kissé egyszerűsítve: hatókör; hivatkozott dokumentumok; a jelenlegi rendszer vagy helyzet (működési szabályok és korlátok, üzemmódok, felhasználói csoportok, támogató környezet); a változtatás indoka és jellege; a tervezett rendszer koncepciója (célok, a rendszer leírása, üzemmódok, felhasználói csoportok, támogató környezet); működési forgatókönyvek normál és rendellenes körülményekre; a hatások összefoglalása; a tervezett rendszer elemzése (IEEE 1998; ISO/IEC/IEEE 2018).

8.3. Kidolgozott példa: a KoboCella működési koncepciója

A KoboCella csapata egynapos workshopon dolgozta ki a működési koncepciót. Részt vett rajta két operátor, a műszakvezető, a karbantartás, a munkavédelmi szakember és a robotintegrátor. A workshop menete:

Délelőtt: üzemmódok. A csapat egy táblán felrajzolta az üzemmódokat. Az első változat négy állapotot tartalmazott (kikapcsolt, indítás, üzem, hiba). A karbantartó kérdésére („és a típusváltás?”) bekerült a karbantartás és típusváltás üzemmód. A műszakvezető kérdésére („mi lesz, ha két napig áll a robot?”) pedig a leromlott üzem, amelyben a cella kézi munkaállomásként működik tovább (kézikönyv, 4.4. ábra). Végül hét üzemmód lett.

Délután: forgatókönyvek. A csapat a normál szerelési ciklusból (FK-01) indult ki, és lépésenként végigkérdezte, mi romolhat el. Így született a többi között a 8.1. táblázat négy rendellenes és leromlott forgatókönyve. A valószínűség és a következmény (1–5) szorzata adta a prioritást.

8.1. táblázat. A KoboCella forgatókönyveinek részlete prioritással és a belőlük született új követelményekkel.

Azonosító	Forgatókönyv	Típus	Üzemmód	V × K	Új követelmény
FK-01	Egy motor szerelése	normál	UM-3	5 × 2 = 10	– (alap)
FK-04	Kéz a védőzónában ciklus közben	rendellenes	UM-4	4 × 5 = 20	sebességcsökkentés, jelzőfény
FK-09	Nyomaték a tűrésen kívül	rendellenes	UM-3	3 × 4 = 12	hibás motor elkülönítése
FK-12	Kifogy a csavaradagoló	rendellenes	UM-3	4 × 2 = 8	szintjelzés, félkész darab kezelése
FK-15	Robothiba két napig	leromlott	UM-5	2 × 4 = 8	kézi üzem nyomatékellenőrzéssel

Tanulságok:

- **A legmagasabb prioritású forgatókönyv egy rendellenes helyzet volt** (FK-04, kéz a védőzónában). Ez a biztonsági koncepció egyik kiindulópontja lett (29. eszközlap).
- **A lefedettségi ellenőrzés hiányokat mutatott.** A sablon jelezte, hogy a vészleállításhoz, az indításhoz és a karbantartáshoz nincs forgatókönyv. A csapat a vészleállítás utáni újraindítást (FK-18) azonnal kidolgozta, mert ott gyakoriak a kezelési hibák.
- **A forgatókönyvekből 14 új követelmény született**, amelyek a műszaki szempontú első listából hiányoztak, például a csavaradagoló szintjelzése és a félkész darabok kezelése.

8.4. Sablon

- forgatokonyv_sablon.xlsx: üzemmódok be- és kilépési feltételekkel; forgatókönyv-táblázat azonosítóval, típussal, üzemmóddal, lépésekkel, elvárt eredménnyel, kapcsolódó követelményekkel és automatikus prioritással; lefedettségi lap, amely üzemmódonként megszámolja a forgatókönyveket, és jelzi a hiányokat. A KoboCella példájával kitöltve.

8.5. Előnyök és korlátok

8.2. táblázat. A működési koncepció előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
A nem mérnök érdekelt felek is értik és jóváhagyhatják	Nem helyettesíti a követelményeket: azokat le kell vezetni belőle
A rendellenes forgatókönyvek sok rejtett követelményt felszínre hoznak	A forgatókönyvek száma gyorsan nő; priorizálni kell
A validációs tesztek közvetlen alapja	Ha túl részletes, a megoldásteret kezdi leírni
Az üzemmódok korán tisztázzák a rendszer határait és állapotait	Csak annyira jó, amennyire a résztvevők ismerik a valós működést

Gyakori buktató

- **Csak „napos oldali” forgatókönyvek.** Ha minden forgatókönyv sikeres, a ConOps a tervezők reményeit írja le, nem a valóságot.
- **Felhasználói felület a forgatókönyvben.** A „megnyomja a zöld gombot” mondat a megoldás része; a ConOps-ba az kell, hogy „jóváhagyja a kölcsönzést”.
- **Hiányzó leromlott üzem.** Ha a rendszer egy része kiesik, mi történik? A válasz gyakran fontos követelményeket szül.
- **Azonosító nélküli forgatókönyvek.** Azonosító nélkül a követelmények és a tesztek nem követhetők vissza a forgatókönyvekre.

8.6. Mintapromptok

Mintaprompt: rendellenes forgatókönyvek gyűjtése

```
Ez egy normál működési forgatókönyv: [FORGATÓKÖNYV LÉPÉSEKKEL].
A rendszer üzemmódjai: [LISTA].
Feladat: a forgatókönyv minden lépésénél sorolj fel 2–3 lehetséges
eltérést (hibás vagy hiányzó bemenet, késés, alrendszer-kiesés,
kezelési hiba, környezeti zavar). Mindegyikhez adj becsült
valószínűséget és következményt 1–5 skálán, és egy mondatban írd le,
mit kellene a rendszernek tennie. Jelöld, ha egy eltérés új
üzemmódot igényelne. Ne írj felhasználói felületi részleteket.
```

Mintaprompt: követelmények levezetése forgatókönyvből

```
Az alábbi forgatókönyvből vezess le rendszerkövetelményeket:
[FORGATÓKÖNYV AZONOSÍTÓVAL].
Szabályok: „A ‹rendszer›nek … kell …” szerkezet; egy mondatban egy
„kell”; mérték és érték, ahol lehet (ha nem ismert, írj TBR-t és
indoklást); megoldásmentes megfogalmazás. Minden követelmény mellé írd
oda, a forgatókönyv melyik lépéséből származik. Jelöld külön azokat,
amelyek nem a rendszerre, hanem a működésre vagy a felhasználóra
vonatkoznak: ezek a ConOps-ban maradnak.
```

8.7. Feladat

3. projektlépés (első rész): működési koncepció

Saját projektedhez sorold fel az üzemmódokat, és rajzolj róluk állapotdiagramot. Írj legalább két normál, két rendellenes és egy leromlott üzemű forgatókönyvet a sablonban, prioritással. Ellenőrizd a lefedettséget, és minden forgatókönyvből vezess le legalább egy követelményt. Egy forgatókönyvet alakíts használati esetté fő sikerforgatókönyvvel és legalább három kiterjesztéssel.

9. Követelményírás és -ellenőrzés

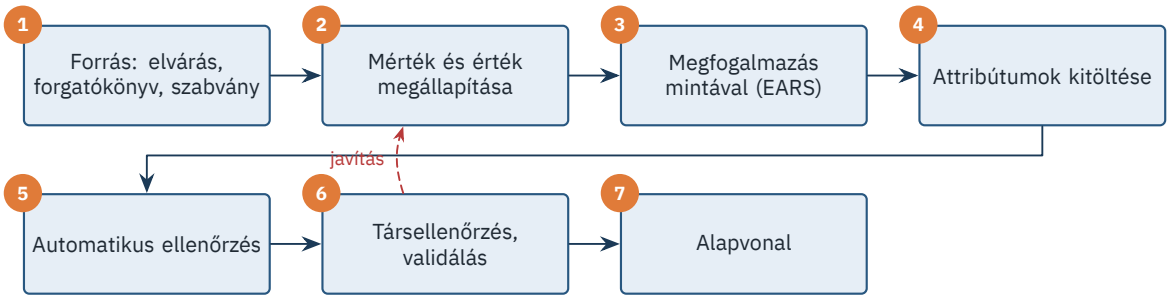
Eszközkártya

- **Mire való?** Egyértelmű, egyedi, verifikálható rendszerkövetelmények megfogalmazása attribútumokkal, és a megfogalmazási hibák szisztematikus kiszűrése.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel egyértelmű, egyedi, verifikálható követelményeket írni EARS-mintával és attribútumokkal, és egy követelménykészletet az írási szabályok szerint ellenőrizni.
- **V-lépés:** 3. Rendszerkövetelmények; a verifikáció (46. eszközlap) alapja.
- **Bemenet:** érdekeltfél-igények, ConOps-forgatókönyvek, interfészlista, MOE–MOP hierarchia, szabványok és korlátok.
- **Kimenet:** követelménynyilvántartás attribútumokkal, ellenőrzési jelentés, alapvonalba vehető követelményhalmaz.
- **Időigény:** követelményenként 5–15 perc az első megfogalmazás, az ellenőrzés a sablonnal vagy a notebookkal percek alatt.
- **Kézikönyv:** 6. fejezet, 6.3. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (NASA 2016, C függelék).

9.1. Mikor használd?

- **Minden olyan állításnál, amely a rendszerre kötelező.** Ha valamit verifikálni kell, követelményként kell megfogalmazni.
- **Beszállítói specifikáció vagy ajánlatkérés előtt.** A kétértelmű követelmény a beszállítóval folytatott vita legbiztosabb forrása.
- **Felülvizsgálat előtt** (SRR, PDR): a követelményhalmaz minőségének ellenőrzésére.
- **Egy meglévő specifikáció átvételekor.** Az automatikus ellenőrzés gyorsan megmutatja a gyenge pontokat.

9.2. Lépések



9.1. ábra. A követelményírás és -ellenőrzés lépései.

1. **Indulj a forrásból.** Minden követelménynek legyen forrása: egy érdekeltfél-igény, egy forgatókönyv-lépés, egy interfész, egy szabvány vagy egy felsőbb szintű követelmény. Ha nincs forrás, kérdezd meg, miért kell.
2. **Állapítsd meg a mértéket és az értéket.** Mit mérünk, milyen mértékegységben, milyen határértékkel és tűréssel? Milyen feltételek mellett érvényes? Ha az érték még nem ismert, adj legjobb becslést, és jelöld TBR-rel (pontosítandó), a felelőssel és a határidővel együtt.
3. **Fogalmazd meg mintával.** Használd a „A ‹rendszer›nek … kell …” szerkezetet, egy mondatban egyetlen „kell”-lel. Feltételes viselkedésnél használd az EARS-mintákat (9.1. táblázat) (Mavin és mtsai. 2009).
4. **Töltsd ki az attribútumokat.** Azonosító, típus, indoklás, forrás, prioritás, verifikációs mód, felelős, állapot, KDR.
5. **Futtasd az automatikus ellenőrzést.** A sablon „Ellenőrzés” oszlopa vagy a notebook jelzi a tipikus hibákat. A jelzés figyelmeztetés: döntsd el, valóban hiba-e.
6. **Társellenőrzés és validálás.** Egy másik csapattag olvassa el a követelményeket az INCOSE írási szabályai szerint (INCOSE 2023a). Az érdekelt felek erősítsék meg, hogy a követelmény az ő igényüket fejezi ki. Ha hibát találtok, javítsátok, és ismételjétek az ellenőrzést.
7. **Alapvonal.** A jóváhagyott követelmények alapvonalba kerülnek; ettől kezdve csak szabályozott változáskezeléssel módosíthatók (56. eszközlap).

9.1. táblázat. Az EARS-minták gyakorlati alkalmazása.

Minta	Szerkezet	Mikor?
állandó	A ‹rendszer›nek ‹válasz› kell.	mindig érvényes tulajdonság vagy funkció
eseményvezérelt	Amikor ‹esemény›, a ‹rendszer›nek ‹válasz› kell.	egy esemény bekövetkeztére adott válasz
állapotvezérelt	Amíg ‹állapot›, a ‹rendszer›nek ‹válasz› kell.	egy állapot fennállása alatt érvényes viselkedés
nem kívánt viselkedés	Ha ‹nem kívánt feltétel›, akkor a ‹rendszer›nek ‹válasz› kell.	hibakezelés, rendellenes helyzet
opcionális jellemző	Ahol ‹jellemző›, a ‹rendszer›nek ‹válasz› kell.	csak bizonyos változatokra vagy konfigurációkra érvényes

Ellenőrzőlista egy követelményhez

Az ISO/IEC/IEEE 29148:2018 és az INCOSE követelményírási útmutatója szerint egy jó követelmény **szükséges, megfelelő szintű, egyértelmű, teljes, egyedi, megvalósítható, verifikálható, helyes és szabályos** (ISO/IEC/IEEE 2018; INCOSE 2023a). Az INCOSE írási szabályai ehhez gyakorlati kérdéseket adnak: cselekvő szerkezet; egy alany, egy állítmány; tűrés a mennyiségi értékekhez; megoldásmentes; megfelelő alany (nem működési leírás); pozitív megfogalmazás; indoklás; nincs „szükség szerint”, „stb.”, „és/vagy” (INCOSE 2023a). Hasznos kiegészítés, hogy a még ismeretlen értékeknél TBD helyett legjobb becslést adjunk TBR-jelöléssel.

9.3. Kidolgozott példa: a KoboCella követelményeinek ellenőrzése

A KoboCella első követelménylistáját a rendszermérnök a sablonba töltötte, és lefuttatta az automatikus ellenőrzést. A 34 követelményből 11-nél volt jelzés. Néhány jellemző eset és a javításuk:

9.2. táblázat. A KoboCella néhány hibás követelménye és javítása.

Eredeti	Jelzés	Javított
R-30: A cellának gyorsnak és felhasználóbarátnak kell lennie.	kétértelmű kifejezés; nincs szám; hiányzó indoklás, forrás, verifikáció	két követelmény: R-01 (ciklusidő ≤ 75 s) és R-16 (a betanult operátor a ciklust a kezelőpanel 2 érintésével indítja és nyugtázza)
R-31: A cellának meg kell jelenítenie a hibákat és naplóznia kell az eseményeket, stb.	több „kell”; „stb.”	R-17: a hibakód és a teendő megjelenítése 1 s-on belül; R-18: minden esemény naplózása időbélyeggel; a „stb.” helyett felsorolt eseménytípusok
R-32: Az operátor ellenőrzi a kész motort.	nincs „kell”; az alany nem a rendszer	működési leírás, a ConOps-ba került; a rendszerre vonatkozó rész: R-19 (a kiadóban a motor szemrevételezésre alkalmas megvilágítása, legalább 500 lux)
R-33: A csavarozó egység pontossága TBD.	nincs „kell”; TBD	CS-05: a csavarozó egység nyomatékmérési pontosságának ±2%-nak kell lennie (TBR, a beszállító adatlapja alapján megerősítendő, felelős: minőségügy, határidő: PDR)

Tanulságok:

- **A legtöbb hiba a nem verifikálható megfogalmazás volt.** „Gyors”, „felhasználóbarát”, „megbízható”: ezek érdekeltfél-elvárások, amelyeket MOE-vá és MOP-pá kell alakítani (10. eszközlap).
- **Az összetett mondatokat szét kell bontani.** Egy követelmény egy állítás, különben a verifikáció is összetett lesz, és részleges teljesülésnél nem dönthető el, teljesült-e.
- **A „nincs számérték” jelzés nem mindig hiba.** Az R-07 („ha egy csavar nyomatéka a tűrésen kívül esik, akkor a cellának a motort hibásként kell megjelölnie”) funkcionális követelmény, amelynek teljesítményjellemzője (a tűrés) az R-03-ban szerepel. Ezt a csapat tudatosan jóváhagyta.

9.4. Sablon és notebook

- kovetelmeny_sablon.xlsx: követelménynyilvántartás attribútumokkal és legördülő listákkal; automatikus ellenőrzés (a „kell” száma, kétértelmű kifejezések a bővíthető szótárból, TBD, számérték, a rendszer mint alany, hiányzó attribútumok); összesítés

típus és verifikációs mód szerint. A „Példa – KoboCella” lap jó és szándékosan hibás követelményeket is tartalmaz.
- kovetelmeny_ellenorzes.ipynb · Megnyitás Google Colabban: ugyanezek a szabályok Pythonban, reguláris kifejezésekkel, a hibatípusok gyakoriságának ábrájával. Könnyen bővíthető saját szabályokkal; nagyobb specifikációk gyors átvilágítására is alkalmas.

9.5. Előnyök és korlátok

9.3. táblázat. A követelményírási szabályok és az automatikus ellenőrzés előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Egyértelmű, verifikálható, beszállítónak is átadható követelmények	Az automatikus ellenőrzés csak a megfogalmazást vizsgálja, a helyességet nem
Az attribútumok révén kezelhető, visszakövethető, priorizálható halmaz	A nyelvi szabályok heurisztikák: téves riasztás és kimaradt hiba is előfordul
A mintamondatok csökkentik a kétértelműséget	A túlzott formalizálás nehezen olvasható szöveget eredményezhet
Gyors, ismételhető minőségellenőrzés	A jó követelményhez a tartalmat továbbra is a csapatnak kell kitalálnia

Gyakori buktató

- **Megoldás a követelményben.** „A cellának kobottal kell…” helyett azt írd le, mit kell elérni. A megoldás a koncepcióválasztás eredménye (19. eszközlap).
- **Szenvedő szerkezet, rejtett alany.** „A hibákat jelezni kell” – ki jelzi? A rendszer, a kezelő vagy a karbantartó?
- **Negatív követelmény mérték nélkül.** „A dokkoló ne legyen hangos” helyett: legfeljebb 60 dB(A) 1 m-en.
- **TBD a végtelenségig.** Minden TBD kockázat. Adj becslést, jelöld TBR-rel, és rögzítsd, ki és mikorra pontosítja.

9.6. Mintapromptok

Mintaprompt: követelmények átfogalmazása

```
Az alábbi követelmények egy [rendszer leírása] rendszerre vonatkoznak:
[LISTA AZONOSÍTÓKKAL]
Minden követelményhez:
1. jelezd, melyik jó követelmény-ismérvet sérti (szükséges, megfelelő
   szintű, egyértelmű, teljes, egyedi, megvalósítható, verifikálható,
   helyes, szabályos);
2. javasolj átfogalmazást „A ‹rendszer›nek … kell …” szerkezetben,
   egyetlen „kell”-lel, mértékkel és értékkel; ha egy érték nem
   következik a szövegből, írj [TBR: indoklás] jelölést, ne találj ki
   számot;
3. ha a követelmény működési leírás vagy megoldást ír elő, jelezd.
Ne adj hozzá új követelményt.
```

Mintaprompt: hiányzó követelménytípusok keresése

```
Itt egy követelményhalmaz típusokkal: [TÁBLÁZAT].
A rendszer működési koncepciója és környezete: [RÖVID LEÍRÁS].
Vizsgáld meg, mely követelménytípusok hiányoznak vagy gyengén
lefedettek (funkcionális, teljesítmény-, interfész-, környezeti –
gyártás, szállítás, tárolás, üzemeltetés –, emberi tényezők,
megbízhatóság, karbantarthatóság, biztonság, védelem, korlátok).
Típusonként sorolj fel 1–3 kérdést, amelyet a csapatnak meg kellene
válaszolnia. Ne írj kész követelményeket.
```

9.7. Feladat

3. projektlépés (második rész): követelményspecifikáció

Írd be saját projekted legalább 15 rendszerkövetelményét a sablonba minden attribútummal. Legalább öt követelményt fogalmazz meg EARS-mintával. Futtasd le az ellenőrzést, és minden jelzésnél döntsd el, hiba-e; a hibákat javítsd. Készíts rövid jelentést: hány követelményt javítottál, milyen típusú hibák voltak a leggyakoribbak, és melyik jelzést hagytad tudatosan jóvá, miért.

10. A siker mérőszámai: MOE, MOP, TPM

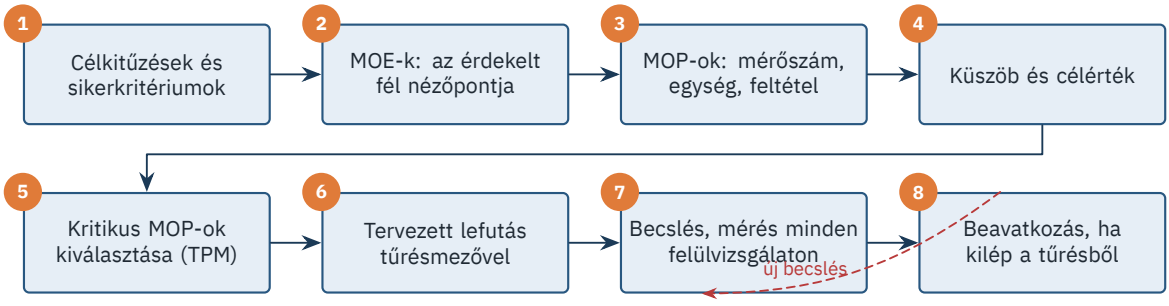
Eszközkártya

- **Mire való?** A rendszer sikerének mérőszámait (MOE) az érdekelt felek nézőpontjából megfogalmazni, teljesítménymérőszámokra (MOP) bontani, és a kritikus jellemzőket műszaki teljesítménymérőszámként (TPM) a fejlesztés során nyomon követni.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel az érdekelt felek céljaiból MOE-kat, azokból MOP-okat levezetni, kijelölni a követendő TPM-eket, és a TPM-et tervezett lefutással és tűrésmezővel követni.
- **V-lépés:** 2–3. Érdekelt felek és rendszerkövetelmények; a felülvizsgálatokon és a validációban tér vissza.
- **Bemenet:** szükséglet–cél–célkitűzés hierarchia, problémamegfogalmazás a siker kritériumaival, Kano- és QFD-eredmények.
- **Kimenet:** MOE–MOP hierarchia küszöbökkel és célértékekkel, TPM-lista, TPM-követési diagramok.
- **Időigény:** a hierarchia 2–4 óra csapatmunka; a TPM-követés felülvizsgálatonként fél óra.
- **Kézikönyv:** 6. fejezet, 6.4. szakasz; 5. fejezet, 5.6. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (NASA 2016, 4.1. és 4.2. szakasz).

10.1. Mikor használd?

- **Amikor a célkitűzések megvannak**, de még nem világos, miből fogjuk látni, hogy a rendszer sikeres.
- **Amikor sok követelmény van**, és ki kell választani azt a néhányat, amelyet a fejlesztés során folyamatosan figyelni kell.
- **Minden felülvizsgálaton**, a TPM-ek becsült vagy mért értékének frissítésére.
- **A validáció tervezésekor:** a MOE-k a validáció mércéi.

10.2. Lépések



10.1. ábra. A MOE, MOP és TPM meghatározásának és követésének lépései.

1. **Gyűjtsd össze a célkitűzéseket és a sikerkritériumokat** a problémamegfogalmazásból és az érdekeltfél-elemzésből.
2. **Fogalmazd meg a MOE-kat** az érdekelt fél nézőpontjából. A MOE-k a megrendelő és a felhasználó szemszögéből mérik, sikeres-e a rendszer a tervezett működési környezetben (Roedler és Jones 2005). Kevés legyen belőlük (projektenként 3–6).
3. **Bontsd a MOE-kat MOP-okra.** A MOP-ok műszaki nyelven, a szállító nézőpontjából fogalmazódnak meg; egy MOE-hoz jellemzően több mennyiségi MOP tartozik (Roedler és Jones 2005). Minden MOP-nál add meg a mérőszámot, a mértékegységet és a feltételeket, amelyek mellett érvényes (Kossiakoff és mtsai. 2011, 6. fejezet).
4. **Rögzítsd a küszöböt és a célértéket.** A küszöb a követelmény, amely alatt a rendszer nem fogadható el. A célérték a kívánatos szint.
5. **Válaszd ki a TPM-eket.** Azok a MOP-ok (vagy belőlük levezetett műszaki jellemzők) legyenek TPM-ek, amelyek kritikusak a sikerhez, és amelyeknél a teljesülés a fejlesztés során bizonytalan. Projektenként tipikusan 3–10 TPM-et követünk.
6. **Tervezd meg a TPM-ek lefutását tűrésmezővel.** Mérföldkövenként milyen becsült értéket várs a terv érettségének függvényében, és mekkora eltérés még elfogadható?
7. **Becsüld vagy mérd a TPM-eket minden felülvizsgálaton**, és vesd össze a tervvel. A TPM-ek az aktuálisan elért érték vagy a legjobb becslés és az adott időpontra tervezett érték összevetésével igazolják az előrehaladást, és korán jelzik a hiányosságokat (Roedler és Jones 2005).
8. **Avatkozz be, ha a TPM kilép a tűrésmezőből**, még akkor is, ha a végső küszöb elvileg teljesíthető. Ha új becslés születik, frissítsd a követést.

10.3. Kidolgozott példa: a KoboCella mérőszámai

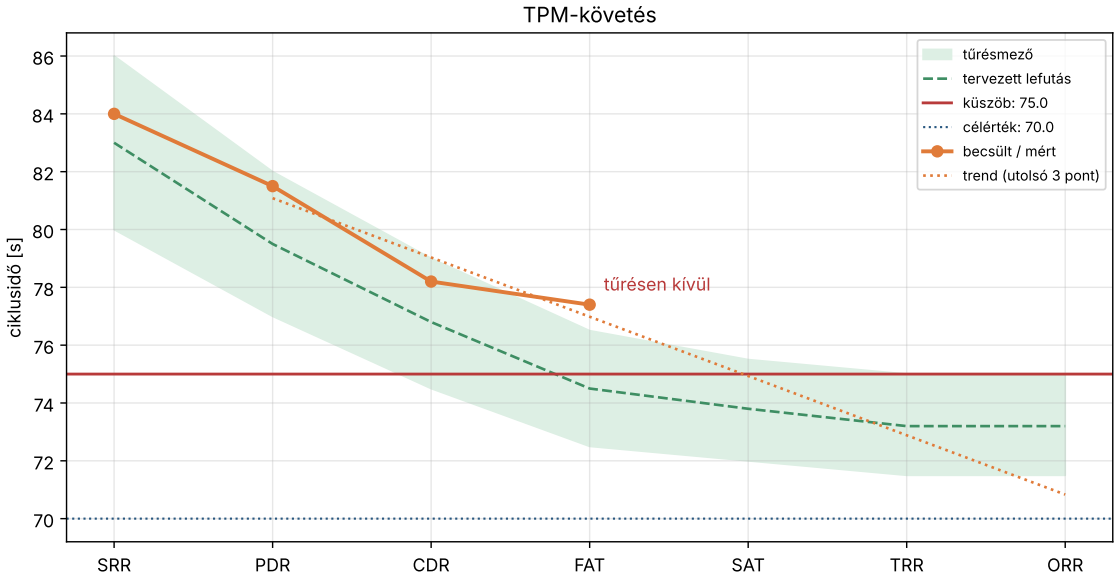
A KoboCella csapata két MOE-t fogalmazott meg az üzemigazgató és az operátorok elvárásaiból, és mindegyiket két-három MOP-ra bontotta (10.1. táblázat).

10.1. táblázat. A KoboCella MOE–MOP hierarchiája.

MOE	MOP	Mérték-egység	Küszöb	Célérték	Feltételek	TPM?
MOE-1: a vevői igény teljesítése elfogadható minőségben	MOP-1: ciklusidő	s	≤ 75	≤ 70	referencia-motortípus, betanult operátor, folyamatos üzem	igen
	MOP-2: havi rendelkezésre állás	%	≥ 95	≥ 97	tervezett leállások nélkül	nem
	MOP-3: első átfutásra jó darabok aránya	%	≥ 99,5	≥ 99,8	nyomatékellenőrzéssel	igen
MOE-2: az operátorok ergonómiai terhelésének csökkentése	MOP-4: legnagyobb törzshajlítás egy ciklusban	fok	≤ 20	≤ 15	minden testmagassági csoportra	nem

MOE	MOP	Mérték-egység	Kü-szöb	Célér-ték	Feltételek	TPM?
	MOP-5: kézzel tartott szerszám tömege	kg	0	0	normál üzemben	nem

A csapat két TPM-et választott: a ciklusidőt és az első átfutásra jó darabok arányát. Mindkettő kritikus, és mindkettő teljesülése a koncepció szakaszában bizonytalan volt. A ciklusidő követését a 10.2. ábra mutatja.



10.2. ábra. A KoboCella ciklusidejének TPM-követése a notebookkal rajzolva. A FAT-on mért érték kilépett a tűrésmezőből; a trendvonal jelzi, hogy beavatkozás nélkül a SAT-on a küszöb körül alakulna.

Tanulságok:

- **A tűrésmező a terv érettségéhez igazodik.** A koncepciós becslés (SRR) még 9 s-mal a küszöb fölött volt, és ez rendben volt, mert a terv még nem volt optimalizálva. A FAT-on viszont már a tűrésmezőn belül kellett volna lennie.
- **A TPM a beavatkozás időpontját mutatja meg.** A FAT-on mért 77,4 s alapján a csapat azonnal átírta a kobot pályáját, és a SAT-on 74,1 s lett. Írd be ezt az értéket a notebookba vagy a sablonba, és nézd meg, hogyan változik az állapot!
- **A MOP-4 és a MOP-5 nem TPM.** Teljesülésük a tervezés korai szakaszában eldől (állítható asztal, a csavarozót nem kézben tartják), ezért elég egyszer verifikálni.

10.4. Sablon és notebook

- moe_mop_tpm_sablon.xlsx: MOE–MOP hierarchia küszöbbel, célértékkel, feltételekkel és TPM-jelöléssel; TPM-követési lap tervezett lefutással, tűrésmezővel, eltéréssel, automatikus állapotjelzéssel, a küszöbig maradt tartalékkal és diagrammal. A KoboCella példájával kitöltve.

- tpm_kovetes.ipynb · Megnyitás Google Colabban: a TPM-követés ábrája (a 10.2. ábra így készült), az eltérés és a tartalék számítása, valamint az utolsó mérések alapján lineáris trend-előrejelzés.

10.5. Előnyök és korlátok

10.2. táblázat. A MOE–MOP–TPM megközelítés előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Az érdekelt fél nyelvén megfogalmazott siker mérhetővé válik	A MOE-k gyakran nehezen mérhetők közvetlenül; közelítő mérőszám kell
A TPM-követés korai figyelmeztetést ad, mielőtt a hiba drága lenne	A tervezett lefutás és a tűrésmező megadása tapasztalatot igényel
Kevés, jól megválasztott mérőszámra irányítja a figyelmet	Túl sok TPM esetén a követés adminisztrációvá válik
A felülvizsgálatok tényszerűbbé válnak	A becslések minősége a modellek és mérések minőségén múlik

Gyakori buktató

- **MOE helyett MOP.** A „ciklusidő ≤ 75 s” MOP; a MOE az, amiért ez fontos (a vevői igény teljesítése). Ha csak MOP-ok vannak, a csapat elfelejti, mi a valódi cél.
- **Feltételek nélküli mérőszám.** A „ciklusidő” önmagában nem mérhető egyértelműen: melyik típusra, milyen operátorral, milyen üzemben?
- **Csak a végső küszöb figyelése.** Ha a TPM-et csak a küszöbhöz mérjük, a beavatkozás túl későn jön.
- **Mindent TPM-mé tenni.** A TPM-követés erőforrást igényel; csak a kritikus és bizonytalan jellemzőket kövesd.

10.6. Mintapromptok

Mintaprompt: MOE–MOP hierarchia vázlata

```
Projektünk célkitűzései és sikerkritériumai: [LISTA].
Érdekelt feleink és fő elvárásaik: [LISTA].
Feladat: javasolj 3–5 MOE-t az érdekelt felek nézőpontjából, és
mindegyikhez 2–3 MOP-ot. Minden MOP-nál add meg: mérőszám,
mértékegység, a mérés feltételei, és jelöld [TBR]-rel a küszöböt,
ha nem következik a megadott adatokból (ne találj ki számot).
Végül jelöld meg, mely MOP-okat javasolnád TPM-nek, és miért.
```

Mintaprompt: TPM-eltérés értékelése felülvizsgálat előtt

```
TPM: [név, küszöb, célérték, irány].
Tervezett lefutás és tűrésmező mérföldkövenként: [TÁBLÁZAT].
Becsült vagy mért értékek eddig: [TÁBLÁZAT].
Feladat: értékeld az állapotot (tűrésen belül vagy kívül), számold
ki a küszöbig maradt tartalékot, és sorolj fel 3–5 kérdést, amelyet
a felülvizsgálaton fel kell tenni a lehetséges okokról és
beavatkozásokról. Ne javasolj konkrét műszaki megoldást.
```

10.7. Feladat

3. projektlépés (harmadik rész): mérőszámok

Saját projektedhez fogalmazz meg legalább két MOE-t, mindegyikhez legalább két MOP-ot mértékegységgel, feltételekkel, küszöbbel és célértékkel. Válassz ki egy TPM-et, tervezd meg a lefutását a projekt mérföldköveire tűrésmezővel, és legalább két mérföldkőre adj (becsült) értéket. Rajzold meg a követési diagramot a sablonnal vagy a notebookkal, és írd le, mikor kellene beavatkozni.

11. Nyomonkövethetőség

Eszközkártya

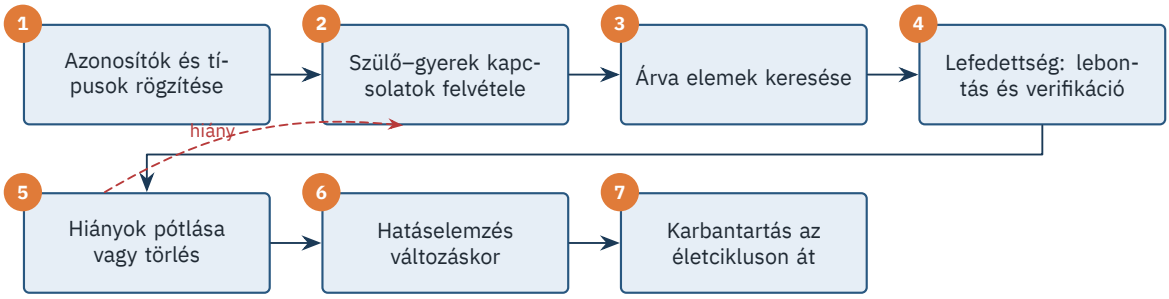
- **Mire való?** A kétirányú nyomonkövethetőség rögzítése az érdekelt felek elvárásai, a rendszer- és alrendszer-követelmények, a tervelemek és a verifikációk között; az árva elemek, a lebontatlan és a verifikálatlan követelmények kiszűrése; változáskor a hatáselemzés.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel kétirányú nyomonkövetési mátrixot felépíteni, megtalálni benne az árva és a lefedetlen elemeket, és egy változás hatását a láncon végigkövetni.
- **V-lépés:** 3–5. Követelmények és lebontás; a V jobb ágán a verifikáció és a validáció.
- **Bemenet:** érdekeltfél-igények, követelménynyilvántartás, architektúra- és tervelemek, verifikációs terv.
- **Kimenet:** nyomonkövetési mátrix (RTM), ellenőrzési jelentés, lefedettségi mutatók, a lánc gráfja.
- **Időigény:** a felépítés követelményenként néhány perc; a karbantartás folyamatos.
- **Kézikönyv:** 6. fejezet, 6.5. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (NASA 2016, 6.2. szakasz).

11.1. Mikor használd?

- **Már az első követelményeknél.** Utólag felépíteni a nyomonkövethetőséget sokszor drágább, mint a követelményeket megírni.
- **Lebontáskor és allokációkor:** minden felsőbb szintű követelmény lebomlott-e, és minden alacsonyabb szintűnek van-e forrása?
- **Változtatási kérelemnél:** mely követelményeket, terveket és teszteket érinti egy változás?
- **Felülvizsgálatok és átadás előtt:** minden követelménynek van-e verifikációja?

11.2. Lépések

1. **Rögzítsd az elemeket azonosítóval és típussal.** Elvárás, rendszerkövetelmény, alrendszer-követelmény, tervelem, verifikáció. Az azonosító legyen egyedi és változatlan.
2. **Vedd fel a szülő–gyerek kapcsolatokat.** Egy sor egy kapcsolat: miből mi lett (például EF-01 → R-01, R-01 → CS-01, R-01 → V-01).
3. **Keresd meg az árva elemeket.** Minden követelménynek és tervelemnek legyen forrása. Ha egy követelménynek nincs szülője, és nem is dokumentált levezetett követelmény, akkor vagy a visszakövetés hibás, vagy a követelmény felesleges „aranyozás”, amelyet törölni kell.

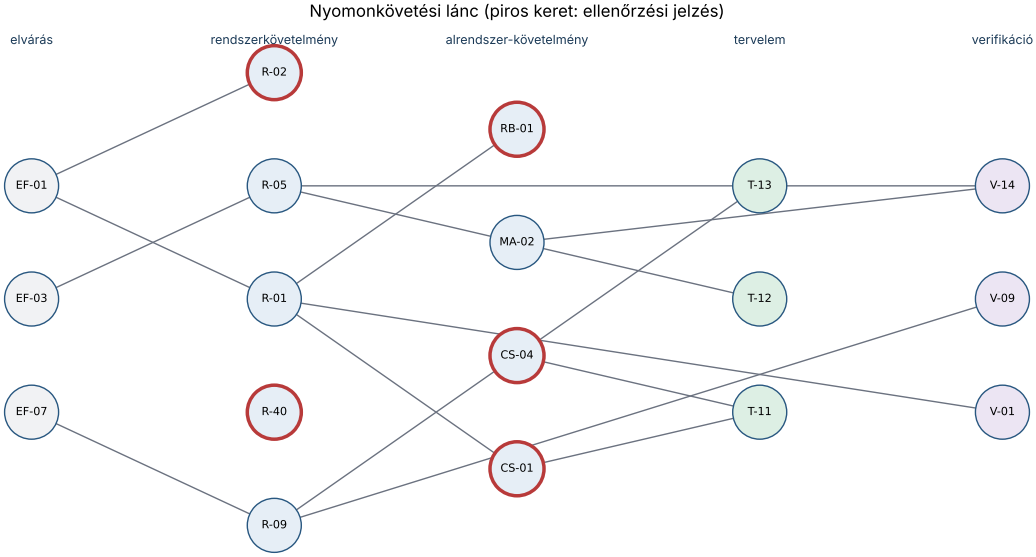


11.1. ábra. A nyomonkövethetőség felépítésének és ellenőrzésének lépései.

4. **Ellenőrizd a lefedettséget.** Minden elvárás lebomlott-e követelményre? Minden követelmény lebomlott-e vagy megvalósult-e tervelemben? Minden követelménynek van-e verifikációja, saját magán vagy leszármazottain keresztül?
5. **Pótold a hiányokat, vagy törölj.** A hiány lehet valódi (kimaradt követelmény, verifikáció), vagy jelezheti, hogy egy elem felesleges.
6. **Hatáselemzés változáskor.** Egy változtatási kérelemnél kövesd a láncot felfelé (miért van ez?) és lefelé (mit érint?). Minden változás hatását fel kell mérni a költségre, az ütemtervre, az architektúrára, a tervre, az interfészekre, a ConOps-ra és a felsőbb és alsóbb szintű követelményekre is (ISO 2017).
7. **Tartsd karban az életcikluson át.** A nyomonkövethetőség csak akkor ér valamit, ha naprakész.

11.3. Kidolgozott példa: a KoboCella nyomonkövetési lánca

A KoboCella rendszermérnöke a három fő érdekeltfél-elvárástól a verifikációig felvette a lánc egy részletét: 18 elemet és 16 kapcsolatot. A notebook ebből gráfot rajzolt, és lefuttatta az ellenőrzéseket (11.2. ábra).



11.2. ábra. A KoboCella nyomonkövetési láncának részlete a notebookkal rajzolva. Piros keret jelöli az ellenőrzési jelzést kapott elemeket.

11.1. táblázat. A KoboCella nyomonkövetési ellenőrzésének eredménye és a csapat döntései.

Jelzés	Elem	Értelmezés és döntés
árva (nincs forrás)	R-40 díszvilágítás	egy tervező ötlete, egyik érdekelt fél sem kérte: aranyozás, törölve
lebontatlan, verifikálatlan	R-02 rendelkezésre állás ≥ 95%	valódi hiány: a megbízhatósági allokáció még nem készült el (kézikönyv, 16. fejezet), felvéve a teendők közé
lebontatlan	RB-01 kobotciklus ≤ 9 s	a robotintegrátor tervelemét még nem rögzítették; a beszállítói specifikációhoz kell
verifikálatlan alrendszer-követelmény	CS-01, CS-04, RB-01	a szülő R-01 és R-09 rendszerszintű tesztje (V-01, V-09) közvetve lefedi őket, de a beszállítói átvételhez külön alrendszer-teszt kell: V-21–V-23 felvéve

Tanulságok:

- **Az ellenőrzés két irányba néz.** Az árva R-40 felesleges munkát, a lebontatlan R-02 hiányzó munkát jelzett.
- **A „közvetett” verifikáció tudatos döntés.** Az alrendszer-követelményeket elvben lefedheti a rendszerszintű teszt, de ha az alrendszert beszállító szállítja, az átvételhez külön verifikáció kell.
- **A verifikációs lefedettség mutató a felülvizsgálatok egyik bemenete lett.** A CDR-re a csapat 100%-os lefedettséget tűzött ki célul.

11.4. Sablon és notebook

- nyomonkovetes_sablon.xlsx: elemek azonosítóval, típussal és leírással; szülő–gyerek kapcsolatok külön lapon; automatikus ellenőrzés (szülők és gyerekek száma, árva, lebontatlan vagy verifikálatlan elem). A „Példa –” lapok a KoboCella láncának részletét tartalmazzák.
- nyomonkovetes.ipynb · Megnyitás Google Colabban: irányított gráfot épít, elvégzi a teljes körű ellenőrzést, beleértve a leszármazottakon keresztüli verifikációs lefedettséget is, és szintenként felrajzolja a láncot (a 11.2. ábra így készült).

11.5. Előnyök és korlátok

11.2. táblázat. A nyomonkövethetőség előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Láthatóvá teszi a hiányzó és a felesleges elemeket	Karbantartása munkaigényes; elavult mátrix félrevezet
Gyors, megalapozott hatáselemzés változáskor	Nagy rendszereknél táblázatban kezelhetetlenné válik; eszköz kell
Az átadáskor igazolható, hogy minden követelmény teljesült	A kapcsolat megléte nem garantálja, hogy a gyerek valóban teljesíti a szülőt

Előnyök	Korlátok
Alapja a felülvizsgálatok és az auditok tényszerű értékelésének	A „közvetett” lefedettséget mindig emberi döntésnek kell megerősítenie

Gyakori buktató

- **Utólagos kitöltés.** Ha a mátrixot csak az átadás előtt töltik ki, a kapcsolatok a meglévő tervhez igazodnak, és nem a valós levezetést tükrözik.
- **Egyirányú visszakövetés.** Ha csak lefelé követünk, az aranyozás rejtve marad; ha csak felfelé, a kimaradt követelmények.
- **Formális kapcsolat, tartalmi lefedés nélkül.** A visszakövetést érdemes egy független személlyel is átnézetni abból a szempontból, hogy a gyerekkövetelmények valóban teljesen lefedik-e a szülő követelményt.

11.6. Mintapromptok

Mintaprompt: szülő–gyerek lefedés ellenőrzése

```
Szülő követelmény: [AZONOSÍTÓ, SZÖVEG].
Gyerek követelmények: [LISTA AZONOSÍTÓKKAL].
Feladat: vizsgáld meg, hogy a gyerekek együtt teljesen lefedik-e
a szülőt. Ha nem, írd le, a szülő mely része marad lefedetlen, és
milyen típusú gyerek követelmény hiányozhat (ne fogalmazd meg).
Ha egy gyerek túlmegy a szülőn, jelezd: lehet levezetett követelmény
(tervezési döntés) vagy aranyozás.
```

Mintaprompt: változás hatáselemzése

```
Változtatási kérelem: [LEÍRÁS, érintett követelmény azonosítója].
Nyomonkövetési kapcsolatok (szülő → gyerek): [LISTA].
Feladat: sorold fel a láncon felfelé és lefelé érintett elemeket,
és mindegyiknél írd le egy mondatban, mit kell ellenőrizni (a cél
még teljesül-e; a terv, az interfész, a verifikáció módosul-e).
Rendezd az eredményt típus szerint.
```

11.7. Feladat

3. projektlépés (negyedik rész): nyomonkövetési mátrix

Saját projektedben vedd fel a sablonba legalább 5 elvárást, 10 rendszerkövetelményt, 5 alrendszer-követelményt vagy tervelemet és 5 verifikációs tevékenységet a kapcsolataikkal. Futtasd le az ellenőrzést a sablonban és a notebookban. Minden jelzésnél döntsd el, valódi hiány, aranyozás vagy tudatosan elfogadott eset-e, és rögzítsd a döntést. Add meg a verifikációs lefedettséget százalékban.

12. Minőségfunkció-telepítés (QFD)

Eszközkártya

- **Mire való?** A vevői elvárások lefordítása mérhető műszaki jellemzőkre; a műszaki jellemzők fontossági sorrendjének, ellentmondásainak és célértékeinek meghatározása a minőségházzal.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel felépíteni egy minőségházat, kiszámítani a műszaki jellemzők abszolút és relatív fontosságát, és a tető alapján azonosítani az ellentmondó jellemzőket.
- **V-lépés:** 2–3. Az érdekelt felek igényeitől a rendszerkövetelményekig; alkatrészszinten a 4. lépés (architektúra) bemenete.
- **Bemenet:** vevői elvárások fontossággal (felmérés, interjúk, Kano-elemzés), versenytársak ismerete, a műszaki jellemzők jelöltjei.
- **Kimenet:** kitöltött minőségház, a műszaki jellemzők fontossága és rangsora, a tető ellentmondásai, célértékek, amelyek követelményekké válnak.
- **Időigény:** egy minőségház 6–10 elvárással és jellemzővel 4–8 óra csapatmunka.
- **Kézikönyv:** 7. fejezet.

12.1. Mikor használd?

- **Ha sok, egymással versengő vevői elvárás van**, és el kell dönteni, mely műszaki jellemzőkre koncentráljon a fejlesztés.
- **Ha a marketing (vagy a megrendelő) és a mérnökök nem értik egymást.** A minőségház közös nyelvet és közös térképet ad.
- **Versenytársakhoz képest pozicionált terméknél**: hol vagyunk lemaradva, és hol tudunk kitűnni?
- **Ha a műszaki jellemzők ütköznek egymással**, és a kompromisszumokat tudatosan kell meghozni.

12.2. Lépések

1. **Vevői elvárások és fontosság.** 5–15 elvárás a vevő nyelvén, hierarchiába rendezve, fontossággal (1–5). A fontosság forrása lehetőleg felmérés; a Kano-elemzés (7. eszközlap) eredményét is vedd figyelembe (Matzler és Hinterhuber 1998).
2. **Mérhető műszaki jellemzők.** Megoldásfüggetlen, mérhető jellemzők mértékegységgel és iránnyal (nagyobb vagy kisebb a jobb). Minden elvárást legalább egy jellemzőnek erősen kell befolyásolnia; ha nem, hiányzik egy jellemző.
3. **Kapcsolati mátrix.** Minden cellánál kérdezd meg: ha ezt a jellemzőt jelentősen javítjuk, mennyivel javul az elvárás? 9 erős, 3 közepes, 1 gyenge, üres = nincs. A vitás cellák indoklását rögzítsd.
4. **Versenytársak értékelése.** A vevők szemével 1–5 skálán: hogyan teljesít a saját (tervezett) megoldás és 1–2 versenytárs elvárásonként.



12.1. ábra. A minőségház elkészítésének lépései.

5. **Tető.** A műszaki jellemzők kölcsönhatása: ++ erősen támogatja, + támogatja, – gyengíti, –– erősen gyengíti egymást.
6. **Műszaki fontosság.** $F_j = \sum_i w_i r_{ij}$, a relatív fontosság ennek százalékos aránya (kézikönyv, 7.2. szakasz). A sablon és a notebook automatikusan számol.
7. **Érzékenység és közvetett hatások.** Mennyire stabil a rangsor, ha a súlyok és a kapcsolati erősségek kissé megváltoznak? Hogyan módosítja a tető a képet? Ha a rangsor bizonytalan, vagy a tető erős ellentmondást mutat, térj vissza a vitás cellákhoz (3. lépés).
8. **Célértékek és átvezetés.** A fontosság, a versenytársak és a tető alapján határozz meg célértékeket; ezek rendszerkövetelményekké válnak (9. eszközlap).

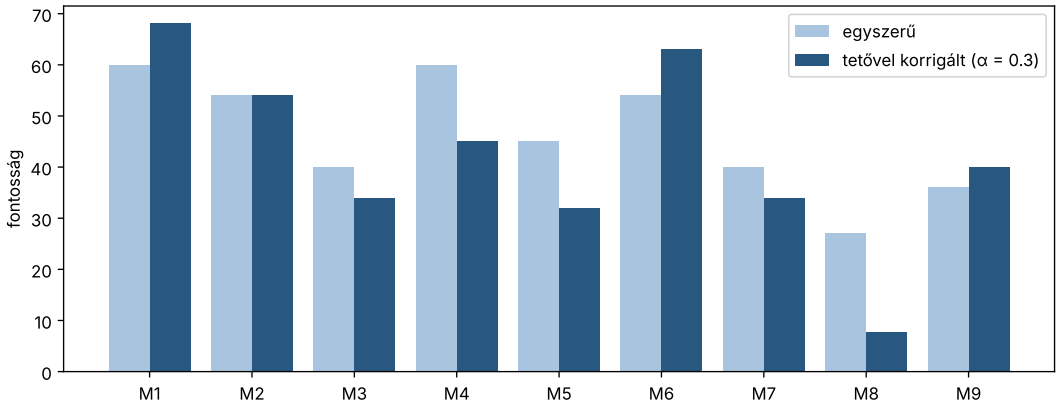
12.3. Kidolgozott példa: a VárosiBringa minőségháza

A VárosiBringa csapatának minőségházát (6 elvárás, 9 műszaki jellemző) a kézikönyv 7.3. szakasza részletesen bemutatja; a sablon „Példa –” lapjai ugyanezt tartalmazzák. Itt a notebookkal végzett kiegészítő elemzést mutatjuk be.

Érzékenységvizsgálat. A notebook 2000-szer véletlenszerűen ±1-gyel módosította a fontossági súlyokat, és a nem nulla kapcsolatok mintegy 30%-át egy fokozattal (9 ↔ 3 ↔ 1) elmozdította. Az M1 (állomássűrűség) a futtatások mintegy 80%-ában, az M4 (hatótáv) mintegy 71%-ában a legfontosabb három jellemző között maradt. Az M2 (kerékpár/állomás, 55%) és az M6 (áthelyezés, 44%) helyezése viszont bizonytalan, a sorrendjük gyakran felcserélődött. A csapat következtetése: az első két jellemző prioritása megbízható, a középmezőnyben a költségek is döntsenek.

Közvetett hatások. A tetővel korrigált fontosság (12.2. ábra) két dolgot mutatott. Az M8 (tömeg) fontossága jelentősen csökkent, mert erős ellentmondásban áll a fontos M4-gyel (hatótáv) és M5-tel (rásegítés). Ezért tömegből érdemes engedni, egy felső korlátig. Az M1 és az M6 kölcsönösen erősíti egymást, így a hálózat sűrítése és az áthelyezés együtt még fontosabbá vált.

> **Hálózatalapú QFD**
>
> A tetővel korrigált fontosság egyszerű, szemléltető kiterjesztés. Abonyi és Czvetkó a QFD-t hálózati folyamproblémaként és hipergráfként is megfogalmazta: az előbbi optimalizálással választ ki intézkedéseket a vevői igények kielégítésére vagy a költségek minimalizálására, az utóbbi centralitási mérőszámokkal tárja fel a kapcsolati és a korrelációs mátrix közvetett kölcsönhatásait (Abonyi és Czvetkó 2022). A módszer részletei a kézikönyv 7.7. szakaszában találhatók.



12.2. ábra. A VárosiBringa műszaki jellemzőinek egyszerű és tetővel korrigált fontossága a notebookkal számolva (α = 0,3).

12.4. Sablon és notebook

- qfd_sablon.xlsx: minőségház legfeljebb 10 elvárással és 10 műszaki jellemzővel; legördülő listák (9/3/1, irány); a versenytársakhoz mért lemaradás; automatikusan számolt abszolút és relatív fontosság, rangsor és diagram; külön tetőlap. A „Példa –” lapok a kézikönyv VárosiBringa-minőségházát tartalmazzák (a számok egyeznek a kézikönyv 7.3. szakaszával).
- qfd_minoseghaz.ipynb · Megnyitás Google Colabban: a fontosság számítása, a kapcsolati mátrix hőtérképe, Monte-Carlo-érzékenységvizsgálat a rangsor stabilitására és a tetővel korrigált fontosság (a 12.2. ábra így készült).

12.5. Előnyök és korlátok

12.1. táblázat. A QFD előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
A vevő hangját rendszerezetten viszi át a műszaki jellemzőkbe	A kapcsolati erősségek és a súlyok szubjektív csapatbecslések
Közös térkép a marketing, a tervezés és a gyártás számára	Sok elvárásnál és jellemzőnél átláthatatlanná válik
A tető korán láthatóvá teszi a műszaki ellentmondásokat	Az egyszerű összegzés a közvetett hatásokat nem veszi figyelembe
Dokumentálja a döntések indokait	Nem veszi figyelembe a javítások költségét

Gyakori buktató

- **Megoldás a mennyezeten.** A „lítium-ion akkumulátor” nem műszaki jellemző, hanem megoldás; a jellemző a hatótáv (km) vagy az energiasűrűség (Wh/kg).
- **Csupa 9-es.** Ha minden kapcsolat erős, a mátrix nem különböztet. Kérdezd meg cellánként, valóban jelentősen javul-e az elvárás.
- **Elhanyagolt tető.** A tető negatív kapcsolatai a legértékesebb információk közé tartoznak: itt kell kompromisszumot vagy innovatív megoldást keresni (16. eszközlap).
- **A rangsor túlértelmezése.** Két jellemző, amelynek fontossága néhány ponttal tér

el, gyakorlatilag azonos fontosságú. Az érzékenységvizsgálat megmutatja, mennyire stabil a sorrend.

12.6. Mintapromptok

Mintaprompt: műszaki jellemzők javaslata

```
Termék vagy szolgáltatás: [leírás].
Vevői elvárások fontossággal: [LISTA].
Feladat: javasolj 6–10 mérhető, megoldásfüggetlen műszaki jellemzőt.
Mindegyikhez: mértékegység, irány (nagyobb vagy kisebb a jobb), és
melyik elvárásokat befolyásolja erősen. Jelezd, ha egy elváráshoz
nem találsz erős kapcsolatú jellemzőt. Ne nevezz meg konkrét
technológiát vagy alkatrészt.
```

Mintaprompt: a kapcsolati mátrix kritikus átnézése

```
Itt a minőségházunk kapcsolati mátrixa (sorok: elvárások, oszlopok:
műszaki jellemzők, értékek: 9/3/1/üres): [TÁBLÁZAT].
Játszd az ördög ügyvédjét: keress legfeljebb 6 cellát, ahol szerinted
a kapcsolat túl- vagy alulbecsült, és mindegyiknél írj egy mondatos
műszaki indoklást. Ne javasolj új értéket; a döntés a csapaté.
Végül jelezd, ha egy jellemző túl sok elvárással áll erős
kapcsolatban (lehet, hogy túl tág a meghatározása).
```

12.7. Feladat

3. projektlépés (ötödik rész): minőségház

Készítsd el saját projekted minőségházát a sablonban 5–8 elvárással és 5–8 műszaki jellemzővel, a tetővel és legalább egy versenytárs értékelésével. Futtasd le a notebook érzékenységvizsgálatát. Írd le: melyik két jellemző a legfontosabb, mennyire stabil a sorrend, melyik a tető legerősebb ellentmondása, és hogyan oldanád fel. Határozz meg célértékeket, és vezesd át őket a követelménynyilvántartásba.

13. Funkciófa és allokációs táblázat

Eszközkártya

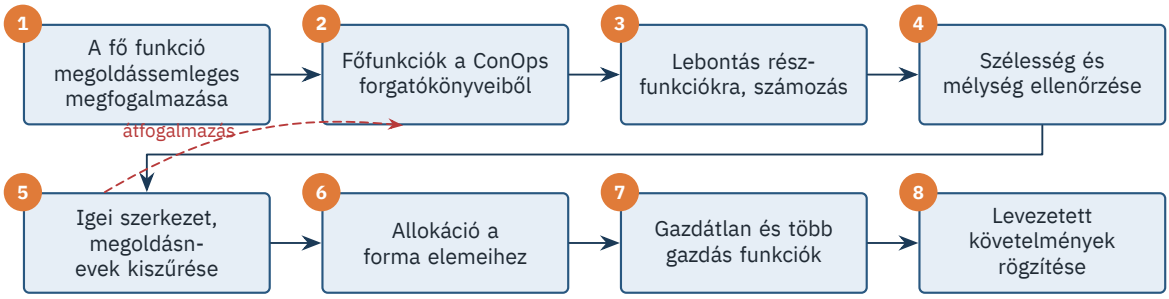
- **Mire való?** A rendszer funkcióinak megoldássemleges, hierarchikus lebontása, majd a funkciók hozzárendelése a forma elemeihez (alrendszer, komponens, ember, szoftver), a gazdátlan funkciók és a keletkező interfészek felismerése.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel megoldássemleges, igei szerkezetű funkciófát felírni, a funkciókat a forma elemeihez allokálni, és az allokációból a levezetett követelményeket azonosítani.
- **V-lépés:** 4. Architektúra (logikai dekompozíció); az alsóbb szinteken rekurzívan ismétlődik.
- **Bemenet:** rendszerkövetelmények, működési koncepció (ConOps) és forgatókönyvek, a koncepció leírása.
- **Kimenet:** számozott funkciófa, allokációs táblázat, a több gazdás funkciók listája (interfészjelöltek), levezetett követelmények.
- **Időigény:** a funkciófa első változata 2–3 óra csapatmunka; az allokáció koncepciónként 1 óra.
- **Kézikönyv:** 8. fejezet, 8.1., 8.3. és 8.5. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (NASA 2016, 4.3. szakasz).

13.1. Mikor használd?

- **A követelmények rögzítése után**, amikor az architektúra kialakítása kezdődik, és még nem világos, milyen részekből áll a rendszer.
- **Koncepciók összevetésekor:** ugyanaz a funkciófa több koncepcióhoz is allokálható, és az allokációs táblázatok összevetése megmutatja a koncepciók szerkezeti különbségeit.
- **A morfológiai doboz előtt:** a funkciófa második szintje adja a doboz sorait (15. eszközlap).
- **Hibamód-elemzés előtt:** a funkcionális FMEA a funkciófa funkcióira épül.

13.2. Lépések

1. **Fogalmazd meg a fő funkciót megoldássemlegesen.** Crawley és szerzőtársai szerint a funkció folyamatból (ige) és operandusból (főnév) áll, és úgy kell megfogalmazni, hogy a megvalósítás módja ne szerepeljen benne (Crawley, Cameron, és Selva 2016). A „robotos csavarozás” helyett: „csavarkötés létrehozása előírt nyomatékkal”.
2. **Gyűjtsd össze a főfunkciókat** a működési koncepció forgatókönyveiből: mit kell a rendszernek tennie a teljes életciklusban, a normál üzemen túl a beállítás, a hibakezelés és a karbantartás során is.



13.1. ábra. A funkciófa és az allokáció lépései.

3. **Bontsd le a főfunkciókat részfunkciókra**, és számozd őket (1, 1.1, 1.1.1). A számozás végigvihető a teljes elemzésen, és lehetővé teszi a nyomonkövetést (Defense Acquisition University 2001, 5. fejezet).
4. **Ellenőrizd a szélességet és a mélységet.** Egy szinten jellemzően 2–9 elem legyen. Ha egy funkciónak egyetlen gyermeke van, a szint felesleges; ha tíznél több, valószínűleg hiányzik egy közbülső szint. A lebontást ott állítsd meg, ahol egy funkció már egyértelműen egy formai elemhez rendelhető.
5. **Ellenőrizd a megfogalmazást.** A DAU-jegyzet egyszerű szabálya: a funkciók legyenek igék; ha egy funkció főnévként jelenik meg, a funkciók megértésével van baj (Defense Acquisition University 2001, 5. fejezet). Szűrd ki a megoldásneveket is (robot, szoftver, alkalmazás).
6. **Allokáld a legalsó szintű funkciókat a forma elemeihez.** Az allokációs táblázat soraiban a funkciók, oszlopaiban a formai elemek állnak; egy „x” jelzi, hogy az elem részt vesz a funkcióban.
7. **Vizsgáld meg a gazdák számát.** A gazdátlan funkció elveszett funkció. A több gazdás funkció interfészt hoz létre, amelyet az N²-diagramon fel kell tüntetni (14. eszközlap).
8. **Rögzítsd a levezetett követelményeket.** A kiválasztott architektúrából olyan követelmények születnek, amelyek a bemeneti követelmények között nem szerepeltek; ezeket is allokálni kell (kézikönyv, 8. fejezet).

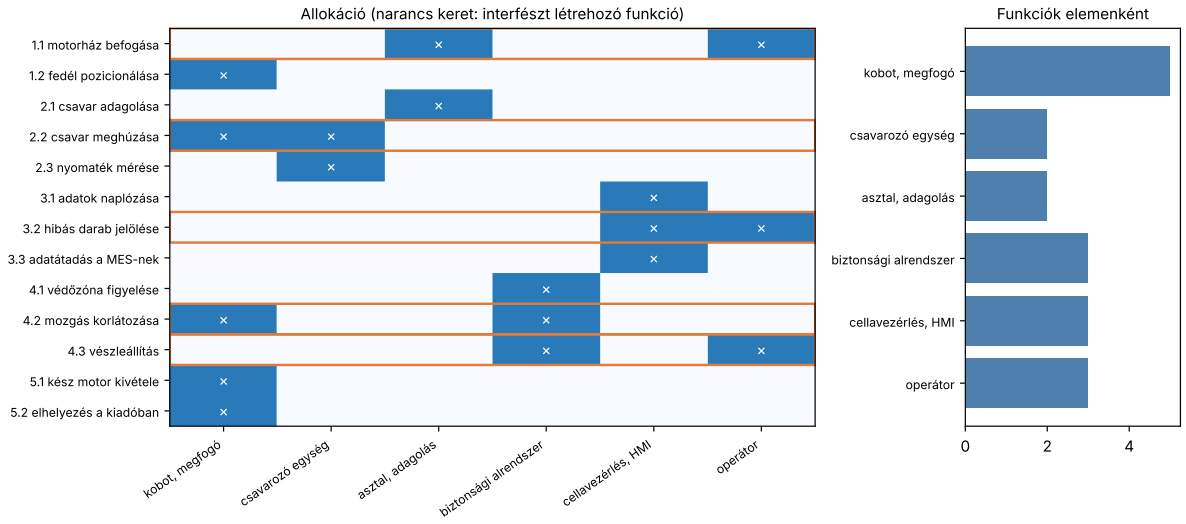
13.3. Kidolgozott példa: a KoboCella funkciói

A KoboCella fő funkciója a „motor összeszerelése”. A csapat öt főfunkciót és tizenhárom részfunkciót azonosított (a kézikönyv 8.3. szakaszában látható funkciófa). A sablon ellenőrző oszlopai két hibát jeleztek az első változatban: a „kobotos csavarozás” megoldásnevet tartalmazott, a „MES-interfész” pedig főnévi szerkezetű volt. Az átfogalmazás után („csavarkötés létrehozása”, „adatátadás a MES-nek”) mindkét jelzés eltűnt.

Az allokációs táblázatot a notebook hőtérképként rajzolja ki (13.2. ábra). A tizenhárom részfunkcióból nyolcnak egy gazdája van, ötnek kettő. A modularitási mutató (az egy gazdás funkciók aránya) így 62%.

Tanulságok:

- **A kobot integrált elem.** Öt funkcióban vesz részt, négy különböző főfunkcióból. Ez a kobotos koncepció lényegéből fakad, de a kobot programjának bármely módosítása után több funkciót kell újra ellenőrizni.



13.2. ábra. A KoboCella allokációs táblázata a notebookkal rajzolva. A narancs keretes sorok interfészt hoznak létre; a jobb oldali oszlopdiagram megmutatja, hány funkcióban vesz részt az egyes elem.

- **Az operátor is elem.** Három funkcióban vesz részt (befogás, hibás darab jelölése, vészleállítás). Az ember–gép interfészeket ugyanúgy meg kell tervezni, mint a műszakiakat.
- **Minden több gazdás funkció interfész.** A „mozgás korlátozása” a kobothoz és a biztonsági alrendszerhez is tartozik; ebből két levezetett követelmény született a jelzés és a sebességcsökkentés idejére (kézikönyv 8.5. szakasz).

> **Funkcionális folyamatábra és IDEF0**
>
> A funkciófa a hierarchiát mutatja, a sorrendet nem. A funkciók lefutását a funkcionális folyamatábra (FFBD) írja le ÉS- és VAGY-pontokkal, a bemeneteket, vezérléseket, kimeneteket és mechanizmusokat pedig az IDEF0-ábra (Defense Acquisition University 2001, 5–A. és 5-B. kiegészítés; NIST 1993). Mindkettő ugyanarra a számozásra épül, mint a funkciófa. A KoboCella FFBD-jét és a ForgácsTech IDEF0-ábráját a kézikönyv 8.4. szakasza mutatja be.

13.4. Sablon és notebook

- funkciofa_sablon.xlsx: funkciófa azonosítóval és szülővel; automatikus szint, gyermekszám, szélesség-ellenőrzés, igei szerkezet és megoldásnevek jelzése (a „Szótár” lap listái bővíthetők); allokációs táblázat a gazdák számával, állapotjelzéssel és modularitási mutatóval. A KoboCella példájával kitöltve.
- funkciofa.ipynb · Megnyitás Google Colabban: a funkciófa kirajzolása, a szélesség ellenőrzése, az allokáció hőtérképe (a 13.2. ábra így készült) és a modularitási mutató.

13.5. Előnyök és korlátok

13.1. táblázat. A funkciófa és az allokációs táblázat előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Egyszerű, mindenki számára érthető ábrázolás	Csak a hierarchiát mutatja, a sorrendet és az áramlásokat nem
A megoldássemleges megfogalmazás nyitva tartja a koncepciók körét	A lebontás nem egyértelmű: ugyanaz a rendszer többféleképpen bontható
Az allokáció azonnal megmutatja az elveszett funkciókat és az interfészeket	Az allokációs táblázat nem mondja meg, milyen az interfész
Alapot ad a követelménylebontáshoz, az FMEA-hoz és a morfológiai dobozhoz	Nagy rendszernél a fa és a táblázat gyorsan áttekinthetetlenné válik

Gyakori buktató

- **Megoldás a funkció helyén.** A „kobotos csavarozás” már eldönti a koncepciót. A funkció a „csavarkötés létrehozása”.
- **Alkatrészfa funkciófa helyett.** Ha a fa elemei főnevek („kobot”, „asztal”), az a termékszerkezet, nem a funkciók hierarchiája.
- **Csak a normál üzem.** A beállítás, a hibakezelés, a karbantartás és a vészhelyzet funkciói gyakran kimaradnak, pedig éppen ezekben a helyzetekben következik be a legtöbb baleset és hiba.
- **Az interfészek figyelmen kívül hagyása.** Minden több gazdás funkció interfészt jelent; ha nincs gazdája, az integrációnál derül ki a hiba.

13.6. Mintapromptok

Mintaprompt: megoldássemleges funkciófa vázlata

```
Rendszerünk célja és fő forgatókönyvei: [LEÍRÁS].
Feladat: javasolj kétszintű, számozott funkciófát (1, 1.1 …),
legfeljebb 7 főfunkcióval és főfunkciónként 2–5 részfunkcióval.
Minden funkció igei szerkezetű legyen (tárgy + igéből képzett
főnév), és NE tartalmazzon megoldást, eszközt vagy technológiát.
Vedd figyelembe a normál üzemen kívüli életciklus-szakaszokat is
(beállítás, hibakezelés, karbantartás, vészhelyzet).
A végén sorold fel, mely funkciókat érdemes a csapattal ellenőrizni.
```

Mintaprompt: az allokációs táblázat felülvizsgálata

```
Allokációs táblázatunk (funkciók × formai elemek, „x” = részt vesz):
[TÁBLÁZAT].
Feladat: (1) sorold fel a gazdátlan és a több gazdás funkciókat;
(2) minden több gazdás funkcióhoz fogalmazd meg, milyen interfész
keletkezik a két elem között (mit adnak át egymásnak);
(3) jelöld meg azokat az elemeket, amelyek sok funkciót látnak el,
és írd le, milyen kockázatot jelent ez a változtatásoknál.
Ne javasolj új elemeket, csak elemezd a meglévőket.
```

13.7. Feladat

4. projektlépés (első rész): funkciófa és allokáció

Saját projektedhez készíts legalább kétszintű, megoldássemleges funkciófát, és ellenőrizd a sablonnal (szélesség, igei szerkezet, megoldásnevek). Írj le egy koncepciót, és allokáld hozzá a legalsó szintű funkciókat. Sorold fel a több gazdás funkciókat, és mindegyikhez fogalmazz meg legalább egy levezetett követelményt.

14. N²-diagram és DSM

Eszközkártya

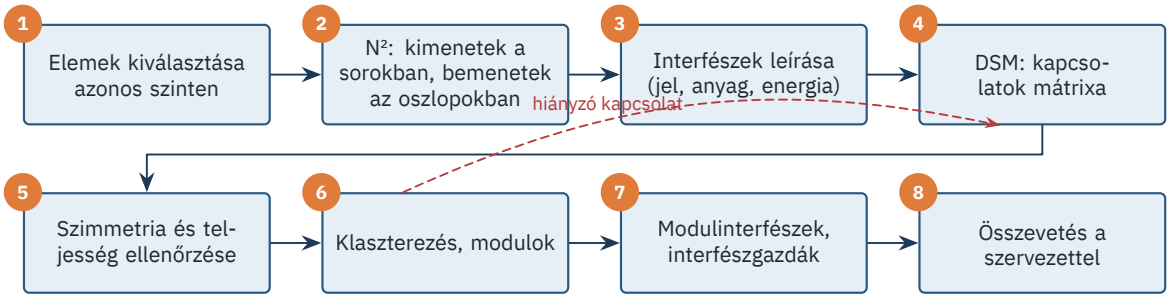
- **Mire való?** Az N²-diagram a rendszerelemek közötti interfészeket azonosítja és írja le; a tervezési struktúramátrix (DSM) a kapcsolatokat mátrixban, algoritmikusan elemezhető formában rögzíti, és klaszterezéssel modulokat javasol.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel N²-diagrammal azonosítani és leírni a rendszerelemek közötti interfészeket, és a DSM klaszterezésével modulokat javasolni.
- **V-lépés:** 4. Architektúra; az interfészek a 7. lépésben (integráció) térnek vissza.
- **Bemenet:** az architektúra elemei (alrendszerek, komponensek vagy funkciók), az allokációs táblázat, a működési koncepció.
- **Kimenet:** N²-diagram az interfészek leírásával, DSM, javasolt modulok, a modulinterfészek listája interfészgazdákkal.
- **Időigény:** egy 6–10 elemű N²-diagram 1–2 óra; egy 10–20 elemű DSM kitöltése 1–2 óra, az elemzés a notebookkal néhány perc.
- **Kézikönyv:** 8. fejezet, 8.6. és 8.7. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (NASA 2016, 6.3. szakasz).

14.1. Mikor használd?

- **Az allokáció után**, amikor már tudod, milyen elemekből áll a rendszer, és fel kell tárni, mit adnak át egymásnak.
- **Beszállítói vagy csapatfelosztás előtt:** a modulhatároknak a gyenge kapcsolatok mentén kell húzódniuk, és minden modulinterfésznek gazdát kell kapnia.
- **Integrációs terv készítésekor:** az interfészek listája az integrációs és interfész-verifikációs lépések alapja.
- **Változáskezelésnél:** a DSM megmutatja, egy elem módosítása mely más elemeket érinthet.

14.2. Lépések

1. **Válaszd ki az elemeket egy szinten.** Ne keverd a szinteket (például egy alrendszert a másik alrendszer egyik csavarjával). Az N²-diagramnál 5–10, a DSM-nél akár több tucat elem is kezelhető.
2. **Készítsd el az N²-diagramot.** Az átlóba az elemek kerülnek. A szokásos olvasat szerint az i-edik sor j-edik cellája az i-edik elem kimenete, amely a j-edik bemenete lesz (Lano 1977). Az üres cella azt jelenti, hogy nincs közvetlen interfész.
3. **Írd le az interfészeket.** Minden cellába rövid leírás: mit adnak át (jel, adat, anyag, energia, erőhatás), és ha már ismert, milyen formában. Az interfész forrását, célját és az átadott anyag, energia vagy információ jellemzőit is dokumentálni kell (Kossiakoff és mtsai. 2011, 3.5. szakasz).



14.1. ábra. Az N²-diagram és a DSM készítésének lépései.

4. **Készítsd el a DSM-et.** Ugyanazok az elemek a sorokban és az oszlopokban; 1 jelzi a kapcsolatot. Komponensalapú DSM-nél a kapcsolatok általában kölcsönösek, ezért a mátrix szimmetrikus (Eppinger és Browning 2012).
5. **Ellenőrizd a szimmetriát és a teljességet.** A sablon jelzi az aszimmetrikus cellapárokat; nézd meg az elszigetelt (kapcsolat nélküli) elemeket is.
6. **Klaszterezz.** Rendezd át a sorokat és oszlopokat úgy, hogy a kapcsolatok az átló körüli blokkokba tömörüljenek (Browning 2001). A notebook hierarchikus klaszterezéssel javasol modulokat, és Newman modularitási mérőszámával értékeli őket (Newman 2006).
7. **Rendelj interfészgazdát a modulinterfészekhez.** A blokkokon kívüli kapcsolatok a modulok közötti interfészek: ezekhez dokumentált interfészleírás és felelős kell.
8. **Vesd össze a szervezettel.** Ha a modulokat különböző csapatok vagy beszállítók fejlesztik, nézd meg, van-e a modulinterfészek két oldala között rendszeres kommunikáció (Sosa, Eppinger, és Rowles 2004).

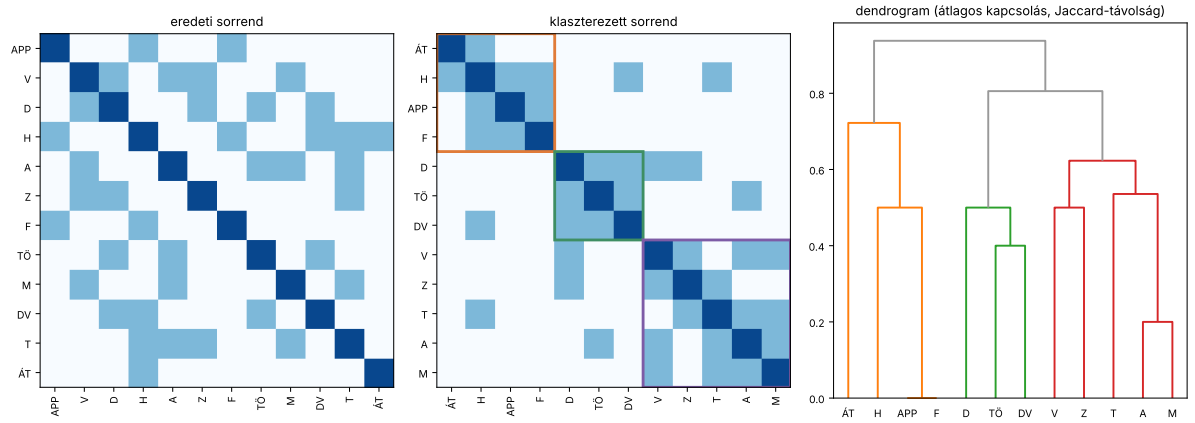
14.3. Kidolgozott példa: KoboCella-interfészek és VárosiBringa-modulok

N²-diagram. A KoboCella hat alrendszerének N²-diagramja (a kézikönyv 8.6. szakaszában) 15 interfészt tartalmaz. A cellavezérlés sora és oszlopa a legsűrűbb (a központi vezérlésű architektúra jellemzője), az operátor sora és oszlopa pedig négy ember–gép interfészt mutat (alkatrész behelyezése, nyugtázás, belépés a zónába, hibakód és utasítás fogadása). A sablon „N2” lapja ezt a diagramot tartalmazza, és soronként, oszloponként megszámolja az interfészeket.

DSM. A VárosiBringa 12 elemének DSM-jében 19 kölcsönös kapcsolat van (a mátrix sűrűsége 29%). A notebook a szomszédsági mintázatok hasonlósága (Jaccard-távolság) alapján átlagos kapcsolású hierarchikus klaszterezést végzett (14.2. ábra).

A dendrogram három modulnál vágva a platformot (áthelyezés-tervező, háttérrendszer, mobilalkalmazás, fizetési modul), a dokkolót (mechanika, töltőegység, vezérlő) és a kerékpárt (váz és hajtás, zár, telematika, akkumulátor, motor) adja. A 19 kapcsolatból 14 a modulokon belülre, 5 a modulok közé esik. A Newman-féle modularitás $Q = 0{,}374$, és a hálózattudományi mohó modularitás-maximalizálás ugyanezt a három modult találta meg, ami megerősíti a felosztást.

Tanulságok:



14.2. ábra. A VárosiBringa DSM-je eredeti és klaszterezett sorrendben, valamint a dendrogram. A notebookkal rajzolva.

- **Az öt modulinterfész** (zár–dokkoló mechanika, váz–dokkoló mechanika, akkumulátor–töltőegység, telematika–háttérrendszer, dokkolóvezérlő–háttérrendszer) lett a három beszállítói csomag közötti interfészszerződések tárgya.
- **A háttérrendszer központi elem:** öt kapcsolata van, és két modulinterfészben is részt vesz. Változásait különösen gondosan kell kezelni.
- **Az algoritmus javaslat, nem döntés.** Két modulnál vágva a dokkoló és a kerékpár egy modulba kerül, négynél az áthelyezés-tervező önálló modullá válik. Hogy melyik felosztás a jobb, az a beszállítói piacon, a csapatokon és a várható változásokon is múlik.

14.4. Sablon és notebook

- n2_dsm_sablon.xlsx: N²-diagram legfeljebb 8 elemre, soronkénti és oszloponkénti interfészszámmal; DSM legfeljebb 20 elemre modul-hozzárendeléssel, fokszámmal, aszimmetria-ellenőrzéssel, a modulokon belüli és a modulok közötti kapcsolatok számával. A KoboCella N²-diagramjával és a VárosiBringa DSM-jével kitöltve.
- n2_dsm.ipynb · Megnyitás Google Colabban: hierarchikus klaszterezés, dendrogram, eredeti és klaszterezett mátrix (a 14.2. ábra így készült), Newman-modularitás és összevetés közösségkereső algoritmussal.

14.5. Előnyök és korlátok

14.1. táblázat. Az N²-diagram és a DSM előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Rendszerezetten feltárja az összes páros interfészt	Csak páros kapcsolatokat ábrázol; a több elemet érintő kölcsönhatások rejtve maradnak
Az üres cellák is beszédesek: ott nem kell interfészt tervezni	Nagy N esetén az N²-diagram cellái átláthatatlanná válnak

Előnyök	Korlátok
A DSM algoritmikusan elemezhető: klaszterezés, sorba rendezés, változásterjedés	A kapcsolat erőssége és típusa egyetlen számba sűrítve elvész
Alapot ad az integrációs tervhez és a beszállítói felosztáshoz	Az eredmény a kitöltés minőségén múlik; a hiányzó kapcsolatok nem derülnek ki maguktól

Gyakori buktató

- **Keveredő szintek.** Ha az elemek között alrendszer és alkatrész is van, a mátrix félrevezető lesz.
- **Csak a „fő” interfészek.** A tápellátás, a földelés, a hűtés és a mechanikai rögzítés gyakran kimarad, pedig az integrációs hibák jelentős része itt jelentkezik.
- **Az ember kihagyása.** Az operátor, a karbantartó és a felhasználó is elem: az ember–gép interfészeket is fel kell tüntetni.
- **Gazdátlan interfész.** Ha egy interfész két oldalát két csapat fejleszti, és mindkettő azt hiszi, hogy a másik felel érte, az eltérés csak az integrációnál derül ki.

14.6. Mintapromptok

Mintaprompt: N²-diagram vázlata

```
Rendszerünk alrendszerei: [LISTA, rövid leírással].
Működési koncepciónk fő forgatókönyve: [LEÍRÁS].
Feladat: készíts N²-diagramot táblázatként (sor = kimenet, oszlop =
bemenet). Minden nem üres cellába írd, mit ad át az egyik
alrendszer a másiknak (jel, adat, anyag, energia, erőhatás).
Jelöld [?]-lel azokat a cellákat, amelyeknél nem biztos, hogy van
interfész, és fogalmazz meg hozzájuk egy-egy tisztázó kérdést.
Ne felejtsd ki az embert (operátor, karbantartó) mint elemet.
```

Mintaprompt: modulfelosztás értékelése

```
DSM-ünk klaszterezése a következő modulokat adta: [MODULOK].
A modulok közötti kapcsolatok: [LISTA].
Szervezetünkben a fejlesztést ezek a csapatok/beszállítók végzik:
[LISTA].
Feladat: (1) értékeld, illeszkedik-e a modulfelosztás a szervezeti
felosztáshoz; (2) sorold fel azokat a modulinterfészeket, amelyek
két különböző csapat határán vannak; (3) mindegyikhez javasolj
interfészleírási tartalmat (mit kell rögzíteni). Ne javasolj új
modulfelosztást, csak a kockázatokat azonosítsd.
```

14.7. Feladat

4. projektlépés (második rész): interfészek és modulok

Saját projekted kiválasztott koncepciójához készíts N^2-diagramot legalább öt alrendszerrel, és írd le minden interfész tartalmát. Ha legalább nyolc elemed van, készíts DSM-et, futtasd le a notebookot, és értékeld a javasolt modulokat. Sorold fel a modulinterfészeket, és mindegyikhez nevezz meg felelőst.

15. Morfológiai doboz

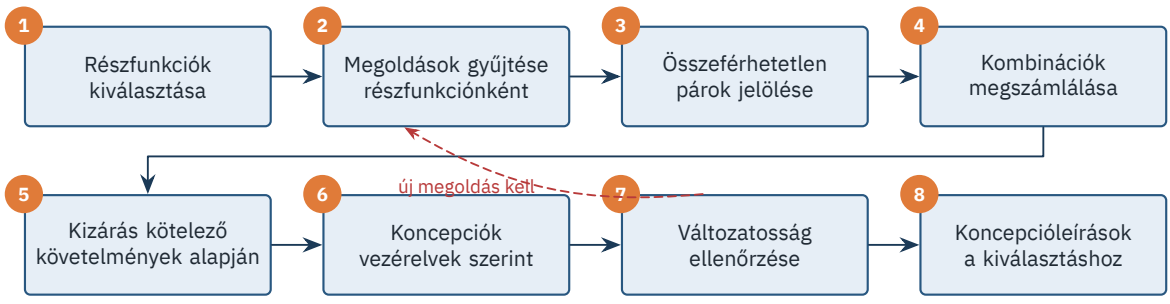
Eszközkártya

- **Mire való?** Koncepciók rendszerezett előállítása: részfunkciónként megoldásokat gyűjtünk, majd a részmegoldások kombinálásával teljes koncepciókat állítunk össze, kizárva az összeférhetetlen párokat.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel részfunkciónként megoldásváltozatokat gyűjteni, a morfológiai dobozból összeférhető koncepciókat összeállítani, és az összeférhetetlen kombinációkat kizárni.
- **V-lépés:** 4. Architektúra (koncepciógenerálás).
- **Bemenet:** funkciófa (a második szint részfunkciói), kötelező követelmények, ötletgyűjtések eredményei.
- **Kimenet:** kitöltött doboz, összeférhetetlenségi lista, 3–5 vezérelv szerint összeállított koncepció rövid leírással.
- **Időigény:** a doboz kitöltése 2–3 óra csapatmunka; a koncepciók összeállítása 1 óra.
- **Kézikönyv:** 9. fejezet, 9.4. szakasz.

15.1. Mikor használd?

- **Amikor a funkciók már ismertek**, és több, egymástól lényegesen különböző koncepcióra van szükség.
- **Amikor a csapat egyetlen ötlethez ragaszkodik:** a doboz kényszeríti a többi lehetőség végiggondolását, és csökkenti a tervezési fixációt.
- **Ha a megoldás több, viszonylag független részfunkcióból áll össze**, és a részmegoldások szabadon kombinálhatók.

15.2. Lépések



15.1. ábra. A morfológiai doboz lépései.

1. **Válaszd ki a részfunkciókat.** Legyenek egymástól függetlenek, és együtt fedjék le a fő funkciót. A funkciófa második szintje jó kiindulópont; 4–8 részfunkció kezelhető.

2. **Gyűjts megoldásokat részfunkciónként.** Részfunkciónként 3–6 megoldás, lehetőleg eltérő működési elvekre építve (mechanikus, pneumatikus, elektronikus, kézi, informatikai). Ehhez bármelyik ötletgeneráló módszer használható (18. eszközlap).
3. **Jelöld az összeférhetetlen párokat** indoklással: melyik részmegoldás nem kombinálható melyikkel, és miért.
4. **Számold meg a kombinációkat.** Az elvi kombinációk száma a részfunkciónkénti megoldásszámok szorzata. Ez a módszer legnagyobb erénye és legnagyobb nehézsége: a szám gyorsan ezres nagyságrendű lesz (Zwicky 1969).
5. **Zárd ki a kötelező követelményt nem teljesítő részmegoldásokat.**
6. **Állíts össze koncepciókat vezérelvek szerint.** Például „minden automatikus”, „minimális beruházás”, „maximális rugalmasság”. Minden koncepció egy útvonal a dobozon át.
7. **Ellenőrizd a változatosságot.** A koncepciók lényegesen különbözzenek: ha két koncepció csak egy-két részfunkcióban tér el, inkább egy koncepció két változata.
8. **Írj rövid leírást minden koncepcióról**, és add tovább a kiválasztásnak (19. eszközlap).

15.3. Kidolgozott példa: a KoboCella koncepciói

A KoboCella csapata hat részfunkcióhoz részfunkciónként négy megoldást gyűjtött (a doboz a kézikönyv 9.4. szakaszában látható). A sablon és a notebook számításai:

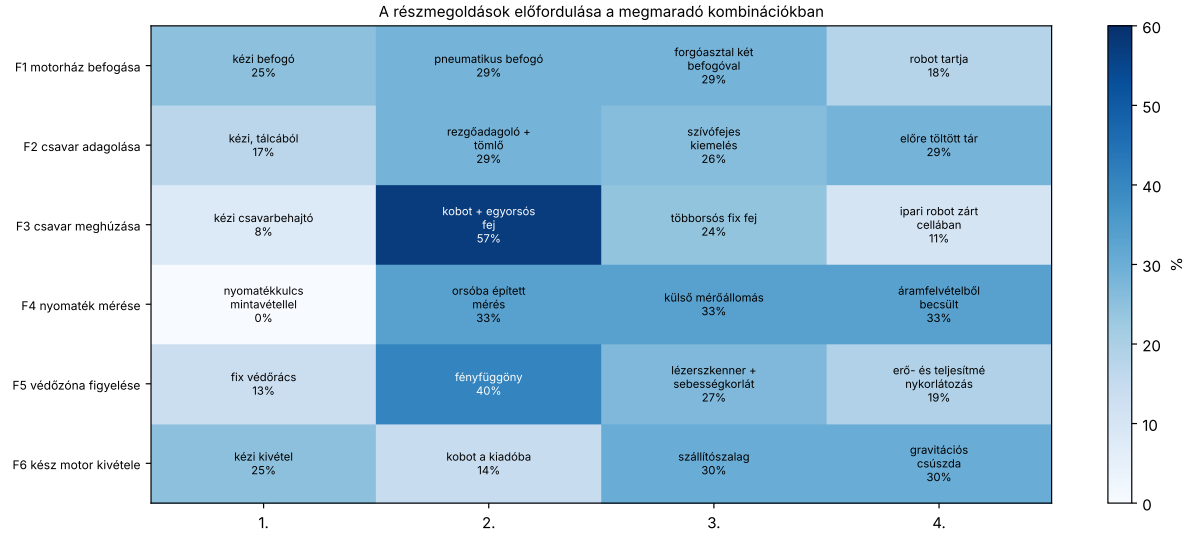
- **elvi kombinációk:** $4^6 = 4096$;
- **összeférhető kombinációk** a 17 tiltott pár (például a kézi csavarbehajtó és a fix védőrács, vagy a zárt robotcella és a kézi kivétel) kizárása után: 1344;
- **a kötelező követelmények után:** az R-09 szerint minden csavarkötés adatát át kell adni a MES-nek, ezért a mintavételes nyomatékkulcsos ellenőrzés kiesett; 1008 kombináció maradt.

A notebook azt is megmutatja, hogy az egyes részmegoldások a megmaradó kombinációk hányadában szerepelnek (15.2. ábra). A kobot egyorsós fejjel a kombinációk 57%-ában fordul elő, mert szinte mindennel összeférhető; az ipari robot zárt cellában csak 11%-ában, mert sok más választást kizár.

A csapat négy vezérelv köré szervezett koncepciót állított össze: együttműködő cella, fix állomás, kézi plusz és zárt robotcella. A sablon „Koncepciók” lapja mind a négyet összeférhetőnek jelzi. A notebook változatossági javaslata ezután két további, a meglévőktől legtávolabbi kombinációt mutatott. Az egyik szerint a motorházat robot tartja, a csavart egyorsós kobot húzza meg, a védelem erő- és teljesítménykorlátozással működik. A csapat ezt nem vitte tovább, de a „robot tartja a munkadarabot” ötlet a befogó egyszerűsítésének lehetőségeként bekerült a részletes tervezés kérdései közé.

Tanulságok:

- **A „kézi plusz” csak a doboz miatt merült fel.** A kobotos megoldás iránti lelkesedésben senki nem gondolt rá, holott a beruházási költsége a legkisebb (kézikönyv 9.4. szakasz).
- **Az összeférhetetlenségek a legértékesebb tudást hordozzák.** Indoklásuk sokszor egy-egy rejtett követelményt tár fel (például: a zárt cellában nincs kézi beavatkozás).



15.2. ábra. A részmegoldások előfordulása a megmaradó 1008 kombinációban. A notebookkal rajzolva.

15.4. Sablon és notebook

- morfologiai_doboz_sablon.xlsx: doboz legfeljebb 10 részfunkcióra és 6 megoldásra, az elvi kombinációk számával; összeférhetetlenségi lista; legfeljebb 5 koncepció összeállítása sorszámokkal, a választott megoldások kiírásával és az összeférhetőség automatikus ellenőrzésével. A KoboCella példájával kitöltve.
- morfologiai_doboz.ipynb · Megnyitás Google Colabban: a kombinációk teljes felsorolása és szűrése, a részmegoldások gyakorisága (a 15.2. ábra így készült), a koncepciók ellenőrzése és változatossági javaslat további koncepciókra.

15.5. Előnyök és korlátok

15.1. táblázat. A morfológiai doboz előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Rendszerezetten feltárja a megoldásteret, csökkenti a fixációt	A kombinációk száma gyorsan kezelhetetlenné válik
Szokatlan, de ígéretes kombinációkat is elénk tesz	Csak a felírt megoldásokat kombinálja; új működési elvet nem talál
Az összeférhetetlenségek rögzítése rejtett követelményeket tár fel	Feltételezi, hogy a részfunkciók függetlenek; erősen csatolt rendszereknél félrevezető
Jól dokumentálja, milyen lehetőségeket vizsgált meg a csapat	A koncepciók összeállítása továbbra is mérnöki ítéletet igényel

Gyakori buktató

- **Változatok egy elv körül.** Ha minden megoldás ugyanarra a működési elvre épül (négyféle robot), a doboz nem bővíti a megoldásteret.

- **Nem független részfunkciók.** Ha két sor valójában ugyanaz (például „csavar meghúzása” és „nyomaték elérése”), a kombinációk jelentős része értelmetlen.
- **Az összes kombináció értékelése.** Ezres nagyságrendű kombinációt nem lehet egyenként értékelni; vezérelvek szerint kell néhány jellegzetest kiválasztani.
- **Indoklás nélküli tiltások.** Az összeférhetetlenség indoklása nélkül később nem lehet eldönteni, hogy egy tiltás még érvényes-e.

15.6. Mintapromptok

Mintaprompt: megoldások gyűjtése egy részfunkcióhoz

```
Részfunkció: [megoldássemleges megfogalmazás].
Környezet és korlátok: [LEÍRÁS].
Feladat: sorolj fel 6–8 megoldást, mindegyik más működési elvre
épüljön (mechanikus, pneumatikus/hidraulikus, elektromos,
elektronikus/informatikai, kézi, biológiai analógia). Minden
megoldáshoz írd le egy mondatban az elvet és a fő korlátot.
Ne értékeld és ne rangsorold a megoldásokat.
```

Mintaprompt: összeférhetetlen párok keresése

```
Morfológiai dobozunk (részfunkciók és megoldások kóddal): [TÁBLÁZAT].
Feladat: keresd meg azokat a részmegoldás-párokat, amelyek fizikai,
biztonsági vagy logikai okból nem kombinálhatók. Minden párhoz adj
egymondatos indoklást. Jelöld külön azokat, amelyeknél nem vagy
biztos, és fogalmazz meg hozzájuk ellenőrző kérdést a csapatnak.
```

15.7. Feladat

4. projektlépés (harmadik rész): koncepciók előállítása

Saját projektedhez készíts morfológiai dobozt legalább öt részfunkcióval és részfunkciónként legalább három, eltérő elvű megoldással. Jelöld az összeférhetetlen párokat, számold ki az elvi és a megmaradó kombinációk számát, és állíts össze legalább három koncepciót vezérelvvel és egybekezdéses leírással.

16. TRIZ: ellentmondások és feltalálói elvek

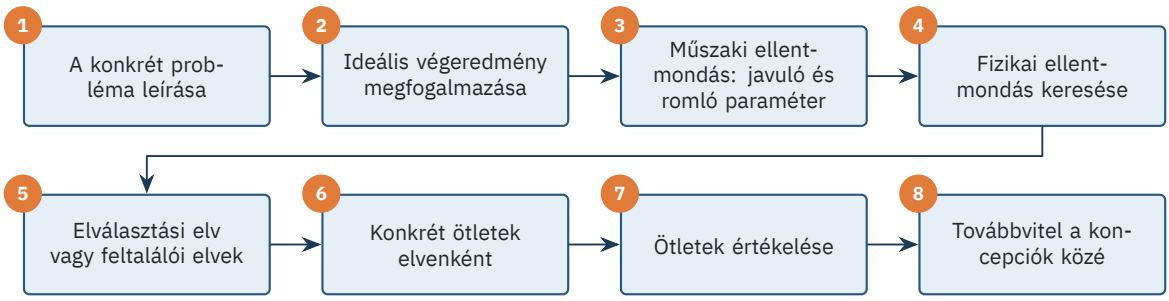
Eszközkártya

- **Mire való?** Egy műszaki vagy fizikai ellentmondás megfogalmazása, és feloldási irányok keresése kompromisszum helyett: a 39 általános paraméter, a 40 feltalálói elv, az elválasztási elvek és az ideális végeredmény segítségével.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel egy műszaki problémát műszaki vagy fizikai ellentmondásként megfogalmazni, és az ellentmondásmátrix, a feltalálói elvek és az elválasztási elvek segítségével feloldási irányokat találni.
- **V-lépés:** 4. Architektúra (koncepciógenerálás); a részletes tervezésben is használható.
- **Bemenet:** a minőségház tetőmátrixának negatív kapcsolatai, egymással ütköző követelmények, egy koncepció ismert gyengesége.
- **Kimenet:** megfogalmazott ellentmondás, választott elvek, konkrét megoldási ötletek értékeléssel.
- **Időigény:** egy ellentmondás 1–2 óra csapatmunka.
- **Kézikönyv:** 9. fejezet, 9.5. szakasz.

16.1. Mikor használd?

- **Ha a minőségház tetőmátrixában negatív kapcsolat van**, és a csapat kompromisszumra készül.
- **Ha két követelmény ütközik**, és egyik sem engedhető el (például a gyors kezelhetőség és a biztonság).
- **Ha egy koncepció egy pontban elakad**, és a szokásos megoldások nem működnek.
- **Nem való** olyan problémára, amelynek ismert, bevált megoldása van: ott elég a szakirodalom vagy a szabvány.

16.2. Lépések



16.1. ábra. A TRIZ-alapú ellentmondás-feloldás lépései.

1. **Írd le a konkrét problémát** egy-két mondatban, a környezettel és a korlátokkal együtt.
2. **Fogalmazd meg az ideális végeredményt:** azt a képzeletbeli rendszert, amely a funkciót ellátja, de nincs költsége, káros hatása és helyigénye. Ez segít elszakadni a meglévő megoldásoktól.
3. **Fogalmazd meg a műszaki ellentmondást:** melyik paraméter javítása melyik romlását okozza. Fordítsd le a konkrét jellemzőket Altsuller 39 általános paraméterének nyelvére (Altshuller 1984).
4. **Keress fizikai ellentmondást:** ugyanannak a jellemzőnek két ellentétes értéket kellene felvennie. Ez gyakran a műszaki ellentmondás mögött rejlő valódi probléma.
5. **Válassz megoldási irányt.** Fizikai ellentmondásnál elválasztási elvet: időben, térben, feltétel szerint vagy a rendszerszintek között. Műszaki ellentmondásnál feltalálói elveket; ezek kiválasztását az ellentmondásmátrix segíti, amely a szakirodalomban és a TRIZ-szoftverekben elérhető.
6. **Írj konkrét ötletet minden választott elvhez.** Az elv csak irány; a konkrét megoldáshoz szakmai tudás kell.
7. **Értékeld az ötleteket** megvalósíthatóság és várható hatás szerint.
8. **Vidd tovább a legjobbakat** a koncepciók közé vagy a koncepció módosításaként.

16.3. Kidolgozott példa: a VárosiBringa zárja

A VárosiBringa minőségházában a kölcsönzés gyorsasága és a zár feltörési ellenállása között negatív kapcsolat volt. A sablon „Ellentmondás” lapján a csapat így dolgozott:

16.1. táblázat. A VárosiBringa zárjának TRIZ-elemzése.

Lépés	Tartalom
konkrét probléma	a zár legyen gyorsan nyitható kölcsönzéskor, de nehezen feltörhető
ideális végeredmény	a kerékpár magától a helyén marad, amíg a jogosult felhasználó el nem viszi
műszaki ellentmondás	javítandó: kezelhetőség (a használat egyszerűsége); romló: szilárdság
fizikai ellentmondás	a reteszelőelemnek merevnek és könnyen mozdulónak is kell lennie
elválasztási elv	feltétel szerint: jogosulatlan erőhatással szemben merev, jogosult kérésre könnyen mozdul
választott elvek	dinamika; megelőző beavatkozás; a mechanikus rendszer helyettesítése

A három elvből három ötlet született: egy mechanikusan önzáró retesz, amelyet csak hitelesített jelre működő kis aktuátor old ki (dinamika); a kioldás előkészítése már a kölcsönzés jóváhagyásakor (megelőző beavatkozás); és a fizikai ellenállás egy részének kiváltása helymeghatározással és riasztással (a mechanikus rendszer helyettesítése). Az értékelés szerint az első a legjobban megvalósítható és a leghatásosabb; a harmadik az ideális végeredményhez áll a legközelebb, mert a zár szilárdságára kisebb terhelés jut, ha a lopott kerékpár helyzete mindig ismert.

Tanulságok:

- **A fizikai ellentmondás gyakran termékenyebb.** A műszaki ellentmondás („kezelhetőség kontra szilárdság”) kompromisszumra csábít; a fizikai ellentmondás („merev és mozgékony”) az elválasztás felé terel.
- **Az elvek nem adnak kész megoldást.** A „dinamika” elv önmagában semmit nem mond a zárról; a konkrét ötlethez zárszerkezeti tudás kellett.

16.4. Sablon

- triz_sablon.xlsx: a 39 általános paraméter magyarul és angolul; a 40 feltalálói elv rövid leírással és általános (ipari, hétköznapi) példával; ellentmondás-munkalap legördülő listákkal (paraméterek, elválasztási elvek, feltalálói elvek), az elvek leírásának automatikus kiírásával és az ötletek értékelésével. A VárosiBringa példájával kitöltve.

A TRIZ-hez nem tartozik notebook: a módszer lényege a csapat gondolkodása, amelyet a számítás nem helyettesít. A 40 elv konkrét alkalmazási ötleteinek előállításában a nyelvi modellek segíthetnek (lásd a mintapromptokat).

16.5. Előnyök és korlátok

16.2. táblázat. A TRIZ előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Kompromisszum helyett az ellentmondás feloldására irányít	Elsajátítása időigényes; a módszertan összetett (Ilevbare, Probert, és Phaal 2013)
Rendszerezett „ötletforrás”: a 40 elv tágítja a megoldásteret	Az elvek általánosak; a konkrét megoldáshoz szakmai tudás kell
Az ideális végeredmény segít elszakadni a meglévő megoldásoktól	Az ellentmondásmátrix javaslatai nem minden területen relevánsak
Jól kapcsolódik a QFD tetőmátrixához	A sikeres alkalmazás nagyban függ a szervezeti kultúrától (Ilevbare, Probert, és Phaal 2013)

Gyakori buktató

- **Rosszul megfogalmazott ellentmondás.** Ha a javuló és a romló paraméter nem valódi ellentmondás (például mindkettő a költség két megjelenése), az elvek nem segítenek.
- **Az elvek mechanikus alkalmazása.** Az elvek iránymutatók, nem receptek: minden elvhez legalább egy konkrét, a problémára szabott ötletet kell írni.
- **Csak az ellentmondásmátrix.** A TRIZ eszköztára jóval bővebb; a fizikai ellentmondás és az elválasztási elvek sokszor gyorsabban vezetnek eredményre.

16.6. Mintapromptok

Mintaprompt: az ellentmondás megfogalmazása

```
Problémánk: [LEÍRÁS]. Két ütköző követelmény: [A] és [B].
Feladat: (1) fogalmazd meg műszaki ellentmondásként (melyik
paraméter javítása melyik romlását okozza), Altsuller 39 általános
paraméterének nevével; (2) fogalmazd meg fizikai ellentmondásként
(melyik jellemzőnek kellene két ellentétes értéket felvennie);
(3) írd le, melyik elválasztási elv (idő, tér, feltétel,
rendszerszint) tűnik alkalmazhatónak, és miért.
Ne adj még konkrét műszaki megoldást.
```

Mintaprompt: ötletek feltalálói elvekhez

```
Ellentmondásunk: [megfogalmazás]. Környezet és korlátok: [LEÍRÁS].
Választott feltalálói elvek: [3–5 elv neve].
Feladat: minden elvhez írj két konkrét, a problémára szabott
megoldási ötletet egy-egy mondatban. Jelöld, ha egy ötlet új
kockázatot hoz be (biztonság, költség, karbantartás).
Ne rangsorold az ötleteket; az értékelést a csapat végzi.
```

16.7. Feladat

4. projektlépés (negyedik rész): egy ellentmondás feloldása

Keress saját projektedben legalább egy ellentmondást (például a minőségház tetőmátrixából vagy két ütköző követelményből). Fogalmazd meg műszaki és fizikai ellentmondásként, válassz elválasztási elvet és legalább három feltalálói elvet, írj elvenként konkrét ötletet, és értékeld őket a sablonnal.

17. Hat gondolkodó kalap

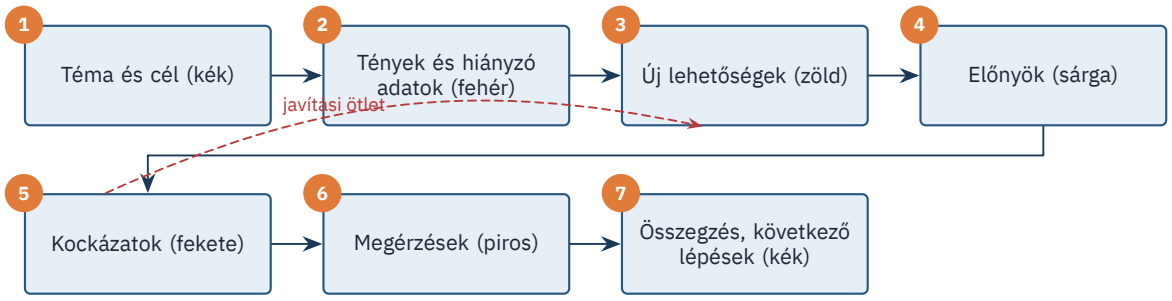
Eszközkártya

- **Mire való?** Egy megbeszélésen a gondolkodásmódok időbeli szétválasztása: a csoport egyszerre csak egyféle módon gondolkodik (tények, érzések, kockázatok, előnyök, új ötletek, folyamatirányítás), így csökkennek a parttalan viták.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel egy csoportos megbeszélést a hat gondolkodó kalap módszerével levezetni, és a kalapok sorrendjét a megbeszélés céljához igazítani.
- **V-lépés:** 4. Architektúra (koncepciók megvitatása); bármely csoportos értékelésnél és felülvizsgálatnál használható.
- **Bemenet:** egy megvitatandó javaslat, koncepció vagy probléma, a rendelkezésre álló tények.
- **Kimenet:** kalaponként rendezett jegyzet, megállapítások, döntés vagy javaslat, következő lépések felelőssel.
- **Időigény:** 45–60 perc.
- **Kézikönyv:** 9. fejezet, 9.6. szakasz.

17.1. Mikor használd?

- **Ha egy megbeszélésen** az egyik résztvevő az előnyökről, a másik a hátrányokról beszél, és egyikük sem hallja a másikat.
- **Koncepciók értékelésekor**, a számszerű értékelés előtt vagy után, hogy a nem számszerűsíthető szempontok is felszínre kerüljenek.
- **Vegyes csoportban**, ahol a kritikus és a kreatív alkatú résztvevők egyaránt jelen vannak.

17.2. Lépések



17.1. ábra. A hat gondolkodó kalap egy tipikus sorrendje.

De Bono módszerében a hat kalap hat gondolkodásmódot jelöl (Bono 1985). A kék kalapot a moderátor viseli: ő nyit, vált és zár.

1. **Kék kalap: cél és menet.** A moderátor rögzíti a megbeszélés célját, a kalapok sorrendjét és az időkeretet.
2. **Fehér kalap: tények.** Mit tudunk biztosan? Milyen adat hiányzik, és honnan szerezzük meg? Vélemény nem hangozhat el.
3. **Zöld kalap: új lehetőségek.** Milyen más megoldások jöhetnek szóba? Kritika tilos.
4. **Sárga kalap: előnyök.** Miért lehetünk bizakodók? Az előnyöket indokolni kell.
5. **Fekete kalap: kockázatok.** Mi mehet félre? Itt kifejezetten elvárt a kritika, indoklással.
6. **Piros kalap: megérzések.** Mindenki egy-két szóban, indoklás nélkül elmondja a zsigeri reakcióját.
7. **Kék kalap: összegzés.** Mire jutottunk? Ki mit tesz, és mikorra? Ha a fekete kalap kockázataira a zöld kalap még nem adott választ, egy újabb zöld kör következhet.

A sorrend a céltól függ. Új ötlet kidolgozásánál a zöld kalap kerül előre; egy kész javaslat értékelésénél a fehér, a sárga és a fekete; ha erős érzelmek vannak jelen, a piros kalap már az elején segíthet „kibeszélni” őket.

17.3. Kidolgozott példa: a ForgácsTech fokozatos MES-bevezetése

A költség–haszon elemzés után a ForgácsTech vezetősége a fokozatos bevezetés (M3) javaslatát hat kalappal vitatta meg (kézikönyv 10.7. szakasz). A sablon „Jegyzet” lapjának kivonata:

17.1. táblázat. A ForgácsTech hat kalapos megbeszélésének kivonata.

Kalap	Fő gondolatok
fehér	a rendelések 38%-a késik, átlagosan 4 munkanapot; a keret 45 MFt; az M3 első üteme 14 MFt; nincs adatunk arról, mennyi idő alatt tanulják meg a műszakvezetők az ütemezőt
zöld	az első ütem egy bővíthető platformon induljon; kísérleti üzem két géppel egy hónapig; a sürgősségi átsorolás naplózása már az első ütemben
sárga	gyors megtérülés, kis kockázat; a csapat hamar látja az eredményt; a tapasztalatok a második ütem követelményeit pontosítják
fekete	két ütem két átállást jelent a műhelynek; ha a platform mégsem bővíthető, zsákutcába jutunk; az első ütem után elfogyhat a lendület
piros	bizakodó, óvatos, kíváncsi

A kék kalapos összegzés döntése: az M3-at javasolják, azzal a feltétellel, hogy a beszállítói ajánlatkérésben a teljes MES-funkcionalitásig való bővíthetőség igazolása kötelező feltétel legyen. A fekete kalap második kockázatára (zsákutca) ez a feltétel ad választ, az elsőre (két átállás) a kísérleti üzem.

Tanulság: a fekete kalap kockázatai közvetlenül a döntés feltételeivé váltak. Ha a kritika a megbeszélés elején, rendezetlenül hangzott volna el, a csapat valószínűleg vagy elveti a javaslatot, vagy figyelmen kívül hagyja a kockázatokat.

17.4. Sablon

- hat_kalap_sablon.xlsx: ülésterv a kalapok sorrendjével, vezérkérdéseivel és időkeretével (automatikus összidő); jegyzetlap kalaponként a bejegyzések számlálásával; összegzés megállapításokkal, döntésekkel és következő lépésekkel. A ForgácsTech példájával kitöltve.

A módszerhez nem tartozik notebook: a megbeszélés szerkezetét adja, számítást nem igényel.

17.5. Előnyök és korlátok

17.2. táblázat. A hat gondolkodó kalap előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
A kritika helyet kap, de nem fojtja el az ötleteket	Erős moderálás nélkül a résztvevők visszacsúsznak a vitába
Kiegyensúlyozza a kritikus és a kreatív alkatok részvételét	A kalapok „szerepjátéka” egyes csoportokban idegennek hathat
Gyors, nem igényel előkészületet vagy eszközt	Nem ad számszerű eredményt; döntést önmagában nem alapoz meg
A piros kalap legitim helyet ad az érzéseknek	A tények (fehér kalap) minősége a rendelkezésre álló adatokon múlik

Gyakori buktató

- **Kalapok mint személyiségek.** Nem az a cél, hogy „Péter mindig a fekete kalapos”, hanem hogy mindenki minden kalapot felvegyen.
- **Hiányzó kék kalap.** Moderátor nélkül a sorrend felbomlik, és a megbeszélés visszatér a szokásos vitához.
- **Túl hosszú fekete kör.** A kockázatok gyűjtése könnyen elhatalmasodik; az időkeretet tartani kell, és a kockázatokra a zöld kalap adjon választ.

17.6. Mintapromptok

Mintaprompt: ülésterv

```
Megvitatandó javaslat: [LEÍRÁS]. Résztvevők: [szerepek].
Rendelkezésre álló idő: [perc].
Feladat: készíts hat kalapos üléstervet: a kalapok sorrendje
a célhoz igazítva, kalaponként 2–3 vezérkérdés és időkeret.
Indokold röviden a sorrendet. Ne töltsd ki a kalapok tartalmát;
azt a csapat adja.
```

Mintaprompt: fekete és zöld kalap gyakorlásra

```
Javaslat: [LEÍRÁS].
Feladat: (1) „fekete kalapban” sorolj fel 5 kockázatot vagy gyenge
pontot, mindegyikhez egy mondat indoklással; (2) „zöld kalapban”
minden kockázathoz adj egy lehetséges ellenintézkedést vagy
alternatívát. Jelöld, melyik kockázathoz kell több adat (fehér
kalap). A döntést ne hozd meg helyettünk.
```

17.7. Feladat

4. projektlépés (ötödik rész, opcionális): koncepció megvitatása

Vitassátok meg a csapatban a legígéretesebb koncepciót hat kalappal, a sablon ülésterve szerint. Rögzítsétek kalaponként a gondolatokat, és az összegzésben írjátok le, mely fekete kalapos kockázatokra milyen választ adtatok.

18. Ötletroham, névleges csoporttechnika, Delphi

Eszközkártya

- **Mire való?** Egy csoport tudásának és ötleteinek összegyűjtése (ötletroham, 6-3-5 ötletírás), az ötletek csendes, kiegyensúlyozott rangsorolása (névleges csoporttechnika) és szakértői becslések több körben, névtelenül történő egyeztetése (Delphi).
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel kiválasztani és levezetni a feladathoz illő csoportos ötletgeneráló módszert (ötletroham, 6-3-5, névleges csoporttechnika, Delphi), és az eredményt rangsorolni.
- **V-lépés:** 4. Architektúra (koncepciógenerálás); a problémafeltárásban, a kockázatelemzésben és a becslésekben is használható.
- **Bemenet:** világosan megfogalmazott kérdés vagy probléma, 5–12 résztvevő (Delphinél 5–15 szakértő).
- **Kimenet:** ötletlista kategóriákkal, rangsor, Delphinél konszenzusos becslés a szórással együtt.
- **Időigény:** ötletroham vagy 6-3-5 30–60 perc; névleges csoport 60–90 perc; Delphi 2–4 kör, körönként néhány nap.
- **Kézikönyv:** 9. fejezet, 9.3. és 9.9. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (Goldberg és mtsai. 1994, 7.7., 7.9. és 7.10. szakasz).

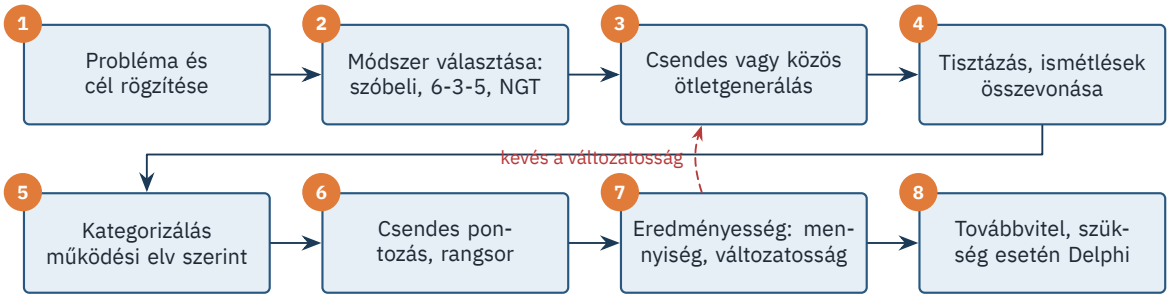
18.1. Mikor használd?

18.1. táblázat. Melyik csoportos módszert mikor válaszd?

Módszer	Akkor válaszd, ha …
ötletroham	kis, összeszokott csapat dolgozik egy laza témán, és fontos egymás ötleteire építeni
6-3-5 ötletírás	sok ötlet kell rövid idő alatt, és el akarod kerülni, hogy egy-két ember vigye a szót
névleges csoporttechnika	az ötletek mellett rangsor is kell, és a csoportban eltérő státuszú résztvevők vannak
Delphi	szakértői becslés vagy előrejelzés kell, a szakértők nem tudnak egyszerre jelen lenni, vagy erős személyiségek befolyásolnák egymást

18.2. Lépések

Ötletroham. Osborn négy szabálya: az ítélet felfüggesztése, a mennyiségre törekvés, a szokatlan ötletek bátorítása, az ötletek kombinálása és továbbfejlesztése (Osborn 1953). Az



18.1. ábra. A csoportos ötletgenerálás és rangsorolás lépései.

ülés három szakaszra tagolódik (generálás, tisztázás, értékelés), és fontos ülésekhez olyan moderátort érdemes felkérni, aki az eredményben nem érdekelt. A szóbeli csoportok termelékenysége a produkciós blokkolás miatt elmarad az egyénileg dolgozókétól (Diehl és Stroebe 1987; Mullen, Johnson, és Salas 1991), ezért érdemes az ülést néhány perc csendes, egyéni ötleteléssel kezdeni.

6-3-5 ötletírás. Hat résztvevő, mindenki három ötletet ír egy lapra öt perc alatt, majd továbbadja; hat kör után legfeljebb 108 ötlet születik (Rohrbach 1969).

Névleges csoporttechnika (Delbecq és Van de Ven 1971):

1. a moderátor ismerteti a kérdést és a szabályokat;
2. a résztvevők 5–15 percig csendben, egyénileg írnak;
3. a moderátor körbejárva egyesével gyűjti az ötleteket;
4. tisztázó kérdések vita nélkül, az ismétlődések összevonása;
5. csendes pontozás: mindenki a legfontosabb öt ötletnek ad 5, 4, 3, 2, 1 pontot;
6. összesítés: pontszám, szavazatszám, rangsor.

Delphi (Dalkey és Helmer 1963; Rowe és Wright 1999):

1. a kérdés pontos megfogalmazása (mértékegységgel, feltételekkel);
2. a szakértők kiválasztása (ne legyenek érdekeltek az eredményben);
3. első kör: egyéni, névtelen becslések indoklással;
4. a moderátor összesíti (medián, kvartilisek, az indoklások összefoglalása), és visszaküldi;
5. újabb körök, amíg a szórás egy előre rögzített határ alá nem csökken, vagy már nem változik.

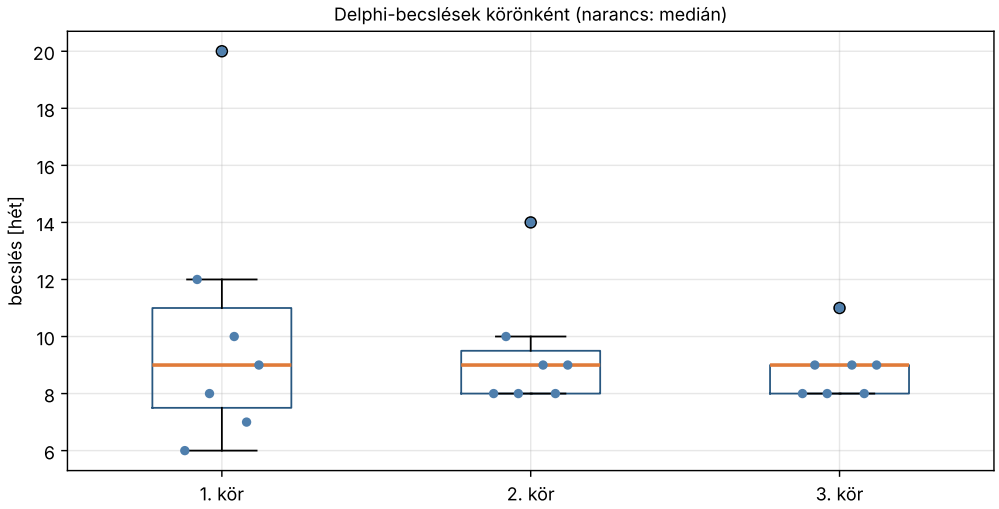
Eredményesség. Shah és szerzőtársai szerint az ötletgenerálás eredményessége négy mérőszámmal jellemezhető: mennyiség, változatosság, újdonság és minőség (Shah, Smith, és Vargas-Hernandez 2003). A korai szakaszban a változatosság (hány különböző működési elv vagy kategória) a legfontosabb.

18.3. Kidolgozott példa: a ForgácsTech késési okai és egy Delphi-becslés

Névleges csoport. A kézikönyv 9.3. szakaszában leírt ülésen tizenegy résztvevő csendes írással 41 ötletet gyűjtött, amelyből az összevonás után 27 különböző ok maradt. A sablon a csendes pontozás tizenkét legtöbb pontot kapott okát tartalmazza. Az első helyre a sürgős rendelések szóbeli előresorolása került (48 pont, mind a tizenegy résztvevő szavazott

rá), a másodikra az alapanyag-beérkezés bizonytalansága (40 pont, tíz szavazat), a harmadikra a váratlan gépleállások (34 pont, kilenc szavazat). Az első két ok a korábbi, szóbeli ötletrohamon fel sem merült. A tizenkét okot a csapat nyolc kategóriába sorolta (ütemezés, beszerzés, gépállapot, információ, erőforrás, technológia, minőség, értékesítés).

Delphi. Hét szakértő becsülte meg, hány hét alatt vezethető be az ütemezőmodul a műhely minden gépén (18.2. ábra). Az első körben a becslések 6 és 20 hét között szóródtak (medián 9, interkvartilis terjedelem 3,5 hét). A harmadik körre a terjedelem 1 hétre csökkent, a medián 9 héten maradt: a relatív terjedelem 39%-ról 11%-ra esett, ami a 20%-os konszenzushatár alatt van.



18.2. ábra. A Delphi-becslések körönként. A notebookkal rajzolva.

Tanulságok:

- **A szavazatszám is számít.** A harmadik helyezett okra kilencen szavaztak, a negyedikre (hosszú beállítási idők) csak öten, de ők magas pontszámmal. Az ilyen „szakértői kisebbségi” véleményt érdemes külön megvizsgálni.
- **A kilógó becslés információ.** A negyedik szakértő első becslése (20 hét) a többiekétől messze esett. Az indoklásából derült ki, hogy a gépek egy részén a vezérlő szoftverfrissítése is szükséges; ez a kockázat bekerült a projekttervbe.

18.4. Sablon és notebook

- otletroham_sablon.xlsx: 6-3-5 ötletírólap (hat lap, hat kör) az ötletek számlálásával; ötletlista kategóriával, ismétlés- és újdonságjelöléssel, a mennyiség, a változatosság és az újszerű ötletek arányának számításával; névleges csoport pontozólap legfeljebb 30 ötletre és 11 résztvevőre (pontszám, szavazatszám, rang); Delphi-lap négy körre (medián, kvartilisek, interkvartilis és relatív terjedelem). A ForgácsTech példájával kitöltve.
- otletertekeles.ipynb · Megnyitás Google Colabban: a névleges csoport összesítése, a Delphi-konvergencia ábrája (a 18.2. ábra így készült) és az ötletlista mérőszámai.

18.5. Előnyök és korlátok

18.2. táblázat. A csoportos módszerek előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
A csoport tudását és nézőpontjainak sokféleségét gyűjti össze	Az ötletroham csak javasol, nem dönt; eredménye a csoport konszenzusképességén múlik
A csendes változatok kiegyensúlyozzák a részvételt	A szóbeli csoportokban termelékenységi veszteség lép fel (Diehl és Stroebe 1987)
A névleges csoport rangsort is ad	A rangsor a pontozási szabálytól függ; a szavazatszámot is nézni kell
A Delphi kiküszöböli a személyes ellentéteket és a domináns hangokat	A Delphi időigényes, a résztvevők összegyűjtése nehéz (Rowe és Wright 1999)

Gyakori buktató

- **Rosszul megfogalmazott kérdés.** A „hogyan javíthatnánk a termelést?” túl tág. A „milyen okok miatt késnek a rendelések?” már jól ötletelhető.
- **Kritika az ülés alatt.** Egyetlen lekicsinylő megjegyzés is visszafogja a további ötleteket.
- **A főnök beszél először.** A státusz befolyásolja a többieket; ezért kell a csendes, egyéni írással kezdeni.
- **Delphi indoklás nélkül.** A számok összesítése önmagában kevés; a szélsőséges becslések indoklása gyakran a legértékesebb információ.

18.6. Mintapromptok

Mintaprompt: ötletlista kategorizálása

```
Ötletgyűjtésünk eredménye: [LISTA].
Feladat: (1) vond össze a lényegében azonos ötleteket, és jelöld,
melyeket vontad össze; (2) sorold be az ötleteket legfeljebb 8,
működési elv vagy témakör szerinti kategóriába; (3) jelöld meg,
mely kategóriák maradtak üresen vagy alulreprezentáltan, és
fogalmazz meg hozzájuk egy-egy kérdést, amely új ötleteket
hívhat elő. Ne értékeld és ne rangsorold az ötleteket.
```

Mintaprompt: Delphi-kérdőív

```
Becslendő mennyiség: [LEÍRÁS, mértékegység, feltételek].
Feladat: készíts Delphi-kérdőívet az első körhöz: a kérdés pontos
megfogalmazása, a becslés formája (legvalószínűbb, pesszimista,
optimista érték), az indoklás kérdései (milyen feltevésekre épül,
mi tenné nagyon rosszá vagy nagyon jóvá). Írd meg a második kör
visszajelzésének szerkezetét is (mit látnak a szakértők az első
kör eredményéből). Ne adj számszerű becslést.
```

18.7. Feladat

4. projektlépés (hatodik rész): csoportos ötletgenerálás

Tarts saját projektedben egy 6-3-5 vagy névleges csoportos ülést a fő funkció megoldási lehetőségeiről vagy a probléma okairól. Rögzítsd az ötleteket a sablonban, kategorizáld őket, és számold ki a mennyiséget és a változatosságot. Ha a projektben van bizonytalan, szakértői becslést igénylő mennyiség (idő, költség, igény), végezz legalább kétkörös Delphi-becslést.

19. Pugh-módszer

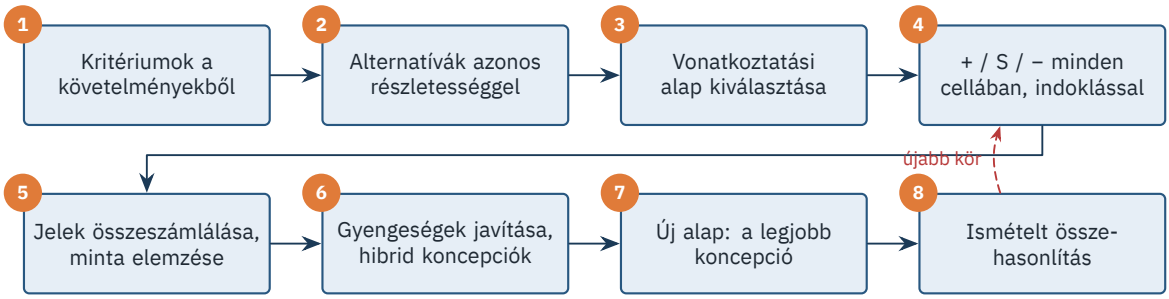
Eszközkártya

- **Mire való?** Koncepciók gyors, minőségi összehasonlítása egy vonatkoztatási alaphoz (datum), kritériumonként jobb (+), azonos (S) vagy rosszabb (–) jelöléssel; a gyenge koncepciók kiszűrése és hibrid koncepciók létrehozása.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel Pugh-összehasonlítást végezni több körben, a koncepciók erősség–gyengeség mintázatából hibrid koncepciókat alkotni, és indokolni a továbbvitt koncepciókat.
- **V-lépés:** 4. Architektúra (koncepció-kiválasztás, korai szakasz).
- **Bemenet:** 3–8 koncepció azonos részletességű leírással, a kritériumok a követelményekből és az érdekelt felek elvárásaiból.
- **Kimenet:** kitöltött összehasonlító táblázat indoklásokkal, a koncepciók erősség–gyengeség mintázata, hibrid ötletek, a továbbvitt koncepciók listája.
- **Időigény:** körönként 1–2 óra csapatmunka.
- **Kézikönyv:** 10. fejezet, 10.3. szakasz.

19.1. Mikor használd?

- **A koncepció szakasz elején**, amikor sok koncepció van, de kevés mennyiségi adat.
- **Mielőtt részletes, számszerű értékelésbe kezdenél:** a Pugh-módszer kiszűri a gyengéket, így a súlyozott értékelésre kevesebb alternatíva marad.
- **Ha a csapatban vita van:** a táblázat cellánként kényszeríti ki az indoklást.
- **Nem való** a végső döntéshez, ha a koncepciók között finom különbségek vannak, vagy ha a kritériumok fontossága nagyon eltérő.

19.2. Lépések



19.1. ábra. A Pugh-módszer lépései két körrel.

1. **Válaszd ki a kritériumokat** az alapkövetelményekből és a kívánt célból. Tipikus szempontok: fejlesztési és életciklus-költség, a követelmények teljesítése, műszaki kockázat (megbízhatóság, biztonság, minőség, emberi tényezők, környezeti hatás), költség- és ütemezési kockázat, a működtetés összetettsége.
2. **Írd le az alternatívákat** a lehető legtöbb szempontból azonos részletességgel.
3. **Válassz vonatkoztatási alapot:** a jelenlegi megoldást, egy versenytárs termékét vagy a legígéretesebbnek vélt koncepciót.
4. **Töltsd ki a táblázatot.** Minden cellában döntsd el: jobb (+), azonos (S) vagy rosszabb (–) az alternatíva az alapnál. Ha egy cellában nem lehet dönteni, több információ kell.
5. **Számold össze a jeleket.** Az előjeles összeg csak tájékoztató; a minta a fontosabb: hol erős és hol gyenge egy koncepció (Pugh 1991).
6. **Javítsd a gyengeségeket.** Nézd meg, hogyan lehetne a legjobb koncepciók mínuszait más koncepciók pluszaival kiváltani. Így születnek a hibrid koncepciók.
7. **Válassz új alapot**, általában az első kör nyertesét.
8. **Ismételd meg az összehasonlítást.** Pugh szerint a módszer ereje az iteráció: a koncepciók köre körről körre szűkül és erősödik.

19.3. Kidolgozott példa: a KoboCella koncepciói

Első kör. Vonatkoztatási alap: a jelenlegi kézi szerelés.

19.1. táblázat. A KoboCella Pugh-összehasonlításának első köre.

Kritérium	A: együttműködő cella	B: fix állomás	C: kézi plusz	D: zárt robotcella
ciklusidő-képesség	+	+	+	+
kötésminőség, utómunka	+	+	+	+
ergonómia	+	+	S	+
beruházási költség	–	–	S	–
átállási rugalmasság	S	–	S	–
helyigény	S	–	S	–
technikai kockázat	–	S	S	–
bővíthetőség 140 ezer db/évig	+	+	S	+
pluszok / S / mínuszok	**4 / 2 / 2**	**4 / 1 / 3**	**2 / 6 / 0**	**4 / 0 / 4**
előjeles összeg	**+2**	**+1**	**+2**	**0**

A „kézi plusz” ugyanannyi pontot kapott, mint az együttműködő cella, mínusz nélkül. A mintázat azonban beszédes: a C koncepció hat S-t kapott, vagyis alig különbözik a jelenlegi megoldástól. A részletesebb ergonómiai elemzés szerint a legnagyobb törzshajlítása 25° lenne, miközben az R-05 legfeljebb 20°-ot enged; a C így kötelező követelményt sértett, és kiesett. Elemeit (automatikus csavaradagolás, mérő csavarbehajtó) a csapat az A koncepció leromlott üzemmódjába építette be.

Második kör. Vonatkoztatási alap: az együttműködő cella (A). A fix állomás (B) három pluszt, két S-t és három mínuszt kapott (összeg: 0), a zárt robotcella (D) három pluszt, egy S-t és négy mínuszt (összeg: –1). Mindkettő ciklusidőben és minőségben jobb, rugalmasságban, helyigényben és beruházásban rosszabb az A-nál. A Pugh-módszer tehát nem

adott egyértelmű nyertest, de pontosan megmutatta, min múlik a döntés: a ciklusidő és a rugalmasság közötti átváltáson. Ennek számszerűsítésére a csapat súlyozott értékelést végzett (20. eszközlap).

Tanulságok:

- **A sok S gyanús.** Egy koncepció, amely mindenben azonos az alappal, valószínűleg nem old meg semmit; vagy a leírása túl elnagyolt.
- **A kizáró szűrést ne hagyd ki.** A Pugh-táblázat nem jelzi, ha egy koncepció kötelező követelményt sért; ezt külön ellenőrizni kell.
- **A vesztes koncepció is adhat ötletet.** A „kézi plusz” elemei tartalékmegoldásként élnek tovább.

19.4. Sablon

- pugh_sablon.xlsx: két kör, körönként legfeljebb 14 kritérium és 6 alternatíva; legördülő +, S, – jelölés; a pluszok, S-ek és mínuszok száma, az előjeles összeg, valamint opcionális súlyozással a súlyozott összeg; mező a hibrid ötleteknek. A KoboCella két körével kitöltve.

A Pugh-módszerhez nem tartozik notebook: a táblázat számítása egyszerű, a módszer értéke a cellánkénti vitában van. A súlyozott, számszerű folytatáshoz a trade_study notebook használható.

19.5. Előnyök és korlátok

19.2. táblázat. A Pugh-módszer előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Gyors, kevés adattal is működik	A számok csak tájékoztatók; nem szabad algebrailag végeredménynek tekinteni őket
Strukturálja a csapatmunkát, kikényszeríti az indoklást	A +/S/– skála elfedi a különbségek nagyságát
Kiszűri a gyenge koncepciókat, és hibrid ötleteket ad	Az eredmény függ a vonatkoztatási alap megválasztásától
Az iteráció a koncepciókat erősíti, nem csak szűri	Nem kezeli a kritériumok eltérő fontosságát (csak opcionális súlyozással)

Gyakori buktató

- **Döntés az összegből.** A mátrix nem dönt helyettünk: az előjeles összeg csak tájékoztató (Pugh 1991).
- **Eltérő részletességű koncepciók.** Egy kidolgozott és egy egysoros koncepció összehasonlításában az utóbbi indokolatlanul sok S-t kap.
- **Egyetlen kör.** Az első kör után a hibrid ötletek és az új alap nélkül a módszer ereje elvész.
- **Indoklás nélküli cellák.** Ha a + vagy – mögé nem kerül rövid indoklás, a táblázat utólag nem ellenőrizhető.

19.6. Mintapromptok

Mintaprompt: kritériumlista a Pugh-táblázathoz

```
Követelményeink: [LISTA]. Érdekelt feleink fő elvárásai: [LISTA].
Koncepcióink rövid leírása: [LISTA].
Feladat: javasolj 6–10 kritériumot a Pugh-összehasonlításhoz.
Minden kritérium legyen megkülönböztető (a koncepciók eltérhetnek
benne), és ne fedje át a másikat. Jelöld, melyik kritérium mögött
van kötelező követelmény: ezeket kizáró szűrésként külön is
ellenőrizni kell. Ne töltsd ki a táblázatot.
```

Mintaprompt: hibrid koncepció keresése

```
Pugh-táblázatunk első köre (kritériumok, koncepciók, +/S/– jelek
indoklással): [TÁBLÁZAT].
Feladat: a két legerősebb koncepció minden mínuszához keresd meg,
melyik másik koncepció melyik eleme adhat rá választ, és javasolj
legfeljebb két hibrid koncepciót egybekezdéses leírással. Jelöld,
milyen új kockázatot hoz a hibridizálás.
```

19.7. Feladat

5. projektlépés (első rész): Pugh-összehasonlítás

Saját projektedben hasonlítsd össze legalább három koncepciót a Pugh-módszerrel legalább hat kritérium szerint. Minden cellához írj egymondatos indoklást. Végezz kizáró szűrést a kötelező követelményekre, fogalmazz meg legalább egy hibrid ötletet, és végezz második kört új vonatkoztatási alappal.

20. Súlyozott értékelés (trade study)

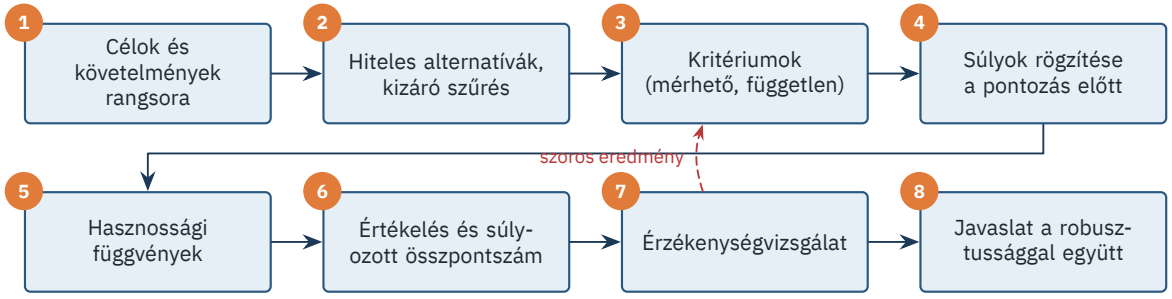
Eszközkártya

- **Mire való?** Jól definiált alternatívák számszerű összehasonlítása több, különböző mértékegységű kritérium szerint: hasznossági függvényekkel közös skálára hozott pontszámok, súlyozott összpontszám, rangsor és érzékenységvizsgálat.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel súlyozott értékelést összeállítani mérhető kritériumokkal, előre rögzített súlyokkal és hasznossági függvényekkel, és érzékenységvizsgálattal ellenőrizni a rangsor robusztusságát.
- **V-lépés:** 4. Architektúra (koncepció-kiválasztás); a részletes tervezésben (gyártás vagy vásárlás, tesztmódszer, változtatási javaslatok) is használható.
- **Bemenet:** a kizáró szűrésen átjutott alternatívák, mérhető kritériumok, a döntéshozó által rögzített súlyok, becsült vagy mért teljesítményadatok.
- **Kimenet:** értékelő táblázat, rangsor, a rangsorfordulás küszöbei, Monte Carlo-alapú robusztussági mérőszám, javaslat.
- **Időigény:** a kritériumok és súlyok egyeztetése 1–2 óra; az adatgyűjtés a kritériumoktól függ; a számítás a sablonnal percek.
- **Kézikönyv:** 10. fejezet, 10.2. és 10.4. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (Goldberg és mtsai. 1994, 2.1. szakasz; NASA 2016, 6.8. szakasz).

20.1. Mikor használd?

- **A Pugh-összehasonlítás után**, amikor 2–5 alternatíva maradt, és vannak mennyiségi adatok vagy megalapozott becslések.
- **Ha a döntést dokumentálni kell** egy felülvizsgálaton vagy a megrendelő felé.
- **Ha az alternatívák és a követelmények is jól definiáltak**, és a kritériumok legalább becsülhetők.

20.2. Lépések



20.1. ábra. A súlyozott értékelés lépései.

A lépések a többszempontú hasznosságelemzés bevett gyakorlatát követik (Edwards és Barron 1994; Parnell és mtsai. 2013).

1. **Rögzítsd és rangsorold a célokat és a követelményeket.**
2. **Gyűjtsd össze a hiteles alternatívákat**, és zárd ki azokat, amelyek kötelező követelményt nem teljesítenek. A kötelező kritériumot nem teljesítő alternatívát el kell vetni (Kepner és Tregoe 1965).
3. **Határozd meg a kritériumokat.** Jelentsenek mindenkinek ugyanazt, legyenek mérhetők, tegyenek különbséget az alternatívák között, kötődjenek a követelményekhez, és legyenek egymástól függetlenek.
4. **Rögzítsd a súlyokat (összesen 100)** a pontozás előtt. A súlyokat a döntésre jogosult személy vagy csoport határozza meg, lehetőleg az értékelőktől függetlenül.
5. **Készíts hasznossági függvényt minden kritériumhoz.** A sablon lineáris függvényt használ: a „rossz” szint 0, a „jó” szint 10 pontot ér. Szóbeli kritériumnál (kockázat) operatív definíciókkal ellátott skálát használj; a legfontosabb, hogy minden fokozatnak mérhető, megismételhető tartalma legyen (Keeney és Gregory 2005).
6. **Értékeld az alternatívákat** kritériumonként, és számítsd ki a súlyozott összpontszámot.
7. **Végezz érzékenységvizsgálatot.** Ha az összpontszámok közelebb vannak egymáshoz, mint amit a becslések megbízhatósága megenged, gyűjts több adatot, vagy gondold újra a kritériumokat és a súlyokat. Minőségi pontszámoknál egy skálalépésnél kisebb különbséget óvatosan kell értelmezni.
8. **Tegyél javaslatot a robusztussággal együtt.** Szoros eredménynél minden közeli alternatívát be kell mutatni a döntéshozónak (Parnell és mtsai. 2013).

20.3. Kidolgozott példa: a KoboCella három koncepciója

A kizáró szűrés után három koncepció maradt (együttműködő cella, fix állomás, zárt robotcella). A súlyokat a gyártásvezető, a minőségügyi vezető és a munkavédelmi felelős rögzítette: ciklusidő 20, utómunka-arány 20, törzshajlítás 15, beruházás 15, átállási idő 15, technikai kockázat 15. A pontszámok és az összpontszámok a kézikönyv 10.4. szakaszának táblázatában láthatók: A 7,16, B 6,50, D 6,22.

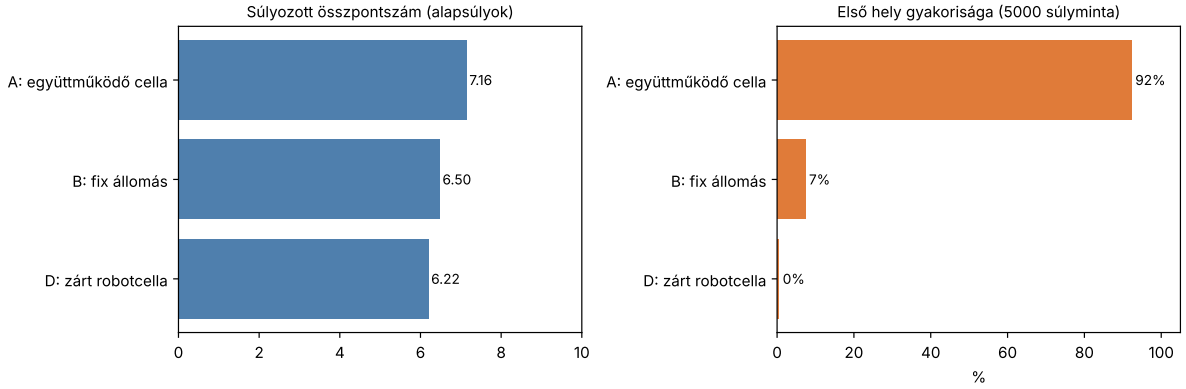
Az egytényezős érzékenységvizsgálat (sablon: „Érzékenység” lap; notebook: küszöbtáblázat) szerint az A első helye akkor fordulna meg, ha

- az átállási idő (K5) súlya 7,6 alá csökkenne (ekkor a B nyer);
- a technikai kockázat (K6) súlya 30,5 fölé nőne (B nyer);
- a ciklusidő (K1) súlya 43,3 fölé nőne, vagy a törzshajlítás (K3) súlya 49,3 fölé (D nyer).

A Monte Carlo-szimuláció 5000 súlymintával az A-t az esetek 92%-ában, a B-t 7%-ában, a D-t kevesebb mint 1%-ában találta elsőnek (20.2. ábra).

Tanulságok:

- **A döntés kulcsa egyetlen súly.** A rangsor az átállási idő súlyán múlik, ezért a csapat a gyártásvezetővel tisztázta a változatváltások várható gyakoriságát (két új motorváltozat két éven belül). Az érzékenységvizsgálat így nem a számítás „díszítése”, hanem a következő kérdés megtalálásának eszköze.
- **A robusztusság nem valószínűség.** A 92% nem azt jelenti, hogy az A 92%-os eséllyel a jó döntés, hanem azt, hogy a súlyok ésszerű bizonytalansága mellett a rangsor ennyire stabil.



20.2. ábra. A KoboCella súlyozott összpontszámai és az első hely gyakorisága 5000 súlymintán. A notebookkal rajzolva.

- **A javaslat feltételes.** A javaslatban rögzítették: ha a termékpaletta nem bővül, a fix állomás versenyképes alternatíva lett volna.

20.4. Sablon és notebook

- trade_study_sablon.xlsx: kritériumok súllyal és lineáris hasznossági függvénnyel (vagy szóbeli skálával), súlyösszeg-ellenőrzés; értékelő lap legfeljebb 10 kritériumra és 6 alternatívára, 0–10 pontszámmal, súlyozott összpontszámmal, ranggal és az elsőtől való eltéréssel; érzékenységi lap a választott kritérium súlyának 0–50 közötti változtatásával és diagrammal. A KoboCella példájával kitöltve.
- trade_study.ipynb · Megnyitás Google Colabban: pontszámok és összpontszámok, minden kritériumra a rangsorfordulás küszöbe, Monte Carlo-szimuláció Dirichlet-eloszlású súlyokkal (a 20.2. ábra így készült).

20.5. Előnyök és korlátok

20.1. táblázat. A súlyozott értékelés előnyei és korlátai (Parnell és mtsai. 2013).

Előnyök	Korlátok
Átlátható, dokumentálható, a felülvizsgálaton bemutatható	Az eredmény nagyban függ az elemző szakértelmétől és az adatok minőségétől
Különböző mértékegységű kritériumokat egyesít	A rosszul megválasztott kritériumok, súlyok és hasznossági függvények torzítják az eredményt
A vizsgálat mélysége a feladat súlyához igazítható	Az alternatívákat előre kell meghatározni; a módszer nem állít elő újakat
Az érzékenységvizsgálat megmutatja, min múlik a döntés	A súlyok szubjektívek, és közvetlenül befolyásolják a következtetést

Gyakori buktató

- **A súlyok utólagos hangolása.** Ha a csapat addig változtatja a súlyokat, amíg a kívánt alternatíva nem nyer, az értékelés hamis tudományosságot kölcsönöz egy előre meghozott döntésnek. A súlyokat a pontozás előtt kell rögzíteni.
- **Átfedő kritériumok.** A „beruházás” és az „életciklus-költség”, vagy a „ciklusidő” és a „termelékenység” együtt ugyanazt kétszer jutalmazza.
- **Kötelező követelmény súlyként.** A kötelező követelmény nem súlyozandó, hanem kizáró feltétel.
- **Szoros eredmény egyetlen nyertessel.** Ha a különbség a becslések bizonytalanságán belül van, mindkét alternatívát be kell mutatni.

20.6. Mintapromptok

Mintaprompt: kritériumok és hasznossági függvények

```
Alternatíváink: [LISTA rövid leírással]. Követelményeink: [LISTA].
Feladat: javasolj 5–8 kritériumot a súlyozott értékeléshez.
Mindegyikhez add meg: mértékegység, irány (kisebb vagy nagyobb a
jobb), a 0 pontot érő „rossz” és a 10 pontot érő „jó” szint
javaslata indoklással (a követelményekhez kötve), és jelöld [TBR]-rel,
ha a szint nem következik a megadott adatokból. Ellenőrizd, hogy a
kritériumok ne fedjék át egymást. Súlyokat NE javasolj: azokat a
döntéshozó rögzíti.
```

Mintaprompt: az érzékenységvizsgálat értelmezése

```
Súlyozott értékelésünk eredménye: [TÁBLÁZAT összpontszámokkal].
Az egytényezős érzékenységvizsgálat küszöbei: [TÁBLÁZAT].
Feladat: fogalmazd meg, mely súlyokon múlik a döntés, és milyen
kérdéseket kell feltenni a döntéshozónak ezekről a súlyokról.
Írj egy bekezdést a javaslatba a rangsor robusztusságáról.
Ne változtasd meg a súlyokat, és ne válassz alternatívát.
```

20.7. Feladat

5. projektlépés (második rész): súlyozott értékelés

Saját projektedben értékeld a Pugh-összehasonlításon továbbjutott koncepciókat legalább öt kritérium szerint. A súlyokat egy csapattársad vagy a megrendelőd rögzítse a pontozás előtt. Végezz egytényezős érzékenységvizsgálatot a két legfontosabb kritériumra, futtasd le a notebook Monte Carlo-szimulációját, és írd le a javaslatot a robusztussággal együtt.

21. Hasznossági függvények (MAUT)

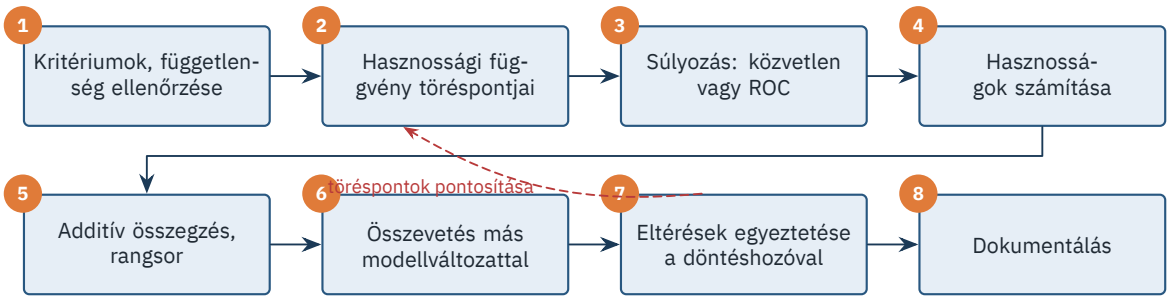
Eszközkártya

- **Mire való?** A súlyozott értékelés továbbfejlesztése: nemlineáris (töréspontos) hasznossági függvények a döntéshozó tényleges preferenciáinak leírására, valamint többféle súlymeghatározás (közvetlen pontosztás, rangsor-súlypont) és ezek hatásának összevetése.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel töréspontos hasznossági függvényt felvenni a döntéshozóval, és ellenőrizni, hogy az additív aggregálás feltételei teljesülnek-e.
- **V-lépés:** 4. Architektúra (koncepció-kiválasztás, előzetes tervezés).
- **Bemenet:** az alternatívák értékei a kritériumok szerint, a döntéshozóval egyeztetett hasznossági töréspontok, a kritériumok sorrendje vagy súlya.
- **Kimenet:** hasznossági függvények, súlyok, összpontszámok négy modellváltozatban, a modellválasztás hatásának értékelése.
- **Időigény:** a töréspontok egyeztetése kritériumonként 10–20 perc a döntéshozóval; a számítás percek.
- **Kézikönyv:** 10. fejezet, 10.4. szakasz.

21.1. Mikor használd?

- **Ha a lineáris hasznosság félrevezető:** például egy követelményhatár közelében egy kis javulás sokat ér, azon túl alig valamit.
- **Ha a döntéshozók a sorrendben könnyebben egyeznek meg, mint a pontos súlyokban:** ekkor a rangsor-súlypont (ROC) súlyozás segít.
- **Ha meg akarod mutatni, mennyire függ az eredmény a modellezési döntésektől** (függvényalak, súlyozási módszer).

21.2. Lépések

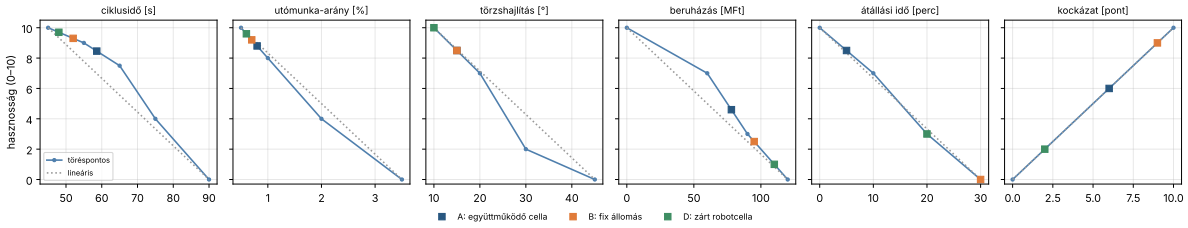


21.1. ábra. A többszempontú hasznosságelemzés lépései.

1. **Ellenőrizd a kritériumok függetlenségét.** Az additív modell Keeney és Raiffa szerint csak bizonyos függetlenségi feltételek mellett érvényes (Keeney és Raiffa 1976). A gyakorlati próba: két kritérium közötti átváltási hajlandóságod nem függ-e a többi kritérium szintjétől?
2. **Határozd meg a töréspontokat.** Kérdezd meg a döntéshozót: „Mennyit ér (0–10 skálán), ha a ciklusidő 65 s?” A hasznossági függvény lehet monoton növekvő vagy csökkenő, konkáv vagy konvex, sőt nem monoton is (a nagyobb kijelző egy méretig jobb). Az átalakítást dokumentálni kell.
3. **Válassz súlyozási módszert.** Közvetlen pontosztás (összesen 100), vagy rangsorsúlypont: Edwards és Barron szerint n kritérium esetén az i-edik helyen álló súlya $w_i = \frac{1}{n}\sum_{k=i}^{n}\frac{1}{k}$ (Edwards és Barron 1994).
4. **Számítsd ki a hasznosságokat** töréspontok közötti lineáris interpolációval.
5. **Összegezd additívan**, és állítsd fel a rangsort.
6. **Vesd össze a modellváltozatokat:** lineáris vagy töréspontos hasznosság, közvetlen vagy ROC-súlyok.
7. **Egyeztesd az eltéréseket a döntéshozóval.** Ha a változatok eltérő nyertest adnak, a döntés egy modellezési döntésen múlik: ezt tisztázni kell, nem elrejteni.
8. **Dokumentáld** a függvényeket, a súlyokat és az összevetés eredményét.

21.3. Kidolgozott példa: a KoboCella nemlineáris hasznossággal

A KoboCella súlyozott értékelését (20. eszközlap) a csapat töréspontos hasznossági függvényekkel is elvégezte (21.2. ábra). A ciklusidőnél a 75 s-os követelményhatár körül meredek a függvény (75 s: 4 pont, 65 s: 7,5 pont), a törzshajlításnál a 20°-os határ körül (20°: 7 pont, 30°: 2 pont), a beruházásnál pedig 60 MFt fölött gyorsan csökken a hasznosság (a költségkeret szorítása).



21.2. ábra. A töréspontos (folytonos) és a lineáris (pontozott) hasznossági függvények, rajtuk az alternatívák értékeivel. A notebookkal rajzolva.

A négy modellváltozat eredménye:

21.1. táblázat. A KoboCella összpontszámai négy modellváltozatban. A ROC-súlyok a következő sorrendből: utómunka, ciklusidő, törzshajlítás, átállási idő, beruházás, kockázat.

Alternatíva	lineáris + közvetlen	töréspontos + közvetlen	lineáris + ROC	töréspontos + ROC
A: együttműködő cella	**7,16**	**7,59**	7,96	**8,31**
B: fix állomás	6,50	6,70	7,59	7,75
D: zárt robotcella	6,22	6,26	**8,24**	8,27

Tanulságok:

- **A közvetlen súlyokkal az eredmény stabil.** A töréspontos függvények az A előnyét növelik (7,59 a B 6,70-ével szemben), mert az A a követelményhatárok körüli meredek szakaszokon kedvezően áll.
- **A ROC-súlyozás megfordíthatja a rangsort.** Hat kritériumnál a ROC-súlyok 0,408; 0,242; 0,158; 0,103; 0,061; 0,028, vagyis az első két kritérium együtt a súly 65%-át kapja. Ezekben (utómunka, ciklusidő) a zárt robotcella a legjobb, ezért lineáris hasznossággal a D nyer, töréspontossal az A csak hajszállal (8,31 a 8,27-tel szemben).
- **A súlyozási módszer itt nagyobb hatású, mint a függvényalak.** A csapat ezért a döntéshozókkal megerősíttette, hogy a közvetlen súlyok (20–20–15–15–15–15) tükrözik a szándékukat, és a ROC-változat eredményét a döntési jelentésben érzékenységi információként rögzítette.

21.4. Sablon és notebook

- maut_sablon.xlsx: kritériumonként legfeljebb öt töréspont; súlylap közvetlen és ROC-súlyokkal (a ROC-súlyok a rangsorból automatikusan); értékelő lap interpolált hasznosságokkal és mindkét súlyozással számított összpontszámmal és ranggal. A KoboCella példájával kitöltve.
- maut.ipynb · Megnyitás Google Colabban: a hasznossági függvények ábrája (a 21.2. ábra így készült), a ROC-súlyok és a négy modellváltozat összevetése.

21.5. Előnyök és korlátok

21.2. táblázat. A MAUT előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
A döntéshozó tényleges preferenciáit írja le, nem egy feltételezett lineáris összefüggést	A töréspontok egyeztetése időigényes, és a kérdezés módja befolyásolja a válaszokat
A követelményhatárok körüli „értékugrások” megjeleníthetők	Az additív modell függetlenségi feltételei a gyakorlatban ritkán ellenőrzöttek
A ROC-súlyokhoz csak sorrend kell	A ROC az első helyeken álló kritériumokat erősen felülsúlyozza
A modellváltozatok összevetése a modellbizonytalanságot is láthatóvá teszi	Több változat több vitát is szülhet; a döntési jelentésnek ezt kezelnie kell

Gyakori buktató

- **A töréspontokat az elemző találja ki.** A hasznosság a döntéshozó preferenciája; nélküle a függvény csak az elemző véleménye.
- **Nem monoton kritérium lineárisan.** Ha egy jellemzőnek optimuma van (például kijelzőméret, munkamagasság), a monoton függvény félrevezet.
- **Összeadás függő kritériumoknál.** Ha a gyors, de selejtes gyártás semmit sem ér, a ciklusidő és a minőség nem adható össze egyszerűen; ilyenkor kizáró feltétel vagy összetettebb aggregálás kell (Keeney és Raiffa 1976).

21.6. Mintapromptok

Mintaprompt: interjúkérdések a hasznossági függvényhez

```
Kritérium: [név, mértékegység, a követelmény határa, a vizsgált
tartomány]. Döntéshozó: [szerep].
Feladat: írj 5–6 interjúkérdést, amelyekkel a döntéshozótól a
hasznossági függvény töréspontjai (0–10 skálán) felvehetők.
Kérdezz rá a követelményhatár környékére, a telítődésre és arra,
van-e optimum. A kérdések legyenek semlegesek, ne sugalljanak
választ. Ne adj meg számértéket.
```

Mintaprompt: a modellváltozatok eltérésének magyarázata

```
Négy modellváltozatunk eredménye: [TÁBLÁZAT].
Súlyaink (közvetlen és ROC): [TÁBLÁZAT]. Hasznossági töréspontjaink:
[TÁBLÁZAT].
Feladat: magyarázd el közérthetően, miért ad eltérő nyertest a
[változat] és a [változat], és fogalmazz meg két kérdést a
döntéshozónak, amelyek a különbséget feloldhatják. Ne válassz
alternatívát.
```

21.7. Feladat

5. projektlépés (harmadik rész, választható): hasznosságelemzés

Saját projektedben legalább két kritériumhoz vedd fel a hasznossági függvény töréspontjait egy érdekelt féllel készített rövid interjúval. Számítsd ki az összpontszámokat lineáris és töréspontos hasznossággal, közvetlen és ROC-súlyokkal, és írd le, hogyan befolyásolják a modellezési döntések az eredményt.

22. AHP – páros összehasonlítás

Eszközkártya

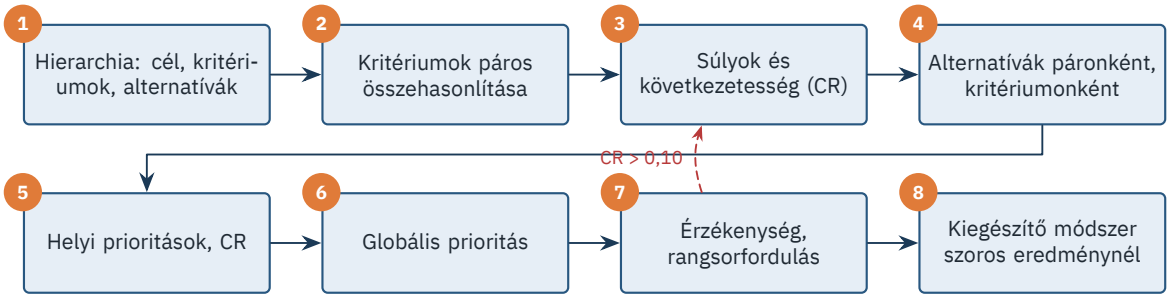
- **Mire való?** Kritériumsúlyok és alternatíva-prioritások meghatározása páros, szóbeli összehasonlításokból (Saaty analitikus hierarchia eljárása), az ítéletek következetességének ellenőrzésével.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel páros összehasonlítási mátrixot felállítani Saaty-skálán, kiszámítani a súlyokat és a konzisztenciaarányt, és a következetlen ítéleteket javítani.
- **V-lépés:** 4. Architektúra (koncepció-kiválasztás); bármely többszempontú döntésnél, ahol a kritériumok nehezen számszerűsíthetők.
- **Bemenet:** a döntési hierarchia (cél, kritériumok, alternatívák), a döntéshozók páros ítéletei a Saaty-skálán.
- **Kimenet:** kritériumsúlyok, helyi és globális prioritások, következetességi arány (CR), érzékenységi görbe.
- **Időigény:** n elemű szinthez $n(n-1)/2$ összehasonlítás; négy kritérium és három alternatíva esetén összesen 18 ítélet, kb. 1 óra.
- **Kézikönyv:** 10. fejezet, 10.5. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (Goldberg és mtsai. 1994, 2.1. szakasz).

22.1. Mikor használd?

- **Ha a kritériumok fontosságát nehéz számmal kifejezni**, de páronként könnyű megmondani, melyik fontosabb és mennyivel. Az AHP akkor hasznos, ha a szóbeli ítéletek (egyforma, mérsékelten, erősen fontosabb) könnyebben előállíthatók, mint a számszerű értékelések (Saaty 1990).
- **Súlyok meghatározására** egy súlyozott értékeléshez (20. eszközlap), akkor is, ha az alternatívákat már mennyiségi adatokkal értékeled.
- **Kevés elem esetén:** szintenként legfeljebb 7–9 elem, különben az összehasonlítások száma kezelhetetlenné válik.

22.2. Lépések

1. **Építsd fel a hierarchiát:** a csúcson a cél, alatta a kritériumok (szükség esetén alkritériumok), legalul az alternatívák (Saaty 1990).
2. **Hasonlítsd össze páronként a kritériumokat** a cél szempontjából, Saaty skáláján: 1 egyforma, 3 mérsékelten, 5 erősen, 7 nagyon erősen, 9 rendkívül fontosabb; 2, 4, 6, 8 köztes értékek. Ha a sor eleme a kevésbé fontos, a reciprok kerül a cellába.
3. **Számítsd ki a súlyokat és a következetességet.** A súlyok a legnagyobb sajátértékhez tartozó normált sajátvektor elemei; a sablon ennek jó közelítését, a sorok mértani közepét használja. A következetességi index $\mathrm{CI} = (\lambda_{\max} - n)/(n-1)$, a



22.1. ábra. Az AHP lépései.

következetességi arány $\mathrm{CR} = \mathrm{CI}/\mathrm{RI}_n$; a 0,10 alatti érték elfogadható (Saaty 1980, 1990).

4. **Hasonlítsd össze páronként az alternatívákat** minden kritérium szempontjából. Figyelj az irányra: költségnél és kockázatnál a kisebb érték a jobb.
5. **Számítsd ki a helyi prioritásokat** és mátrixonként a CR-t.
6. **Számítsd ki a globális prioritást:** a kritériumsúlyokkal súlyozott helyi prioritások összegét.
7. **Végezz érzékenységvizsgálatot** a legfontosabb kritérium súlyára, és figyelj a rangsorfordulásra: egy új, az eddigiek egyikéhez hasonló alternatíva hozzáadása megfordíthatja a korábbi sorrendet (Belton és Gear 1983).
8. **Szoros eredménynél egészítsd ki** más módszerrel (például költség–haszon elemzéssel, 24. eszközlap).

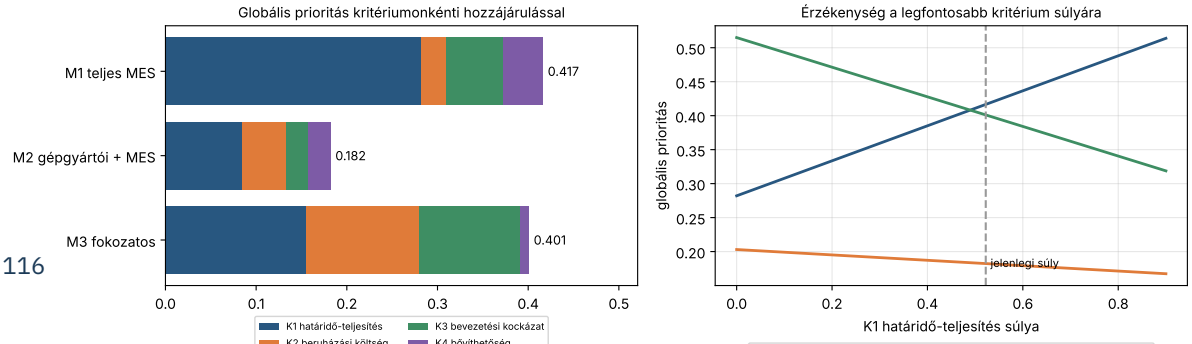
22.3. Kidolgozott példa: a ForgácsTech MES-koncepciója

A ForgácsTech vezetősége négy kritérium szerint hasonlította össze a három MES-koncepciót (M1 teljes MES egy beszállítótól, M2 gépgyártói adatgyűjtés és MES, M3 fokozatos bevezetés). A kritériumok páros összehasonlítása:

22.1. táblázat. A ForgácsTech kritériumainak páros összehasonlítása és sajátvektor-súlyai.

	K1 határidő	K2 költség	K3 kockázat	K4 bővíthetőség	Súly
K1 határidő-teljesítés javulása	1	3	3	5	0,522
K2 beruházási költség	1/3	1	1	3	0,200
K3 bevezetési kockázat	1/3	1	1	3	0,200
K4 bővíthetőség	1/5	1/3	1/3	1	0,078

A legnagyobb sajátérték 4,043, így $\mathrm{CI} = 0{,}014$ és $\mathrm{CR} = 0{,}016$. A sablon mértani közép módszere gyakorlatilag ugyanezt adja (0,520; 0,201; 0,201; 0,078). Az alternatívák mátrixainak CR-értéke 0,008 és 0,016 között van. A globális prioritások: M1 0,417, M2 0,182, M3 0,401 (22.2. ábra).



- **Az AHP az M2-t egyértelműen kiszűrte**, az M1 és az M3 között azonban nem döntött: a különbség 4%, és a határidő-teljesítés súlyának 0,522-ről 0,48 alá csökkenése már megfordítaná a sorrendet.
- **A hozzájárulások megmutatják a különbség okát.** Az M1 pontjait a határidő-teljesítésből és a bővíthetőségből, az M3 pontjait a költségből és a kockázatból szerzi.
- **A legkövetkezetlenebb hármas** (a notebook szerint K1–K2–K4) ítéletei között is csak 1,8-szoros az eltérés, ami a CR alacsony értékével összhangban van. Magas CR esetén ezzel a hármassal kellene kezdeni a felülvizsgálatot.
- **A döntést a költség–haszon elemzés vitte tovább**, amely az M3-at preferálta (kézikönyv 10.7. szakasz).

22.4. Sablon és notebook

- ahp_sablon.xlsx: kritériummátrix legfeljebb 6 kritériumra (felső háromszög bemenet, reciprok és átló automatikus), mértani közép alapú súlyok, $\lambda_{\max}$-becslés, CI, RI, CR és állapotjelzés; alternatívamátrixok kritériumonként legfeljebb 5 alternatívára; eredménylap globális prioritásokkal, ranggal és diagrammal. A ForgácsTech példájával kitöltve.
- ahp.ipynb · Megnyitás Google Colabban: sajátvektor- és mértani közép súlyok, CR, a legkövetkezetlenebb hármas, globális prioritások hozzájárulásokkal és érzékenységi görbe (a 22.2. ábra így készült).

22.5. Előnyök és korlátok

22.2. táblázat. Az AHP előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Szóbeli ítéletekből is súlyokat ad	Az összehasonlítások száma az elemszámmal négyzetesen nő
Méri az ítéletek következetességét	Rangsorfordulás léphet fel új alternatíva hozzáadásakor (Belton és Gear 1983)
A hierarchia átláthatóvá teszi a döntés szerkezetét	A Saaty-skála számértékei (1–9) önkényesek; az arányskála értelmezése vitatott
Csoportos döntésnél az egyéni ítéletek mértani közepe összesíthető	Szoros eredménynél nem dönt; kiegészítő módszer kell

Gyakori buktató

- **Rossz irány.** Költségnél és kockázatnál a kisebb érték a jobb: az olcsóbb alternatíva a „fontosabb” a költség szempontjából.
- **A CR figyelmen kívül hagyása.** A 0,10 fölötti CR azt jelzi, hogy az ítéletek ellentmondanak egymásnak; ilyenkor a súlyok nem megbízhatók.
- **Túl sok elem egy szinten.** Kilenc elemnél már 36 összehasonlítás kell szintenként; bontsd alkritériumokra.
- **Alternatívák utólagos hozzáadása.** A rangsorfordulás miatt az alternatívák listáját az elemzés előtt véglegesíteni kell.

22.6. Mintapromptok

Mintaprompt: AHP-hierarchia és kérdések

```
Döntési helyzetünk: [LEÍRÁS]. Alternatíváink: [LISTA].
Feladat: javasolj AHP-hierarchiát (cél, 3–6 kritérium, szükség
esetén alkritériumok), és írd meg a kritériumok páros
összehasonlításának kérdéseit a döntéshozók számára, közérthetően
(„A két szempont közül melyik fontosabb a cél szempontjából, és
mennyivel?”). Ne adj meg ítéleteket vagy súlyokat.
```

Mintaprompt: következetlenség feltárása

```
Páros összehasonlítási mátrixunk (Saaty-skála): [MÁTRIX].
A CR értéke: [ÉRTÉK].
Feladat: keresd meg azokat a hármasokat (i, j, k), ahol az
a_ij · a_jk szorzat a legjobban eltér a_ik-tól, és fogalmazz meg
kérdéseket a döntéshozónak ezeknek az ítéleteknek a
felülvizsgálatához. Ne javíts önkényesen a mátrixon.
```

22.7. Feladat

5. projektlépés (negyedik rész, választható): AHP

Saját projektedben határozd meg a kritériumok súlyát AHP-val legalább két csapattárs vagy érdekelt fél ítéletei alapján (az egyéni ítéleteket mértani középpel összesítsd). Ellenőrizd a CR-t, és vesd össze az AHP-súlyokat a közvetlen pontosztással kapott súlyokkal.

23. Dominancia és Pareto-front

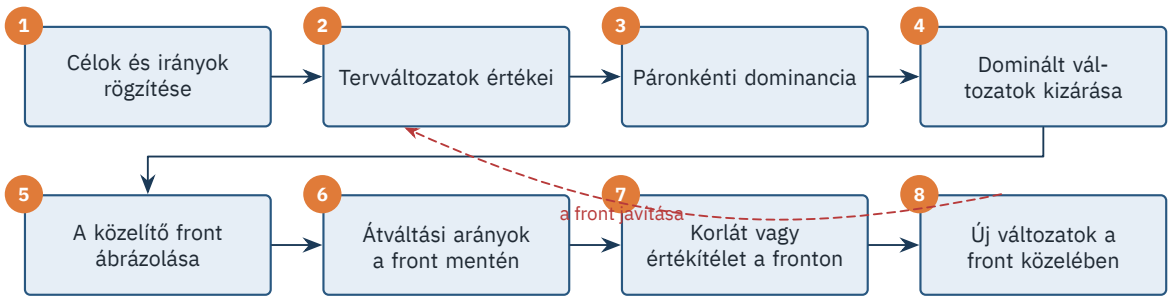
Eszközkártya

- **Mire való?** Tervváltozatok szűkítése súlyok nélkül: a dominált változatok kiszűrése, a nem dominált változatok (a közelítő Pareto-front) azonosítása, és a front mentén az átváltási arányok (egységnyi javulás ára) láthatóvá tétele.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel dominanciamátrixszal kiszűrni a dominált tervváltozatokat, ábrázolni a közelítő Pareto-frontot, és értelmezni a front menti kompromisszumokat.
- **V-lépés:** 4. Architektúra (koncepció-kiválasztás, előzetes tervezés).
- **Bemenet:** tervváltozatok két vagy több mennyiségi cél szerinti értékei (modellből, szimulációból vagy becslésből), a célok iránya, esetleges korlátok.
- **Kimenet:** dominanciamátrix, nem dominált változatok, a front ábrája, átváltási arányok, a korláton belül legjobb változat.
- **Időigény:** a számítás percek; az időt a változatok értékeinek előállítása igényli.
- **Kézikönyv:** 10. fejezet, 10.6. szakasz.

23.1. Mikor használd?

- **Ha sok tervváltozat van** (paraméterkombinációk, méretezési változatok), és két-három mennyiségi cél között kell átváltani.
- **Ha nincs megállapodás a súlyokról:** a dominanciavizsgálat súlyok nélkül is szűkít, és a döntéshozók elé már csak a valódi kompromisszumok kerülnek.
- **Súlyozott értékelés előtt:** a dominált változatokat felesleges részletesen értékelni.

23.2. Lépések



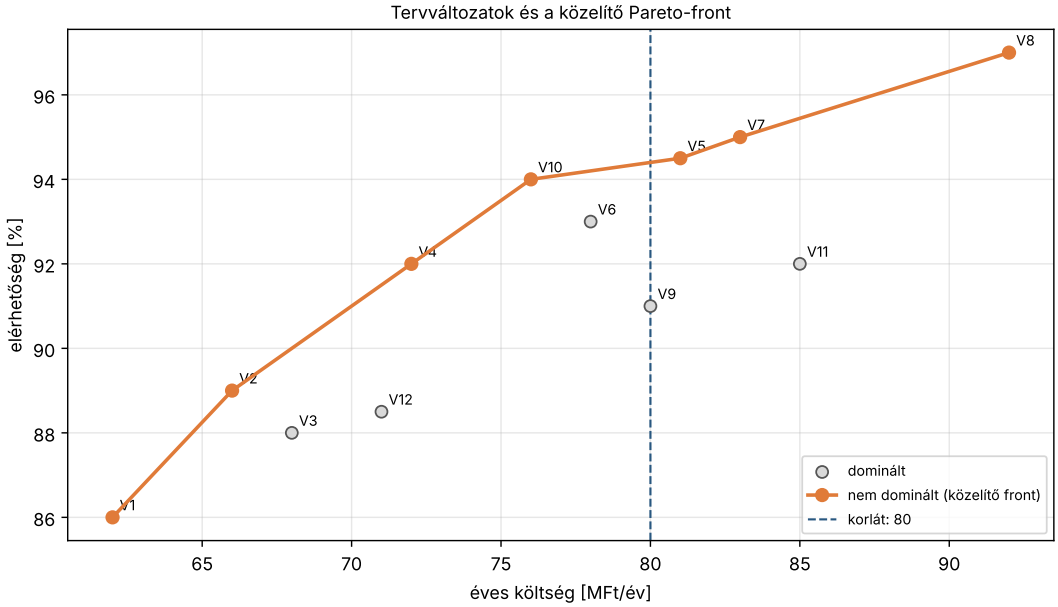
23.1. ábra. A dominanciavizsgálat és a Pareto-front lépései.

1. **Rögzítsd a célokat és irányukat** (minimalizálandó vagy maximalizálandó).
2. **Állítsd elő a változatok értékeit** azonos feltételek mellett (ugyanaz a modell, ugyanaz az időtáv).

3. **Vizsgáld meg páronként a dominanciát.** Egy változat akkor dominál egy másikat, ha minden cél szerint legalább olyan jó, és legalább egy szerint jobb.
4. **Zárd ki a dominált változatokat.** A dominanciamátrix oszlopösszege megmutatja, hány változat dominál egy adott változatot; a nem dominált változatok oszlopösszege 0.
5. **Ábrázold a közelítő frontot.** Fontos finomság: minden Pareto-optimális pont nem dominált, de nem minden nem dominált pont Pareto-optimális: néhány vizsgált változat között a nem dominált változatok csak közelítik a valódi frontot.
6. **Számítsd ki az átváltási arányokat** a front mentén: mennyi az egyik célban elért egységnyi javulás ára a másikban. Ahol az arány hirtelen megnő, ott van a front „könyöke”.
7. **Hozz értékítéletet a fronton**, például egy korlát (költségkeret, minimális teljesítmény) vagy a könyökpont alapján. Ez a döntéshozók feladata.
8. **Keress új változatokat a front közelében.** A teljes tervezési tér frontjának közelítésére többcélú evolúciós algoritmusok (például az NSGA-II) alkalmasak (Deb és mtsai. 2002).

23.3. Kidolgozott példa: a VárosiBringa tervváltozatai

A VárosiBringa csapata tizenkét változatot vizsgált (250, 300 vagy 350 kerékpár; 25, 30 vagy 35 dokkoló; 1 vagy 2 áthelyező furgon). Két cél: az éves teljes költség (minimalizálandó) és az elérhetőség, vagyis a kérések hány százalékában van kerékpár 300 méteren belül (maximalizálandó). Az eredményt a 23.2. ábra mutatja.



23.2. ábra. A VárosiBringa tervváltozatai és a közelítő Pareto-front a 80 MFt/éves költségkerettel. A notebookkal rajzolva.

A dominanciavizsgálat öt változatot szűrt ki: a V3-at és a V12-t a V2, a V6-ot a V10, a V9-et a V4, a V6 és a V10, a V11-et öt változat is dominálja. A front hét változatból áll (V1, V2, V4, V10, V5, V7, V8). Az átváltási arányok:

23.1. táblázat. Átváltási arányok a VárosiBringa közelítő Pareto-frontja mentén.

Lépés a fronton	Többletköltség [MFt/év]	Elérhetőség-javulás [százalékpont]	Egy százalékpont ára [MFt/év]
V1 → V2	4	3,0	1,3
V2 → V4	6	3,0	2,0
V4 → V10	4	2,0	2,0
V10 → V5	5	0,5	10,0
V5 → V7	2	0,5	4,0
V7 → V8	9	2,0	4,5

Tanulságok:

- **A V10 a front könyöke.** Odáig egy százalékpont elérhetőség 1,3–2 MFt/évbe kerül, utána 4–10 MFt/évbe. A 80 MFt/éves kereten belül is a V10 adja a legjobb elérhetőséget (94%).
- **A dominált V6 tanulsága:** több kerékpár helyett több dokkoló a hatékonyabb út (a V10 olcsóbb és jobb, mint a V6).
- **A választás a fronton értékítélet.** Az eredeti terv (V4) is a fronton van; a V10 évi 4 MFt-ért 2 százalékpontot ad. Erről a város döntéshozóinak kell dönteniük.

23.4. Sablon és notebook

- pareto_front_sablon.xlsx: két cél iránnyal és opcionális korláttal; legfeljebb 20 változat; dominanciamátrix a sor- és oszlopösszegekkel; automatikus „dominált / nem dominált” jelölés, a korlátot teljesítő legjobb változat kiválasztása és pontdiagram. A VárosiBringa példájával kitöltve.
- pareto_front.ipynb · Megnyitás Google Colabban: dominanciavizsgálat tetszőleges számú célra, a front ábrája (a 23.2. ábra így készült), a korlát kezelése és az átváltási arányok.

23.5. Előnyök és korlátok

23.2. táblázat. A dominanciavizsgálat és a Pareto-front előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Súlyok nélkül szűkít; értékítélet csak a fronton belül kell	Sok cél esetén szinte minden változat nem dominált lesz
A kompromisszumok és az átváltási arányok láthatóvá válnak	Csak mennyiségi célokkal működik
Kevés változatnál is egyszerű, átlátható	Csak a vizsgált változatok közül választ; a valódi frontot közelíti
Jól kombinálható optimalizálással és szimulációval	A célértékek bizonytalansága elmoshatja a dominanciát

Gyakori buktató

- **Rossz irány.** Ha egy minimalizálandó célt maximalizálandóként adsz meg, a front a legrosszabb változatokat mutatja.
- **Eltérő feltételek mellett számolt célértékek.** A dominancia csak akkor értelmes, ha a változatokat azonos modellel és feltételekkel értékelték.
- **Túl sok cél.** Négy-öt cél fölött a dominancia alig szűkít; ilyenkor célokat kell összevonni vagy korláttá alakítani.
- **A front „automatikus" pontja.** A front nem ad egyetlen megoldást; a választás értékítélet.

23.6. Mintapromptok

Mintaprompt: tervváltozatok terve

```
Rendszerünk fő tervezési paraméterei és tartományaik: [LISTA].
Két fő célunk és irányuk: [CÉL 1, CÉL 2].
Feladat: javasolj 10–15 tervváltozatot, amelyek a paramétertér
különböző részeit fedik le (ne csak a szélsőértékeket). Minden
változathoz írd le, mit várunk tőle a két cél szerint minőségileg,
és milyen modellel vagy méréssel lehetne a célértékeket becsülni.
Ne adj meg számszerű célértékeket.
```

Mintaprompt: a front értelmezése döntéshozóknak

```
Nem dominált változataink és célértékeik: [TÁBLÁZAT].
Átváltási arányok a front mentén: [TÁBLÁZAT]. Korlátunk: [KORLÁT].
Feladat: írj egyoldalas, döntéshozóknak szóló összefoglalót:
mit jelent a front, hol van a könyöke, mit nyerünk és mit
veszítünk, ha a front mentén lépünk. Ne válassz változatot;
a választást a döntéshozók végzik.
```

23.7. Feladat

5. projektlépés (ötödik rész, választható): Pareto-front

Ha projektedben van legalább két mennyiségi cél, állíts elő legalább hat tervváltozatot, határozd meg a nem dominált változatokat, ábrázold a közelítő frontot, és számítsd ki az átváltási arányokat. Írd le, hol van a front könyöke, és melyik változatot javasolnád egy általad választott korlát mellett.

24. Költség–haszon elemzés

Eszközkártya

- **Mire való?** Egymást kizáró alternatívák összehasonlítása a teljes életciklusra vetített hasznok és költségek jelenértékével: haszon–költség arány (B/C), nettó jelenérték, növekményes elemzés és a bizonytalanság Monte Carlo-vizsgálata.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel jelenérték-számítással összevetni egymást kizáró alternatívákat, növekményes elemzést végezni, és a kockázatot szorzóval vagy Monte Carlo-szimulációval figyelembe venni.
- **V-lépés:** 4. Architektúra (koncepció-kiválasztás); beruházási, gyártás-vagy-vásárlás és fejlesztési döntéseknél bármikor.
- **Bemenet:** mérhető követelmények, alternatívák, beruházási és működtetési költségbecslések, a hasznok becslése, időtáv, kamatláb.
- **Kimenet:** jelenértékek, B/C, nettó jelenérték, megtérülési idő, növekményes elemzés, a nettó jelenérték eloszlása.
- **Időigény:** a becslések összegyűjtése napokat is igényelhet; a számítás percek.
- **Kézikönyv:** 10. fejezet, 10.7. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (Goldberg és mtsai. 1994, 2.2. szakasz).

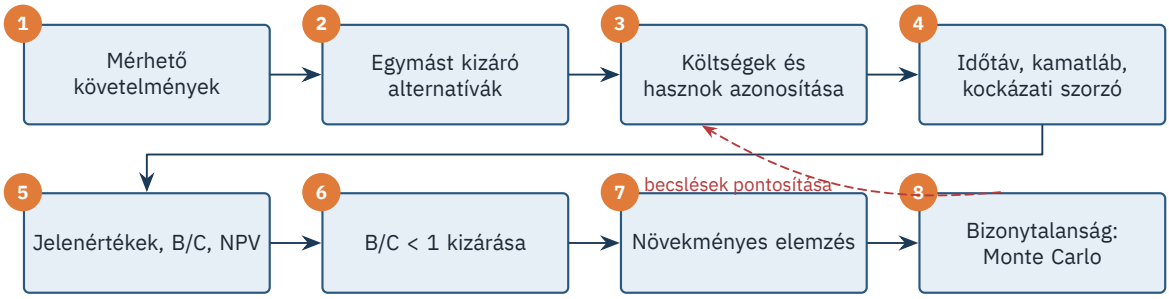
24.1. Mikor használd?

- **Beruházási döntéseknél**, ahol a hasznok és költségek pénzben kifejezhetők, és több év alatt jelentkeznek.
- **Ha a súlyozott értékelés vagy az AHP nem ad egyértelmű eredményt**, és a pénzügyi szempont dönthet.
- **Ha a költségkeret nem rögzített**, és azt kell eldönteni, megéri-e a drágább alternatíva többletköltsége.
- **Óvatosan** használd, ha a hasznok nagy része nehezen forintosítható (biztonság, ergonómia, környezeti hatás): ezeket inkább kötelező követelményként vagy külön kritériumként kezeld.

24.2. Lépések

A lépések a költség–haszon elemzés tankönyvi eljárását követik (Boardman és mtsai. 2018).

1. **Fogalmazz meg mérhető, verifikálható követelményeket**, amelyekhez a hasznok köthetők.
2. **Gyűjtsd össze a hiteles, egymást kizáró alternatívákat**, olyan részletességgel, hogy minden jelentős költség és haszon azonosítható legyen.



24.1. ábra. A költség–haszon elemzés lépései.

3. **Azonosítsd a költségeket** (beruházás, üzemeltetés, karbantartás; a maradványérték megtakarításként) **és a hasznokat** (teljesítmény, idő, megbízhatóság, biztonság, termelékenység; a hátrányok negatív haszonként).
4. **Rögzítsd az időtávot, a kamatlábat és a kockázati szorzót.** A bevezetés kockázata és a műszaki érettség egy f szorzóval vehető figyelembe a hasznok oldalán. Mivel ez szubjektív becslés, elég néhány durva fokozat (például 0,5; 0,75; 1).
5. **Számítsd jelenértékre** a költségeket és a hasznokat, majd a B/C arányt és a nettó jelenértéket. Évente esedékes X összeg jelenértéke T év alatt r kamatláb mellett $X \sum_{t=1}^{T} (1+r)^{-t}$.
6. **Zárd ki az 1-nél kisebb B/C arányú alternatívákat.**
7. **Végezz növekményes elemzést**, ha a keret nincs rögzítve: a maradékot rendezd növekvő költség szerint, és minden lépésben vizsgáld meg, megéri-e a drágább alternatíva többletköltsége ($\Delta B / \Delta C > 1$). A preferált alternatíva nem feltétlenül a legnagyobb B/C arányú.
8. **Vizsgáld a bizonytalanságot.** A pontbecslések helyett adj meg pesszimista, legvalószínűbb és optimista értékeket, és Monte Carlo-szimulációval nézd meg, milyen gyakran lesz az egyes alternatíva a legjobb, és mekkora a veszteség valószínűsége.

24.3. Kidolgozott példa: a ForgácsTech MES-koncepciói

A ForgácsTech csapata ötéves időtávra és 8%-os kamatlábbal hasonlította össze a három MES-koncepciót (kézikönyv 10.7. szakasz). Az annuitástényező 3,993. A pontbecslések eredménye:

24.1. táblázat. A ForgácsTech költség–haszon elemzése (5 év, 8%).

	M1: teljes MES	M2: gépgyártói + MES	M3: fokozatos
beruházás / éves működtetés / éves haszon [MFt]	42 / 4 / 28	30 / 6 / 22	14 / 3 / 15
kockázati szorzó	0,75	0,5	1,0
C / B (jelenérték) [MFt]	58,0 / 83,8	54,0 / 43,9	26,0 / 59,9
B/C	1,45	0,81	2,31
nettó jelenérték [MFt]	25,9	−10,0	33,9

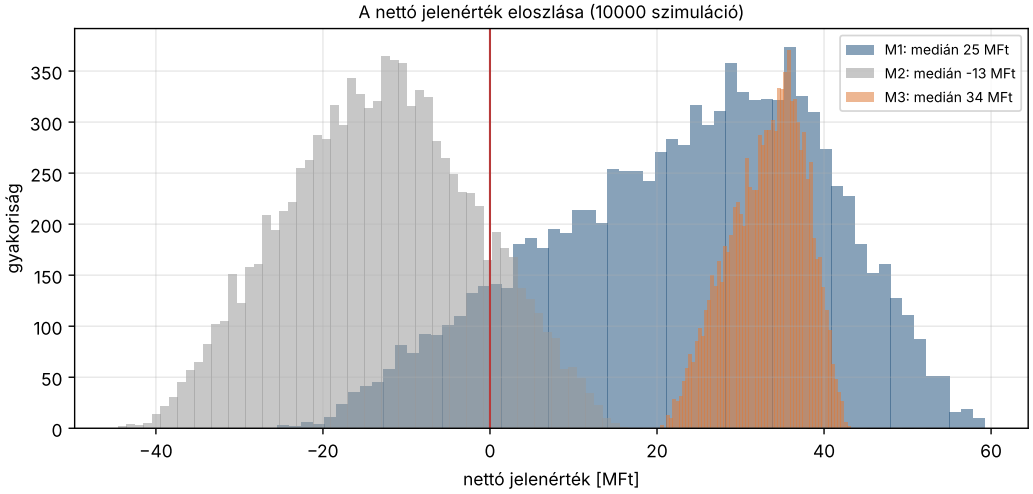
Az M2 kiesett (B/C < 1). Az M3-ról az M1-re lépés növekménye: $\Delta B = 24{,}0$ MFt,

$\Delta C = 32{,}0$ MFt, $\Delta B/\Delta C = 0{,}75 < 1$, tehát a többletköltség nem éri meg; a preferált alternatíva az M3.

A Monte Carlo-szimulációban a kockázatot nem a szorzó, hanem a haszon ferde háromszögeloszlása hordozza, amelynek várható értéke megegyezik a szorzóval (M1: 0,35–0,85–1,05; M3: 0,8–1,05–1,15 a pontbecslés arányában), és a beruházás is felfelé ferde eloszlású (24.2. ábra). 10 000 szimuláció alapján:

24.2. táblázat. A nettó jelenérték eloszlásának jellemzői a Monte Carlo-szimulációban.

	NPV medián [MFt]	NPV 10. percentilis [MFt]	P(NPV > 0)	P(legnagyobb NPV)
M1	25,3	−0,6	89%	32%
M2	−12,9	−28,0	14%	0%
M3	33,7	26,8	100%	68%



24.2. ábra. A nettó jelenérték eloszlása a három koncepcióra 10 000 szimulációban. A notebookkal rajzolva.

Tanulságok:

- **Az M3 előnye a kis kockázat.** A nettó jelenértéke gyakorlatilag mindig pozitív, és az esetek kétharmadában ez a legnagyobb. Az M1 felső része vonzó, de tízből egy esetben öt év alatt nem térül meg.
- **A legnagyobb B/C nem mindig a válasz.** Itt egybeesett a növekményes elemzés eredményével, de nem feltétlenül esik egybe: a növekményes elemzés szabálya szerint a preferált alternatíva az utolsó, amelynek növekménye még megéri (Sullivan, Wicks, és Koelling 2019).
- **A szám nem minden.** Az M3 gyengesége a bővíthetőség; a csapat ezért kötelező feltételként írta elő, hogy az első ütem bővíthető platformra épüljön.

24.4. Sablon és notebook

- koltseg_haszon_sablon.xlsx: kamatláb, időtáv, annuitástényező; legfeljebb 8 alternatíva beruházással, működtetéssel, haszonnal és kockázati szorzóval; jelenértékek,

B/C, nettó jelenérték, megtérülési idő, kiesési jelzés; növekményes lap védő–kihívó összevetéssel és a preferált alternatíva kiválasztásával. A ForgácsTech példájával kitöltve.
- koltseg_haszon.ipynb · Megnyitás Google Colabban: jelenértékek, növekményes elemzés és Monte Carlo-szimuláció háromszögeloszlású becslésekkel (a 24.2. ábra így készült).

24.5. Előnyök és korlátok

24.3. táblázat. A költség–haszon elemzés előnyei és korlátai (Boardman és mtsai. 2018).

Előnyök	Korlátok
A teljes életciklusra vetítve értékeli a költséghatékonyságot	Hiányos vagy túl általános követelmények mellett a hasznok nem mérhetők
Dokumentálja a vizsgált paramétereket és alternatívákat	Csak annyira teljes, amennyire az alternatívák listája
A növekményes elemzés a többletráfordítás értelmét is vizsgálja	Pontatlan költségbecslésekkel hibás eredményt ad
A Monte Carlo-vizsgálat a kockázatot is láthatóvá teszi	A hasznok forintosítása gyakran vitatott, különösen a nem pénzügyi hasznoknál

Gyakori buktató

- **Különböző időtávok.** Az alternatívákat azonos időtávra kell számolni; különben a hosszabb élettartamú indokolatlanul jobbnak vagy rosszabbnak tűnik.
- **Kétszeres kockázatkezelés.** Ha a hasznokat kockázati szorzóval is csökkented, és a Monte Carlo-ban ferde eloszlással is, ugyanazt a kockázatot kétszer veszed figyelembe.
- **Elsüllyedt költségek beszámítása.** A már elköltött pénz nem része a döntésnek: csak a jövőbeli költségek és hasznok számítanak.
- **A forintosítás erőltetése.** A biztonságot és az ergonómiát ne próbáld pénzben kifejezni csak azért, hogy beférjen a B/C arányba; kezeld kötelező követelményként.

24.6. Mintapromptok

Mintaprompt: költség- és haszonelemek azonosítása

```
Alternatívánk: [LEÍRÁS]. A rendszer élettartama: [ÉV].
Feladat: sorold fel a költségelemeket (beruházás, üzemeltetés,
karbantartás, képzés, átállás, maradványérték) és a haszonelemeket
(és hátrányokat) kategóriánként. Mindegyikhez írd le, milyen adatból
vagy kitől becsülhető, és jelöld, melyik nehezen forintosítható.
Ne adj számszerű becslést.
```

Mintaprompt: a növekményes elemzés magyarázata

```
Költség–haszon elemzésünk eredménye: [TÁBLÁZAT B, C, B/C, NPV].
Feladat: magyarázd el egy nem pénzügyi szakember számára, miért
nem a legnagyobb B/C arányú (vagy a legnagyobb NPV-jű) alternatíva a
preferált, vagy miért az, a növekményes elemzés lépésein keresztül.
Fogalmazz meg két kérdést, amely a becslések legbizonytalanabb
pontjára kérdez rá.
```

24.7. Feladat

5. projektlépés (hatodik rész): költség–haszon becslés

Saját projektedben készíts költség–haszon becslést legalább két alternatívára, a rendszer várható élettartamára. Végezd el a növekményes elemzést, majd a két legbizonytalanabb becsléshez adj meg pesszimista, legvalószínűbb és optimista értéket, és futtasd le a notebook Monte Carlo-szimulációját. Írd le, változtat-e a bizonytalanság a javaslatodon.

25. Hierarchikus feladatelemzés (HTA)

Eszközkártya

- **Mire való?** Annak leírása, mit kell az embernek tennie egy rendszercél eléréséhez: célok és részcélok hierarchiája, tervekkel, időbecsléssel és a lehetséges hibákkal.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel egy feladatot célok, részcélok és tervek hierarchiájaként leírni, és a feladatelemzésből tervezési javaslatokat és hibalehetőségeket levezetni.
- **V-lépés:** 4. Architektúra (a funkciómegosztás után) és 5. Részletes tervezés (kezelőfelület, eljárások, képzés); a validációs tesztforgatókönyvek alapja.
- **Bemenet:** a funkciómegosztás eredménye (mi marad az embernek), a működési koncepció forgatókönyvei, megfigyelések és interjúk a felhasználókkal.
- **Kimenet:** HTA-diagram vagy táblázatos HTA, tervek, időbecslések, hibalehetőségek és tervezési javaslatok.
- **Időigény:** egy jól körülhatárolt feladatra 2–4 óra, a megfigyeléssel és a felhasználói ellenőrzéssel együtt.
- **Kézikönyv:** 11. fejezet, 11.5. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (NASA 2015).

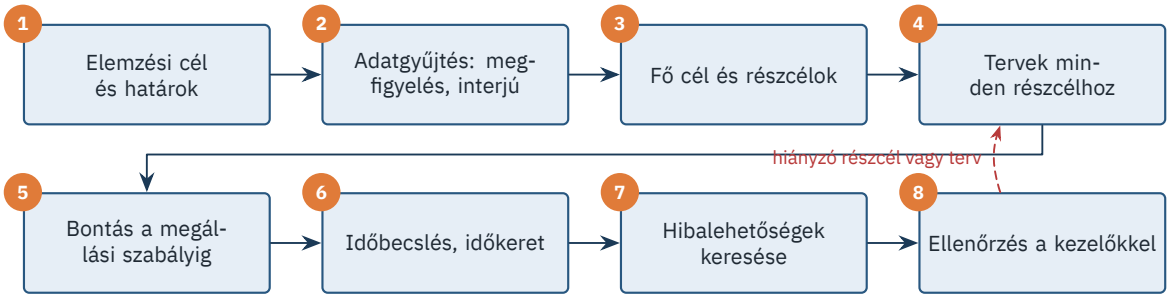
25.1. Mikor használd?

A feladatelemzés azt vizsgálja, mit kell a kezelőnek (vagy a kezelők csoportjának) tennie, cselekvésekben és gondolkodási folyamatokban, hogy a rendszer célja teljesüljön (Kirwan és Ainsworth 1992). A HTA ennek legelterjedtebb módszere: Annett és Duncan eredetileg a képzés tervezésére dolgozta ki (Annett és Duncan 1967), Stanton áttekintése szerint azonban azóta a kezelőfelület-tervezéstől a létszámtervezésen át az emberi hibák előrejelzéséig széles körben alkalmazzák (Stanton 2006). Használd, ha:

- **eldőlt, mi marad az embernek** (26. eszközlap), és most azt kell megtervezni, hogyan végzi el;
- **időkeretet kell ellenőrizni**, például hogy a kezelői műveletek belefférnek-e a ciklusidő-költségvetésbe;
- **kezelőfelületet, eljárásleírást vagy képzési anyagot** tervezel: a HTA megmutatja, milyen információ kell az egyes lépésekhez;
- **hibalehetőségeket keresel**: a legalsó szintű műveletek a hibaelemzés (30. eszközlap, kézikönyv 13. fejezet) természetes egységei.

25.2. Lépések

1. **Határozd meg az elemzés célját és határait.** Képzéshez, kezelőfelülethez vagy hibaelemzéshez más-más részletesség kell; rögzítsd, melyik szerepkör melyik feladatát elemzed, és milyen üzemállapotban.



25.1. ábra. A hierarchikus feladatelemzés lépései.

2. **Gyűjts adatot:** figyeld meg a munkát (ha van elődrendszer), kérdezd a kezelőket, olvasd el a meglévő eljárásokat. Új rendszernél a működési koncepció forgatókönyveiből és a prototípusokon végzett próbákból indulj ki.
3. **Fogalmazd meg a fő célt és az első szintű részcélokat.** Négy–nyolc részcél egy szinten általában áttekinthető. A részcélok célok, nem eszközök: „csavarellátás ellenőrzése", nem „a kijelző 3. menüpontjának megnyitása".
4. **Írj tervet minden részcélhoz.** A terv megmondja, milyen sorrendben és feltételek mellett hajtódnak végre a gyermekei. Stanton tipizálása szerint a terv lehet soros (1, majd 2, majd 3), tetszőleges sorrendű, egyidejű, elágazó (ha X, akkor 2), ciklikus (ismételd, amíg X) és választó (1, majd 2 vagy 3) (Stanton 2006).
5. **Bonts tovább a megállási szabályig.** Annett és Duncan szabálya szerint akkor állj meg, ha a nem megfelelő végrehajtás valószínűségének és költségének szorzata ($P \times C$) már elfogadható (Annett és Duncan 1967). A gyakorlatban: ahol a további bontás már nem ad új információt az elemzés céljához.
6. **Becsüld meg a legalsó szintű műveletek idejét**, és vesd össze a ciklusonként ismétlődő műveletek összegét az időkerettel.
7. **Keresd meg a hibalehetőségeket** műveletenként, Reason kategóriáival: megcsúszás (jó szándék, rossz kivitelezés), kihagyás, tévedés (rossz szándék, rossz szabály vagy tudás) és szabályszegés (Reason 1990). Minden hibához írd le a következményt és a tervezési javaslatot.
8. **Ellenőrizd a HTA-t a kezelőkkel.** A felhasználók gyakran olyan lépéseket és kerülőutakat is ismernek, amelyek az eljárásleírásban nem szerepelnek.

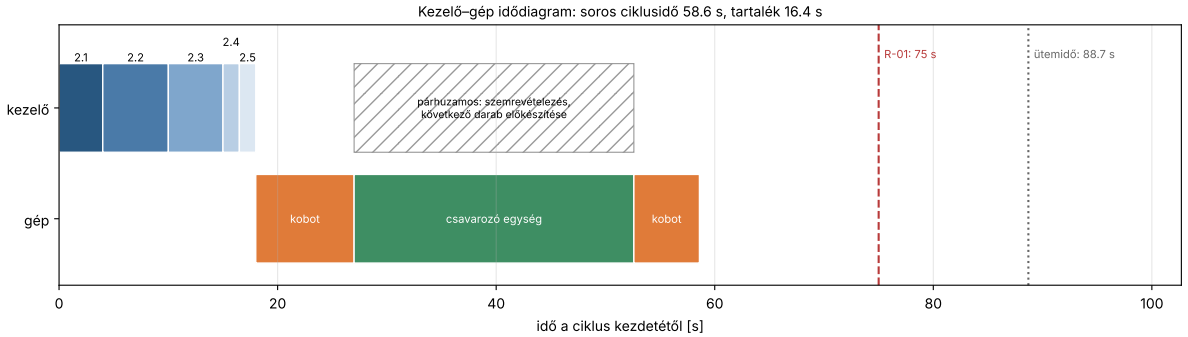
25.3. Kidolgozott példa: a KoboCella kezelőjének feladatai

A KoboCella csapata a kezelő munkáját egy műszakra elemezte (a diagram a kézikönyv 11. fejezetében látható). A fő cél terve: „1, majd 2 ismételve; ha hibajelzés: 3, utána vissza 2-re; a műszak végén 4". A ciklusonként ismétlődő 2-es részcél és a ritka 3-as részcél táblázatos HTA-ja:

25.1. táblázat. A KoboCella kezelőjének táblázatos HTA-ja (részlet). A teljes elemzés a sablonban található.

Azonosító	Művelet	Idő [s]	Hibatípus	Lehetséges hiba	Javaslat
2	**egy motor szerelése** (terv: 2.1 > 2.2 > 2.3 > 2.4 > 2.5)	**18,0**			
2.1	motorház kivétele a tálcáról	4,0	–	–	–
2.2	motorház behelyezése a befogóba	6,0	megcsúszás	nem ül fel teljesen	befogóérzékelő, visszajelzés a HMI-n
2.3	fedél ráhelyezése	5,0	megcsúszás	fordítva kerül fel	aszimmetrikus illesztőcsapok
2.4	kilépés a zónából	1,5	szabálysértés	a zónában marad	teljes sebesség csak zónaelhagyás után
2.5	indítás nyugtázása	1,5	–	–	–
3	**hibajelzés kezelése** (terv: 3.1 > 3.2 > 3.3)	15,0			
3.1	hibakód leolvasása	5,0	tévedés	félreérti a hibakódot	a HMI a hiba helyét is mutatja
3.2	hibás darab a selejtdobozba	8,0	kihagyás	a darab a kiadóba kerül	a kiadó csak a selejtdoboz jelzése után enged
3.3	nyugtázás	2,0	–	–	–

A ciklusonként ismétlődő öt művelet összesen 18 s, pontosan a ciklusidő-költségvetés kezelői része (kézikönyv 6. fejezet). A gépi összetevőkkel együtt a soros ciklusidő 58,6 s, a 75 s-os követelményhez képest 16,4 s (22%) a tartalék (25.2. ábra).



25.2. ábra. A KoboCella kezelő–gép idődiagramja. A kezelő a soros ciklus mintegy harmadában van lekötve; a csavarozás alatt a szemrevételezést és a következő darab előkészítését végzi. A notebookkal rajzolva.

Tanulságok:

- **A kezelői részben nincs tartalék.** Ha a próbaüzemben a behelyezés tovább tart a

becsültnél, az a cella közös tartalékát fogyasztja. Ezért a 2.2-es és a 2.3-as időt az első prototípuson mérni kell (TPM-ként követhető, 10. eszközlap).
- **A ciklusban ismétlődő hibalehetőségeket műszaki úton kell kezelni.** A 2.2, a 2.3 és a 2.4 minden ciklusban előfordulhat, napi több száz alkalommal; itt az oktatás nem elég, érzékelő, hibabiztos kialakítás és reteszelés kell (kézikönyv 13. fejezet).
- **A ritka részcél másféle támogatást kíván.** A 3-as részcélt a kezelő ritkán gyakorolja, ezért ott a tévedés és a kihagyás jellemző: a HMI-nek lépésenként kell végigvezetnie.
- **A HTA a funkciómegosztást is visszaigazolja.** A kezelő szabad ideje a csavarozás alatt teremtette meg a lehetőséget, hogy a minőségi ellenőrzés a kezelő feladata legyen (26. eszközlap).

25.4. Sablon és notebook

- hta_sablon.xlsx: legfeljebb 60 elem azonosítóval, szülővel, tervvel, idővel, gyakorisággal; automatikus szintszámítás, a kezelő ciklusonkénti ideje és tartaléka az időkerethez képest, hibatípusok legördülő listából és típusonkénti összesítés. A KoboCella példájával kitöltve.
- hta.ipynb · Megnyitás Google Colabban: táblázatos HTA a hiányzó tervek jelzésével, időkeret-ellenőrzés, kezelő–gép idődiagram (a 25.2. ábra így készült) és a hibalehetőségek összesítése.

25.5. Előnyök és korlátok

25.2. táblázat. A HTA előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Egyszerű, gyorsan tanulható, a felhasználókkal is jól átbeszélhető	Elsősorban a megfigyelhető cselekvéseket írja le; a gondolkodási folyamatokat (döntés, diagnózis) kevésbé
Rugalmas: a részletesség az elemzés céljához igazítható	Az eredmény az elemző ítéletén múlik; két elemző eltérő bontást készíthet
Számos további elemzés kiindulópontja (hibaelemzés, idő, terhelés, képzés) (Stanton 2006)	A tervek szöveges leírása bonyolult feltételeknél nehezen követhető
A kezelőfelület és az eljárások információigényét lépésenként mutatja	Új rendszernél nincs mit megfigyelni: prototípus és forgatókönyv kell hozzá

Gyakori buktató

- **Eszköz a cél helyett.** Ha a részcélok a jelenlegi kezelőfelület lépései („menü megnyitása”), a HTA a régi megoldást rögzíti, és nem segít újat tervezni.
- **Hiányzó tervek.** Terv nélkül a hierarchia csak egy lista: nem derül ki, mi ismétlődik, mi feltételes, mi párhuzamos.
- **Csak a normál üzem.** A hibakezelés, az indítás, a leállítás és a leromlott üzem gyakran kimarad, pedig ezekben a ritka helyzetekben a legnagyobb a hiba esélye.
- **Íróasztal mellett készült HTA.** A kezelőkkel való ellenőrzés nélkül a valódi munkavégzés (kerülőutak, informális lépések) rejtve marad.

25.6. Mintapromptok

Mintaprompt: HTA vázlat forgatókönyvből

```
Rendszerünk: [LEÍRÁS]. A vizsgált szerepkör: [KEZELŐ/FELHASZNÁLÓ].
A forgatókönyv: [FORGATÓKÖNYV LEÍRÁSA].
Feladat: készíts kétszintű hierarchikus feladatelemzést (HTA)
táblázatos formában: azonosító, részcél vagy művelet, terv minden
részcélhoz (soros, elágazó, ciklikus, választó). A részcélokat
célként fogalmazd meg, ne a kezelőfelület lépéseiként. Jelöld
külön a ritka helyzeteket (hiba, indítás, leállás). Időbecslést
ne adj meg: azt mérni fogjuk.
```

Mintaprompt: hibalehetőségek a HTA alapján

```
Az alábbi HTA legalsó szintű műveletei: [TÁBLÁZAT].
Feladat: minden művelethez gondold végig, előfordulhat-e
megcsúszás, kihagyás, tévedés vagy szabályszegés (Reason
kategóriái). Ha igen, írd le a hibát, a következményt és egy
tervezési javaslatot. A javaslatoknál előnyben részesítsd a
műszaki megoldást (hibabiztos kialakítás, érzékelő, reteszelés)
az oktatással és a figyelmeztetéssel szemben, és jelöld, ha
egy hibát nem tudsz megítélni a megadott információból.
```

25.7. Feladat

6. projektlépés (első rész, választható): HTA

Saját projektedben készíts HTA-t a legfontosabb kezelői vagy felhasználói feladatra, legalább két szinten, tervekkel és időbecsléssel. Jelölj meg legalább három hibalehetőséget tervezési javaslattal, és ellenőrizd a HTA-t legalább egy leendő felhasználóval.

26. Funkciómegosztás és automatizálási szint

Eszközkártya

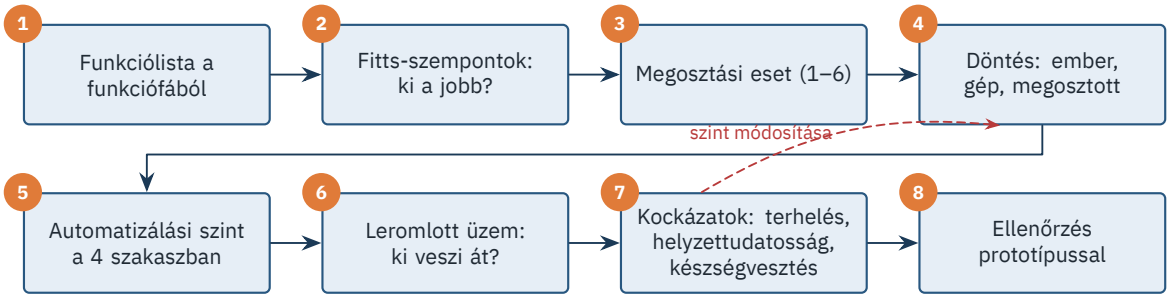
- **Mire való?** Annak eldöntése és indoklása, hogy egy-egy funkciót az ember, a gép vagy a kettő együtt végezzen, és ha gép, milyen szinten automatizáljuk az információgyűjtést, az elemzést, a döntést és a végrehajtást.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel funkciónként indokolni az ember és a gép közötti megosztást Price osztályozása és a Fitts-lista alapján, és kijelölni a megfelelő automatizálási szintet.
- **V-lépés:** 4. Architektúra (a funkcióelemzés és a fizikai allokáció mellett); a leromlott üzem tervezésénél és a validáció előkészítésénél újra elő kell venni.
- **Bemenet:** a funkciófa legalsó szintje (13. eszközlap), a működési koncepció üzemállapotai, a felhasználók jellemzői és elvárásai.
- **Kimenet:** funkciónkénti megosztás indoklással, automatizálási profil (négy szakasz, 1–10 szint), átvételi igények leromlott üzemben, kockázatok és intézkedések.
- **Időigény:** 10–20 funkcióra 2–3 óra, a felhasználói képviselőkkel együtt.
- **Kézikönyv:** 12. fejezet, 12.1–12.3. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (NASA 2015).

26.1. Mikor használd?

- **Ha a funkciófa elkészült**, és el kell dönteni, mi marad az embernek. A megosztás meghatározza a kezelő feladatait (amelyeket a HTA részletez, 25. eszközlap), a kezelőfelület információigényét és a képzést.
- **Ha egy automatizálási döntést indokolni kell.** A „technikailag megoldható, tehát automatizáljuk” gondolatmenet a kézikönyv 12.3. szakaszában tárgyalt buktatókhoz vezethet: túlzott támaszkodáshoz, a helyzettudatosság elvesztéséhez és a készségek leépüléséhez (Parasuraman és Riley 1997; Bainbridge 1983).
- **Ha a rendszernek leromlott üzemben is működnie kell**, és tudni kell, mit vesz át ilyenkor az ember.

26.2. Lépések

1. **Készítsd el a funkciólistát** a funkciófa legalsó szintjéről, megoldássemleges, igei megfogalmazásban.
2. **Értékeld a funkciókat a Fitts-lista szellemében**: sebesség, következetesség, ítélőképesség, váratlan helyzetek kezelése, költség. Szempontonként jelöld, ki a jobb (gép, ember, egyforma). A Fitts-lista hét évtized után is jó kiindulópont, de nem algoritmus (Fitts 1951; Winter és Dodou 2014).



26.1. ábra. A funkciómegosztás lépései.

3. **Sorold be a funkciót a hat megosztási eset egyikébe** (Price osztályozása szerint (Price 1985)): 1 nincs különbség; 2 az ember jobb; 3 a gép jobb; 4 a gép túl gyenge, ezért az emberé; 5 az ember túl gyenge, ezért a gépé; 6 egyik sem elfogadható, a funkciót vagy a rendszert újra kell gondolni.
4. **Dönts, és írd le az indoklást.** Az 1–3. esetben a képességek mellett Price megosztási szabályai is számítanak: a kötelező megosztás (amit jogszabály vagy képesség kikényszerít), az érték-egyensúly, a haszonelvű és költségalapú megosztás, valamint az érzelmi és kognitív támogatás, vagyis hogy az érintettek elfogadják-e, és értelmes munka marad-e az embernek (Price 1985).
5. **Add meg az automatizálási szintet** (Sheridan–Verplank skála, 1–10) a négy információfeldolgozási szakaszban: információgyűjtés, információelemzés, döntés, végrehajtás (Sheridan és Verplank 1978; Parasuraman, Sheridan, és Wickens 2000). A szintet szakaszonként a hibás döntés költsége és az emberi teljesítményre gyakorolt hatás alapján válaszd (Parasuraman, Sheridan, és Wickens 2000).
6. **Vizsgáld meg a leromlott üzemet**: ki végzi a funkciót, ha a gép kiesik? Ha normál üzemben gépi, leromlott üzemben emberi, átvételi igény keletkezik.
7. **Mérlegeld a kockázatokat**: a magas döntési szint és a ritka emberi átvétel együtt az automatizálás iróniájához vezet, vagyis a kezelő éppen azt nem gyakorolja, amire a legnagyobb szükség lenne (Bainbridge 1983). Ilyenkor rendszeres gyakorlás, átlátható automatika és a megbízhatóságot is jelző visszajelzés kell, amely a bizalmat a tényleges teljesítményhez igazítja (Lee és See 2004).
8. **Ellenőrizd prototípussal** és a felhasználókkal: a terhelés és a használhatóság mérésére a 27. eszközlap ad módszert.

26.3. Kidolgozott példa: a KoboCella funkcióinak megosztása

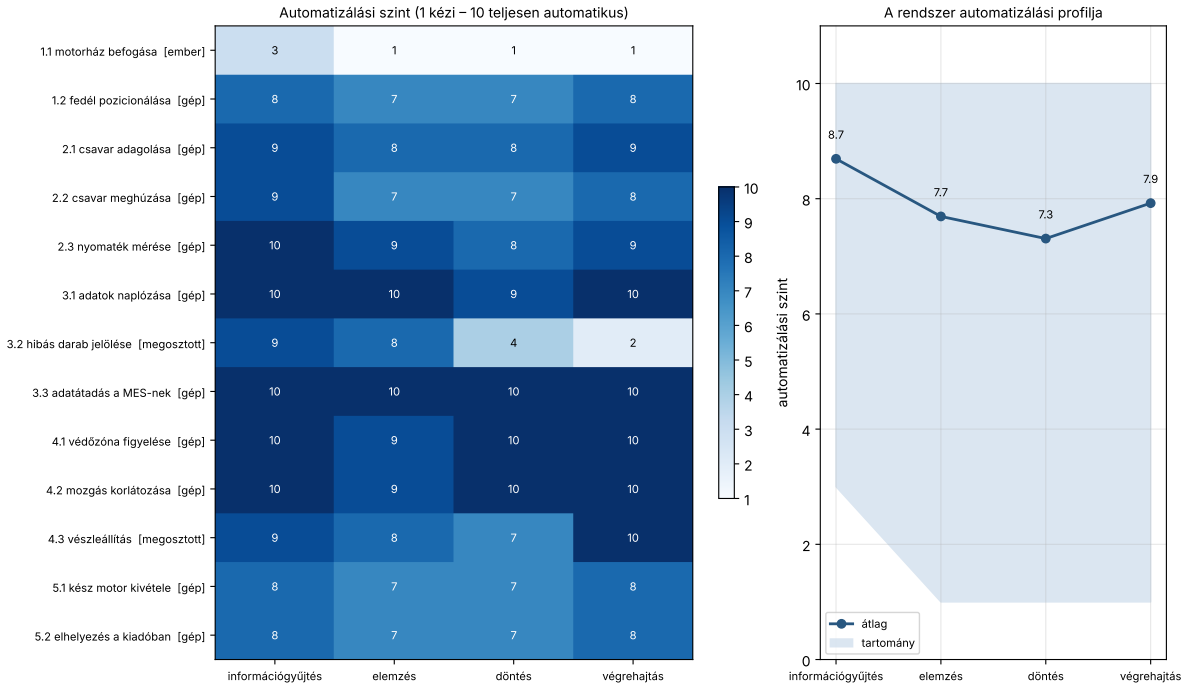
A KoboCella csapata a funkciófa tizenhárom részfunkcióján ment végig (kézikönyv 12. fejezet). Néhány jellemző sor:

26.1. táblázat. A KoboCella funkciómegosztásának részlete. Az előny a Fitts-szempontok közül azok száma, amelyekben a gép, illetve az ember jobb.

Funkció	Gépi/emberi előny (db)	Eset	Döntés	LOA (gyűjtés, elemzés, döntés, végrehajtás)	Leromlott üzemben
1.1 motorház befogása	2/3	2	ember	3, 1, 1, 1	ember

Funkció	Gépi/emberi előny (db)	Eset	Döntés	LOA (gyűjtés, elemzés, döntés, végrehajtás)	Leromlott üzemben
2.2 csavar meghúzása	3/1	3	gép	9, 7, 7, 8	ember
2.3 nyomaték mérése	3/0	5	gép	10, 9, 8, 9	gép
3.2 hibás darab jelölése	2/2	1	megosztott	9, 8, 4, 2	ember
4.1 védőzóna figyelése	2/0	5	gép	10, 9, 10, 10	gép
4.3 vészleállítás	1/2	1	megosztott	9, 8, 7, 10	ember

A tizenhárom funkcióból tíz gépi, kettő megosztott, egy emberi lett. A rendszer automatizálási profilja az információgyűjtésben a legmagasabb (átlag 8,7), a döntésben a legalacsonyabb (7,3) (26.2. ábra).



26.2. ábra. A KoboCella funkcióinak automatizálási szintjei a négy információfeldolgozási szakaszban, és a rendszer automatizálási profilja. A notebookkal rajzolva.

Tanulságok:

- **A motorház befogása a jelölések alapján is emberi.** Itt az ítélőképesség (változatok, sérült alkatrész), a váratlan helyzetek és a költség az ember mellett szól; a gép csak a sebességben és a következetességben jobb.
- **A megosztott funkciók döntési szintje alacsony.** A hibás darabnál a gép jelez, de a javításról vagy a selejtezésről az ember dönt (4-es szint); a vészleállítást a gép automatikusan is kiváltja, de az ember bármikor beavatkozhat.
- **Hat funkciót leromlott üzemben az embernek kell átvennie.** Ezek közül ötnél a normál üzemi döntési szint 7 vagy magasabb, tehát a kezelő ezeket a műveleteket a

mindennapokban nem gyakorolja. A csapat ezért negyedéves kézi gyakorlást írt elő a leromlott üzemmódra (UM-7).
- **Az érzelmi szempont a feladatkiosztást is módosította.** A kezelők attól tartottak, hogy „a robot mellett csak adogatók lesznek”; a minőségi ellenőrzés és a változatváltás ezért került a kezelő feladatai közé. A HTA idődiagramja (25. eszközlap) megmutatta, hogy erre a csavarozás alatt van idő.

26.4. Sablon és notebook

- funkciomegosztas_sablon.xlsx: legfeljebb 40 funkció; öt Fitts-szempont legördülő listával (G, E, =), gépi és emberi előny számlálása, megosztási eset, döntés és ellentmondásjelzés; automatizálási szint a négy szakaszban, leromlott üzem és átvételi igény; összesítés és a Sheridan–Verplank skála külön lapon. A KoboCella példájával kitöltve.
- funkciomegosztas.ipynb · Megnyitás Google Colabban: ellentmondásjelzés, automatizálási hőtérkép és profil (a 26.2. ábra így készült), az átvételi igények listája a készségvesztés kockázatának jelzésével.

26.5. Előnyök és korlátok

26.2. táblázat. A funkciómegosztás és az automatizálási profil előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
A megosztási döntés indoklása átlátható és visszakereshető	A Fitts-szempontok összevetése nem ad gépiesen helyes döntést; a súlyuk helyzetfüggő (Winter és Dodou 2014)
A négy szakasz külön kezelése finomabb, mint az „ember vagy gép” kérdés (Parasuraman, Sheridan, és Wickens 2000)	A szintek ordinálisak: átlaguk csak tájékoztató jellegű
Feltárja a leromlott üzem átvételi igényeit	A dinamikus (helyzetfüggő) megosztást nehezen írja le (kézikönyv 12.5. szakasz)
Az érdekeltek elfogadását is a döntés részévé teszi (Price 1985)	Az eredmény a csapat ítéletén múlik; prototípussal ellenőrizni kell

Gyakori buktató

- **„Amit lehet, automatizáljunk.”** Ilyenkor az embernek a gép által meg nem oldott maradékfeladatok jutnak, gyakran monoton felügyelet, ritka, de nehéz beavatkozással (Bainbridge 1983).
- **Egyetlen szint az egész funkcióra.** Egy funkció információgyűjtése lehet teljesen automatikus, miközben a döntést szándékosan az embernél tartjuk; ezt az egyetlen szám elfedi.
- **A leromlott üzem kihagyása.** Ha nem derül ki, mit kell kézzel átvenni, a képzés és az eljárásleírás is elmarad.
- **A felhasználók kihagyása.** Az elfogadás nem utólagos kommunikációs feladat; a megosztás egyik szempontja.

26.6. Mintapromptok

Mintaprompt: megosztási javaslat ellenőrzése

```
Rendszerünk: [LEÍRÁS]. Funkciólistánk a javasolt megosztással
és indoklással: [TÁBLÁZAT].
Feladat: minden funkciónál vizsgáld meg az indoklást a Fitts-lista
szempontjai (sebesség, következetesség, ítélőképesség, váratlan
helyzetek, költség) és az elfogadás szempontjából. Jelöld, ahol
az indoklás hiányos vagy ellentmond a szempontoknak, és kérdezz
rá a hiányzó információra. Ne változtasd meg a döntéseket.
```

Mintaprompt: automatizálási profil és kockázatok

```
Az alábbi funkciók gépi végrehajtásúak, a négy szakasz
automatizálási szintjével (Sheridan–Verplank, 1–10) és azzal,
hogy leromlott üzemben ki veszi át őket: [TÁBLÁZAT].
Feladat: azonosítsd, hol fenyeget túlzott támaszkodás, a
helyzettudatosság elvesztése vagy a készségek leépülése.
Mindegyikhez javasolj tervezési intézkedést (visszajelzés,
gyakorlás, a szint módosítása), és jelöld, milyen méréssel
ellenőriznéd a prototípuson.
```

26.7. Feladat

6. projektlépés (második rész): funkciómegosztás

Saját projektedben oszd meg a funkciófa legalsó szintjének funkcióit ember és gép között, indoklással. A gépi és a megosztott funkciókhoz add meg az automatizálási szintet a négy szakaszban, és jelöld, mit kell az embernek leromlott üzemben átvennie. Legalább egy funkciónál írd le, miért nem a legmagasabb technikailag elérhető szintet választottátok.

27. Terhelés- és használhatóságmérés (NASA-TLX, SUS)

Eszközkártya

- **Mire való?** A szubjektív munkaterhelés (NASA-TLX) és az észlelt használhatóság (SUS) mérése szabványosított kérdőívvel, két változat vagy egy változat és egy viszonyítási érték összevetésére.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel megtervezni és kiértékelni egy NASA-TLX- és SUS-mérést, és az eredményt a szakirodalmi referenciaértékekhez viszonyítva értelmezni.
- **V-lépés:** 5. Részletes tervezés (prototípusok összevetése) és 9. Validáció (a felhasználói elvárások teljesülése); a MOE-k mérési módja is lehet.
- **Bemenet:** prototípus vagy működő rendszer, reprezentatív résztvevők, valós feladatokat tartalmazó tesztforgatókönyv.
- **Kimenet:** nyers és súlyozott TLX, alskálánkénti profil; SUS-pontszám konfidenciaintervallummal és értelmezéssel; feladatsiker; a változatok statisztikai összevetése.
- **Időigény:** résztvevőnként a feladatokon felül 5–10 perc a kérdőívekre; kiértékelés sablonnal 1 óra.
- **Kézikönyv:** 11. fejezet, 11.6. szakasz.

27.1. Mikor használd?

- **Két tervváltozat összevetésére**: melyik kezelőfelület, melyik munkahely-elrendezés terhel kevésbé, melyik prototípust érzik használhatóbbnak a felhasználók.
- **Validációs mérésre**: ha a követelmény a megelégedettségre is vonatkozik (például „a SUS-pontszám legalább 70”), a SUS a mérés módja. Az ISO 9241-11 szerint a használhatóság az eredményesség, a hatékonyság és a megelégedettség együttese (ISO 2018): a kérdőív csak a harmadikat méri, ezért a feladatsikert és a feladatidőt mellette mindig mérni kell.
- **A funkciómegosztás ellenőrzésére** (26. eszközlap): a terhelés átrendeződése (például a fizikai terhelés csökken, a szellemi nő) a TLX alskáláin látszik.

27.2. Lépések

1. **Rögzítsd a mérési célt és a változatokat.** Mit hasonlítasz össze, és mi a viszonyítási alap (másik változat, előd rendszer, követelményérték)?
2. **Válaszd ki a résztvevőket és a feladatokat.** A résztvevők a valódi felhasználói csoportokat képviseljék; a feladatok a működési koncepció forgatókönyveiből jöjjenek. Ha ugyanazok a résztvevők próbálják ki mindkét változatot, a sorrendet résztvevőnként változtasd a tanulási hatás kiegyenlítésére.



27.1. ábra. A terhelés- és használhatóságmérés lépései.

3. **Végeztesd el a feladatokat, és figyeld meg** a végrehajtást: befejezte-e segítség nélkül, mennyi idő alatt, hol akadt el.
4. **Töltesd ki a NASA-TLX-et** közvetlenül a feladat vagy a feltétel után. Hat alskála, 0–100 között 5-ös lépésekben: szellemi igénybevétel, fizikai igénybevétel, időbeli nyomás, teljesítmény (0 = tökéletes, 100 = sikertelen), erőfeszítés, frusztráció (Hart és Staveland 1988). A súlyozott változathoz a résztvevő 15 páros összehasonlításban dönti el, melyik alskála járult hozzá jobban a terheléséhez; a súly az alskála győzelmeinek száma.
5. **Töltesd ki a SUS-t** a használat végén: tíz állítás ötfokú egyetértési skálán, a páratlanok pozitív, a párosak negatív megfogalmazásúak (Brooke 1996). Saját fordításnál ügyelj arra, hogy az állítások iránya és erőssége megmaradjon.
6. **Számítsd ki a pontszámokat.** Nyers TLX: a hat érték átlaga; súlyozott TLX: a súlyokkal vett összeg osztva 15-tel. SUS: a páratlan állításoknál (érték − 1), a párosaknál (5 − érték), az összeg 2,5-szerese, 0 és 100 között.
7. **Vesd össze a változatokat** intervallumokkal és próbával: azonos résztvevőknél páros t-próbával és (kis mintánál kiegészítésként) Wilcoxon-próbával, eltérő résztvevőknél kétmintás próbával. A feladatsiker arányára kis mintánál a korrigált Wald-intervallumot használd (Sauro és Lewis 2016).
8. **Értelmezd az eredményt a feladatsikerrel együtt.** A SUS-pontszám nem százalék. Bangor és munkatársai szerint a 70 fölötti pontszám elfogadható, az 50 alatti elfogadhatatlan (Bangor, Kortum, és Miller 2008); a melléknévi minősítések átlaga „OK” 50,9, „jó” 71,4, „kiváló” 85,5 (Bangor, Kortum, és Miller 2009); Sauro és Lewis adatbázisában az átlag 68 (Sauro és Lewis 2016). A TLX-nek nincs általános elfogadhatósági határa: változatok vagy feltételek összevetésére való.

27.3. Kidolgozott példa 1: a KoboCella kezelőinek terhelése

A KoboCella nyolc kezelője egy-egy műszakot dolgozott a jelenlegi kézi szerelésben (A) és a kísérleti cellában (B), és mindkettő után kitöltötte a súlyozott NASA-TLX-et.

27.1. táblázat. A KoboCella kezelőinek NASA-TLX-átlagai (n = 8).

Alskála	A: kézi szerelés	B: kísérleti cella	Változás
szellemi igénybevétel	36,9	39,4	+2,5
fizikai igénybevétel	55,0	24,4	−30,6
időbeli nyomás	55,0	37,5	−17,5
teljesítmény	34,4	17,5	−16,9

Alskála	A: kézi szerelés	B: kísérleti cella	Változás
erőfeszítés	62,5	45,6	−16,9
frusztráció	31,9	23,8	−8,1
nyers TLX	**45,9**	**31,4**	**−14,6**
súlyozott TLX	**50,8**	**33,8**	**−17,0**

A nyers TLX csökkenése 14,6 pont (95%-os intervallum: 10,2–19,0), a páros t-próba szerint $t(7) = -7{,}80$, $p = 0{,}0001$; a Wilcoxon-próba is szignifikáns ($p = 0{,}008$). Mind a nyolc kezelő terhelése csökkent. A súlyok szerint a kezelők terhelésének fő forrása az időbeli nyomás és a fizikai igénybevétel volt (átlagos súly 0,28 és 0,25).

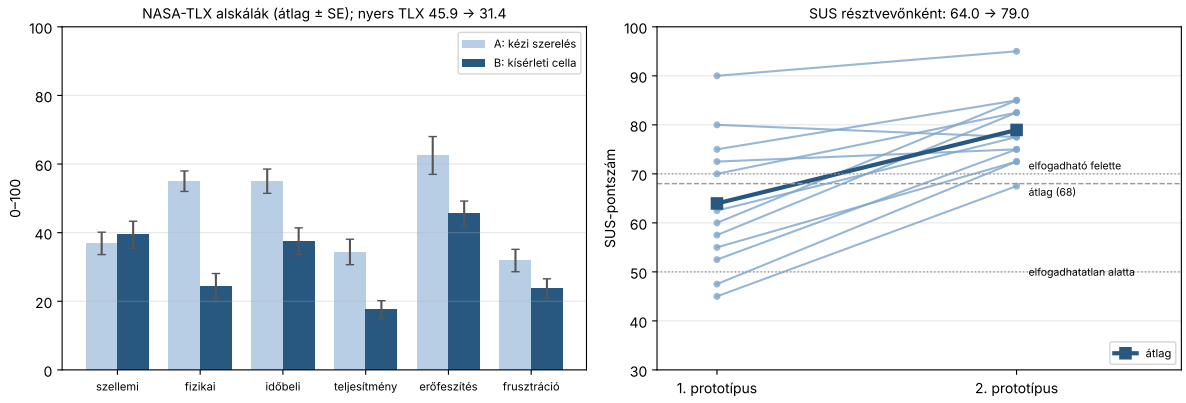
27.4. Kidolgozott példa 2: a VárosiBringa alkalmazás két prototípusa

Ugyanaz a tizenkét résztvevő, mind a négy felhasználói csoportból, két hét különbséggel próbálta ki a két prototípust, négy feladattal (F1 kölcsönzés regisztrált felhasználóként, F2 dokkoló keresése, F3 vendégfizetés, F4 visszaadás).

27.2. táblázat. A VárosiBringa alkalmazás két prototípusának SUS-pontszáma és feladatsikere (n = 12).

	1. prototípus	2. prototípus
SUS átlag (95%-os intervallum)	64,0 (55,2–72,7)	79,0 (74,2–83,7)
értelmezés	határeset, az átlag (68) alatt	elfogadható, a „jó” és a „kiváló” között
feladatsiker (korrigált Wald-intervallum)	36/48 = 75% (61–85%)	46/48 = 96% (85–100%)
F3 vendégfizetés sikere	5/12 = 42%	11/12 = 92%

A SUS-pontszám átlagosan 15,0 ponttal nőtt (95%-os intervallum: 8,9–21,1; $t(11) = 5{,}42$, $p = 0{,}0002$). A 27.2. ábra mindkét mérést mutatja.



27.2. ábra. Bal oldalon a NASA-TLX alskálák átlaga a két feltételben, jobb oldalon a SUS-pontszámok résztvevőnként, a viszonyítási szintekkel. A notebookkal rajzolva.

Tanulságok:

- **A terhelés átrendeződött, nem tűnt el.** A fizikai igénybevétel kevesebb mint a felére csökkent, a szellemi kissé nőtt, mert a kezelőnek a HMI visszajelzéseit is figyelnie kell. Ez összhangban van a funkciómegosztás céljával, de a szellemi terhelést a HMI továbbfejlesztésénél figyelni kell.
- **A SUS és a feladatsiker ugyanabba az irányba mutat**, és a megfigyelés megmondja, miért: a legnagyobb javulás a vendégfizetésnél volt, ahol az első prototípusnál a résztvevők több mint fele elakadt.
- **Az első prototípus intervalluma átnyúlik a 70-es határon.** Tizenkét résztvevővel ennyi a mérés pontossága; az egyetlen átlagérték alapján nem lehetne biztosan eldönteni, hogy elfogadhatatlan vagy elfogadható.
- **A páros elrendezés ára a tanulási hatás.** A második próbán a résztvevők már ismerték a feladatokat, ezért a javulás egy része a gyakorlásnak is betudható. Új résztvevőkkel vagy váltogatott sorrenddel ez kiszűrhető.

27.5. Sablon és notebook

- tlx_sus_sablon.xlsx: TLX-súlyok ellenőrzéssel (soronként 15), két feltétel nyers és súlyozott TLX-e, alskálánkénti átlagok, különbségek és diagram; két SUS-blokk legfeljebb 20 résztvevőre a kérdések szövegével, pontszámítással, átlaggal, szórással, 95%-os intervallummal és elfogadhatósági minősítéssel; feladatsiker-lap. A két kidolgozott példával kitöltve.
- tlx_sus.ipynb · Megnyitás Google Colabban: páros t-próba, Wilcoxon-próba, hatásméret, SUS-értelmezés a melléknévi skálán, korrigált Wald-intervallum a feladatsikerre, ábra (a 27.2. ábra így készült).

27.6. Előnyök és korlátok

27.3. táblázat. A NASA-TLX és a SUS előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Rövid, szabványosított, nemzetközileg összevethető	Szubjektív: azt méri, hogyan élik meg a résztvevők, nem a teljesítményt
A SUS megbízható: Bangor és munkatársai nagy mintáján a belső konzisztencia 0,9 körüli volt (Bangor, Kortum, és Miller 2008)	A SUS nem diagnosztikus: nem mondja meg, mi a baj; ehhez megfigyelés kell
A TLX alskálái megmutatják a terhelés forrását	A TLX-nek nincs abszolút elfogadhatósági határa
A nyers TLX egyszerűbb; Hart áttekintése szerint széles körben használják (Hart 2006)	Kis mintán az intervallumok szélesek; egyetlen átlagértékből nem szabad dönteni

Gyakori buktató

- **A SUS-pontszám százalékként olvasása.** A 64 nem azt jelenti, hogy „64%-ban használható”; csak viszonyítási skálán értelmezhető.
- **Kérdőív megfigyelés nélkül.** Az elégedett felhasználó is hibázhat, és fordítva; a feladatsiker és a feladatidő nélkül az eredmény félrevezető lehet.

- **Átírt állítások.** Ha a fordítás vagy egy „javítás” megváltoztatja az állítások irányát, a pontozás elromlik.
- **A TLX késleltetett kitöltése.** A terhelés emléke gyorsan halványul; a kérdőívet közvetlenül a feladat után kell kitölteni.
- **Páros próba eltérő résztvevőkre.** Ha a két változatot más-más résztvevők próbálták ki, kétmintás próba kell.

27.7. Mintapromptok

Mintaprompt: tesztforgatókönyv a méréshez

```
Rendszerünk: [LEÍRÁS]. Felhasználói csoportjaink: [LISTA].
A két összevetendő változat: [VÁLTOZATOK].
Feladat: javasolj 4–6 tesztfeladatot a működési koncepció
forgatókönyvei alapján, mindegyikhez a sikerkritériummal (mikor
tekintjük segítség nélkül befejezettnek). Javasolj sorrend-
váltogatási tervet, ha ugyanazok a résztvevők próbálják ki
mindkét változatot. A kérdőívek (NASA-TLX, SUS) szövegét ne
írd át.
```

Mintaprompt: eredmények értelmezése

```
Méréseink eredménye: [SUS-PONTSZÁMOK VÁLTOZATONKÉNT],
[TLX-ALSKÁLÁK ÁTLAGAI], [FELADATSIKER FELADATONKÉNT],
megfigyelési jegyzetek: [JEGYZETEK].
Feladat: értelmezd az eredményeket a Bangor-féle elfogadhatósági
tartományok és a 68-as átlag fényében, a konfidenciaintervallumok
figyelembevételével. Kösd össze a pontszámokat a megfigyelt
elakadásokkal, és jelöld, mit nem lehet a mintanagyság miatt
biztosan állítani. Ne számolj újra: a számokat a notebook adja.
```

27.8. Feladat

6. projektlépés (harmadik rész, választható): terhelés és használhatóság

Saját projektedben tervezd meg a terhelés és a használhatóság mérését: résztvevők, feladatok sikerkritériummal, kérdőívek, a változatok összevetésének módja és az elfogadási határ. Ha van prototípusotok, végezz el egy legalább öt résztvevős próbát, és értékeld a sablonnal.

28. Kockázati mátrix

Eszközkártya

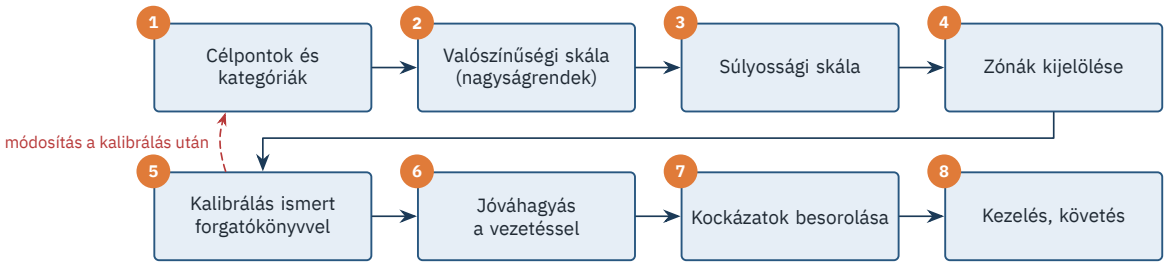
- **Mire való?** A kockázatok egységes, szubjektív minősítése valószínűség és súlyosság alapján; a kezelés sürgősségének kijelölése és a kockázatok követése egy kockázati nyilvántartásban.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel a projekthez igazított, kalibrált kockázati mátrixot szerkeszteni, és a kockázatokat a mátrixban következetesen minősíteni és rangsorolni.
- **V-lépés:** átívelő tevékenység a teljes életcikluson; először a koncepció kiválasztásakor és a veszélyelemzésben, utána minden felülvizsgálaton.
- **Bemenet:** azonosított veszélyek vagy projektkockázatok, a vezetés által jóváhagyott kockázati kritériumok.
- **Kimenet:** kalibrált kockázati mátrix, kockázati nyilvántartás feltétel–következmény állításokkal, kezelési móddal, felelőssel, küszöbbel; havi követés.
- **Időigény:** a mátrix kialakítása és kalibrálása 1–2 óra; a nyilvántartás első kitöltése 2–3 óra, havi frissítése fél óra.
- **Kézikönyv:** 14. fejezet, 14.2–14.3. és 14.6. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (Goldberg és mtsai. 1994, 3.1. szakasz).

28.1. Mikor használd?

- **Veszélyelemzésben** a veszélyek rangsorolására (29. eszközlap): mely veszélyekkel kell azonnal, melyekkel később foglalkozni. A mátrix a szubjektív kockázatértékelést egységesíti, de maga nem azonosít veszélyeket (Ericson 2015).
- **Projektkockázatok** (technikai, költség, ütemezési) követésére: a havi frissített nyilvántartás megmutatja, mely kockázatok nem csökkennek a tervek szerint.
- **Kommunikációra**: a vezetés, a csapat és az érdekelt felek ugyanazt a skálát és ugyanazokat a zónákat értik.
- **Nem** alkalmas két hasonló kockázatú tervváltozat közötti finom döntésre; ott mennyiségi elemzés kell (megbízhatósági blokkdiagram, hibafa, eseményfa: 31–33. eszközlap).

28.2. Lépések

1. **Határozd meg a célpontokat és a kategóriákat.** Mi van kockázatnak kitéve (személy, berendezés, termelés, termék, környezet, projektcél)? Célpontonként külön súlyossági leírás kell, de közös szintekkel (U.S. Department of Defense 2012).
2. **Szerkeszd meg a valószínűségi skálát.** A szomszédos szintek nagyságrendben különbözzenek, és minden szinthez tartozzon expozíciós idő (évente, élettartam alatt, a projekt során).



28.1. ábra. A kockázati mátrix kialakításának és használatának lépései.

3. **Szerkeszd meg a súlyossági skálát** célpontonként, konkrét, felismerhető leírásokkal (például „orvosi ellátást igénylő sérülés”, „1–3 hónap csúszás”).
4. **Jelöld ki a zónákat.** Csak annyi zóna legyen, ahány különböző kezelési mód van (elfogadhatatlan, tűrhető, elfogadható), és egy lépés a mátrixban legfeljebb egy zónahatárt lépjen át. Ha mindkét skála nagyságrendi lépésekből áll, a szintek összege ($S + P$) a kockázat logaritmusával arányos, így az azonos összegű cellák az izokockázati görbék mentén helyezkednek el; a sablon ezért az összegre alapozza a zónákat.
5. **Kalibráld a mátrixot** egy mindenki által ismert forgatókönyvvel: helyezd el, és ellenőrizd, hogy a besorolása megfelel-e a közös ítéletnek.
6. **Hagyasd jóvá a zónahatárokat a vezetéssel.** A kockázatvállalásról nem az elemző dönt.
7. **Sorold be a kockázatokat** a legrosszabb hihető következmény alapján, a kezelés előtt és a tervezett intézkedések után.
8. **Kezeld és kövesd a kockázatokat**: rögzítsd a kezelés módját, a felelőst, a beavatkozást kiváltó küszöböt, és havonta frissítsd a pontszámokat.

28.3. Kidolgozott példa: a ForgácsTech MES-bevezetésének kockázatai

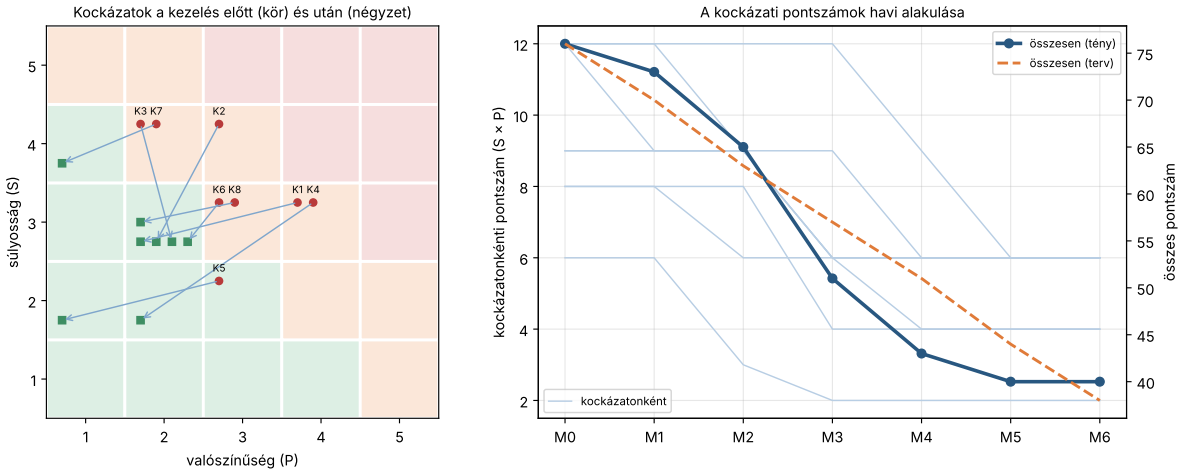
A ForgácsTech csapata az első ütem indításakor nyolc projektkockázatot rögzített a nyilvántartásban (kézikönyv 14.6. szakasz). Néhány bejegyzés:

28.1. táblázat. A ForgácsTech kockázati nyilvántartásának részlete.

Az.	Kockázat (rövidítve)	S/P előtte	Kezelés	S/P utána
K1	gépi interfészek hiánya → 2–3 hónap csúszás	3/4 (ALARP)	felmérés szerződéskötés előtt, hardvertartalék	3/2 (elfogadható)
K2	az ütemező megkerülése → nem javul a határidő	4/3 (ALARP)	a műszakvezetők bevonása, naplózott átsorolás	3/2 (elfogadható)
K3	beszállítói függés → a későbbi ütemek ára	4/2 (ALARP)	megosztás: ár rögzítése a keretszerződésben	3/2 (elfogadható)
K4	elavult normaidők → pontatlan javaslatok	3/4 (ALARP)	normaidők felülvizsgálata gépi adatokkal	2/2 (elfogadható)

Az.	Kockázat (rövidítve)	S/P előtte	Kezelés	S/P utána
K7	kibertámadás → termelésleállás	4/2 (ALARP)	hálózati szegmentálás, mentési rend	4/1 (elfogadható)

A nyolc kockázatból hét a tűrhető tartományból indult, a tervezett kezelés után mind elfogadható. Az összes pontszám ($\sum S \cdot P$) hat hónap alatt 76-ról 40-re csökkent (28.2. ábra).



28.2. ábra. A ForgácsTech kockázatai a kezelés előtt és után, valamint a kockázati pontszámok havi alakulása a tervhez képest. A notebookkal rajzolva.

Tanulságok:

- **A feltétel–következmény állítás megmutatja, hol lehet beavatkozni.** A K1 feltétele („nincs digitális interfész”) ma is igaz; az intézkedés a valószínűséget a feltétel korai felmérésével csökkenti, a következményt a tartalékkal.
- **A követés felfedi a lassan csökkenő kockázatokat.** A K2 és a K8 a harmadik hónapban még a kiinduló szinten állt. A K2-nél a beavatkozási küszöb (a rendszeren kívüli átsorolások aránya) a próbaüzemben teljesült, és a csapat elindította a tervezett tartalékintézkedést.
- **A súlyosság gyakran nem csökkenthető.** A kibertámadás következménye (K7) a szegmentálás után is súlyos maradt; csak a valószínűsége csökkent. Az ilyen kockázatokat a maradó szinten is figyelni kell.
- **A mátrix felbontása korlátozott.** A notebook szimulációja szerint két véletlen kockázat közül a mátrix mintegy harmadát azonos zónába sorolja, holott valódi kockázatuk többszörösen eltérhet (Cox 2008).

28.4. Sablon és notebook

- kockazati_matrix_sablon.xlsx: skála személyi, berendezési és projektkockázatra, két valószínűségi skálával és állítható zónahatárokkal; kockázati nyilvántartás legfeljebb 30 kockázatra (zóna és pontszám a kezelés előtt és után, legördülő kezelési módok és állapotok); két 5 × 5-ös mátrix a kockázatok számával; havi követés tény–terv diagrammal. A ForgácsTech példájával kitöltve.

- kockazati_matrix.ipynb · Megnyitás Google Colabban: a kockázatok elhelyezése a mátrixon, a zónák folytonosságának ellenőrzése, a mátrix felbontásának szimulációja Cox gondolatmenete szerint, a pontszámok követése (a 28.2. ábra így készült).

28.5. Előnyök és korlátok

28.2. táblázat. A kockázati mátrix előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Egyszerű, gyorsan alkalmazható, jól kommunikálható	Szubjektív; a besorolás az értékelők tapasztalatán múlik
Egységesíti a szervezet kockázatértékelését	Gyenge felbontás: különböző kockázatok kerülhetnek egy cellába (Cox 2008)
A kezelés előtti és utáni állapot egy ábrán látható	A cellahatárok közelében kis becslési eltérés más zónát ad
A nyilvántartással együtt a folyamatos kockázatkezelés alapja	Nem azonosít veszélyt; a kockázatok közötti függőségeket nem kezeli

Gyakori buktató

- **Expozíciós idő nélküli valószínűség.** „Ritka” – de mihez képest: egy műszakban, egy évben vagy a teljes élettartam alatt?
- **Túl finom skála.** A 10 × 10-es mátrix pontosság látszatát kelti, miközben a besorolás szubjektív.
- **A legrosszabb elképzelhető eset.** Ha minden kockázatot a legrosszabb elképzelhető következménnyel értékelünk, minden piros lesz, és a mátrix elveszíti megkülönböztető erejét; a legrosszabb hihető eset kell.
- **Szín alapú döntés.** A zöld nem jelenti, hogy nincs teendő, és a piros sem, hogy minden áron csökkenteni kell; a döntéshez indoklás kell (ALARP).
- **Elfelejtett nyilvántartás.** A kezelés első kitöltés után nem frissített nyilvántartás a projekt elején érvényes képet őrzi.

28.6. Mintapromptok

Mintaprompt: kockázati állítások megfogalmazása

```
Projektünk: [LEÍRÁS]. Az alábbi aggodalmakat gyűjtöttük össze a
csapatmegbeszélésen: [LISTA].
Feladat: fogalmazz meg mindegyikből kockázati állítást „Mivel
[ma igaz feltétel], fennáll a lehetősége, hogy [esemény], ami
[következmény a projekt céljaira]” formában. Ha egy aggodalom
valójában már bekövetkezett probléma vagy csak egy feltétel,
jelezd. Valószínűséget és súlyosságot ne adj meg: azt a csapat
becsüli.
```

Mintaprompt: a mátrix ellenőrzése

```
Kockázati mátrixunk skálái és zónái: [SKÁLÁK, ZÓNÁK].
Feladat: ellenőrizd a mátrixot a szakirodalom szabályai
szerint: nagyságrendi valószínűségi lépések, expozíciós idő,
a cellák és zónák száma, a zónák folytonossága (egy lépés
legfeljebb egy határ). Javasolj egy kalibráló forgatókönyvet,
amelyet a csapat minden tagja ismer. A zónahatárokat ne
változtasd meg: azokat a vezetés hagyja jóvá.
```

28.7. Feladat

6. projektlépés (negyedik rész): kockázati mátrix és nyilvántartás

Saját projektedben alakíts ki kockázati mátrixot a projekthez illő skálákkal, és kalibráld egy ismert forgatókönyvvel. Nyiss kockázati nyilvántartást legalább öt projektkockázattal feltétel–következmény formában, kezelési móddal, felelőssel és beavatkozási küszöbbel, és jelöld a várható maradó kockázatot.

29. Előzetes veszélyelemzés (PHA)

Eszközkártya

- **Mire való?** A rendszer veszélyeinek korai leltára: energiaforrások, veszélyek, célpontok, kiinduló kockázat, ellenintézkedések és maradó kockázat, mielőtt a részletes tervezés elkezdődik.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel az energiaforrásokból és a felhasználói feladatokból kiindulva előzetes veszélyelemzést végezni, a veszélyekhez ellenintézkedést rendelni és a maradó kockázatot értékelni.
- **V-lépés:** 3–4. Koncepció és architektúra (a kiválasztott koncepcióra); a részletes tervezés elején frissítve.
- **Bemenet:** a koncepció leírása és üzemállapotai, a funkciófa és a funkciómegosztás, a kezelői feladatok (HTA), a kockázati mátrix.
- **Kimenet:** PHA-munkalap, a veszélyek rangsora, az intézkedések listája típusuk szerint, maradó kockázat ALARP-indoklással, verifikációs módok; a részletes elemzések (FMEA, hibafa, STPA) célpontjai.
- **Időigény:** egy cellányi rendszerre 3–5 óra, a csapattal együtt.
- **Kézikönyv:** 14. fejezet, 14.4–14.5. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (Goldberg és mtsai. 1994, 3.2. és 3.3. szakasz).

29.1. Mikor használd?

- **Korán**, amint a koncepció ismert. A PHA a veszélyek és ellenintézkedések leltárát adja; mivel kevés részletet igényel, akkor is elvégezhető, amikor a részletes tervek még nem készültek el (Ericson 2015).
- **Koncepciók összevetésekor**: egy-egy koncepció veszélyleltára fontos kiválasztási szempont lehet (a KoboCella C koncepciója ergonómiai okból esett ki).
- **A részletes elemzések célzására**: a PHA megmutatja, mely veszélyekhez kell FMEA (30. eszközlap), hibafa (32. eszközlap) vagy rendszerelméleti elemzés (34. eszközlap).
- **Korlát**: a PHA az egyidejűleg fennálló hibák kombinációit nem vizsgálja (Ericson 2015).

29.2. Lépések

1. **Írd le a rendszert és az üzemállapotait**: normál üzem, indítás, leállás, karbantartás, leromlott üzem, tisztítás. A veszélyek sokszor nem a normál üzemben jelentkeznek.
2. **Készítsd el az energiaforrások listáját.** Haddon szerint a sérülések többsége nem kívánt energiaátadásból ered (Haddon 1973); a sablon ellenőrzőlistája tizenegy energiafajtát sorol fel (mozgási, helyzeti, nyomás, villamos, hő, kémiai, sugárzás,



29.1. ábra. Az előzetes veszélyelemzés lépései.

akusztikus, ergonómiai terhelés, vezérlés, környezeti). Az energiaforrások, a célpontok és a gátak vizsgálata önálló módszerként is ismert (gátelemzés) (Haddon 1973; Ericson 2015).

3. **Azonosítsd a veszélyeket és a célpontokat.** Minden energiaforráshoz: milyen esemény juttathatja el az energiát a célponthoz (személy, berendezés, termék, környezet)? Használd a HTA lépéseit is: hol van a kezelő a veszélyes zóna közelében?
4. **Értékeld a kiinduló kockázatot** a kockázati mátrixszal (28. eszközlap), a legrosszabb hihető következményre.
5. **Határozd meg az ellenintézkedéseket** az ISO 12100 sorrendjében: 1. eredendően biztonságos tervezés, 2. műszaki védőintézkedés, 3. használati információ (ISO 2010). Mindig az első típussal kezdd.
6. **Értékeld a maradó kockázatot.** Ha a tűrhető (ALARP) tartományban marad, írd le, miért nem észszerű a további csökkentés (Health and Safety Executive 2001).
7. **Rendelj verifikációs módot** minden intézkedéshez (mérés, funkcionális teszt, ellenőrzés, audit); ezek a verifikációs terv bemenetei.
8. **Add át a veszélyeket a részletes elemzéseknek**, és frissítsd a PHA-t, ha a próbák vagy a részletes elemzések új veszélyt tárnak fel.

29.3. Kidolgozott példa: a KoboCella előzetes veszélyelemzése

A KoboCella csapata nyolc veszélyt rögzített hat energiafajtához (a kézikönyv 14. fejezete a részletet közli). A 29.2. ábra veszélyenként mutatja a kockázatcsökkentést és az intézkedés típusát.

29.1. táblázat. Néhány sor a KoboCella PHA-jából. Az intézkedés típusa: 1 tervezési, 2 műszaki védőintézkedés, 3 tájékoztatás, egyéni védőeszköz.

Veszély	Energia	Kiinduló zóna	Intézkedés (típus)	Maradó zóna
H5 ismétlődő törzshajlítás	ergonómiai terhelés	elfogadhatatlan	állítható munkamagasság, ≤ 20° (1)	elfogadható
H1 a kobotkar ütközése	mozgási	ALARP	erőhatárolás, szkenner, ≤ 250 mm/s (2)	elfogadható
H4 áramütés karbantartáskor	villamos	ALARP	érintésvédelem, kizárás, képzett szakember (2)	ALARP, indoklással

Veszély	Energia	Kiinduló zóna	Intézkedés (típus)	Maradó zóna
H7 leeső motorház	helyzeti	elfogadható	csúszásgátló tálca, védőcipő (3)	elfogadható

Tanulságok:

- **A legnagyobb kiinduló kockázat nem a robotból jött**, hanem a jelenlegi kézi munka ergonómiai terheléséből. Ezt tervezési intézkedés (állítható munkamagasság) kezeli, nem tájékoztatás.
- **Az intézkedések túlnyomó része tervezési vagy műszaki védőintézkedés.** Tájékoztatásra és egyéni védőeszközre csak a kis súlyosságú H7-nél épít a csapat; súlyos veszélynél a notebook ezt hiányosságként jelezné.
- **Egy veszély indokoltan maradt a tűrhető tartományban.** Az áramütés súlyossága nem csökkenthető; a csapat írásban indokolta, miért aránytalan a további csökkentés, és a vezetés elfogadta.
- **A PHA a részletes elemzések célpontjait is kijelöli.** A H1 és a H6 (váratlan indulás szoftverhiba miatt) a vezérlés és a biztonsági funkciók kölcsönhatásán múlik: ezekre a csapat STPA-t végzett (34. eszközlap); a csavarozó egység hibamódjait FMEA elemzi (30. eszközlap).

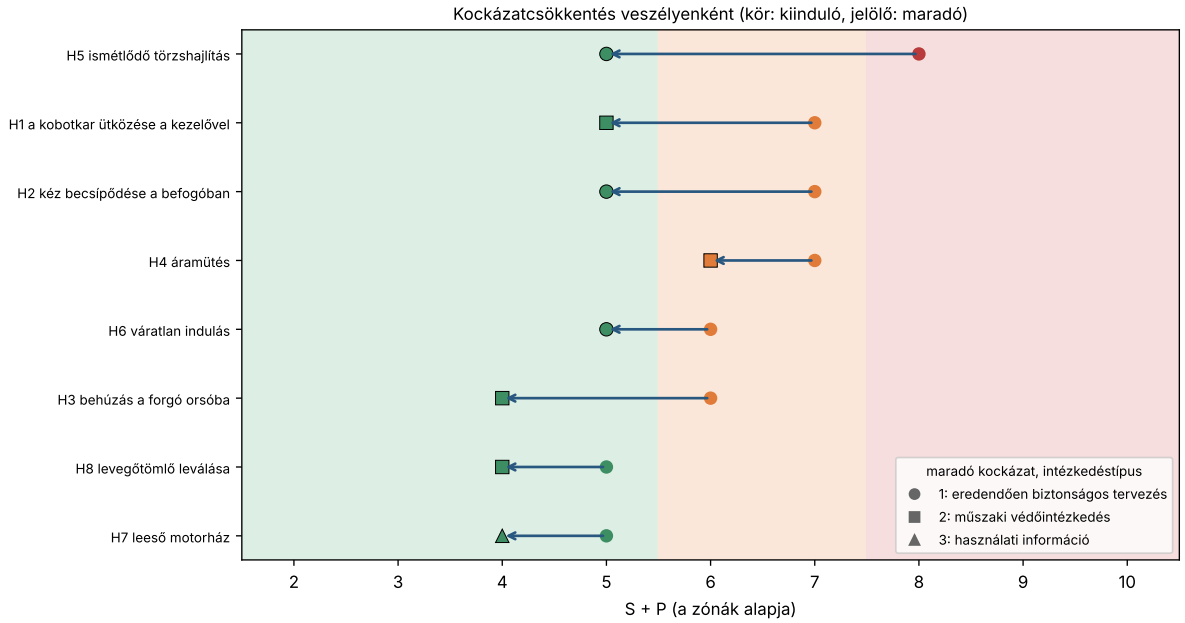
29.4. Sablon és notebook

- pha_sablon.xlsx: energiaforrás-ellenőrzőlista tizenegy energiafajtával; PHA-munkalap legfeljebb 40 veszélyre legördülő energiafajtával, célponttal és intézkedéstípussal, automatikus zónákkal és jelzésekkel (elfogadhatatlan maradó kockázat, hiányzó ALARP-indoklás, súlyos veszély csak tájékoztatással, hiányzó verifikáció); összesítő mátrixok és mutatók. A KoboCella példájával kitöltve; a skálát a kockázati mátrix sablonnal közösen használja.
- pha.ipynb · Megnyitás Google Colabban: zónák és jelzések, kereszttábla a kiinduló és a maradó zónákról, összesítés energiafajtánként, ábra a veszélyenkénti kockázatcsökkentésről (a 29.2. ábra így készült).

29.5. Előnyök és korlátok

29.2. táblázat. Az előzetes veszélyelemzés előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Korán, kevés részlettel is elvégezhető	Az egyidejű hibák kombinációit nem vizsgálja
A veszélyek és ellenintézkedések teljes leltárát adja	Az energiaszemlélet nem minden veszélyt fed le (például oxigénhiány zárt térben)
Az intézkedések típusa a hatékonyság szerinti rangsort is mutatja	A teljesség a csapat tapasztalatán múlik
A verifikációs terv és a részletes elemzések bemenete	A kockázatbecslés szubjektív (a mátrix korlátaival)



29.2. ábra. A KoboCella veszélyeinek kockázatcsökkentése: a kör a kiinduló, a jelölő a maradó kockázat helye, alakja az intézkedés típusa. A notebookkal rajzolva.

Gyakori buktató

- **Csak a normál üzem.** A karbantartás, a tisztítás, az indítás és a hibaelhárítás gyakran veszélyesebb, mint a normál üzem.
- **Figyelmeztetés mint első megoldás.** A „Vigyázat, mozgó alkatrész!” felirat a harmadik helyen áll a sorrendben; előbb meg kell vizsgálni, megszüntethető vagy elkeríthető-e a veszély.
- **Az új veszélyek figyelmen kívül hagyása.** Minden intézkedés új veszélyt hozhat (például egy védőburkolat akadályozza a karbantartást, és ezért leszerelik).
- **A PHA mint egyszeri dokumentum.** A koncepció változásával és a próbák tapasztalataival frissíteni kell.

29.6. Mintapromptok

Mintaprompt: energiaforrások és veszélyek

```
Rendszerünk: [LEÍRÁS], üzemállapotai: [LISTA]. A kezelő
feladatai (HTA): [LÉPÉSEK].
Feladat: az energia-gát szemlélet alapján sorold fel a rendszer
energiaforrásait (mozgási, helyzeti, nyomás, villamos, hő, kémiai,
sugárzás, akusztikus, ergonómiai terhelés, vezérlés), és mindegyikhez
a lehetséges veszélyes eseményeket és célpontokat, üzemállapotonként.
Kockázatot ne becsülj, és ne javasolj intézkedést: ezt a csapat
végzi.
```

Mintaprompt: ellenintézkedések rangsorolása

```
Az alábbi veszélyekhez javasolt intézkedéseink: [TÁBLÁZAT].
Feladat: minden intézkedést sorolj be az ISO 12100 sorrendje
szerint (eredendően biztonságos tervezés, műszaki védőintézkedés,
használati információ). Ahol csak tájékoztatás vagy egyéni
védőeszköz szerepel, vizsgáld meg, van-e tervezési vagy műszaki
lehetőség, és nevezd meg, milyen új veszélyt hozhat maga az
intézkedés.
```

29.7. Feladat

6. projektlépés (ötödik rész): előzetes veszélyelemzés

Saját projektedben végezz előzetes veszélyelemzést legalább hat veszéllyel, az energiaforrás-ellenőrzőlista és a felhasználói feladatok alapján. Minden veszélyhez adj intézkedést típusával, maradó kockázatot és verifikációs módot; ha a maradó kockázat tűrhető, indokold.

30. FMEA

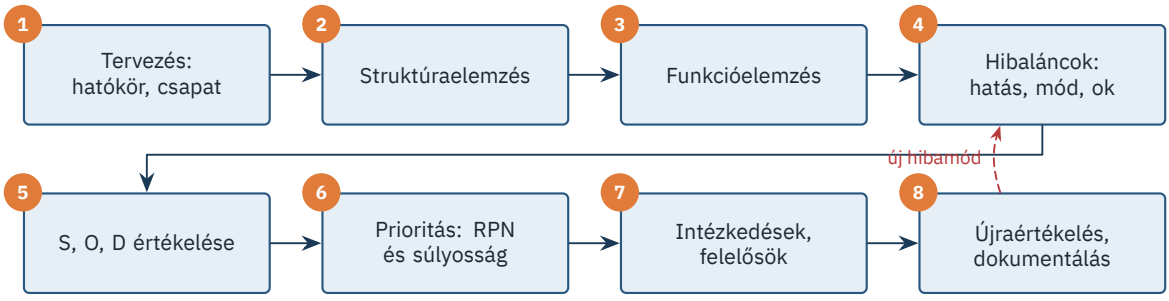
Eszközkártya

- **Mire való?** A rendszer elemeinek vagy a folyamat lépéseinek lehetséges hibamódjai, ezek hatásai és okai; a kockázat értékelése súlyosság, előfordulás és észlelhetőség szerint; az intézkedések kijelölése és követése.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel tervezési vagy folyamat-FMEA-t végezni hibaláncokkal, a hibamódokat súlyosság, előfordulás és észlelhetőség szerint értékelni, és a prioritás alapján intézkedést javasolni.
- **V-lépés:** 4–5. Architektúra és részletes tervezés (tervezési FMEA), a gyártás-előkészítés (folyamat-FMEA); élő dokumentumként a verifikációig és az üzemeltetésig.
- **Bemenet:** a struktúra (fizikai architektúra, folyamatlépések, HTA), a funkciók és követelmények, a PHA, korábbi hibák, reklamációk, hasonló termékek FMEA-i.
- **Kimenet:** FMEA-munkalap hibaláncokkal, S/O/D értékeléssel, prioritással, intézkedésekkel felelőssel és határidővel, az intézkedések utáni újraértékelés.
- **Időigény:** alrendszerenként 4–8 óra csapatmunka; a frissítés folyamatos.
- **Kézikönyv:** 15. fejezet.
- **Továbbolvasás:** (Goldberg és mtsai. 1994, 3.4. szakasz).

30.1. Mikor használd?

- **Új termék, technológia vagy folyamat** tervezésekor, teljes körűen; **módosításkor** a változásra és hatásaira összpontosítva; **új környezetben vagy alkalmazásban** a megváltozott feltételekre (AIAG és VDA 2019).
- **Ha a PHA vagy a kockázati nyilvántartás** egy alrendszert vagy folyamatot kockázatosnak jelölt (29. eszközlap).
- **Az egypontos hibák** feltárására: az FMEA erre alapos módszer, de az egyidejű hibák kombinációit nem vizsgálja; azokhoz hibafa kell (32. eszközlap) (IEC 2018).

30.2. Lépések



30.1. ábra. Az FMEA lépései az AIAG–VDA hét lépésére építve.

1. **Tervezés:** rögzítsd a hatókört (mit elemzünk és mit nem), a csapatot (tervezés, gyártás, minőségügy, karbantartás, kezelő), az ütemezést és a skálákat (AIAG és VDA 2019).
2. **Struktúraelemzés:** bontsd a rendszert elemekre (rendszer, alrendszer, komponens) vagy a folyamatot lépésekre és munkaelemekre. A folyamat-FMEA-nál a HTA lépései jó kiindulópontot adnak (25. eszközlap).
3. **Funkcióelemzés:** rendeld az elemekhez a funkciókat és követelményeket, mérhető formában (például „nyomaték 4,0 ± 0,2 Nm”).
4. **Hibaláncok:** minden funkcióhoz írd fel a hibamódokat (fizikai fogalommal), a hibahatásokat (ahogyan a vevő érzékeli) és a hibaokokat. Egy szint hibamódja a fölötte lévő szint hibaoka.
5. **Értékelés:** rögzítsd a meglévő megelőző és észlelő intézkedéseket, majd értékeld a súlyosságot (S), az előfordulást (O) és az észlelhetőséget (D) 1-től 10-ig. A súlyosság a legsúlyosabb hatáshoz tartozik.
6. **Prioritás:** számítsd ki az RPN $= S \cdot O \cdot D$ értéket, de ne csak ez alapján rangsorolj. A sablon egyszerűsített szabálya: 9–10-es súlyosságnál, ha az előfordulás legalább 2, a prioritás mindig magas; egyébként 100 fölött magas, 40 és 100 között közepes. Ez az AIAG–VDA cselekvési prioritásának elvét követi (először a súlyosság, aztán az előfordulás, végül az észlelhetőség), de nem helyettesíti annak táblázatát.
7. **Intézkedések:** a magas és közepes prioritású sorokhoz rendelj intézkedést felelőssel és határidővel. Sorrend: a súlyosság csökkentése konstrukciós változtatással, az előfordulás csökkentése (megelőzés, hibabiztos kialakítás), végül az észlelés javítása.
8. **Újraértékelés és dokumentálás:** a végrehajtás után értékeld újra a sort, és tartsd naprakészen az FMEA-t a változásokkal, a próbák és a reklamációk tapasztalataival.

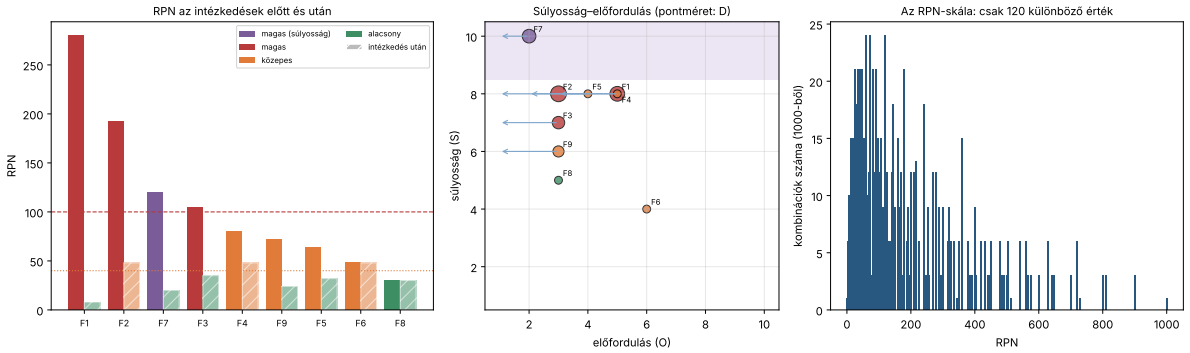
30.3. Kidolgozott példa: a KoboCella FMEA-ja

A KoboCella csapata a folyamat-FMEA-t a kezelő HTA-jából és a cella gépi funkcióiból építette fel; a kézikönyv 15. fejezete a részletét közli. A sablon kilenc hibamódot tartalmaz, köztük egy biztonsági funkcióét is:

30.1. táblázat. A KoboCella FMEA-jának részlete a sablonból. RPN’: az intézkedés utáni érték.

Az.	Hibamód	S	O	D	RPN	Prioritás	Intézkedés	RPN’
F1	fordított fedél	8	5	7	280	magas	aszimmetrikus illesztőcsapok	8
F2	hibás darab a kiadóba kerül	8	3	8	192	magas	a kiadó reteszelése	48
F7	a lézerszkenner nem érzékeli a kezelőt	10	2	6	120	magas (súlyosság)	napi indítási teszt, önellenőrzés	20
F3	rossz típusprogram	7	3	5	105	magas	a HMI tölti be a programot	35
F4	hiányzó csavar	8	5	2	80	közepes	töltöttségérzékelő	48
F6	a motorház nem ül fel teljesen	4	6	2	48	közepes	–	48

Az intézkedések után egyetlen magas prioritású sor sem maradt; a legnagyobb RPN 280-ról 48-ra csökkent (30.2. ábra).



30.2. ábra. A KoboCella hibamódjainak RPN-je az intézkedések előtt és után, a súlyosság–előfordulás sík és az RPN-skála 120 lehetséges értéke. A notebookkal rajzolva.

Tanulságok:

- **A legjobb intézkedés megszünteti a hibát.** A fordított fedélnél a hibabiztos kialakítás az előfordulást és az észlelhetőséget is a legjobb értékre vitte, mert a hiba nem jöhet létre (a sablon skáláján az 1-es észlelhetőség ezt az esetet is jelenti).
- **A súlyosság önálló figyelmet kíván.** A szkenner hibamódja (F7) 10-es súlyosságú; a szabály akkor is magas prioritást adna, ha az RPN 100 alatt lenne. Az intézkedés a súlyosságot nem változtatja meg, csak az előfordulást és az észlelhetőséget.
- **Azonos RPN, különböző kockázat.** Az intézkedések után a hiányzó csavar (F4, $S = 8$) és a motorház behelyezése (F6, $S = 4$) egyaránt 48: az RPN nem különbözteti meg a vevőnél tömítetlen motort az időveszteségtől (Bowles 2003).
- **Az RPN-skála lyukas és egyenetlen.** Az 1000 kombináció csak 120 különböző értéket ad, a kombinációk mediánja 105; a 100-as küszöb tehát a lehetséges esetek felét magasnak minősíti.

30.4. Sablon és notebook

- fmea_sablon.xlsx: fejléc az azonosító adatokkal; S/O/D skálák 1–10-ig a klasszikus autóipari skálák alapján; FMEA-munkalap legfeljebb 60 hibamódra (RPN, prioritás egyszerűsített szabály szerint, állítható küszöbökkel, javasolt és végrehajtott intézkedés, újraértékelés, színezett prioritás); összesítés az intézkedések előtt és után. A KoboCella példájával kitöltve.
- fmea.ipynb · Megnyitás Google Colabban: RPN és prioritás az intézkedések előtt és után, az azonos RPN-ű, de eltérő súlyosságú sorok keresése, az RPN-skála elemzése, ábra (a 30.2. ábra így készült).

30.5. Előnyök és korlátok

30.2. táblázat. Az FMEA előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Rendszeres, elemenkénti áttekintés; az egypontos hibák alapos feltárása (IEC 2018)	Munkaigényes; nagy rendszernél kezelhetetlenül hosszú lehet
A csapat tudását és a korábbi tapasztalatokat egy dokumentumba gyűjti	Az egyidejű hibák kombinációit nem vizsgálja
Közvetlenül intézkedésekhez és a verifikációs tervhez vezet	Az S, O, D értékelése szubjektív; a skálák sorrendiek
Élő dokumentumként a teljes életciklust kíséri	Az RPN torzít: azonos érték mögött eltérő kockázat (Bowles 2003; Liu, Liu, és Liu 2013)

Gyakori buktató

- **Tünet a hibamód helyett.** „A motor nem jó” helyett „a nyomaték alacsony”: a fizikai hibamód vezet el az okhoz.
- **Csak az RPN alapján döntünk.** A 9–10-es súlyosságú sorok akkor is figyelmet kívánnak, ha az RPN-jük alacsony.
- **Az észlelés javítása a megelőzés helyett.** Egy újabb ellenőrzés csökkenti az RPN-t, de a hiba továbbra is létrejön, és költséget okoz.
- **„Oktatás” mint intézkedés.** Az emberi hibamódoknál a képzés a leggyengébb intézkedés (29. eszközlap, ISO 12100 sorrend).
- **Egyszer kitöltött táblázat.** Az FMEA-t a változásokkal és a próbák tapasztalataival frissíteni kell.

30.6. Mintapromptok

Mintaprompt: hibaláncok

```
Vizsgált elem: [ELEM], funkciói és követelményei: [LISTA].
Az elem a(z) [FÖLÖTTE LÉVŐ RENDSZER] része; részei: [ALKATRÉSZEK].
Feladat: minden funkcióhoz sorolj fel lehetséges hibamódokat
fizikai, műszaki fogalmakkal (nem tünetként), és mindegyikhez a
hibahatást a fölötte lévő szinten és a vevőnél, valamint a
lehetséges okokat az alatta lévő szinten. Jelöld a biztonsági
vagy jogszabályi hatásokat. S, O, D értéket ne adj meg.
```

Mintaprompt: intézkedések felülvizsgálata

```
Az FMEA magas prioritású sorai a javasolt intézkedésekkel: [TÁBLÁZAT].
Feladat: minden intézkedésnél állapítsd meg, hogy a súlyosságot,
az előfordulást vagy az észlelhetőséget javítja-e. Ahol csak
észlelést javítunk vagy oktatást javasolunk, keress megelőző vagy
hibabiztos megoldást. Jelöld, ha egy intézkedés új hibamódot
hozhat létre. Az értékeléseket ne módosítsd.
```

30.7. Feladat

6. projektlépés (hatodik rész): FMEA

Saját projektedben készíts FMEA-t a legkockázatosabb alrendszerre vagy folyamatra legalább nyolc hibamóddal, hibaláncokkal, meglévő intézkedésekkel és S, O, D értékeléssel. A magas prioritású sorokhoz javasolj intézkedést felelőssel, add meg a várható új értékelést, és mutass rá legalább egy esetre, ahol az RPN félrevezető lenne.

31. Megbízhatósági blokkdiagram

Eszközkártya

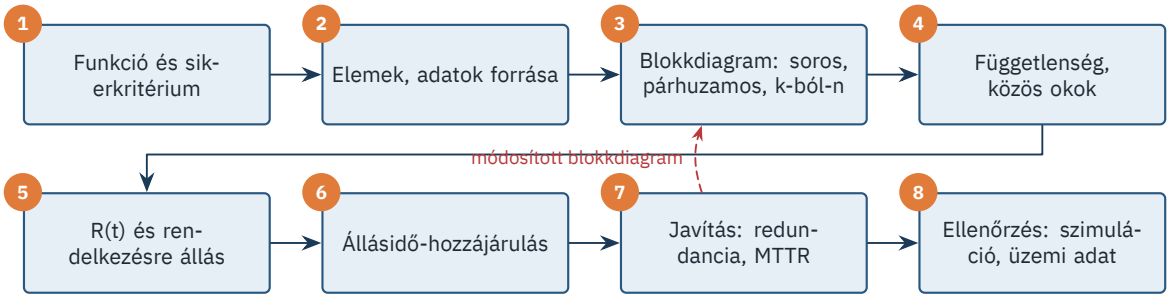
- **Mire való?** A rendszer megbízhatóságának és rendelkezésre állásának becslése az elemek adataiból; az egypontos hibák és a legnagyobb állásidő-okozók azonosítása; a redundancia és a javítási idő hatásának vizsgálata.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel megbízhatósági blokkdiagramot felállítani, kiszámítani a rendszer megbízhatóságát és rendelkezésre állását, és azonosítani az egypontos hibákat.
- **V-lépés:** 4. Architektúra (változatok összevetése), 5. Részletes tervezés (megbízhatósági allokáció), 7–8. Verifikáció (az üzemi adatok összevetése a modellel).
- **Bemenet:** a funkció sikerkritériuma, a fizikai architektúra, az elemek MTBF- és MTTR-adatai (adatlap, adatbázis, üzemi tapasztalat, becslés), a küldetési idő és az éves üzemidő.
- **Kimenet:** blokkdiagram, a blokkok és a rendszer $R(t)$ és A értéke, az állásidő-hozzájárulások, a javasolt redundanciák és MTTR-csökkentések.
- **Időigény:** egy cellányi rendszerre 2–3 óra az adatgyűjtéssel együtt.
- **Kézikönyv:** 16. fejezet, 16.1–16.3. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (Goldberg és mtsai. 1994, 3.5. szakasz).

31.1. Mikor használd?

- **Rendelkezésre állási vagy megbízhatósági követelmény** tervezésekor és allokálásakor: mekkora MTBF és MTTR kell az egyes elemekre, hogy a rendszer teljesítse a követelményt?
- **Változatok összevetésekor**: mit ér egy redundáns elem, egy tartalék alkatrész vagy egy leromlott üzemmód?
- **Erősség és korlát:** a blokkdiagram viszonylag könnyen felépíthető szimbolikus logikai modell; korlátja, hogy az elemek adatai nem mindig érhetők el, és a számított megbízhatóság irreálisan magas lehet (O'Connor és Kleyner 2012).

31.2. Lépések

1. **Határozd meg a funkciót és a sikerkritériumot.** Mit jelent, hogy a rendszer „működik"? A k-ból-n elrendezésnél a követelmény maga mondja meg a k értéket.
2. **Gyűjtsd össze az elemeket és az adataikat** (MTBF, MTTR), és jegyezd fel az adat forrását. Az adatlapok MTBF-definíciója eltérhet; ellenőrizd (O'Connor és Kleyner 2012).
3. **Rajzold fel a blokkdiagramot**: soros elem az, amelynek kiesése a funkciót megszünteti; párhuzamos az, amelyet egy másik helyettesíthet; k-ból-n az, ahol legalább k elem kell (IEC 2016).



31.1. ábra. A megbízhatósági blokkdiagram lépései.

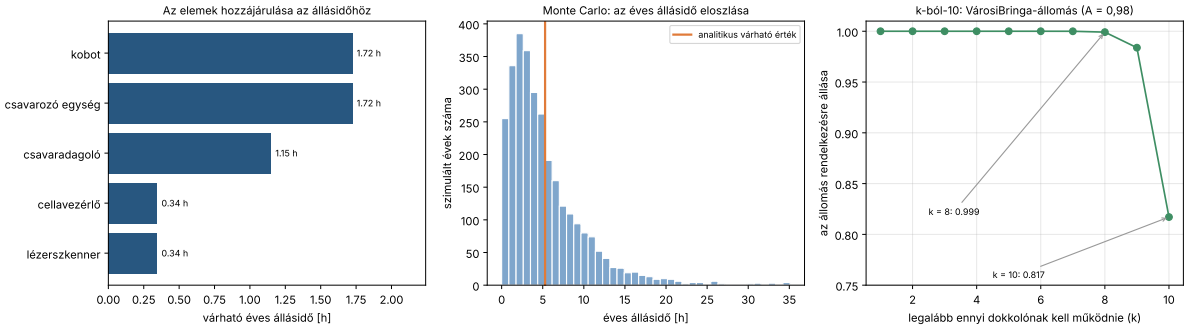
4. **Vizsgáld meg a függetlenséget**: van-e közös táp, közös szoftver, közös környezet vagy karbantartás? Ezek a párhuzamos ágak előnyét csökkentik.
5. **Számítsd ki** az elemek, a blokkok és a rendszer megbízhatóságát a küldetési időre és a rendelkezésre állását (a képleteket a kézikönyv 16.3. szakasza adja meg).
6. **Határozd meg az állásidő-hozzájárulásokat**: melyik elem mennyi éves állásidőt okoz.
7. **Javíts**: redundancia, jobb elem (nagyobb MTBF), rövidebb javítás (tartalék alkatrész, gyorscsere: kisebb MTTR), leromlott üzemmód.
8. **Ellenőrizd** a modellt szimulációval és később az üzemi adatokkal.

31.3. Kidolgozott példa: a KoboCella termelési funkciója

A KoboCella öt eleme sorosan kapcsolódik; leromlott üzemben a kézi szerelés (UM-7) párhuzamos tartalékként veszi át a termelést (kézikönyv 16. fejezet).

31.1. táblázat. A KoboCella elemeinek adatai és a rendelkezésre állás évi 3450 üzemórával. A cella MTBF-je az elemek meghibásodási rátáinak összegéből adódik.

Elem	MTBF [h]	MTTR [h]	A	Éves állásidő [h]
kobot	8000	4	0,99950	1,72
csavarozó egység	2000	1	0,99950	1,72
csavaradagoló	1500	0,5	0,99967	1,15
lézerszkenner	20 000	2	0,99990	0,34
cellavezérlő	30 000	3	0,99990	0,34
soros ág (cella)	**727**		**0,99847**	**5,3**
UM-7 kézi tartalékkal			0,99997	0,1



31.2. ábra. Az elemek hozzájárulása az éves állásidőhöz, az éves állásidő eloszlása Monte Carlo-szimulációval, és egy k-ból-10 állomás rendelkezésre állása a k függvényében. A notebookkal rajzolva.

Tanulságok:

- **A kobot és a csavarozó egység okozza az állásidő kétharmadát.** A csavarozó egység

- **A kézi tartalék a funkciót védi, nem a teljesítményt.** A párhuzamos ág a rendelkezésre állást 0,99997-re emeli, de kisebb kapacitással; a blokkdiagram ezt nem mutatja, a ciklusidő-követelményt külön kell vizsgálni.
- **A követelmény megfogalmazása is számít.** A VárosiBringa tízhelyes állomása „legalább nyolc működő dokkolóval” 0,999, „mind a tízzel” csak 0,82 valószínűséggel teljesít (31.2. ábra, jobb oldal).

31.4. Sablon és notebook

- rbd_sablon.xlsx: legfeljebb 25 elem MTBF-fel, MTTR-rel és forrással; a meghibásodási ráta, a rendelkezésre állás és a küldetési időre vett megbízhatóság elemenként; legfeljebb 8 blokk soros, párhuzamos vagy k-ból-n kapcsolással; a blokkok soros vagy párhuzamos rendszerkapcsolása, éves állásidő és MTBF. A KoboCella példájával kitöltve.
- rbd.ipynb · Megnyitás Google Colabban: blokk- és rendszerértékek, állásidő-hozzájárulás, Monte Carlo-szimuláció váltakozó működéssel és javítással, k-ból-n elemzés (a 31.2. ábra így készült).

31.5. Előnyök és korlátok

31.2. táblázat. A megbízhatósági blokkdiagram előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Könnyen felépíthető, szemléletes modell (O’Connor és Kleyner 2012)	Az elemadatok gyakran hiányoznak vagy bizonytalanok
A rendszer-megbízhatóság az elemekéből számolható	Független meghibásodást feltételez; közös okoknál túl optimista
Megmutatja az egypontos hibákat és a legnagyobb állásidő-okozókat	Állandó rátát feltételez; korai hibákra és kopásra nem érvényes
A redundancia és a javítás hatása gyorsan összevethető	Csak két állapotot (működik, nem működik) ismer; a részleges teljesítményt nem

Gyakori buktató

- **A blokkdiagram nem a kapcsolási rajz.** Két fizikailag párhuzamos elem logikailag soros, ha mindkettő kell a működéshez.
- **Közös okok figyelmen kívül hagyása.** Két azonos redundáns vezérlő ugyanazzal a szoftverhibával egyszerre esik ki.
- **Ismeretlen definíciójú MTBF.** Egy adatlap MTBF-je tartalmazhatja a javítási időt, vagy csak a működési időt jelentheti; laborkörülményekre vagy terepi adatokra vonatkozhat.
- **Csak a várható érték.** Az éves állásidő szórása nagy; egy rossz év a szerződéses vállalást is veszélyeztetheti.

31.6. Mintapromptok

Mintaprompt: blokkdiagram felépítése

```
Rendszerünk: [LEÍRÁS], a vizsgált funkció: [FUNKCIÓ], a siker
kritériuma: [KRITÉRIUM]. Elemei és kapcsolataik: [LISTA].
Feladat: javasolj megbízhatósági blokkdiagramot (soros, párhuzamos,
k-ból-n részekkel), és indokold minden elem helyét a sikerkritérium
alapján. Jelöld a lehetséges közös okú meghibásodásokat (közös
táp, szoftver, környezet). MTBF-értékeket ne adj meg.
```

Mintaprompt: adatlapértékek ellenőrzése

```
Az alábbi MTBF- és MTTR-értékeket gyűjtöttük adatlapokból:
[TÁBLÁZAT a forrással].
Feladat: segíts ellenőrizni, hogy az értékek összevethetők-e:
milyen MTBF-definíció és milyen körülmények (labor, terep,
hőmérséklet, terhelés) tartozhatnak hozzájuk, és milyen
kérdéseket tegyünk fel a beszállítónak. Új számokat ne adj meg.
```

31.7. Feladat

6. projektlépés (választható): megbízhatósági blokkdiagram

Saját projektedben készíts blokkdiagramot a fő funkcióhoz, gyűjts adatot (forrással) vagy becslést az elemek MTBF- és MTTR-értékére, számítsd ki a rendelkezésre állást és az állásidő-hozzájárulásokat, és javasolj legalább egy javítást (redundancia, MTTR-csökkentés vagy leromlott üzemmód) a hatásával együtt.

32. Hibafa-elemzés

Eszközkártya

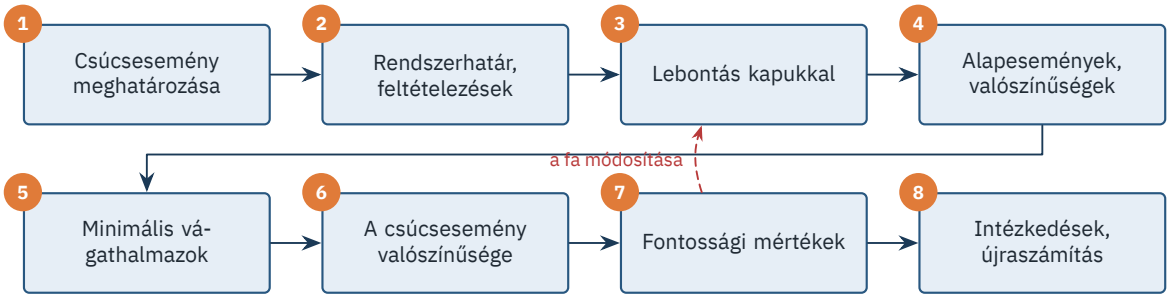
- **Mire való?** Egy kiválasztott nem kívánt esemény (csúcsesemény) okainak logikai lebontása ÉS- és VAGY-kapukkal; az okok kombinációinak (minimális vágathalmazok) feltárása és a csúcsesemény valószínűségének becslése.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel egy csúcseseményhez hibafát szerkeszteni, meghatározni a minimális vágathalmazokat, és kiszámítani a csúcsesemény valószínűségét.
- **V-lépés:** 4–5. Architektúra és részletes tervezés (a biztonsági funkciók és a redundancia tervezése), 8. Verifikáció (a biztonsági célérték igazolása); balesetvizsgálatnál visszamenőleg is.
- **Bemenet:** a PHA vagy az FMEA legsúlyosabb eseménye, a rendszer felépítése és működése, az alapesemények valószínűsége (megbízhatósági adatok, emberi hibavalószínűség).
- **Kimenet:** hibafa, minimális vágathalmazok, egypontos hibák, a csúcsesemény valószínűsége, fontossági mértékek, intézkedések.
- **Időigény:** egy csúcseseményre 3–6 óra; nagy rendszernél napok, szoftveres támogatással.
- **Kézikönyv:** 16. fejezet, 16.4. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (Goldberg és mtsai. 1994, 3.6. szakasz).

32.1. Mikor használd?

- **Ha egyetlen, jól meghatározott, súlyos esemény** okait kell rendszeresen feltárni, beleértve az egyidejű hibákat is. A hibafa éppen az egyidejűleg fennálló hibák valószínűségének értékelésére alkalmas, és feleslegesen beépített elemeket is feltárhat (Vesely és mtsai. 1981).
- **Ha egy biztonsági célértéket** (például „évente legfeljebb 10^{-4}”) kell igazolni.
- **Ha az FMEA egyenként vizsgált hibamódjai** kombinációban is veszélyesek lehetnek (30. eszközlap).
- **Korlát**: csak az előre megnevezett csúcseseményt vizsgálja, és a teljes fák nagyon nagyok lehetnek (Vesely és mtsai. 1981).

32.2. Lépések

1. **Határozd meg a csúcseseményt** pontosan: mi, hol, milyen üzemállapotban („a kezelőt teljes sebességű kobotkar éri normál üzemben”), és milyen időszakra vonatkozik a valószínűség.
2. **Rögzítsd a rendszerhatárt és a feltételezéseket**: mely elemek, interfészek és emberi cselekvések tartoznak a vizsgálatba (Vesely és mtsai. 1981).



32.1. ábra. A hibafa-elemzés lépései.

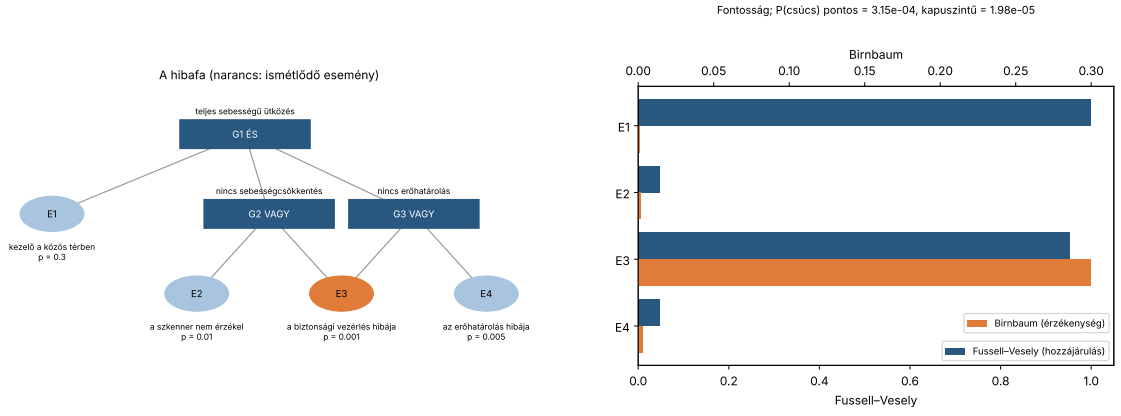
3. **Bontsd le a csúcseseményt kapukkal**: milyen közvetlen okok (ÉS: együtt kellenek; VAGY: bármelyik elég) vezetnek hozzá? Folytasd, amíg alapeseményekig (alkatrészhiba, emberi hiba, külső esemény) nem jutsz (IEC 2006).
4. **Rendelj valószínűséget az alapeseményekhez**, mindet ugyanarra az időszakra. Jelöld az ismétlődő eseményeket (amelyek több ágban szerepelnek).
5. **Határozd meg a minimális vágathalmazokat** (például a MOCUS-algoritmussal, ahogy a notebook teszi). Az egyelemű vágathalmazok egypontos hibák.
6. **Számítsd ki a csúcsesemény valószínűségét** a vágathalmazokból vagy pontosan. Ismétlődő eseménynél a kapuszintű, független képletek hibásak.
7. **Számíts fontossági mértékeket**: a Fussell–Vesely-mérték megmutatja, hogy egy esemény mekkora részben járul hozzá a kockázathoz, a Birnbaum-mérték, hogy a javítása mennyivel csökkenti a csúcsesemény valószínűségét.
8. **Javasolj intézkedést** a legfontosabb eseményekre és az egypontos hibákra, és számolj újra.

32.3. Kidolgozott példa: a KoboCella biztonsági csúcseseménye

A KoboCella csapata a PHA legsúlyosabb veszélyére (a kobotkar ütközése a kezelővel) a „kezelőt teljes sebességű kobotkar éri” csúcseseményt elemezte. A fa egy ÉS-kapuból (a kezelő a közös térben van, nincs sebességcsökkentés, nincs erőhatárolás) és két VAGY-kapuból áll; a biztonsági vezérlés hibája (E3) mindkét VAGY-kapuban szerepel (kézikönyv 16. fejezet).

32.1. táblázat. A csúcsesemény valószínűsége háromféle számítással.

Számítási mód	$P(\text{csúcsesemény})$ [1/év]
pontos (az alapesemények minden állapotának felsorolása)	$3{,}15 \cdot 10^{-4}$
minimális vágathalmazokból, ritka esemény közelítéssel	$3{,}15 \cdot 10^{-4}$
kapuszintű, független képletekkel	$1{,}98 \cdot 10^{-5}$



32.2. ábra. A KoboCella hibafája és az alapesemények fontossága. A notebookkal rajzolva.

- **A kapuszintű számítás tizenhatszor alábecsül**, mert az E3 két ágban is szerepel, így a két VAGY-kapu kimenete nem független. Ezt a hibát a sablon kapuszintű lapja is elkövetné; ezért van külön lapja a vágathalmazoknak.
- **A fontossági mértékek a beavatkozás helyét mutatják.** Az E3 Fussell–Vesely- és Birnbaum-fontossága is kiugró; a csapat ezért a sebességfelügyeletet és az erőhatárolást független csatornára tervezte, amivel a két ág közös pontja megszűnt.

32.4. Sablon és notebook

- hibafa_sablon.xlsx: legfeljebb 30 alapesemény valószínűséggel és forrással; legfeljebb 20 kapu (ÉS, VAGY) öt bemenettel, kapuszintű valószínűség független eseményekre; minimális vágathalmazok lapja a csúcsesemény ritka esemény közelítésével, felső korlátjával és a kapuszintű értékkel való összevetéssel. A KoboCella példájával kitöltve.
- hibafa.ipynb · Megnyitás Google Colabban: minimális vágathalmazok MOCUS-algoritmussal, ismétlődő események jelzése, pontos, vágathalmaz-alapú és kapuszintű valószínűség, Fussell–Vesely- és Birnbaum-fontosság, a fa kirajzolása (a 32.2. ábra így készült).

32.5. Előnyök és korlátok

32.2. táblázat. A hibafa-elemzés előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Az egyidejű hibák kombinációit is értékeli (Vesely és mtsai. 1981)	Csak az előre megnevezett csúcseseményt vizsgálja
A minimális vágathalmazok megmutatják az egypontos hibákat	Nagy rendszerre a fa nagyon nagy; szoftver kell
Mennyiségi eredményt ad biztonsági célértékek igazolásához	Az alapesemények valószínűsége gyakran bizonytalan
Fontossági mértékekkel a beavatkozás helye kijelölhető	A függetlenség feltételezése (közös okok, ismétlődő események) csapda

Gyakori buktató

- **Homályos csúcsesemény.** „A cella meghibásodik” nem elemezhető; a csúcseseménynek konkrétnak és egyértelműnek kell lennie.
- **Kapuszintű számítás ismétlődő eseménnyel.** Ilyenkor a független képletek nagyságrendekkel tévedhetnek, és mindig optimista irányba.
- **Eltérő időszakra vonatkozó valószínűségek.** Egy óránkénti és egy évi valószínűség nem szorozható össze.
- **Az emberi és a közös okú hibák kihagyása.** A fa gyakran csak alkatrészhibákat tartalmaz, holott a kezelő, a karbantartó és a közös táp is lehet ok.

32.6. Mintapromptok

Mintaprompt: a hibafa első két szintje

```
Csúcsesemény: [PONTOS MEGFOGALMAZÁS, üzemállapot].
Rendszerünk felépítése és védelmi funkciói: [LEÍRÁS].
Feladat: javasold a hibafa első két szintjét: a csúcsesemény
közvetlen okait ÉS- és VAGY-kapukkal, indoklással. Jelöld, ha egy
ok több ágban is szerepelhet (ismétlődő esemény), és ha közös okú
meghibásodás lehetséges. Valószínűséget ne adj meg.
```

Mintaprompt: vágathalmazok értelmezése

```
A hibafánk minimális vágathalmazai és valószínűségeik: [LISTA].
Feladat: értelmezd az eredményt a tervezés számára: hol vannak
egypontos hibák, melyik vágathalmaz dominál, és milyen tervezési
változtatások (független csatorna, diverzitás, ellenőrzés)
szüntetnék meg vagy gyengítenék a domináns vágathalmazt. Ne
számolj újra: a számokat a notebook adja.
```

32.7. Feladat

6. projektlépés (választható): hibafa

Saját projektedben készíts hibafát a PHA vagy az FMEA legsúlyosabb eseményére legalább két szinten, legalább négy alapeseménnyel. Határozd meg a minimális vágathalmazokat és a csúcsesemény valószínűségét, jelöld az egypontos hibákat és az ismétlődő eseményeket, és javasolj intézkedést a domináns vágathalmazra.

33. Eseményfa-elemzés

Eszközkártya

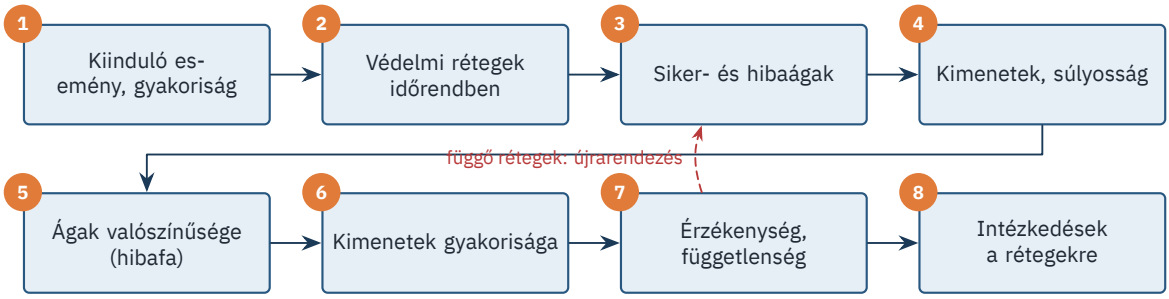
- **Mire való?** Egy kiinduló eseményből előre követni, milyen kimenetekhez vezethet a folyamat attól függően, hogy az egymást követő védelmi rétegek (biztonsági funkciók, riasztások, emberi beavatkozások, gátak) működnek-e; a kimenetek gyakoriságának becslése.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel egy kiinduló eseményhez eseményfát szerkeszteni, kiszámítani a kimenetek gyakoriságát, és értékelni a védelmi rétegek hatását.
- **V-lépés:** 4–5. Architektúra és részletes tervezés (a védelmi rétegek tervezése), 8–9. Verifikáció és validáció (a rétegek próbái), üzemeltetés (vészhelyzeti tervezés).
- **Bemenet:** a kiinduló esemény és gyakorisága, a védelmi rétegek időrendben, a rétegek siker- vagy hibavalószínűsége (gyakran hibafából).
- **Kimenet:** eseményfa, a kimenetek gyakorisága és súlyossága, a legsúlyosabb kimenet érzékenysége a rétegekre.
- **Időigény:** egy kiinduló eseményre 1–3 óra.
- **Kézikönyv:** 16. fejezet, 16.5. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (Goldberg és mtsai. 1994, 3.8. szakasz).

33.1. Mikor használd?

- **Ha egy jól ismert kiinduló eseménynek** (túlmelegedés, tömítetlenség, áramkimaradás, ütközés) többféle következménye lehet attól függően, hogy a védelmek működnek-e.
- **Védelmi rétegek tervezésekor**: hány réteg kell, és melyik javítása ér a legtöbbet? Ez a rétegezett védelem elemzésének alapja (34. eszközlap és a kézikönyv 17. fejezete).
- **Erősség és korlát:** az eseményfa egyszerre dolgozik a siker és a hiba tartományában, és a végkimeneteket nem kell előre ismerni; korlátja, hogy egyetlen kiinduló eseményt vizsgál, és a részleges sikert nehezen tudja megkülönböztetni (Ericson 2015).

33.2. Lépések

1. **Határozd meg a kiinduló eseményt és a gyakoriságát** (például évente, a teljes flottára vagy egy rendszerre).
2. **Sorold fel a védelmi rétegeket időrendben**, ahogyan a folyamatban működésbe lépnek (IEC 2010).
3. **Rajzold meg az ágakat**: minden réteg egy elágazás siker és hiba ágra. Ha egy réteg csak az előző hibája esetén kérdéses, a fa lépcsős; ha minden ágban működésbe lép, teljes (2^n sorozat).



33.1. ábra. Az eseményfa-elemzés lépései.

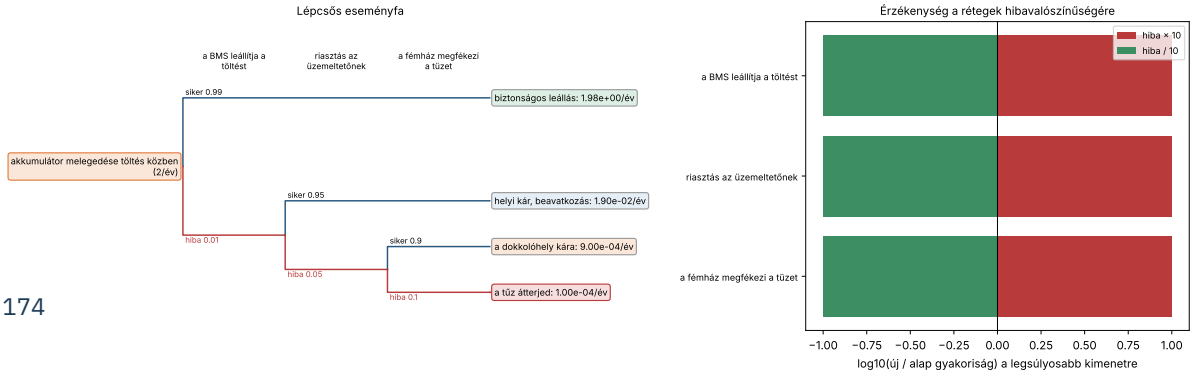
4. **Írd le a kimeneteket**, és rendelj hozzájuk súlyosságot (a kockázati mátrix skáláján, 28. eszközlap).
5. **Becsüld meg az ágak valószínűségét.** A rétegek hibavalószínűségét gyakran egy-egy hibafa adja (32. eszközlap).
6. **Számítsd ki a kimenetek gyakoriságát**: a kiinduló esemény gyakorisága szorozva az útvonal valószínűségeivel. Ellenőrzés: a kimenetek gyakoriságának összege a kiinduló esemény gyakorisága.
7. **Vizsgáld az érzékenységet és a függetlenséget**: mennyit változik a legsúlyosabb kimenet, ha egy réteg romlik vagy javul, és van-e a rétegeknek közös pontja (közös érzékelő, közös táp)?
8. **Javasolj intézkedést**: új réteg, jobb réteg, vagy a kiinduló esemény gyakoriságának csökkentése.

33.3. Kidolgozott példa: a VárosiBringa akkumulátorának túlmelegedése

A VárosiBringa csapata a kockázatelemzésben azonosított akkumulátorveszélyre készített eseményfát (kézikönyv 16. fejezet). A kiinduló esemény évi két rendellenes melegedés töltés közben a teljes flottán; három lépcsős védelmi réteg következik.

33.1. táblázat. A VárosiBringa akkumulátor-túlmelegedésének eseményfája.

Soro-zat	Útvonal	Kimenet	Gyakoriság [1/év]	Visszatérési idő
S1	a BMS leállítja a töltést (0,99)	biztonságos leállás	1,98	félévente
S2	BMS hiba, riasztás (0,95)	helyi kár, beavatkozás	0,019	53 év
S3	BMS és riasztás hiba, a ház megfékezi (0,9)	a dokkolóhely kára	$9 \cdot 10^{-4}$	1100 év
S4	minden réteg hibázik	a tűz átterjed	$1 \cdot 10^{-4}$	10 000 év



- **A kiinduló esemény gyakori, a súlyos kimenet ritka.** Az évi két melegedésből a rétegek együtt tízezer évente egy tűzterjedést engednek; a rétegek nélkül ez évente kétszer fordulna elő.
- **Lépcsős fában minden réteg ugyanúgy hat.** A legsúlyosabb kimenet gyakorisága a rétegek hibavalószínűségének szorzatával arányos, ezért egy réteg tízszeres romlása tízszeres gyakoriságot jelent (33.2. ábra, jobb oldal). A rétegek közötti választást a javítás költsége és a függetlenség dönti el.
- **A függetlenség itt is kulcskérdés.** Ha a BMS és a riasztás ugyanazt a hőmérséklet-érzékelőt használja, a két réteg hibája nem független; a csapat ezért a riasztást külön érzékelőre tervezte.
- **A rétegek valószínűsége maga is elemzést kíván.** A BMS 0,99-es sikere gyártói adat; a csapat a riasztási lánc hibavalószínűségét hibafával becsülte.

33.4. Sablon és notebook

- esemenyfa_sablon.xlsx: kiinduló esemény gyakorisággal, legfeljebb négy védelmi réteg sikervalószínűséggel és adatforrással; lépcsős fa a kimenetek gyakoriságával, súlyosságával és visszatérési idejével; teljes fa mind a 16 sorozattal; összegellenőrzés. A VárosiBringa példájával kitöltve.
- esemenyfa.ipynb · Megnyitás Google Colabban: a kimenetek gyakorisága, a fa kirajzolása, a legsúlyosabb kimenet érzékenysége a rétegekre (a 33.2. ábra így készült).

33.5. Előnyök és korlátok

33.2. táblázat. Az eseményfa-elemzés előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Egyszerre mutatja a siker és a hiba útjait (Ericson 2015)	Egyetlen kiinduló eseményt vizsgál
A kimeneteket nem kell előre ismerni; a fa feltárja őket	A részleges sikert (például késleltetett beavatkozást) nem különbözteti meg
Szemléletesen mutatja a rétegezett védelem hatását	A rétegek függetlenségét feltételezi
Jól kapcsolható a hibafához (a rétegek valószínűsége) és a kockázati mátrixhoz	A rétegek sorrendje és feltételei hibásan is felírhatók

Gyakori buktató

- **Rossz sorrend.** A rétegeket abban a sorrendben kell felírni, ahogyan a folyamatban működésbe lépnek; különben az ágak feltételei hamisak.
- **Közös okú rétegek.** Két réteg, amely ugyanazon az érzékelőn vagy tápon alapul, valójában egy réteg.
- **A kiinduló esemény alulbecslése.** A ritka kiinduló esemény gyakoriságát gyakran optimistán becsülik; ez minden kimenetet arányosan torzít.
- **Csak a legsúlyosabb kimenet.** A közepes kimenetek (S2, S3) összesített költsége is lehet jelentős.

33.6. Mintapromptok

Mintaprompt: védelmi rétegek és kimenetek

```
Kiinduló esemény: [ESEMÉNY], rendszerünk: [LEÍRÁS].
Feladat: sorold fel időrendben azokat a védelmi rétegeket
(műszaki biztonsági funkciók, riasztások, emberi beavatkozások,
passzív gátak), amelyek a kiinduló esemény után működésbe
léphetnek, és vázold az eseményfa ágait és kimeneteit. Jelöld,
ha két rétegnek közös pontja lehet. Valószínűséget ne adj meg.
```

Mintaprompt: függetlenség vizsgálata

```
Eseményfánk rétegei és megvalósításuk: [TÁBLÁZAT: réteg, érzékelő,
vezérlő, beavatkozó, táp, felelős ember].
Feladat: keresd meg a rétegek közös elemeit és lehetséges közös
okú meghibásodásait (érzékelő, táp, szoftver, karbantartás,
környezet), és javasolj módot a függetlenség növelésére
(diverzitás, elkülönítés).
```

33.7. Feladat

6. projektlépés (választható): eseményfa

Saját projektedben válassz egy kiinduló eseményt, és készíts eseményfát legalább három védelmi réteggel. Becsüld meg a kimenetek gyakoriságát, vizsgáld meg a rétegek függetlenségét, és javasolj egy intézkedést, amely a legsúlyosabb kimenet gyakoriságát érdemben csökkenti.

34. STPA – rendszerelméleti veszélyelemzés

Eszközkártya

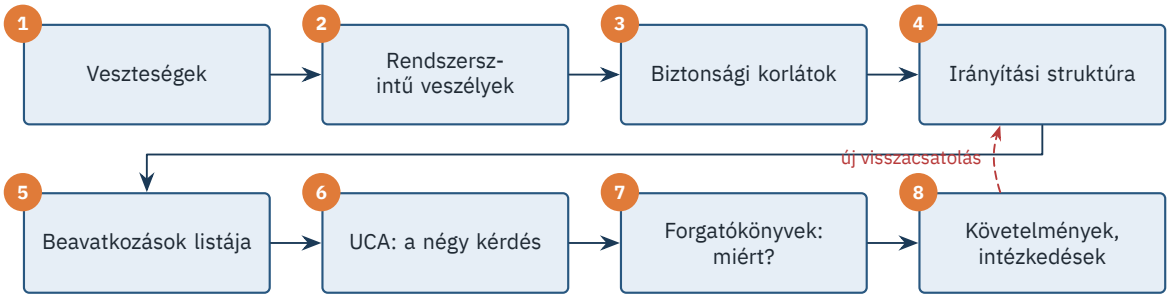
- **Mire való?** A biztonság elemzése irányítási problémaként: mely beavatkozások (control actions) lehetnek veszélyesek, és miért adhatja ki őket egy irányító (szoftver, ember, szervezet); a hibátlan elemek veszélyes kölcsönhatásainak feltárása.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel felrajzolni egy rendszer irányítási struktúráját, azonosítani a veszélyes irányítási beavatkozásokat és azok okait, és biztonsági követelményeket levezetni.
- **V-lépés:** 3–4. Koncepció és architektúra (már a részletek előtt elvégezhető), 5. Részletes tervezés (a vezérlés, a kezelőfelület és az eljárások követelményei), 8. Verifikáció (forgatókönyv-alapú tesztek).
- **Bemenet:** a PHA veszélyei, a funkciómegosztás, a vezérlési architektúra, a kezelői feladatok (HTA), a kezelőfelület.
- **Kimenet:** veszteségek, veszélyek és biztonsági korlátok; irányítási struktúra; nem biztonságos beavatkozások (UCA); veszteséghez vezető forgatókönyvek; követelmények és intézkedések.
- **Időigény:** egy irányítási hurokra 4–8 óra csapatmunka.
- **Kézikönyv:** 17. fejezet, 17.4. szakasz.

34.1. Mikor használd?

- **Szoftverrel irányított, sok szereplős rendszereknél**, ahol a balesetek nem csak alkatrészhibából, hanem az irányítás hiányosságaiból (hibás folyamatmodell, hiányzó visszacsatolás, rossz időzítés) fakadhatnak (Leveson 2011).
- **Ember és automatika együttműködésénél**: a kezelő beavatkozásai ugyanúgy elemezhetők, mint a vezérlésé; a kezelő folyamatmodellje a helyzettudatosság megfelelője.
- **Korán**: az STPA a koncepció szintjén is elvégezhető, és követelményeket ad a részletes tervezésnek (Leveson és Thomas 2018).
- **Kiegészítőként**: az FMEA és a hibafa a hibaláncokat, az STPA a kölcsönhatásokat tárja fel; együtt teljesebb képet adnak (30. és 32. eszközlap).

34.2. Lépések

1. **Veszteségek**: mit nem engedhetünk meg (sérülés, termékhiba, termeléskiesés, környezeti kár)? A veszteségek az érdekelt felek értékeiből fakadnak (Leveson és Thomas 2018).
2. **Rendszerszintű veszélyek**: a rendszer olyan állapotai, amelyek bizonyos környezeti feltételek mellett veszteséghez vezetnek. A veszély a rendszer állapota, nem egy alkatrész hibája („a kobot a kezelő közelében túl gyorsan mozog”, nem „a szkenner elromlik”).



34.1. ábra. Az STPA lépései Leveson és Thomas kézikönyve szerint.

3. **Biztonsági korlátok**: minden veszélyhez egy korlát, amelyet a rendszernek be kell tartania.
4. **Irányítási struktúra**: az irányítók (szervezet, ember, szoftver), a beavatkozások lefelé és a visszacsatolások felfelé.
5. **A vizsgált beavatkozások listája** az irányítási struktúra lefelé mutató nyilaiból.
6. **Nem biztonságos beavatkozások**: minden beavatkozásra a négy kérdés: veszélyes-e, ha nem adják ki; ha kiadják; ha túl korán, túl későn vagy rossz sorrendben adják ki; ha túl sokáig tart, vagy túl korán áll le? A kontextus (mikor veszélyes) a megfogalmazás része.
7. **Forgatókönyvek**: miért adhatja ki az irányító a nem biztonságos beavatkozást (hibás folyamatmodell, hiányzó vagy hibás visszacsatolás, hibás algoritmus vagy eljárás), és miért nem hajtódhat végre egy helyes beavatkozás (késés, kommunikációs hiba, a beavatkozó hibája)?
8. **Követelmények és intézkedések** minden forgatókönyvre; ezek a verifikációs terv és a tesztesetek bemenetei.

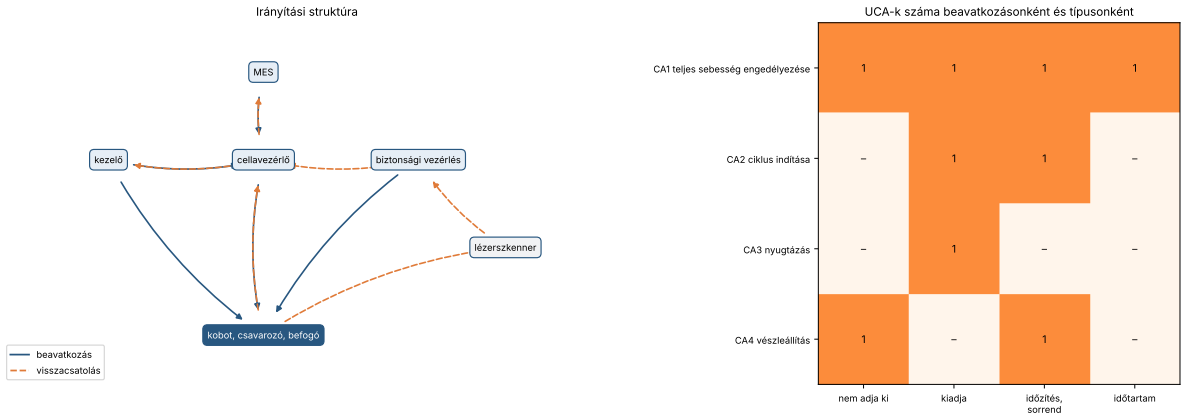
34.3. Kidolgozott példa: a KoboCella cellairányítása

A KoboCella csapata a PHA két vezérlésen múló veszélyére (ütközés, váratlan indulás) STPA-t végzett (kézikönyv 17. fejezet). Három veszteség (L1 sérülés, L2 hibás motor a vevőnél, L3 termeléskiesés), három veszély és hat elemből álló irányítási struktúra lett az alap. A négy vizsgált beavatkozásra kilenc nem biztonságos beavatkozás és nyolc forgatókönyv született (34.2. ábra).

34.1. táblázat. Részlet a KoboCella STPA-jából.

UCA	Beavatkozás és típus	Kontextus	Ve-szély	Forgatókönyv → intézkedés
U1	teljes sebesség, kiadja	a kezelő a közös térben van	H1	a szkennermező karbantartás után rossz → mezőellenőrzés, napi próba
U2	teljes sebesség, túl korán	a kezelő még nem hagyta el a zónát	H1	a reakcióidő és a fékút nagyobb a tervezettnél → mérés a verifikációban
U5	ciklus indítása, kiadja	a fedél nincs a helyén	H2	a fedelet csak a kezelő ellenőrzi → befogóérzékelő

UCA	Beavatkozás és típus	Kontextus	Ve-szély	Forgatókönyv → intézkedés
U7	nyugtázás, kiadja	a hibás darab még nincs a selejtdobozban	H2	a nyugtázás rutinmozdulat lett → fizikai cselekvés, érzékelő
U8	vészleállítás, nem adja ki	vészhelyzet	H1	a gomb nem érhető el a munkahelyről → második vészleállító



34.2. ábra. A KoboCella irányítási struktúrája és a nem biztonságos beavatkozások lefedettsége. A notebookkal rajzolva.

Tanulságok:

- **Az okok nagy része nem alkatrészhiba.** A rosszul visszaállított szkennermező, a takarásban lévő belépési irány és a rutinná vált nyugtázás mind olyan forgatókönyv, amelyben minden elem a specifikációja szerint működik, mégis veszélyes állapot jön létre.
- **A folyamatmodell kulcsfogalom.** A U1 forgatókönyvében a biztonsági vezérlés „üresnek hiszi” a zónát; a U7-ben a kezelő „rendben lévőnek hiszi” a darabot. Mindkét esetben az irányító modellje tér el a valóságtól.
- **A lefedettségi mátrix a hiányokat is mutatja.** Két UCA-hoz (U3, U4) még nincs forgatókönyv, és több típusnál nincs UCA; ahol egy típus nem veszélyes, az indoklást is rögzíteni kell.
- **Az eredmények más eszközökbe épülnek.** A U1 intézkedése az FMEA F7 sorában, a U2 intézkedése a verifikációs tervben, a U7 intézkedése a kezelőfelület követelményeiben jelenik meg.

34.4. Sablon és notebook

- stpa_sablon.xlsx: veszteségek, veszélyek és biztonsági korlátok kereszthivatkozás-ellenőrzéssel; irányítási struktúra elemekkel (típus, szint) és kapcsolatokkal; beavatkozások; UCA-lap a négy típus legördülő listájával és ellenőrzéssel (ismeretlen beavatkozás vagy veszély, hiányzó forgatókönyv); forgatókönyvek ok-kategóriákkal; lefedettségi mátrix és mutatók. A KoboCella példájával kitöltve.

- stpa.ipynb · Megnyitás Google Colabban: az irányítási struktúra kirajzolása, lefedettségi mátrix, nyomonkövethetőségi ellenőrzés (veszteség ← veszély ← UCA ← forgatókönyv ← intézkedés), összesítés ok-kategóriák szerint (a 34.2. ábra így készült).

34.5. Előnyök és korlátok

34.2. táblázat. Az STPA előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Feltárja a hibátlan elemek veszélyes kölcsönhatásait (Leveson 2011)	Az eredmény a struktúra és a forgatókönyvek teljességén múlik
A szoftvert, az embert és a szervezetet egy keretben vizsgálja	Elsősorban minőségi; valószínűséget nem ad
Korán, a részletek előtt is alkalmazható (Leveson és Thomas 2018)	Nagy rendszernél sok beavatkozás és UCA keletkezik; eszköztámogatás kell
Közvetlenül követelményekhez és tesztesetekhez vezet	Gyakorlatot kíván a veszélyek és a UCA-k helyes megfogalmazása

Gyakori buktató

- **Alkatrészhiba a veszély helyén.** „A szkenner elromlik” nem rendszerszintű veszély, hanem egy lehetséges ok; a veszély a rendszer állapota.
- **Kontextus nélküli UCA.** „A kobot teljes sebességgel mozog” önmagában nem veszélyes; csak akkor, ha a kezelő a közös térben van.
- **Csak a szoftveres irányítók.** A kezelő és a szervezet (karbantartás, műszakvezetés) beavatkozásai is UCA-k lehetnek.
- **A visszacsatolások elhanyagolása.** A forgatókönyvek jelentős része abból fakad, hogy az irányító nem kap, késve kap vagy hibás információt kap.

34.6. Mintapromptok

Mintaprompt: irányítási struktúra

```
Rendszerünk: [LEÍRÁS], szereplői és vezérlőegységei: [LISTA].
Feladat: vázold az STPA irányítási struktúráját: irányítók
(szervezet, ember, szoftver), szabályozott folyamat, a
beavatkozások (lefelé) és a visszacsatolások (felfelé),
megnevezéssel. Jelöld, ahol egy irányítónak nincs
visszacsatolása a beavatkozása hatásáról.
```

Mintaprompt: nem biztonságos beavatkozások

```
Veszélyeink: [H1…]. A vizsgált beavatkozás: [BEAVATKOZÁS],
irányító: [IRÁNYÍTÓ], cél: [CÉL].
Feladat: vizsgáld meg a négy STPA-típust (nem adja ki; kiadja;
túl korán / későn / rossz sorrendben; túl sokáig / túl korán
leáll). Mindegyiknél fogalmazd meg kontextussal, mikor veszélyes,
és melyik veszélyhez vezet; ha nem veszélyes, indokold. Ezután
mindegyik UCA-hoz adj legalább egy forgatókönyvet arra, miért
adhatná ki az irányító.
```

34.7. Feladat

6. projektlépés (választható): STPA

Saját projektedben végezz STPA-t egy irányítási hurokra: legalább két veszteség és két rendszerszintű veszély, irányítási struktúra, legalább két beavatkozás vizsgálata a négy típus szerint, és legalább három forgatókönyv intézkedéssel. Mutasd meg, melyik forgatókönyv nem írható le egyetlen alkatrész meghibásodásával.

35. Tűréslánc-számítás

Eszközkártya

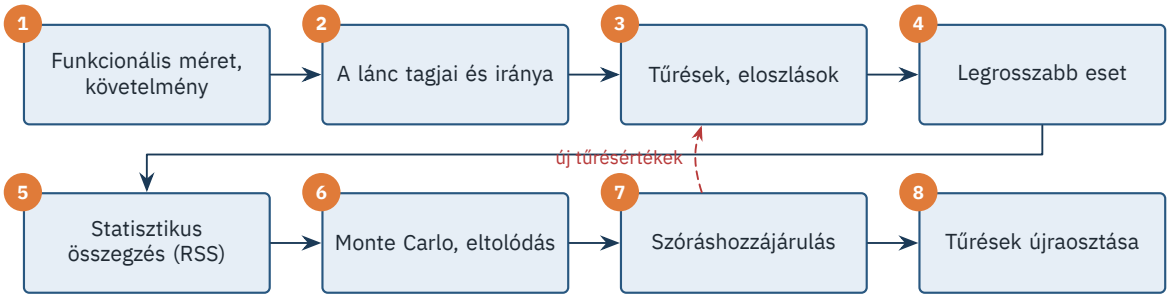
- **Mire való?** Egy funkcionálisan fontos méret (rés, átfedés, összenyomódás, helyzet) eredő tűrésének és szórásának számítása az alkatrészméretek tűréseiből; a tűrések ésszerű elosztása a funkció és a költség között.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel egy tűrésláncot legrosszabb esetre és statisztikusan kiszámítani, és eldönteni, melyik alkatrész tűrésén érdemes változtatni.
- **V-lépés:** 5. Részletes tervezés (rajzok, tűrésmegadás), 6. Megvalósítás (beszállítói követelmények), 7. Integráció (illesztési problémák elemzése).
- **Bemenet:** a funkcionális követelmény határai, a méretlánc tagjai a névleges értékkel, a tűréssel és az iránnyal, a gyártási folyamatok képessége (eloszlás, középérték).
- **Kimenet:** legrosszabb eset és statisztikus eredő tűrés, a határon kívüli arány, C_p és C_{pk}, a tagok szóráshozzájárulása, javaslat a tűrések újraosztására.
- **Időigény:** egy négy-hat tagú láncra 1–2 óra.
- **Kézikönyv:** 18. fejezet, 18.2. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (Goldberg és mtsai. 1994, 4.2–3. szakasz).

35.1. Mikor használd?

- **Ha egy összeállítás működése** egy résen, illesztésen vagy összenyomódáson múlik, és ez több alkatrész méretéből adódik.
- **Ha a tűréseket meg kell adni vagy szűkíteni kell**: a szigorúbb tűrés drágább, ezért csak ott érdemes szűkíteni, ahol a lánc érzékeny rá.
- **Ha illesztési hiba jelentkezik** a gyártásban vagy az integrációban, és meg kell találni, melyik alkatrész a fő ok.
- A tűréslánc-számítás a méretek és tűrések ellenőrzésének eszköze; a szabványos méretezés és tűrésmegadás ennek előfeltétele (Chase és Parkinson 1991; ASME 2018).

35.2. Lépések

1. **Határozd meg a funkcionális méretet és a követelményt** (alsó és felső határ).
2. **Írd fel a láncot**: azokat a méreteket, amelyek összeadódva vagy kivonódva adják a funkcionális méretet, az irányukkal (érzékenységükkel) együtt. Nemlineáris láncnál az érzékenység a parciális derivált.
3. **Add meg a tűréseket és az eloszlásokat**: a normális eloszlású tagnál, hogy a tűrés hány szórásnak felel meg; a középérték várható eltolódását is.
4. **Számíts legrosszabb esetet**: $T_Z = \sum |a_i| T_i$ (Chase és Parkinson 1991).



35.1. ábra. A tűréslánc-számítás lépései.

5. **Számíts statisztikusan (RSS)**: $\sigma_Z = \sqrt{\sum a_i^2 \sigma_i^2}$; ebből C_p, C_{pk} és a határon kívüli arány (Chase és Parkinson 1991).
6. **Ellenőrizd Monte Carlo-szimulációval**, különösen eltolt középértéknél, nem normális tagoknál vagy kevés tagnál; vizsgáld meg a középérték-eltolódás hatását.
7. **Határozd meg a szóráshozzájárulásokat**: melyik tag felel az eredő szórás legnagyobb részéért.
8. **Oszd újra a tűréseket**: ott szűkíts, ahol a hozzájárulás nagy és a szűkítés olcsó; ahol a hozzájárulás kicsi, ott lazíthatsz.

35.3. Kidolgozott példa: a KoboCella fedéltömítésének összenyomódása

A tömítés akkor zár megbízhatóan, ha összenyomódása 0,40 és 0,80 mm között van (kézikönyv 18. fejezet).

35.1. táblázat. A tömítés összenyomódásának tűréslánca. A tűrések ±3σ-nak felelnek meg.

Tag	Névleges [mm]	Tűrés [mm]	Irány	Hozzájárulás a szórásnégyzethez
tömítés vastagsága	2,50	±0,08	+	43%
fedél horonymélysége	2,20	±0,05	−	17%
motorház tömítőperemének magassága	0,30	±0,06	+	24%
fedél síklapúsági eltérése	0,00	±0,05	−	17%
összenyomódás	**0,60**	WC ±0,24; RSS ±0,12		

A legrosszabb eset (0,36–0,84 mm) nem teljesíti a követelményt; a statisztikus számítás szerint az összenyomódás szórása 0,041 mm, $C_p = C_{pk} = 1{,}63$, a határon kívüli arány kb. 1 ppm. A Monte Carlo-szimuláció ezt megerősíti (35.2. ábra).



35.2. ábra. A tömítés összenyomódásának Monte Carlo-eloszlása, a tagok szóráshozzájárulása és a

- **A legrosszabb eset és a statisztikus számítás más döntéshez vezet.** A legrosszabb esethez minden tűrést a 0,83-szorosára kellene szűkíteni; a statisztikus számítás szerint a jelenlegi tűrések elegendők, ha a feltevések teljesülnek.
- **A feltevéseket fenn kell tartani.** A tömítés vastagságának 0,04 mm-es középérték-eltolódása mellett a kiesés még kb. 44 ppm, 0,05 mm-nél már 119 ppm. A csapat ezért a beszállítónál statisztikai folyamatszabályozást kötött ki (50. eszközlap).
- **A legnagyobb hozzájáruló a tömítés.** Ha a követelmény szigorodna, a tömítés tűrésének szűkítése érne a legtöbbet.
- **Az eloszlás megválasztása is számít.** Ha a síklapúsági eltérés a tűrésmezőn belül egyenletes eloszlású, az eredő szórás 0,047 mm-re nő, a kiesés kb. 8 ppm-re.

35.4. Sablon és notebook

- turesek_sablon.xlsx: legfeljebb 15 tag névleges értékkel, tűréssel, érzékenységgel, eloszlással (normális vagy egyenletes) és középérték-eltolással; eredmények: legrosszabb eset, RSS, eredő szórás és középérték, C_p, C_{pk}, határon kívüli arány, a legrosszabb esethez szükséges tűrésszűkítés. A KoboCella példájával kitöltve.
- turesek.ipynb · Megnyitás Google Colabban: legrosszabb eset, RSS, egymillió elemű Monte Carlo-szimuláció, szóráshozzájárulás, a középérték-eltolódás hatása, az eloszlás megválasztásának hatása (a 35.2. ábra így készült).

35.5. Előnyök és korlátok

35.2. táblázat. A tűréslánc-számítás módszereinek előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
A legrosszabb eset garantált, egyszerű számítás	A legrosszabb eset sok tagnál túl szigorú, drága tűréseket követel
Az RSS reálisabb képet ad nagy darabszámnál (Chase és Parkinson 1991)	Az RSS függetlenséget, normális eloszlást és központos folyamatot feltételez
A Monte Carlo tetszőleges eloszlást és nemlineáris láncot kezel	A szimuláció csak annyira jó, amennyire a bemenő eloszlások
A szóráshozzájárulás megmutatja, hol érdemes szűkíteni	A geometriai tűrések (alak, helyzet) láncba illesztése szakértelmet kíván

Gyakori buktató

- **Rossz irány.** Egy tag előjelének eltévesztése a névleges értéket és a hozzájárulásokat is elrontja; rajzolj vektorláncot.
- **RSS kis darabszámnál.** Néhány darabos gyártásnál a statisztikus érvelés nem érvényes; ott a legrosszabb esettel kell számolni.
- **Elfelejtett geometriai tűrés.** A síklapúság, a merőlegesség vagy a pozíciótűrés gyakran a lánc jelentős tagja.
- **A beszállítói folyamatképesség ellenőrzése nélküli RSS.** A statisztikus méretezés feltételeit szerződésben és méréssel is biztosítani kell.

35.6. Mintapromptok

Mintaprompt: a méretlánc felírása

```
Az összeállítás leírása: [LEÍRÁS, alkatrészek, illeszkedő felületek].
A funkcionális méret: [MÉRET, követelmény].
Feladat: segíts felírni a méretláncot: mely alkatrészméretek
(beleértve a geometriai tűréseket, például síklapúság, pozíció)
befolyásolják a funkcionális méretet, milyen előjellel. Jelöld,
ha a lánc nemlineáris, vagy ha egy méret több helyen is szerepel.
Számszerű tűréseket ne adj meg.
```

Mintaprompt: tűrésújraosztás

```
Tűrésláncunk tagjai a tűréssel, a szóráshozzájárulással és a
tűrés szűkítésének becsült költségével: [TÁBLÁZAT].
A követelmény: [HATÁROK], a jelenlegi eredmény: [EREDMÉNY].
Feladat: javasolj tűrésújraosztást, amely a követelményt a
legkisebb költségnövekedéssel teljesíti, és indokold. Az új
értékeket a sablonnal ellenőrizni fogjuk.
```

35.7. Feladat

6. projektlépés (választható): tűréslánc

Ha projektedben van funkcionálisan fontos méretlánc, számítsd ki legrosszabb esetre, RSS szerint és Monte Carlo-szimulációval, határozd meg a szóráshozzájárulásokat, és javasolj tűrésújraosztást. Ha nincs méretlánc, alkalmazd ugyanezt egy időláncra (például a ciklusidő összetevőire) vagy egy energiamérlegre.

36. Kísérlettervezés (DoE)

Eszközkártya

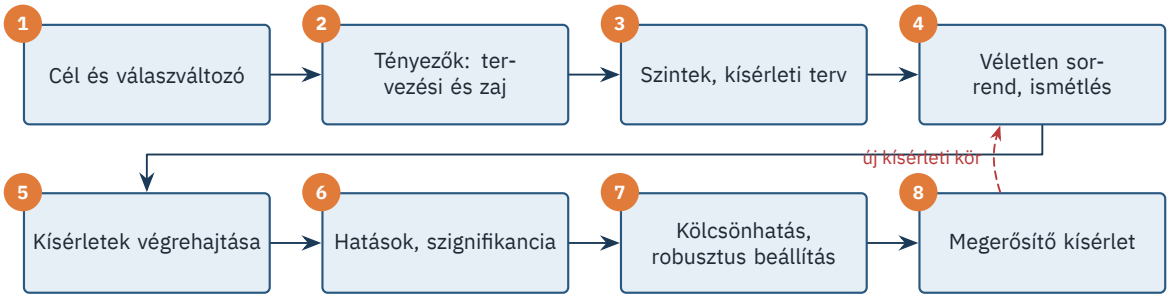
- **Mire való?** Néhány tényező hatásának és kölcsönhatásainak hatékony feltárása tervezett kísérletekkel; robusztus beállítás keresése, amelynél a zajtényezők hatása a legkisebb.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel teljes vagy részleges faktoros kísérletet megtervezni, kiszámítani a fő- és kölcsönhatásokat, és a robusztus beállítást kiválasztani.
- **V-lépés:** 5. Részletes tervezés (paraméterek beállítása, robusztus tervezés), 6. Megvalósítás (folyamatbeállítás), üzemeltetés (folyamatjavítás).
- **Bemenet:** a vizsgált válasz (mérhető jellemző), a tényezők és szintjeik, a tervezési és a zajtényezők megkülönböztetése, a mérési módszer.
- **Kimenet:** főhatások és kölcsönhatások becslése szignifikanciával, kölcsönhatási ábrák, robusztus beállítás, megerősítő kísérlet terve.
- **Időigény:** a tervezés 1–2 óra; a végrehajtás a kísérlet jellegétől függ (a 2^3 terv két ismétléssel 16 futás).
- **Kézikönyv:** 18. fejezet, 18.4. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (Goldberg és mtsai. 1994, 7.5. szakasz).

36.1. Mikor használd?

- **Ha több tényező befolyásolhat egy jellemzőt**, és nem tudjuk, melyik számít és hogyan hatnak együtt. A kísérlettervezés a tényezők hatásának és kölcsönhatásainak meghatározására szolgál a lehető legkevesebb kísérlettel (Montgomery 2017).
- **Robusztus tervezésnél**: ha a gyártásban vagy a használatban ingadozó zajtényezők (kopás, hőmérséklet, anyag) hatását tervezési beállítással akarjuk semlegesíteni (Phadke 1989).
- **Folyamatjavításnál** (DMAIC elemzési és javítási szakasza, 52. eszközlap).
- **Nem** helyettesíti a fizikai megértést: a tényezők és szintek kiválasztása szakértői tudást kíván.

36.2. Lépések

1. **Rögzítsd a célt és a választ**: mit akarunk elérni (célérték, kisebb szórás), és mit mérünk (mértékegység, mérési pontosság).
2. **Válaszd ki a tényezőket**, és különítsd el a **tervezési** (szabadon beállítható) és a **zajtényezőket** (ingadozó, nem vagy drágán szabályozható) (Taguchi, Chowdhury, és Wu 2005).
3. **Határozd meg a szinteket és a tervet**: két szinten 2^k teljes faktoros terv; sok tényezőnél részfaktoros terv (Montgomery 2017).



36.1. ábra. A kísérlettervezés lépései.

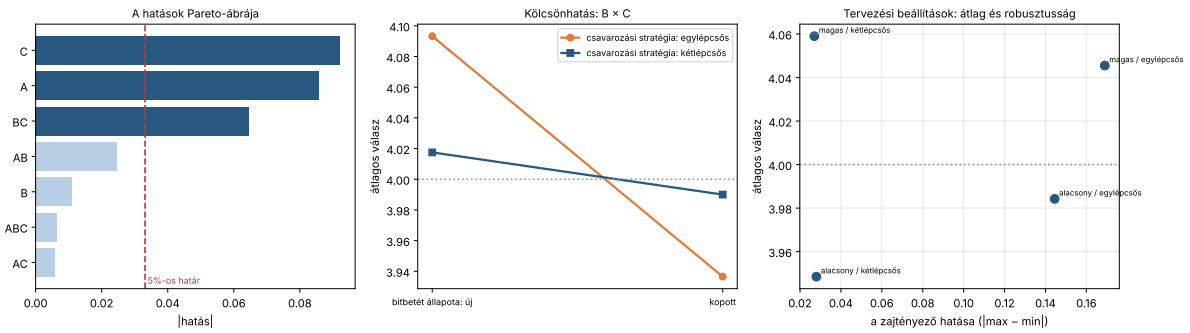
4. **Tervezd meg a sorrendet és az ismétléseket**: véletlen sorrend az időben változó zavarok ellen, ismétlés a kísérleti hiba becsléséhez, blokkosítás az ismert zavaró tényezők ellen (Montgomery 2017).
5. **Hajtsd végre a kísérleteket** a terv szerint, és rögzítsd az eltéréseket.
6. **Becsüld a hatásokat**: főhatás = átlag a felső szinten − átlag az alsó szinten; a kölcsönhatások ugyanígy a szorzatoszlopokból. A hatások standard hibája $2s/\sqrt{N}$, ahol s a kísérleti hiba szórása, N a mérések száma.
7. **Értelmezd a kölcsönhatásokat, és válassz robusztus beállítást**: a tervezési és a zajtényező közötti kölcsönhatás megmutatja, melyik beállításnál a legkisebb a zaj hatása; a középértéket egy másik tervezési tényezővel lehet a célértékre hangolni.
8. **Végezz megerősítő kísérletet** a kiválasztott beállításban.

36.3. Kidolgozott példa: a KoboCella csavarozási nyomatéka

A csapat 2^3 teljes faktoros kísérletet végzett két ismétléssel: A végső fordulatszám (alacsony, magas), B csavarozási stratégia (egylépcsős, kétlépcsős), C bitbetét állapota (új, kopott; zajtényező). A válasz a mért nyomaték, a célérték 4,0 Nm (kézikönyv 18. fejezet).

36.1. táblázat. A 2^3 kísérlet hatásai ($s = 0{,}029$ Nm, 8 szabadsági fok, a hatások standard hibája 0,014 Nm).

Hatás	Becslés [Nm]	t-érték	Szignifikáns (5%)?
A fordulatszám	+0,086	5,98	igen
B stratégia	−0,011	−0,77	nem
C bitbetét (zaj)	−0,092	−6,41	igen
A×B	+0,025	1,71	nem
B×C	+0,065	4,50	igen
A×C, A×B×C	< 0,01	< 0,5	nem



36.2. ábra. A hatások Pareto-ábrája, a stratégia és a bitbetét kölcsönhatása, valamint a tervezési beállítások átlaga és robusztussága. A notebookkal rajzolva.

Tanulságok:

- **Két tervezési tényező, két szerep.** A stratégia a zajérzékenységet, a fordulatszám a középértéket állítja. A két kétlépcsős beállítás átlaga a célérték két oldalán van (3,95 és 4,06 Nm), ezért a csapat köztes fordulatszámot választott, és ezt megerősítő kísérlettel ellenőrizte.
- **Az egyszerre egy tényező módszere tévútra vitt volna.** Ha a csapat a stratégiákat csak új bitbetéttel hasonlította volna össze, a különbséget (4,09 és 4,02 Nm) a fordulatszámmal kiegyenlíthetőnek, a stratégia megválasztását pedig mellékesnek ítélte volna. Hogy a kétlépcsős stratégia a kopásra szinte érzéketlen, azt csak a kölcsönhatás mutatta meg.
- **Az ismétlés tette lehetővé a szignifikancia megítélését.** Ismétlés nélkül a kísérleti hibát nem lehetett volna becsülni.

36.4. Sablon és notebook

- doe_sablon.xlsx: tényezők és szintek (tervezési vagy zaj), a 2^3 terv kódolt szintjeivel, véletlen sorrenddel és legfeljebb három ismétléssel; hatások, a kísérleti hiba, standard hiba, t-érték és szignifikancia; kétszintű kölcsönhatási táblák; diagram. A KoboCella példájával kitöltve.
- doe.ipynb · Megnyitás Google Colabban: hatások és p-értékek, Pareto-ábra, kölcsönhatási ábra, a tervezési beállítások összevetése átlag és zajérzékenység szerint (a 36.2. ábra így készült).

36.5. Előnyök és korlátok

36.2. táblázat. A kísérlettervezés előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Kevés kísérlettel sok információ (Montgomery 2017)	A tényezők és szintek rossz megválasztása félrevezet
Feltárja a kölcsönhatásokat	Két szint csak lineáris hatást mutat; görbületet nem
A zajtényezők kezelésével robusztus beállítás tervezhető (Phadke 1989)	Sok tényezőnél a teljes terv költséges; a részfaktoros terv összemossa a hatásokat
Statisztikailag megalapozott döntés	A kísérleti körülmények gondos szabályozását kívánja

Gyakori buktató

- **Egyszerre egy tényező.** A kölcsönhatások rejtve maradnak, és a kísérletek száma sem kevesebb.
- **Sorrend szerinti futtatás.** Ha a beállításokat a táblázat sorrendjében futtatjuk, az időben változó hatás (melegedés, kopás) összemosódik egy tényező hatásával.
- **Ismétlés nélküli kísérlet** szignifikanciavizsgálattal: a hiba nem becsülhető (vagy csak feltevésekkel).
- **A zajtényező kihagyása.** Ha a kopást vagy a hőmérsékletet nem vesszük be tényezőként, a laborban talált optimum az üzemben nem lesz robusztus.

36.6. Mintapromptok

Mintaprompt: kísérleti terv

```
Vizsgált jellemző: [VÁLASZ, célérték, mérési mód]. Lehetséges
befolyásoló tényezők: [LISTA].
Feladat: segíts kiválasztani 3–4 tényezőt, és különítsd el a
tervezési és a zajtényezőket indoklással. Javasolj két szintet
mindegyikre, a tervet (teljes vagy részfaktoros), az ismétlések
számát, a véletlen sorrendet és a lehetséges blokkosítást.
Számszerű eredményt ne találj ki.
```

Mintaprompt: az eredmények értelmezése

```
A 2^k kísérlet hatásai, t-értékei és a kölcsönhatási táblák: [TÁBLÁZAT].
Tervezési tényezők: [..], zajtényezők: [..], célérték: [..].
Feladat: értelmezd a szignifikáns hatásokat és kölcsönhatásokat,
és javasolj robusztus beállítást: melyik tervezési tényező
csökkenti a zaj hatását, és melyikkel hangolható a középérték.
Javasolj megerősítő kísérletet. Ne számolj újra.
```

36.7. Feladat

6. projektlépés (választható): kísérlettervezés

Saját projektedben tervezz egy legalább háromtényezős faktoros kísérletet a legfontosabb teljesítményjellemzőre: válasz, tényezők (tervezési és zaj), szintek, terv, ismétlések, véletlen sorrend. Ha a kísérlet elvégezhető (akár szimulációs modellel), értékeld a sablonnal vagy a notebookkal, és javasolj robusztus beállítást.

III. rész – A V csúcsa

Pannon Egyetem
University of Pannonia

37. Folyamatábra és értékáram-térkép

Eszközkártya

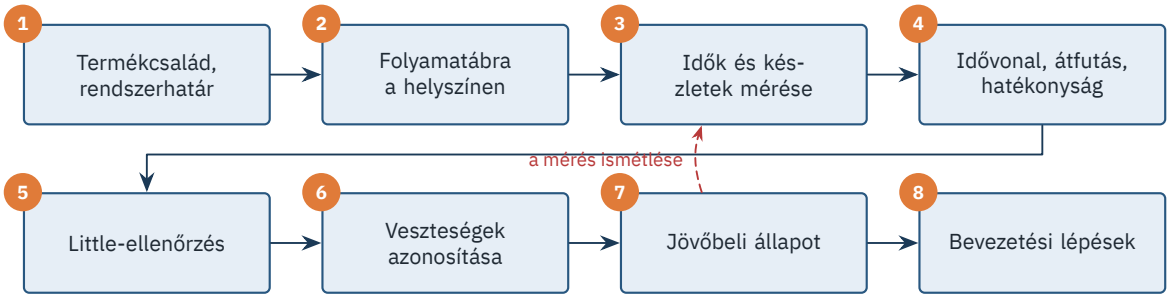
- **Mire való?** Egy termék, rendelés vagy ügyfél útjának feltérképezése a folyamaton át: a lépések és kapcsolataik, a lépések közötti várakozás és készlet, a műveleti és az átfutási idő, valamint a veszteségek láthatóvá tétele.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel folyamatábrát és értékáram-térképet készíteni, azonosítani a nem értékteremtő lépéseket, és a Little-törvénnyel ellenőrizni az átfutási időt.
- **V-lépés:** 6. Megvalósítás (a gyártó- vagy szolgáltatófolyamat tervezése); 1. Probléma és működési koncepció (a jelenlegi folyamat feltárása); 9. Üzemeltetés (folyamatos fejlesztés).
- **Bemenet:** a vizsgált termékcsalád és a rendszerhatár, helyszíni megfigyelés, mért műveleti idők, a lépések előtt várakozó egységek száma, a napi kibocsátás.
- **Kimenet:** folyamatábra, jelenlegi és jövőbeli értékáram-térkép, átfutási idő, folyamat-hatékonyság, a veszteségek listája és a fejlesztési javaslatok.
- **Időigény:** a jelenlegi állapot felvétele egy termékcsaládra fél–egy nap a helyszínen; a jövőbeli állapot egy közös workshop.
- **Kézikönyv:** 19. fejezet, 19.1. és 19.6. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (Goldberg és mtsai. 1994, 7.15. és 7.16. szakasz).

37.1. Mikor használd?

- **Ha meg kell érteni, hogyan működik egy folyamat** a valóságban, és nem csak a szabályzat szerint. A folyamatábra a folyamat lépéseit és azok kapcsolatát teszi láthatóvá; a csoportban készült ábra a résztvevők közös értelmezését rögzíti, és segít kiszűrni a nem értékteremtő lépéseket (Rother és Shook 1999).
- **Ha az átfutási idő hosszú**, és nem tudni, hol vesz el az idő. Az értékáram-térkép alsó idővonala a várakozást és a műveleti időt külön mutatja (Rother és Shook 1999).
- **Ha a munka áramlását akarod javítani egy üzemben vagy irodában**: a munkafolyamat-elemzés a folyamatábra különleges esete, amelyben a dolgozók és a vezetés együtt vizsgálják a munkafolyamatot a teljesítmény és a munka minőségének javítására (Rother és Shook 1999).
- **Kevésbé alkalmas**, ha a folyamat sok döntési ponttal, kivétellel és résztvevővel dolgozik; ott a BPMN-modell a jobb eszköz (41. eszközlap).

37.2. Lépések

1. **Jelöld ki a termékcsaládot és a rendszerhatárt**: melyik termék vagy rendelés útját követed, honnan hová. A Little-törvény csak akkor használható ellenőrzésre, ha a három mennyiséget ugyanarra a határra méred.



37.1. ábra. A folyamatábra és az értékáram-térkép készítésének lépései.

2. **Rajzold fel a folyamatábrát a helyszínen**, a folyamatot a kiszállítás felől visszafelé végigjárva (Rother és Shook 1999). Kezdd a fő lépésekkel (felülről lefelé tagolt ábra), és csak ott részletezz, ahol a vizsgálat megkívánja (Rother és Shook 1999). A lépéseket jelöld szimbólummal: művelet, ellenőrzés, szállítás, tárolás, várakozás.
3. **Mérd az időket és a készleteket**: minden lépés műveleti idejét (ebből a beállítást), és a lépés előtt várakozó egységek számát. Az adatokat megfigyelésből és kérdezéssel gyűjtsd, ne a működési tervből, amely azt mutatja, hogyan kellene a folyamatnak működnie (Rother és Shook 1999).
4. **Rajzold meg az idővonalat**: a várakozás a lépés előtti egységek számának és a napi kibocsátásnak a hányadosa. Az átfutási idő a várakozások összege, a folyamathatékonyság a műveleti idő és az átfutási idő hányadosa.
5. **Ellenőrizd a Little-törvénnyel**: a folyamatban lévő összes egység és a napi kibocsátás hányadosa adja az átlagos átfutást (Little 2011). Nagy eltérés adathibát vagy eltérő rendszerhatárt jelez.
6. **Azonosítsd a veszteségeket** Ohno hét kategóriájával: túltermelés, várakozás, szállítás, felesleges feldolgozás, készlet, felesleges mozgás, hibás termék (Ohno 1988).
7. **Tervezd meg a jövőbeli állapotot**: hol lehet a lépéseket összekapcsolni, a rendeléskiadást a szűk keresztmetszethez kötni, a beállítást rövidíteni, a sorozatot csökkenteni (Rother és Shook 1999).
8. **Vezesd be fokozatosan**: a változtatást előbb kis területen vagy egy műszakban próbáld ki, a hibák kijavítása után vezesd be szélesebb körben, majd rajzold fel az új folyamatot, és frissítsd a működési dokumentációt (Rother és Shook 1999). A változtatás után ismételd meg a mérést.

37.3. Kidolgozott példa: egy ForgácsTech-rendelés értékárama

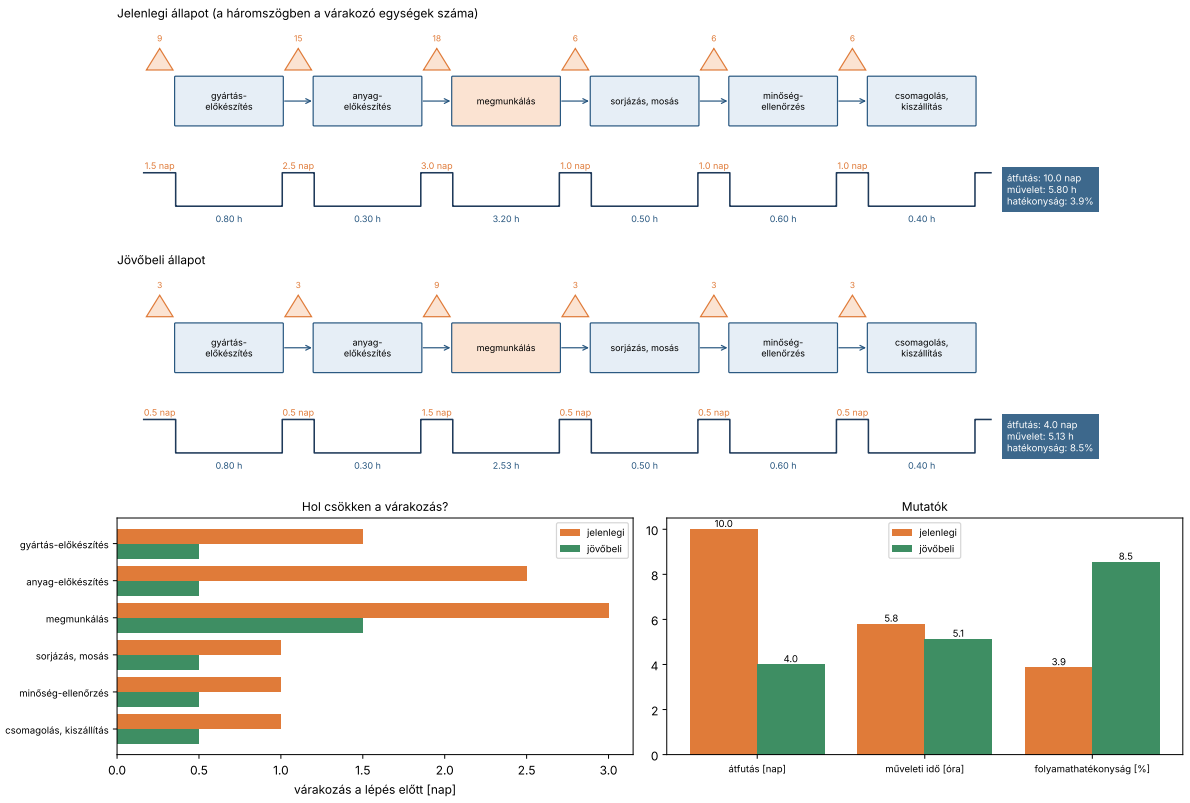
A ForgácsTech csapata egy jellemző rendelés útját követte a gyártáselőkészítéstől a kiszállításig (37.1. táblázat). Egy átlagos napon 60 rendelés van folyamatban, és naponta 6 készül el; az üzem két műszakban, napi 15 órát dolgozik.

37.1. táblázat. A ForgácsTech egy rendelésének jelenlegi értékárama.

Lépés	Műveleti idő [óra]	Várakozás előtte [nap]	Várakozó rendelés	Érték a vevőnek
gyártáselőkészítés	0,8	1,5	9	szükséges
anyag-előkészítés	0,3	2,5	15	értékteremtő

Lépés	Műveleti idő [óra]	Várakozás előtte [nap]	Várakozó rendelés	Érték a vevőnek
megmunkálás (0,8 óra beállítással)	3,2	3,0	18	értékteremtő
sorjázás, mosás	0,5	1,0	6	értékteremtő
minőségellenőrzés	0,6	1,0	6	szükséges
csomagolás, kiszállítás	0,4	1,0	6	szükséges
összesen	**5,8**	**10,0**	**60**	

Az átfutás 10 munkanap (150 óra), a folyamathatékonyság $5{,}8/150 = 3{,}9\%$, az értékteremtőnek minősített lépések aránya 2,7%. A Little-törvény szerint $60/6 = 10$ nap: a térkép következetes. A jövőbeli állapotban a rendeléskiadás a megmunkáló központ kapacitásához kötött (legfeljebb 24 rendelés van folyamatban), az anyagot a kiadáskor foglalják le, és a SMED-del 8 percre rövidült átállás fele akkora sorozatokat enged (40. eszközlap). Az átfutás 4 napra csökken, a folyamathatékonyság 8,5%-ra nő (37.2. ábra).



37.2. ábra. A jelenlegi és a jövőbeli állapot értékáram-térképe és összevetése. A notebookkal rajzolva.

Tanulságok:

- **Az idő a várakozásban vész el.** A műveleti idő 5,8 óráról alig 5,1 órára csökken, a nyereség szinte teljesen a várakozás csökkenéséből jön.
- **A leghosszabb várakozás a szűk keresztmetszet előtt van.** A megmunkáló központ előtti 3 napos sor a kapacitás- és az OEE-elemzés kiindulópontja (38. és 40. eszközlap).
- **Az anyagra várás szervezési kérdés.** Az anyag-előkészítés előtti 2,5 nap nem kapacitáshiányból, hanem abból fakad, hogy a beszerzés csak a kiadás után indul.

- **A Little-törvény olcsó ellenőrzés.** Ha a lépésenként becsült várakozások összege és az I/R hányados eltér, előbb az adatokat kell tisztázni.

37.4. Sablon és notebook

- folyamatabra_vsm_sablon.xlsx: legfeljebb 15 lépés szimbólummal, erőforrással, műveleti és beállítási idővel, várakozással, várakozó egységekkel és értékbesorolással; összesítés (átfutás, folyamathatékonyság, értékteremtő arány, Little-ellenőrzés, a leghosszabb várakozás helye), lépésenkénti diagram; „Veszteségek” lap Ohno hét veszteségével; „Jövőbeli” lap és összevetés. A ForgácsTech példájával kitöltve.
- folyamatabra_vsm.ipynb · Megnyitás Google Colabban: a két állapot összesítése, Little-ellenőrzés lépésenként is, egyszerűsített értékáram-térkép lépcsős idővonallal, összevetés (a 37.2. ábra így készült).

37.5. Előnyök és korlátok

37.2. táblázat. A folyamatábra és az értékáram-térkép előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Egyszerű, a helyszínen kézzel is elkészíthető, közös nyelvet teremt (Rother és Shook 1999)	Egy pillanatfelvétel; a változékony folyamatot egy átlagos nap nem írja le
A várakozást és a készletet láthatóvá teszi, ezért az átfutás fő okait mutatja	Az elágazó, sok döntési pontot tartalmazó folyamatokat nehezen kezeli
A jelenlegi és a jövőbeli állapot összevetése a fejlesztés irányát adja (Rother és Shook 1999)	Egy termékcsaládra készül; sok termékcsaládnál a közös erőforrásokat külön kell vizsgálni
A Little-törvénnyel ellenőrizhető	Az elkészítés időigényes, és csoportmunkát kíván (Rother és Shook 1999)

Gyakori buktató

- **Íróasztal mellett rajzolt térkép.** Az előírt folyamat és a valóságos folyamat eltér; a térképet a helyszínen kell felvenni.
- **Túl részletes első ábra.** A kezdeti részletesség elveszi a figyelmet a fő áramlásról; előbb a fő lépések kellenek.
- **A várakozás elhagyása.** Ha csak a műveleteket rajzoljuk, a térkép éppen a legfontosabbat, az átfutás nagy részét hagyja ki.
- **Minden lépés „értékteremtő”.** Az ellenőrzés, a szállítás és a tárolás a vevő szemében legfeljebb szükséges; az őszinte besorolás mutatja meg a fejlesztési lehetőséget.

37.6. Mintapromptok

Mintaprompt: a folyamatábra felvétele

```
A folyamat leírása, ahogy a résztvevők elmondták: [LEÍRÁS].
Az áramló egység: [EGYSÉG]; a rendszerhatár: [HONNAN–HOVÁ].
Feladat: készíts belőle folyamatlépés-listát a folyamat sorrendjében,
és jelöld mindegyiknél a szimbólumot (művelet, ellenőrzés, szállítás,
tárolás, várakozás) és a végrehajtót. Jelöld, hol hiányzik információ,
és milyen kérdést tegyünk fel a helyszíni bejáráson. Időadatot ne
találj ki: azokat mérni fogjuk.
```

Mintaprompt: veszteségek és jövőbeli állapot

```
Jelenlegi értékáram-térképünk lépésenként (műveleti idő, várakozás,
várakozó egységek, értékbesorolás): [TÁBLÁZAT]. Napi kibocsátás: [R].
Feladat: (1) sorold a megfigyelt problémákat Ohno hét veszteségének
kategóriáiba; (2) javasolj legfeljebb öt változtatást a jövőbeli
állapotra, és mindegyiknél jelöld, melyik várakozást csökkenti és
milyen feltevésre épül. A hatást a sablonnal fogjuk kiszámolni.
```

37.7. Feladat

7. projektlépés (első rész): folyamatábra és értékáram

Rajzold fel projekted megvalósító folyamatának (gyártás, szerelés, szolgáltatás vagy ügyintézés) folyamatábráját, vedd fel a jelenlegi állapot értékáram-térképét mért vagy becsült adatokkal, ellenőrizd a Little-törvénnyel, gyűjtsd össze a veszteségeket, és tervezd meg a jövőbeli állapotot. Jelöld, mely adatok mértek és melyek becsültek.

38. Kapacitás és szűk keresztmetszet

Eszközkártya

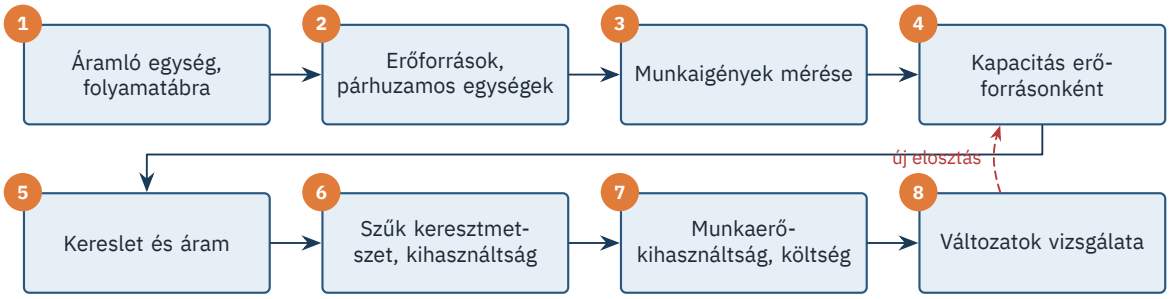
- **Mire való?** Egy folyamat erőforrásainak kapacitása, a szűk keresztmetszet, a folyamat árama, az erőforrások és a munkaerő kihasználtsága, valamint az egységnyi munkaerőköltség kiszámítása; változatok (csúcsidőszak, átcsoportosítás, bővítés) összevetése.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel kiszámítani egy folyamat erőforrásainak kapacitását és kihasználtságát, azonosítani a szűk keresztmetszetet, és javaslatot tenni a kapacitásbővítésre.
- **V-lépés:** 6. Megvalósítás (a folyamat méretezése); 4. Architektúra (a gyártó- vagy szolgáltatórendszer koncepcióinak összevetése); 9. Üzemeltetés (bővítési döntések).
- **Bemenet:** folyamatábra, erőforrásonként a párhuzamos egységek száma és az egy egységre jutó munkaigény, a kereslet, a munkaidő, több terméktípusnál a termékösszetétel.
- **Kimenet:** kapacitás erőforrásonként, szűk keresztmetszet, áram, kihasználtság, ciklusidő, munkatartalom, átlagos munkaerő-kihasználtság, munkaerőköltség egységenként.
- **Időigény:** egy öt-tíz erőforrású folyamatra az adatgyűjtés után 1–2 óra.
- **Kézikönyv:** 19. fejezet, 19.2–19.3. szakasz.

38.1. Mikor használd?

- **Ha el kell dönteni, elég-e a folyamat kapacitása** egy várható keresletre, és ha nem, hol kell bővíteni.
- **Ha egy beruházási javaslatról kell dönteni** (új gép, új munkatárs): a nem szűk keresztmetszeten végzett bővítés nem növeli a kibocsátást (Goldratt és Cox 1984).
- **Ha a munkaerőköltséget vagy a létszámot kell megtervezni**: a kihasználatlan időt is ki kell fizetni (Cachon és Terwiesch 2013, 4. fejezet).
- **Ha több terméktípus osztozik az erőforrásokon**: a szűk keresztmetszet a termékösszetételtől függ (Cachon és Terwiesch 2013, 3. fejezet).
- **Kevésbé alkalmas** a várakozás és az átfutás becslésére erősen ingadozó érkezéseknél; arra a sorbanállási modell kell (44. eszközlap).

38.2. Lépések

1. **Határozd meg az áramló egységet, és rajzold fel a folyamatábrát** (37. eszközlap).
2. **Sorold fel az erőforrásokat**, és add meg, hány egység (dolgozó vagy gép) dolgozik párhuzamosan mindegyiken (m_i).
3. **Mérd vagy becsüld a munkaigényt**: mennyi ideig tart egy egység feldolgozása az erőforráson (p_i). Több terméktípusnál terméktípusonként.
4. **Számítsd ki a kapacitást**: $K_i = m_i / p_i$ (Cachon és Terwiesch 2013, 3. fejezet).



38.1. ábra. A kapacitáselemzés lépései.

5. **Hasonlítsd össze a keresletet és a kapacitást**: az áram $R = \min\{D, \min_i K_i\}$; ha a kereslet nagyobb, a folyamat kapacitáskorlátos.
6. **Azonosítsd a szűk keresztmetszetet, és számítsd ki a kihasználtságot**: $u_i = R/K_i$. Több terméktípusnál a származtatott kihasználtság az összesített igény és a rendelkezésre álló idő hányadosa (Cachon és Terwiesch 2013, 3. fejezet).
7. **Számítsd ki a munkaerő-mutatókat**: ciklusidő $CT = 1/R$, munkatartalom $\sum p_i$, átlagos munkaerő-kihasználtság $\sum p_i / (CT \cdot \sum m_i)$, közvetlen munkaerőköltség egységenként $\sum m_i \cdot \text{órabér}/R$ (Cachon és Terwiesch 2013, 4. fejezet).
8. **Vizsgálj változatokat**: csúcsidőszak, feladatok átcsoportosítása, egy erőforrás bővítése, más termékösszetétel. Minden változtatás után keresd meg újra a szűk keresztmetszetet.

38.3. Kidolgozott példa: a VárosiBringa javítóműhelye

A műhelybe naponta 40 kerékpár érkezik egy 7,5 órás műszakban. A 38.1. táblázat az alapállapotot mutatja.

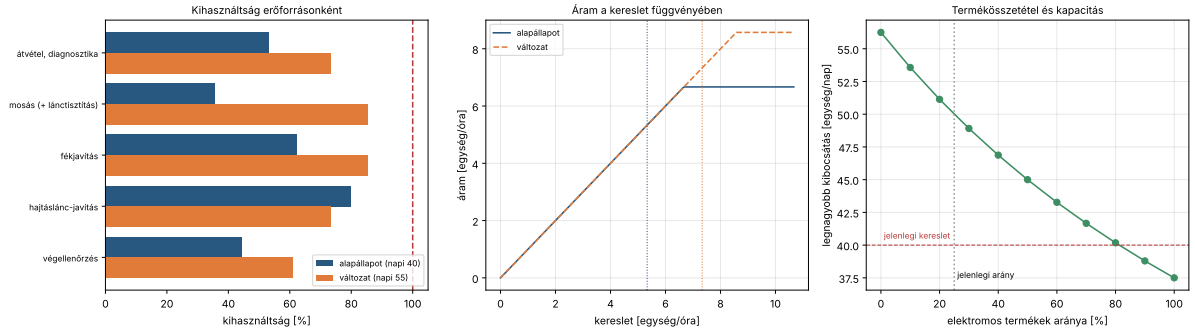
38.1. táblázat. A javítóműhely kapacitása napi 40 kerékpárnál.

Erőforrás	m	p [perc]	Kapacitás [db/h]	Kihasználtság
átvétel, diagnosztika	1	6	10,0	53%
mosás	1	4	15,0	36%
fékjavítás	2	14	8,6	62%
hajtáslánc-javítás	1	9	**6,7**	**80%**
végellenőrzés	1	5	12,0	44%

A szűk keresztmetszet a hajtáslánc-javítás (napi 50 kerékpár). A folyamat keresletkorlátos, az áram 5,33 db/h, a ciklusidő 11,25 perc. A munkatartalom 38 perc, a létszám 6, az átlagos munkaerő-kihasználtság $38/(11{,}25 \cdot 6) = 56{,}3\%$. Óránként 4000 forintos munkaerőköltséggel (példaérték) egy kerékpár közvetlen munkaerőköltsége 4500 Ft, amiből csak 2533 Ft a tényleges munkatartalom.

A nyári csúcsban napi 55 kerékpár várható. Az alapállapotban a műhely kapacitáskorlátos lenne (napi 50), és egy második mosó nem segítene. Ha a lánctisztítást (3 perc) a mosáshoz csoportosítják, a szűk keresztmetszet a mosás és a fékjavítás 8,6 db/h-val; a csúcsigény kiszolgálható, a munkaerő-kihasználtság 77%-ra nő, az egységnyi munkaerőköltség 3273

Ft-ra csökken (38.2. ábra). A műhely valójában kétféle kerékpárt javít: a „Többtermékes” lap szerint a 30 hagyományos és 10 elektromos kerékpár mellett a hajtáslánc-javítás származtatott kihasználtsága 80%, és ha az elektromos kerékpárok aránya 80% fölé nőne, napi 40 kerékpár sem lenne kiszolgálható.



38.2. ábra. A kihasználtság az alapállapotban és a csúcsváltozatban, az áram a kereslet függvényében, és a legnagyobb kibocsátás a termékösszetétel függvényében. A notebookkal rajzolva.

Tanulságok:

- **A szűk keresztmetszet határozza meg a kibocsátást.** A mosó bővítése a csúcsban semmit sem érne; a feladatok átcsoportosítása beruházás nélkül megoldja a problémát.
- **A kihasználatlan idő költség.** A munkaerőköltség egységenként nem a munkatartalomtól, hanem a ciklusidőtől és a létszámtól függ.
- **A magas kihasználtságnak ára van.** A csúcsváltozatban a két szűk keresztmetszet 86%-on dolgozik; ingadozó érkezésnél a várakozás itt már jelentős lehet (44. eszközlap).
- **A termékösszetétel a kapacitás része.** Ha nő a munkaigényesebb termékek aránya, a kapacitás csökken, akkor is, ha a darabszám nem változik.

38.4. Sablon és notebook

- kapacitas_sablon.xlsx: „Alap” és „Változat” lap legfeljebb 12 erőforrással (típus: dolgozó vagy gép), kapacitás, szűk keresztmetszet, kihasználtság, kihasználatlan idő, munkaerő-kihasználtság, egységnyi munkaerőköltség, kihasználtsági diagram; „Többtermékes” lap legfeljebb 4 terméktípusra a származtatott kihasználtsággal és a legnagyobb kibocsátással. A VárosiBringa példájával kitöltve.
- kapacitas.ipynb · Megnyitás Google Colabban: a két változat és a „csúcs átcsoportosítás nélkül” eset elemzése, a származtatott kihasználtság, a legnagyobb kibocsátás a termékösszetétel függvényében (a 38.2. ábra így készült).

38.5. Előnyök és korlátok

38.2. táblázat. A kapacitáselemzés előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Egyszerű, gyors, kevés adatot igényel	Átlagokkal számol; az ingadozás okozta várakozást nem mutatja
Egyértelműen megmutatja, hol érdemes bővíteni (Goldratt és Cox 1984)	Feltételezi, hogy a munkaigények ismertek és stabilak
A munkaerőköltséget a ciklusidővel kapcsolja össze (Cachon és Terwiesch 2013, 4. fejezet)	A beállítási időt és a sorozatnagyságot külön kell kezelni
Több terméktípusra is kiterjeszthető	A dolgozók közötti rugalmas átcsoportosítást csak változatokkal lehet vizsgálni

Gyakori buktató

- **Bővítés a nem szűk keresztmetszeten.** A leglátványosabb vagy a legtöbbet panaszkodó erőforrás bővítése gyakran nem növeli a kibocsátást.
- **100%-os kihasználtságra tervezés.** Ingadozó érkezésnél a teljes kihasználtság közelében a várakozás gyorsan nő (Hopp és Spearman 2008).
- **A munkaigény és a kapacitás összekeverése.** Két párhuzamos dolgozó nem felezi a munkaigényt, hanem kétszerezi a kapacitást; a munkatartalom változatlan.
- **Elfelejtett beállítási idő.** Ha a gép sorozatok között átáll, a kapacitás a sorozatnagyságtól is függ (40. eszközlap).

38.6. Mintapromptok

Mintaprompt: az erőforrások és munkaigények összegyűjtése

```
A folyamatunk lépései és az ott dolgozók: [LEÍRÁS].
Feladat: készíts erőforráslistát a kapacitáselemzéshez: erőforrás,
típus (dolgozó vagy gép), párhuzamos egységek száma, és milyen
méréssel határozzuk meg az egységnyi munkaigényt. Jelöld, ha egy
dolgozó több lépésen is dolgozik, mert az erőforrás-hozzárendelést
ilyenkor pontosítani kell. Számadatot ne becsülj.
```

Mintaprompt: bővítési változatok

```
Kapacitáselemzésünk eredménye: [TÁBLÁZAT: erőforrás, m, p,
kapacitás, kihasználtság]; a kereslet most [D], a csúcsban [D2].
Feladat: javasolj legfeljebb négy változatot a csúcsigény
kiszolgálására (átcsoportosítás, létszám, műszakidő, gép), és
mindegyiknél jelöld, melyik erőforrás lesz az új szűk keresztmetszet,
és milyen kockázattal jár. A számokat a sablonnal ellenőrizzük.
```

38.7. Feladat

7. projektlépés (második rész): kapacitás és szűk keresztmetszet

Határozd meg projekted megvalósító folyamatának erőforrásait, kapacitását és szűk keresztmetszetét a várható keresletnél és egy csúcsigénynél. Számítsd ki a munkaerő-kihasználtságot, és vizsgálj meg legalább két változatot a szűk keresztmetszet feloldására.

39. Ütemidő és sorkiegyenlítés

Eszközkártya

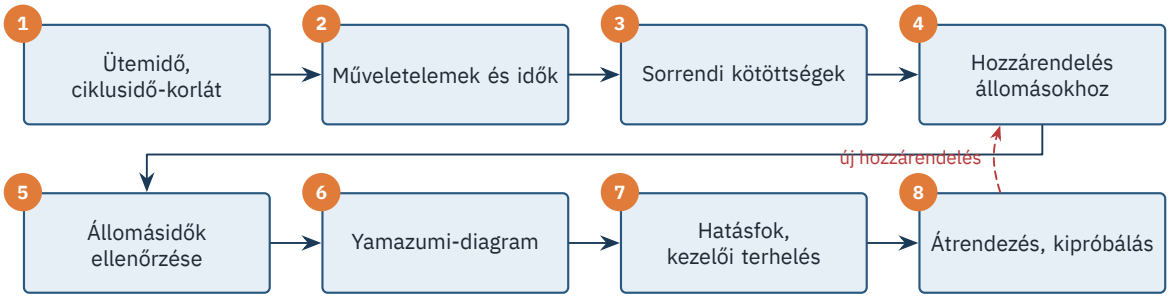
- **Mire való?** Egy szerelősor vagy más ütemezett folyamat ütemidejének kiszámítása, a műveletek állomásokhoz és kezelőkhöz rendelése úgy, hogy egyik állomás se lépje túl az ütemidőt (és a hatékonysági tartalékot), és a munka egyenletesen oszoljon el.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel kiszámítani az ütemidőt, a műveleteket állomásokhoz rendelni, és meghatározni a sor egyensúlyi veszteségét.
- **V-lépés:** 6. Megvalósítás (a sor és a munkahelyek kialakítása); 4. Architektúra (az állomások számának és az automatizálás mértékének megválasztása); 9. Üzemeltetés (átrendezés keresletváltozáskor).
- **Bemenet:** a kereslet és a rendelkezésre álló idő ugyanarra az időszakra, a tervezett berendezéshatékonyság, a műveletelemek ideje és típusa (kézi vagy gépi), a sorrendi kötöttségek.
- **Kimenet:** ütemidő és ciklusidő-korlát, állomásidők, Yamazumi-diagram, elméleti minimális állomásszám, kiegyenlítési hatásfok, a sor kapacitása, a kezelők terhelése.
- **Időigény:** tíz-húsz műveletelemre az időmérés után 1–2 óra.
- **Kézikönyv:** 19. fejezet, 19.4. szakasz.

39.1. Mikor használd?

- **Ha egy új szerelősort vagy cellát tervezel**, és el kell dönteni, hány állomás és hány kezelő kell.
- **Ha változik a kereslet**: új ütemidőhöz a műveleteket újra kell osztani.
- **Ha egy állomás rendszeresen feltorlódik**, vagy egyes kezelők túlterheltek, mások várakoznak.
- **Ha kézi és gépi műveletek keverednek**: a Yamazumi-diagram megmutatja, hol végezhet a kezelő más munkát a gépi idő alatt.
- **Kevésbé alkalmas** erősen változó termékösszetételű, egyedi gyártásnál; ott a kapacitáselemzés és az ütemezés a megfelelő eszköz (38. és 42. eszközlap).

39.2. Lépések

1. **Számítsd ki az ütemidőt**: a rendelkezésre álló termelési idő és a kereslet hányadosa ugyanarra az időszakra (Rother és Shook 1999). Ha a berendezések hatékonyságára tartalékot tervezel, a ciklusidő-korlát az ütemidő és a tervezett OEE szorzata.
2. **Bontsd a munkát műveletelemekre**, és mérd az idejüket. Jelöld, melyik kézi és melyik gépi; a gépi elem ahhoz a berendezéshez kötött, amelyen fut.
3. **Rögzítsd a sorrendi kötöttségeket**: mely elemeknek kell megelőzniük egy adott elemet. Rajzold fel a sorrendi gráfot.



39.1. ábra. Az ütemidő-számítás és a sorkiegyenlítés lépései.

4. **Rendeld a műveleteket állomásokhoz**: a sorrendi kötöttségek betartásával, úgy, hogy az állomásidő ne lépje túl a korlátot. Kézzel vagy heurisztikával; a rangsorolt pozíciós súly módszere például mindig azt az elemet osztja ki, amelynek saját és összes utódjának együttes ideje a legnagyobb (Scholl és Becker 2006).
5. **Ellenőrizd az állomásidőket**: az ütemidőhöz, a korláthoz, és számítsd ki az elméleti minimumot: $N_{\min} = \lceil \sum t_j / TT \rceil$.
6. **Rajzold meg a Yamazumi-diagramot**: állomásonként a kézi és a gépi idő egymásra rakva, vízszintes vonallal az ütemidő és a korlát.
7. **Számítsd ki a hatásfokot és a kezelői terhelést**: $\eta = \sum t_j / (N \cdot c)$; a kezelők kézi terhelése az ütemidőhöz képest.
8. **Rendezd át, és próbáld ki**: vond össze vagy oszd szét a feladatokat, majd ellenőrizd az elrendezést és a kezelők terhelését, mielőtt bevezeted (27. eszközlap).

39.3. Kidolgozott példa: a KoboCella-sor

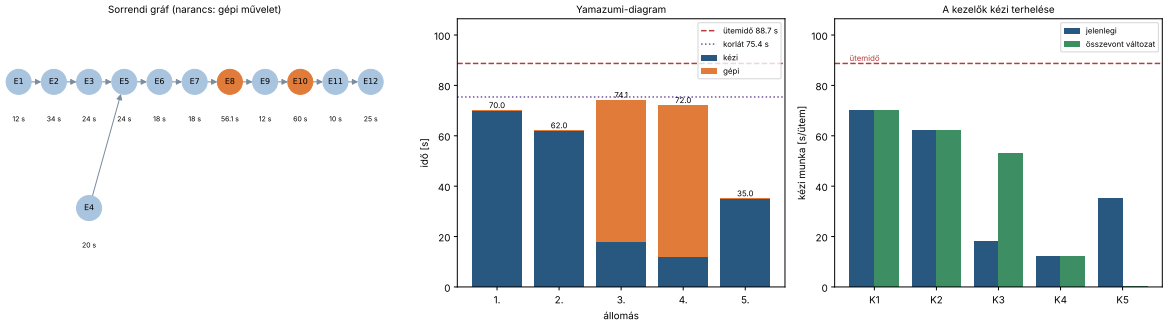
A motorszerelő sor évi 3450 órában évi 140 ezer motort gyárt, az ütemidő 88,7 s; a tervezett 85%-os OEE miatt a ciklusidő-korlát 75,4 s (kézikönyv 6. fejezet). A sor 12 műveletelemből áll; a 39.1. táblázat az öt állomást mutatja.

39.1. táblázat. A KoboCella-sor jelenlegi kiegyenlítése.

Állomás	Műveletele-mek	Kézi [s]	Gépi [s]	Állomásidő [s]	Kezelő
1. állórész-előszerelés	E1–E3	70	–	70,0	K1
2. rotor beszerelése	E4–E6	62	–	62,0	K2
3. KoboCella	E7–E8	18	56,1	**74,1**	K3
4. elektromos teszt	E9–E10	12	60	72,0	K4
5. csomagolás	E11–E12	35	–	35,0	K5

A munkatartalom 313,1 s; az ütemidőre elméletileg 4, a korlátra 5 állomás kell. Mind az öt állomás a korlát alatt van, a szűk keresztmetszet a KoboCella (74,1 s, a tartalék mindössze 1,3 s), a hatásfok 84,5%, a sor kapacitása 48,6 motor/óra az igényelt 40,6 mellett. A rangsorolt pozíciós súly heurisztika a korlátra és az ütemidőre is öt állomást ad: a négyállomásos elméleti minimumot a sorrendi kötöttségek és a berendezésekhez kötött gépi műveletek nem engedik elérni. A létszámot ezért a kezelői feladatok összevonásával lehet csökkenteni: ha a KoboCella kezelője átveszi a címkézést és a csomagolást, terhelése

53 s (az ütemidő 60%-a), a kezelők száma négy, a munkaerő-kihasználtság 44%-ról 56%-ra nő (39.2. ábra).



39.2. ábra. A sorrendi gráf, a Yamazumi-diagram és a kezelők kézi terhelése a jelenlegi és az összevont beosztásban. A notebookkal rajzolva.

Tanulságok:

- **Az ütemidő és a ciklusidő-korlát nem ugyanaz.** Ha a berendezések hatékonysága 85%, az állomásidőnek az ütemidő 85%-ánál kisebbnek kell lennie; ezzel a korláttal már öt állomás az elméleti minimum.
- **A szűk keresztmetszet tartaléka kicsi.** A KoboCella ciklusidejének bármilyen romlása a sor kibocsátását veszélyezteti, ezért a ciklusidőt a gyártásban is követni kell.
- **A gépi idő a kezelőnek tartalék.** A Yamazumi-diagram a kézi és a gépi időt szétválasztva mutatja meg, hogy a létszám csökkenthető anélkül, hogy az állomásokat átrendeznénk.
- **Az összevonás emberi tényezőket is érint.** A kezelő felügyeleti feladata, a zavarelhárítás és a gyaloglás nem jelenik meg a kézi időben; a változtatás előtt a terhelést mérni kell.

39.4. Sablon és notebook

- sorkiegyenlites_sablon.xlsx: ütemidő és ciklusidő-korlát; legfeljebb 30 műveletelem idővel, típussal, két megelőzővel, állomás- és kezelő-hozzárendeléssel, sorrendi ellenőrzéssel; „Állomások” lap legfeljebb 8 állomással, a mutatókkal és Yamazumi-diagrammal; „Kezelők” lap a kezelők terhelésével és a munkaerő-kihasználtsággal. A KoboCella-sor példájával kitöltve.
- sorkiegyenlites.ipynb · Megnyitás Google Colabban: sorrendi gráf, a jelenlegi hozzárendelés ellenőrzése, rangsorolt pozíciós súly heurisztika a korlátra és az ütemidőre (a gépi elemeket a megelőző kézi elemmel együtt kezeli), a kezelői összevonás hatása (a 39.2. ábra így készült).

39.5. Előnyök és korlátok

39.2. táblázat. Az ütemidő-számítás és a sorkiegyenlítés előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
A vevői igényből indul, így a sor kapacitása a kereslethez igazodik (Rother és Shook 1999)	Determinisztikus időkkel számol; a műveleti idők szórását és a zavarokat nem kezeli
A Yamazumi-diagram szemléletes, a kezelőkkel közösen is használható	A heurisztika nem garantál optimumot; nagy feladatokra pontos módszerek is léteznek (Scholl és Becker 2006)
Megmutatja az elméleti minimumot és a kiegyenlítés hatásfokát	Több termékváltozatnál (vegyes sor) a változatok eltérő munkatartalmát külön kell kezelni
A kézi és a gépi idő szétválasztása létszámtervezést is lehetővé tesz	A munkahelyi elrendezés, a gyaloglás és az ergonómia csak külön vizsgálattal jelenik meg

Gyakori buktató

- **Az ütemidő és a ciklusidő összekeverése.** Az ütemidő a vevői igényből adódik, a ciklusidő a folyamat tényleges teljesítménye; a sornak az ütemidőnél gyorsabbnak kell lennie a veszteségek miatt.
- **Eltérő időszakok.** A rendelkezésre álló időt és a keresletet ugyanarra az időszakra kell venni, és a rendelkezésre álló időből a tervezett szüneteket le kell vonni.
- **A sorrendi kötöttségek figyelmen kívül hagyása.** A papíron kiegyenlített sor a valóságban nem működik, ha egy művelet a megelőzője előtt kerül sorra.
- **Átlagidővel méretezett szűk keresztmetszet.** Ha egy állomás ideje erősen ingadozik, az átlag a korlát alatt lehet, a sor mégis gyakran megáll.

39.6. Mintapromptok

Mintaprompt: műveletelemek és sorrendi kötöttségek

```
A szerelési folyamat leírása: [LEÍRÁS, alkatrészek, lépések].
Feladat: bontsd műveletelemekre, amelyek külön időzíthetők és
egy-egy állomáshoz rendelhetők. Mindegyiknél jelöld, kézi vagy gépi,
és sorold fel a közvetlen megelőzőit. Jelöld azokat az elemeket,
amelyek egy adott berendezéshez kötöttek. Időket ne adj meg:
azokat mérni fogjuk.
```

Mintaprompt: átrendezési javaslat

```
Sorunk adatai: ütemidő [TT] s, ciklusidő-korlát [C] s; műveletelemek
idővel, típussal, megelőzőkkel, a jelenlegi állomás- és kezelő-
hozzárendeléssel: [TÁBLÁZAT].
Feladat: javasolj legfeljebb két átrendezést (állomás vagy kezelői
feladat), amely csökkenti a létszámot vagy növeli a tartalékot a
szűk keresztmetszeten. Mindegyiknél nevezd meg, mely sorrendi
kötöttségeket és milyen ergonómiai kérdéseket kell ellenőrizni.
```

39.7. Feladat

7. projektlépés (harmadik rész, választható): sorkiegyenlítés

Ha projektedben ütemezett, ismétlődő folyamat van (szerelősor, csomagolás, ügyintézési lépéssor), számítsd ki az ütemidőt, bontsd a munkát műveletelemekre, készíts Yamazumi-diagramot a jelenlegi vagy tervezett hozzárendelésről, és javasolj átrendezést. Az összevont feladatok terhelését becsüld meg vagy mérd.

40. OEE-számítás

Eszközkártya

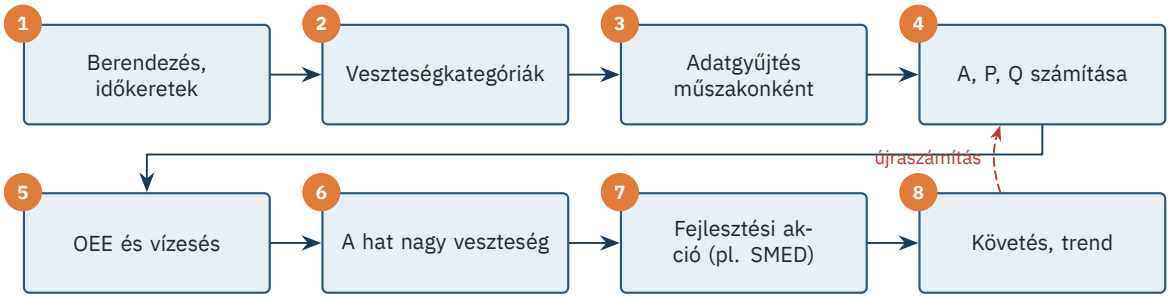
- **Mire való?** Egy berendezés teljes eszközhatékonyságának (OEE) számítása a rendelkezésre állás, a teljesítmény és a minőség szorzataként; a hat nagy veszteség számszerűsítése, az OEE-vízesés, a beállításiidő-csökkentés (SMED) hatásának becslése; a munkára vonatkozó párja, az OLE.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel kiszámítani egy berendezés OEE-mutatóját és veszteségösszetevőit, és a veszteségek alapján fejlesztési prioritást kijelölni.
- **V-lépés:** 6. Megvalósítás (a gyártórendszer teljesítménykövetelményeinek ellenőrzése); 8. Validáció (a berendezés átvétele üzemi körülmények között); 9. Üzemeltetés (folyamatos fejlesztés, karbantartás).
- **Bemenet:** műszakonként a tervezett üzemidő, az átállások és a meghibásodások ideje, a kisebb leállások ideje, a legyártott, a jó és az indításkor selejtté vált darabok száma, az ideális ciklusidő.
- **Kimenet:** A, P, Q és OEE műszakonként és az időszakra, a hat nagy veszteség percben, OEE-vízesés, SMED-változatok, OLE.
- **Időigény:** az adatgyűjtés egy–négy hét; a kiértékelés 1 óra.
- **Kézikönyv:** 19. fejezet, 19.5. és 19.7. szakasz; a rendelkezésre állás megbízhatósági háttere: 16. fejezet.

40.1. Mikor használd?

- **Ha egy berendezés teljesítményét kell követni** és javítani: az OEE a teljes körű hatékony karbantartás (TPM) mérőszáma, és a hat nagy veszteség csökkentésére irányítja a figyelmet (Nakajima 1988).
- **Ha egy követelmény hatékonysági tartalékot ír elő** (például a KoboCella 85%-os tervezett OEE-je), és ellenőrizni kell, teljesül-e.
- **Ha el kell dönteni, melyik veszteség csökkentésével kezdjük**: átállás, meghibásodás, sebesség vagy selejt.
- **Ha a munkaszervezés veszteségeit akarod feltárni**: az OLE ugyanezt a logikát alkalmazza a munkára (Braglia és mtsai. 2021).
- **Kevésbé alkalmas** gépek, üzemek vagy cégek összehasonlítására, valamint pufferekkel tagolt folyamatok egészének jellemzésére: a mutató egy gépre vonatkozik, kis sorozatú egyedi gyártásban kevésbé hasznos, pufferekkel tagolt folyamatokban pedig át kell értelmezni (Muchiri és Pintelon 2008).

40.2. Lépések

1. **Jelöld ki a berendezést és az időkereteket**: a tervezett üzemidő a műszakidő a tervezett szünetek és a tervezett leállások nélkül. Határozd meg az ideális ciklusidőt



40.1. ábra. Az OEE-számítás lépései.

(a gép névleges vagy bizonyítottan elérhető legjobb ciklusideje).

2. **Rögzítsd a veszteségkategóriákat** Nakajima hat nagy vesztesége szerint: meghibásodás; beállítás, átállás; üresjárat és kisebb leállások; csökkentett sebesség; selejt és utómunka; indítási veszteség (Nakajima 1988). Döntsd el, milyen hosszú leállás számít kisebb leállásnak.
3. **Gyűjtsd az adatokat műszakonként**, ha lehet, gépi adatgyűjtéssel: a kézzel rögzített kisebb leállások gyakran kimaradnak, és az OEE értéke az adatok pontosságán múlik (Muchiri és Pintelon 2008).
4. **Számítsd ki a tényezőket**: A = működési idő / tervezett üzemidő; P = ideális ciklusidő × legyártott darab / működési idő; Q = jó darab / legyártott darab.
5. **Számítsd ki az OEE-t, és rajzold meg a vízesést**: OEE $= A \cdot P \cdot Q$ = a jó darabok ideális ideje / tervezett üzemidő. Az időszaki értéket az összegekből számold, ne a műszakonkénti arányok átlagából.
6. **Rangsorold a hat nagy veszteséget** percben, és vizsgáld meg, melyik tényező okozza a műszakok közötti szórást.
7. **Válassz fejlesztési akciót**: a legnagyobb veszteségre (átállásnál SMED, meghibásodásnál megelőző karbantartás, sebességnél és kisebb leállásnál okfeltárás, selejtnél folyamatszabályozás). Becsüld meg a hatását.
8. **Kövesd az eredményt**: a gép saját korábbi értékeihez hasonlítva, trenddiagramon.

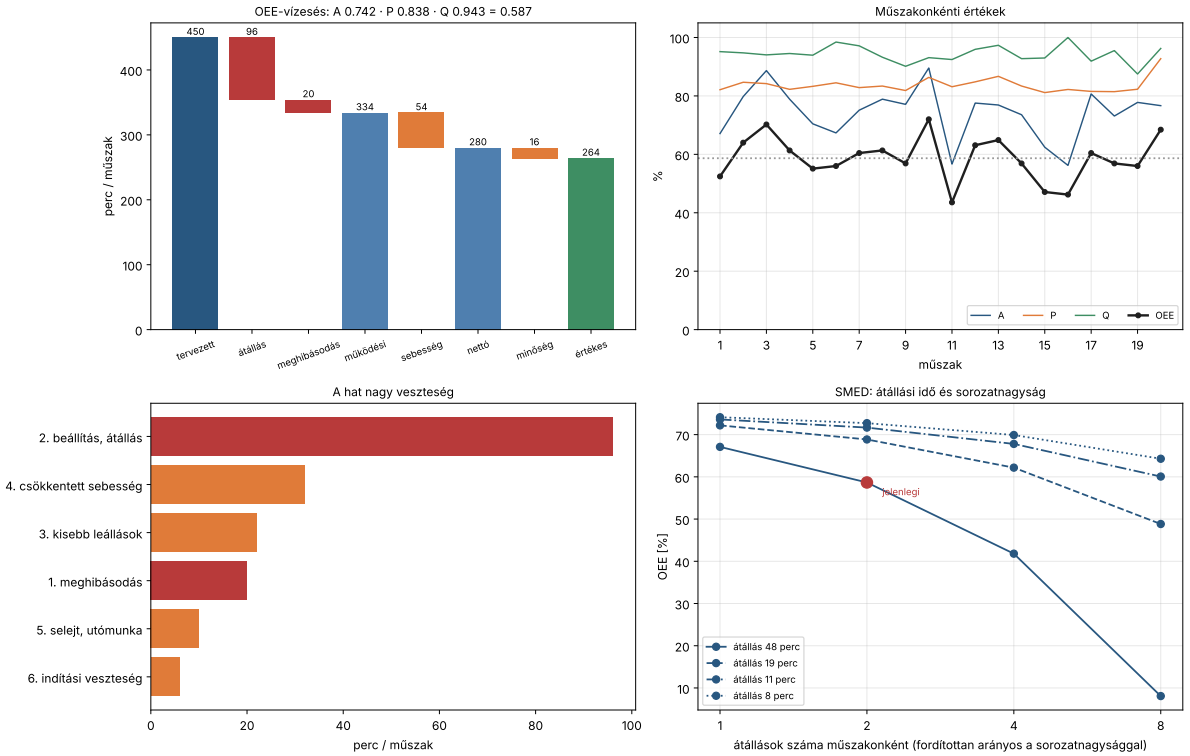
40.3. Kidolgozott példa: a ForgácsTech megmunkáló központja

A ForgácsTech az MES első ütemében gépi adatgyűjtést vezetett be. A megmunkáló központ 20 műszakjának adatait a sablon tartalmazza; a tervezett üzemidő műszakonként 450 perc, az ideális ciklusidő 4 perc. A 40.1. táblázat az egy műszakra jutó veszteségeket mutatja.

40.1. táblázat. A megmunkáló központ veszteségei 20 műszak átlagában.

Veszteség	Csoport	Perc / műszak	Arány
1. meghibásodás	állásidő	20	4,4%
2. beállítás, átállás	állásidő	96	21,3%
3. üresjárat, kisebb leállások	sebesség	22	4,9%
4. csökkentett sebesség	sebesség	32	7,1%
5. selejt és utómunka	minőség	10	2,2%
6. indítási veszteség	minőség	6	1,3%
értékes idő		264	58,7%

Az időszakra $A = 0{,}742$, $P = 0{,}838$, $Q = 0{,}943$, az OEE $0{,}587$. A műszakonkénti OEE 0,44 és 0,72 között szóródik; az eltérés nagyobbik részét (az OEE logaritmusának szórásnégyzetéből 87%-ot) a rendelkezésre állás okozza: a három átállásos és a meghibásodásos műszakok a leggyengébbek (40.2. ábra). A SMED után 8 perces átállással és változatlan sorozatnagysággal az OEE 0,727 lenne; négy átállással (fele akkora sorozatokkal) 0,699, a gép előtti készlet és várakozás pedig a felére csökken. A ForgácsTech a második változatot választotta, mert célja a határidő-tartás.



40.2. ábra. Az OEE-vízesés, a műszakonkénti A, P, Q és OEE, a hat nagy veszteség, valamint az OEE az átállási idő és az átállások száma függvényében. A notebookkal rajzolva.

A VárosiBringa javítóműhelyének három szerelőjére az OLE 0,72, 0,83 és 0,63; az összesített érték 0,72. A harmadik szerelőnél a várakozás (60 perc) és az utómunka is nagyobb: az okot az alkatrész-ellátásban és a betanításban kell keresni, nem a szerelőben.

Tanulságok:

- **A legnagyobb veszteség nem mindig a legláthatóbb.** A meghibásodást mindenki észreveszi, de itt az átállás ötször annyi időt visz el.
- **Az összegekből számolj.** A műszakonkénti arányok átlaga eltérhet az időszaki értéktől, ha a műszakok tervezett ideje vagy darabszáma különbözik.
- **A SMED megtakarítása kétféleképpen használható fel.** Kapacitásra (nagyobb OEE) vagy rugalmasságra (kisebb sorozat, rövidebb átfutás); a döntés a cél függvénye.
- **Az OEE a saját fejlődést méri.** A ForgácsTech a gép korábbi értékeihez hasonlít, nem iparági átlagokhoz.

40.4. Sablon és notebook

- oee_sablon.xlsx: „Adatok” lap legfeljebb 40 műszakkal, műszakonkénti és időszaki

A, P, Q, OEE, adatellenőrzés, trenddiagram; „Veszteségek” lap a hat nagy veszteséggel és OEE-vízeséssel; „SMED” lap átállási változatokkal (OEE, sorozatnagyság, gép előtti készlet); „OLE” lap a munkaerő-hatékonysággal. A ForgácsTech és a VárosiBringa példájával kitöltve.

- oee.ipynb · Megnyitás Google Colabban: műszakonkénti és időszaki számítás, a hat nagy veszteség, a szórás felbontása a három tényezőre, SMED-változatok rácsa, OLE (a 40.2. ábra így készült).

40.5. Előnyök és korlátok

40.2. táblázat. Az OEE-számítás előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Egyetlen, könnyen érthető mutató, amely három veszteségcsoportra bontható (Nakajima 1988)	Egy gépre vonatkozik; a gépek egymásra hatását nem mutatja (Muchiri és Pintelon 2008)
A vízesés és a hat nagy veszteség a fejlesztési prioritást is kijelöli	A három tényezőt egyenlő súllyal kezeli (Muchiri és Pintelon 2008)
Gépi adatgyűjtéssel folyamatosan követhető	Az eredmény az adatgyűjtés pontosságán és a veszteségek osztályozásán múlik (Muchiri és Pintelon 2008)
A munkára (OLE) és más erőforrásokra is kiterjeszthető (Braglia és mtsai. 2021)	Üzemek közötti összehasonlításra nem alkalmas: nincs mindenhol érvényes viszonyítási érték (Muchiri és Pintelon 2008)

Gyakori buktató

- **Optimista ideális ciklusidő.** Ha az ideális ciklusidő a ténylegesen elérhetőnél lassabb, a P tényező mesterségesen nagy, és a sebességveszteség rejtve marad.
- **A tervezett üzemidő manipulálása.** Ha az átállást „tervezett leállásnak” minősítjük, eltűnik a mutatóból, pedig a SMED éppen ezt csökkentené.
- **Arányok átlagolása.** Az időszaki OEE-t az összegekből kell számítani.
- **Az OEE mint rangsor.** A dolgozók vagy műszakok rangsorolása a mutató torzításához vezet; a cél a veszteségek feltárása.

40.6. Mintapromptok

Mintaprompt: veszteségkategóriák kialakítása

```
Berendezésünk: [GÉP, termékek, műszakrend]. A jelenleg rögzített
állásidő-okok: [LISTA].
Feladat: rendeld a rögzített okokat Nakajima hat nagy veszteségének
kategóriáihoz, jelöld, melyik ok nem sorolható be egyértelműen, és
javasolj határt a kisebb leállásokra. Javasolj egyszerű adatgyűjtési
módot (gépi jel vagy kezelői rögzítés) mindegyik kategóriára.
```

Mintaprompt: fejlesztési akció a legnagyobb veszteségre

```
OEE-elemzésünk eredménye: A = [A], P = [P], Q = [Q]; a hat nagy
veszteség percben műszakonként: [TÁBLÁZAT]. Célunk: [CÉL, például
rövidebb átfutás vagy nagyobb kapacitás].
Feladat: javasolj fejlesztési akciót a két legnagyobb veszteségre,
indokold, hogy a célhoz melyik illeszkedik jobban, és nevezd meg,
milyen adat kell a hatás ellenőrzéséhez. A hatást a sablon SMED
lapjával vagy a notebookkal számoljuk ki.
```

40.7. Feladat

7. projektlépés (negyedik rész): OEE vagy hatékonysági mutató

Számítsd ki projekted megvalósító folyamatának egy kritikus berendezésére az OEE-t (mért vagy reálisan becsült adatokkal), rajzold meg a vízesést, rangsorold a hat nagy veszteséget, és becsüld meg egy fejlesztési akció hatását. Ha a folyamatban nincs gép, a munka hatékonyságát (OLE) vagy egy analóg időfelbontást (például szolgáltatásban a fizetett idő és a valóban értékteremtő idő arányát) számítsd ki.

41. BPMN-modellezés

Eszközkártya

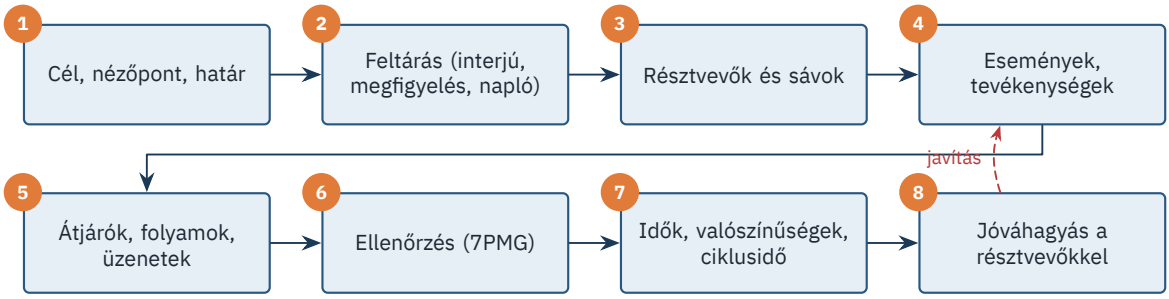
- **Mire való?** Egy több résztvevős folyamat lépéseinek, döntési pontjainak, párhuzamos ágainak és üzenetváltásainak szabványos (BPMN 2.0) leírása; a modell szerkezeti ellenőrzése, átlagos ciklusidejének kiszámítása és szimulációja.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel egy több résztvevős folyamatot szabályos BPMN-diagramon ábrázolni, és a modellt a minőségi irányelvek szerint ellenőrizni.
- **V-lépés:** 6. Megvalósítás (a megvalósító folyamat tervezése); 1. Probléma és működési koncepció (a jelenlegi folyamat feltárása); 3. Követelmények (az informatikai támogatás követelményeinek forrása); 9. Üzemeltetés (folyamatbányászat, fejlesztés).
- **Bemenet:** a modell célja és nézőpontja, a feltárás eredményei (interjúk, megfigyelés, dokumentumok, eseménynapló), a résztvevők és szerepek, a tevékenységek ideje és a döntési ágak valószínűsége.
- **Kimenet:** jelenlegi és jövőbeli BPMN-modell, szerkezeti ellenőrzés, átlagos ciklusidő és eloszlás, BPMN 2.0 XML-fájl, gyakorló eseménynapló.
- **Időigény:** egy 10–20 tevékenységes modell feltárás után 2–4 óra; a jóváhagyás egy workshop.
- **Kézikönyv:** 20. fejezet.

41.1. Mikor használd?

- **Ha a folyamatban több szervezeti egység vagy külső partner vesz részt**, és az átadások, az üzenetek és a döntési pontok okozzák a gondot.
- **Ha a folyamathoz informatikai támogatás készül**: a modell megmutatja, mely lépéseket kell a rendszernek támogatnia, és milyen adatok keletkeznek (Dumas és mtsai. 2018, 3. fejezet).
- **Ha a jelenlegi és a jövőbeli működést kell összevetni**, és a változást az érintettekkel jóvá kell hagyatni.
- **Ha a folyamat átfutását modellből kell becsülni**: a folyamatáram-elemzés és a szimuláció a modellre épül (Dumas és mtsai. 2018, 7. fejezet).
- **Kevésbé alkalmas** az egyetlen anyagáram idővonalának és készleteinek bemutatására; arra az értékáram-térkép a jobb (37. eszközlap).

41.2. Lépések

1. **Határozd meg a modell célját, nézőpontját és határát**: kinek készül, mit kell megmutatnia, mi indítja és mi zárja a folyamatot.
2. **Tárd fel a folyamatot** legalább két módszerrel: dokumentumelemzés, megfigyelés, eseménynapló, interjú, workshop (Dumas és mtsai. 2018, 5. fejezet).



41.1. ábra. A BPMN-modellezés lépései.

3. **Jelöld ki a résztvevőket és a sávokat**: önálló szervezet vagy külső partner külön medence, a szervezeten belüli szerepek sávok.
4. **Vedd fel az eseményeket és a tevékenységeket**: egy indító és egy záró esemény, a tevékenységek „ige + tárgy” névvel (Mendling, Reijers, és Aalst 2010).
5. **Kösd össze az elemeket**: szekvenciafolyam a résztvevőn belül, üzenetfolyam a medencék között; kizáró átjáró a döntésekhez, párhuzamos átjáró az egyszerre futó ágakhoz, minden elágazáshoz azonos típusú összefutással (Object Management Group 2011).
6. **Ellenőrizd a modellt** a hét modellezési irányelv szerint: kevés elem, kevés ág egy elemen, egy indító és egy záró esemény, strukturált modell, VAGY átjáró kerülése, ige + tárgy nevek, 50 elem fölött alfolyamatok (Mendling, Reijers, és Aalst 2010).
7. **Rendelj időt és valószínűséget**, és számítsd ki az átlagos ciklusidőt: soros lépéseknél összeg, kizáró ágaknál súlyozott átlag, párhuzamos ágaknál maximum, ismétlésnél $T/(1-r)$ (Dumas és mtsai. 2018, 7. fejezet). Ha az eloszlás vagy az erőforrás-versengés is számít, szimulálj.
8. **Hagyasd jóvá a résztvevőkkel**, és javítsd a modellt a visszajelzések szerint.

41.3. Kidolgozott példa: a ForgácsTech rendeléstel jesítési folyamata

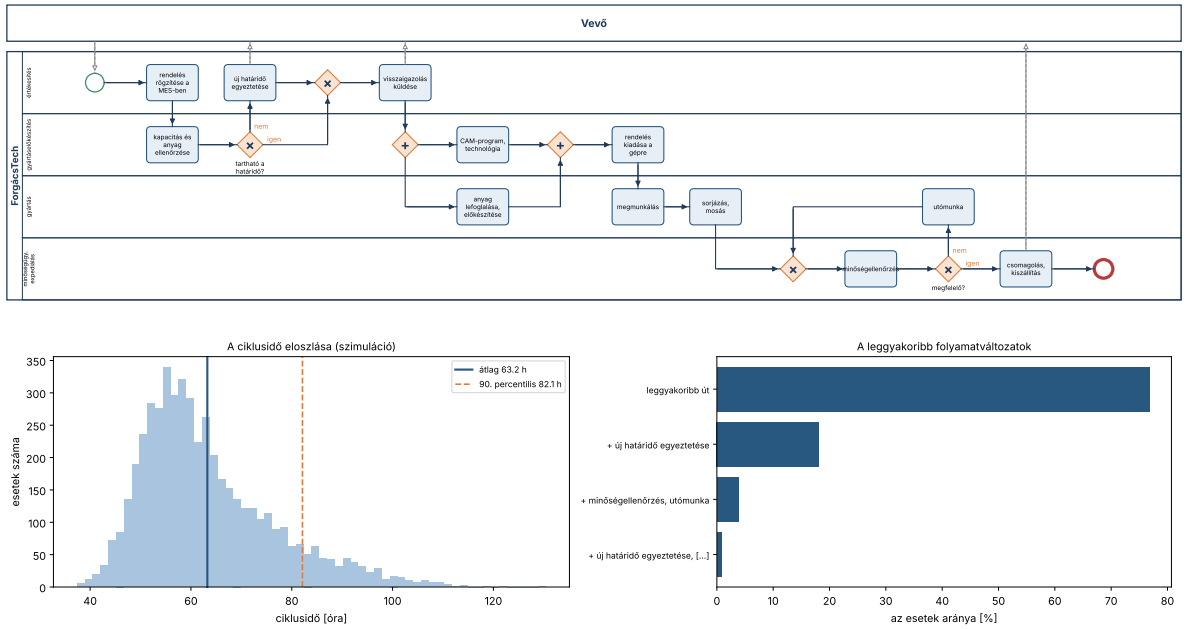
A jövőbeli modell 12 tevékenységet, 4 sávot és a vevőt mint külső résztvevőt tartalmaz (kézikönyv 20. fejezet). A sablon „Elemek” és „Kapcsolatok” lapja a modell 21 elemét és 26 folyamát rögzíti; a szerkezeti ellenőrzés hibát nem talál. A folyamatáram-elemzés blokkjait a 41.1. táblázat mutatja.

41.1. táblázat. A jövőbeli folyamat folyamatáram-elemzése (az idők a várakozást is tartalmazzák).

Blokk	Típus	Idő [óra]
rendelés rögzítése, kapacitás-ellenőrzés	soros	2,5
határidő-egyeztetés (20%: 24 óra)	XOR	4,8
visszaigazolás	soros	0,5
CAM-program (6 óra) ∥ anyag (4 óra)	ÉS	6,0
kiadás (várakozás a gépre), megmunkálás, sorjázás	soros	33,0
minőségellenőrzés (8,1 óra), 5%-ban 2 órás utómunka	ismétlés	8,6
csomagolás, kiszállítás	soros	7,9

Blokk	Típus	Idő [óra]
összesen		**63,3**

Az átlagos ciklusidő 63,3 óra, napi 15 munkaórával 4,2 munkanap, összhangban az értékáram-térkép jövőbeli állapotával (37. eszközlap). A visszaigazolásig tartó szakasz a jelenlegi 26,6 óráról 7,8 órára rövidül. A szimuláció szerint az átlag mellett az eloszlás is fontos: a 90. percentilis 82 óra, mert a határidő-egyeztetés és az utómunka egyes rendeléseket jelentősen késleltet (41.2. ábra). A notebook a modellt BPMN 2.0 XML-fájlba exportálja; a fájl a bpmn.io szerkesztőjében megnyitható.



41.2. ábra. A ForgácsTech jövőbeli folyamata a táblázatból rajzolva, a szimulált ciklusidő eloszlása és a leggyakoribb folyamatváltozatok. A notebookkal rajzolva.

Tanulságok:

- **A párhuzamosítás azonnal nyer.** A CAM-program és az anyag-előkészítés egyidejű indítása 4 órát takarít meg rendelésenként.
- **Az átlag nem elég a határidő vállalásához.** A vállalásnál a ciklusidő eloszlásának felső részével kell számolni.
- **A modell táblázatban is karbantartható.** Az elem- és kapcsolatlistából a szerkezeti hibák képlettel is kiszűrhetők, és a modell szabványos fájlba exportálható.
- **A szimuláció itt nem modellezi a sorokat.** A gép előtti várakozást átlagos értékként tartalmazza; a sorok dinamikájához sorbanállási modell kell (44. eszközlap).

41.4. Sablon és notebook

- bpmn_sablon.xlsx: „Sávok”, „Elemek” (legfeljebb 60 elem típussal, sávval, oszloppal, idővel, feladattípussal, a be- és kimenő folyamok számával, szerkezeti ellenőrzéssel), „Kapcsolatok” (legfeljebb 90 folyam, a medencék közötti szabály ellenőrzésével),

„Ellenőrzés” (a 7PMG szempontjai és egy minimális formai ellenőrzés), „Folyamatáram” (blokkos ciklusidő-számítás feladat, XOR, ÉS és ismétlés blokkokkal; jelenlegi és jövőbeli változat). A ForgácsTech példájával kitöltve.

- bpmn.ipynb · Megnyitás Google Colabban: szerkezeti ellenőrzés gráfként, BPMN 2.0 XML export diagramadatokkal (`folyamat.bpmn`), Monte Carlo ciklusidő-szimuláció, eseménynapló generálása (`esemenynaplo.csv`, a 53. eszközlap bemenete) és a folyamatváltozatok gyakorisága (a 41.2. ábra így készült).

41.5. Előnyök és korlátok

41.2. táblázat. A BPMN-modellezés előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Szabványos, széles körben ismert jelölés, eszközök között cserélhető (Object Management Group 2011; ISO/IEC 2013)	A gazdag elemkészlet miatt könnyű túlbonyolítani; a modellezőnek fegyelem kell (Mendling, Reijers, és Aalst 2010)
A résztvevők és az átadások jól láthatók	A modell a folyamat logikáját mutatja, az időt és a készletet csak kiegészítő adatokkal
A modellből ciklusidő számítható és szimuláció építhető (Dumas és mtsai. 2018, 7. fejezet)	A jelenlegi modell csak annyira jó, amennyire a feltárás; a szabályzat szerinti modell félrevezet
Végrehajtható modellként munkafolyamat-motorban is futtatható (Object Management Group 2011)	A végrehajtható modellhez sokkal több részlet kell, mint a megértéshez

Gyakori buktató

- **Szekvenciafolyam két medence között.** A medencék közötti kapcsolat mindig üzenetfolyam; a szekvenciafolyam csak egy résztvevőn belül futhat.
- **Párosítatlan átjárók.** A párhuzamos ágat ÉS átjáróval kell összefuttatni; ha kizáróval zárjuk, a folyamat a modell szerint többször folytatódik.
- **Döntés átjáró nélkül.** Ha egy feladatból feltétel nélkül két folyam indul, az párhuzamos végrehajtást jelent, nem döntést.
- **Leírás helyett ige nélküli címkék.** A „számla” vagy „ellenőrzés” név nem mondja meg, mi történik; „számla rögzítése”, „méretek ellenőrzése” a jó.
- **Egyetlen nagy modell.** 50 elem fölött a modell áttekinthetetlen; alfolyamatokra kell bontani.

41.6. Mintapromptok

Mintaprompt: folyamatleírásból BPMN-modell, két lépésben

```
Szerepkör: tapasztalt folyamatelemző és BPMN 2.0 modellező vagy.
Cél: az alábbi leírásból a folyamat JELENLEGI (as-is) állapotának
BPMN 2.0 modellje, optimalizálás és kiegészítés nélkül.
Leírás: [FOLYAMATLEÍRÁS]

1. lépés (most): NE készíts még modellt. Foglald össze, hogyan
értelmezed a leírás szerkezetét, és sorold fel: résztvevők (medencék,
sávok), indító és záró esemény(ek), tevékenységek („ige + tárgy”),
döntési pontok (XOR, ÉS), üzenetek a résztvevők között, dokumentumok.
Tegyél fel tisztázó kérdést minden kétértelmű vagy hiányos pontra,
és kérd a jóváhagyásomat.
2. lépés (a jóváhagyás után): készítsd el a modellt táblázatként
(elemek: azonosító, típus, név, sáv; kapcsolatok: honnan, hová,
típus, feltétel), vagy kérésre érvényes BPMN 2.0 XML-ként egyedi
azonosítókkal és helyes sourceRef/targetRef hivatkozásokkal.
```

Mintaprompt: modell és eseménynapló összevetése

```
Szerepkör: folyamatbányászati szakértő vagy.
Bemenetek: (1) a dokumentált folyamatmodell elem- és kapcsolatlistája:
[MODELL]; (2) eseménynapló-kivonat (eset, tevékenység, időbélyeg,
erőforrás): [NAPLÓ].
Feladat: (1) párosítsd a napló tevékenységeit a modell elemeivel;
(2) sorold fel a modellben nem szereplő tevékenységeket, a kimaradó
lépéseket és a modelltől eltérő sorrendeket, esetszámmal együtt;
(3) javasolj módosítást a modellen, és jelöld, mely következtetést
kell a teljes naplón gyakoriságszámítással ellenőrizni.
Ne tételezz fel okot, amelyre a napló nem ad bizonyítékot.
```

41.7. Feladat

7. projektlépés (ötödik rész): BPMN-modell

Készítsd el projekted megvalósító folyamatának BPMN 2.0 modelljét legalább három résztvevővel (medencével vagy sávval) és legalább tíz tevékenységgel, egy BPMN-szerkesztőben (például a bpmn.io webes szerkesztőjében) vagy a sablonnal és a notebookkal. Ellenőrizd a 7PMG szerint, rendelj a tevékenységekhez időt, és számítsd ki az átlagos ciklusidőt. Ha nyelvi modellt használsz, a kétlépcsős munkamenetet kövesd, és dokumentáld, mit javítottál a generált modellen.

42. Gantt-diagram és ütemezés

Eszközkártya

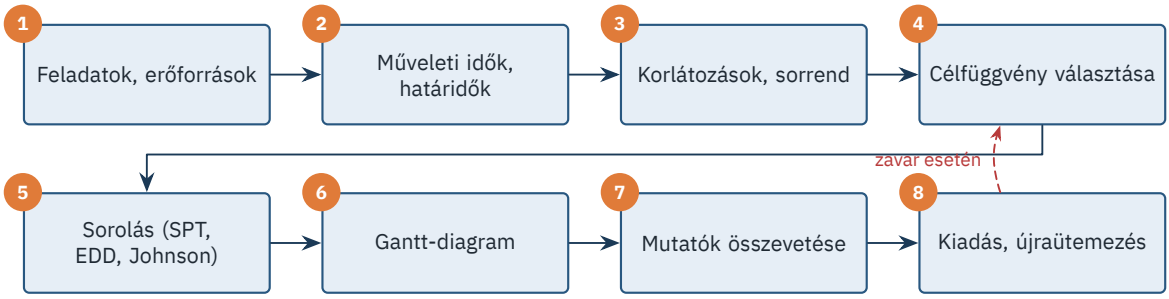
- **Mire való?** Munkafeladatok sorrendjének és időzítésének meghatározása egy vagy több erőforráson; az ütemterv ábrázolása Gantt-diagrammal; a sorolási elvek összevetése az átlagos átfutás, a késések és a teljes átfutás szerint.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel munkafeladatokat ütemezni egy vagy több erőforráson, Gantt-diagramon ábrázolni, és az ütemtervet a szokásos mutatókkal értékelni.
- **V-lépés:** 6. Megvalósítás (a gyártás és a szolgáltatás napi irányítása); 9. Üzemeltetés. A projektek ütemezésére is használható (54. eszközlap).
- **Bemenet:** a munkafeladatok listája műveleti időkkel, határidőkkel és érkezési sorrenddel; az erőforrások; a sorrendi és erőforrás-korlátozások; a célfüggvény.
- **Kimenet:** ütemterv (sorrend, kezdési és befejezési idők), Gantt-diagram, mutatók (átlagos átfutás, késő feladatok, legnagyobb és teljes késedelem, teljes átfutás).
- **Időigény:** egy műszak vagy nap ütemezése az adatok birtokában 15–30 perc.
- **Kézikönyv:** 21. fejezet, 21.2. szakasz.

42.1. Mikor használd?

- **Ha több munkafeladat osztozik egy szűk erőforráson**, és el kell dönteni, milyen sorrendben kerüljenek sorra.
- **Ha a határidő-tartás vagy az átfutás a gond**, és meg kell mutatni, mit érne egy másik sorolási elv.
- **Ha két egymást követő műveleti egység között várakozás keletkezik** (például megmunkálás és mérés): a Johnson-eljárás ilyenkor optimális sorrendet ad (Johnson 1954).
- **Ha az ütemtervet közérthetően kell bemutatni** a műhelyben vagy a vezetőknek: a Gantt-diagram több mint száz éve a termelésirányítás alapeszköze (Wilson 2003).
- **Kevésbé alkalmas** sok gépes műhelyrendszer optimális ütemezésére; ott célalgoritmus (heurisztika, egészértékű vagy kényszerprogramozás) kell (Pinedo 2022).

42.2. Lépések

1. **Sorold fel a munkafeladatokat és az erőforrásokat**: mit, min kell elvégezni.
2. **Add meg a műveleti időket és a határidőket** ugyanabban az időegységben, a tervezés kezdetétől mérve.
3. **Rögzítsd a korlátozásokat**: időbeli (legkorábbi kezdés, megszakíthatóság), kizárási (közös erőforrás) és sorrendi (egy feladat egy másik eredményére vár) (Lakatos, é. n., 6.1. szakasz).
4. **Válaszd ki a célfüggvényt**: átlagos átfutás, legnagyobb késedelem, késő feladatok száma, teljes átfutás vagy átállási veszteség.



42.1. ábra. Az ütemezés lépései.

5. **Sorolj**: egy gépen SPT az átlagos átfutásra, EDD a legnagyobb késedelemre optimális; két egymást követő gépen a Johnson-eljárás a teljes átfutásra: a legkisebb műveleti idejű feladat az elejére kerül, ha az első gépen van, a végére, ha a másodikon (Lakatos, é. n., 6.3. szakasz).
6. **Rajzold meg a Gantt-diagramot**: soronként egy erőforrás, a téglalapok hossza a műveleti idő.
7. **Vesd össze a mutatókat**: melyik sorrend mit nyer és mit veszít.
8. **Add ki az ütemtervet, és ütemezz újra**, ha zavar (meghibásodás, sürgős rendelés, anyaghiány) lép fel.

42.3. Kidolgozott példa: a ForgácsTech megmunkáló központja

A megmunkáló központra hat rendelés vár (kézikönyv 21. fejezet). A 42.1. táblázat a négy sorolási elv eredményét mutatja.

42.1. táblázat. Sorolási elvek egy gépen.

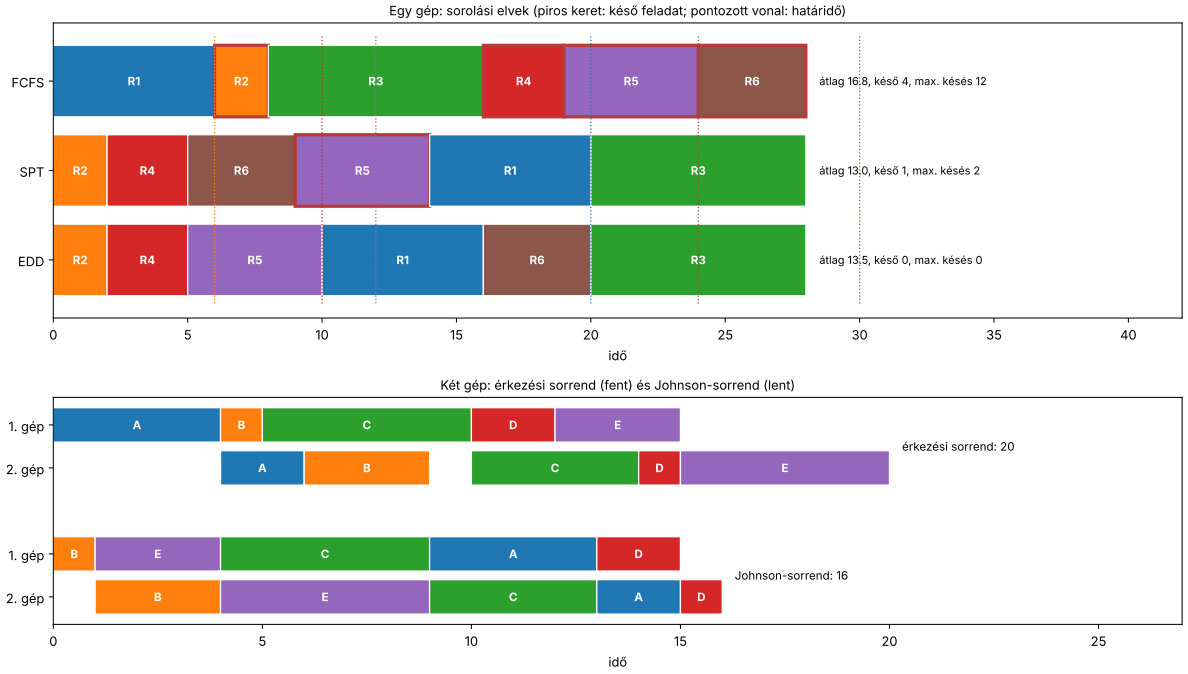
Sorolás	Sorrend	Átlagos átfutás [óra]	Késő	Legnagyobb késedelem [óra]	Teljes késedelem [óra]
FCFS	R1, R2, R3, R4, R5, R6	16,8	4	12	27
SPT	R2, R4, R6, R5, R1, R3	13,0	1	2	2
EDD	R2, R4, R5, R1, R6, R3	13,5	0	0	0
CR	R5, R2, R1, R4, R3, R6	15,5	3	6	11

A teljes keresés (720 sorrend) igazolja, hogy az SPT az átlagos átfutásra, az EDD a legnagyobb késedelemre optimális. A megmunkálás után a darabok a 3D mérőgépre kerülnek; öt rendelésnél a Johnson-sorrend (B, E, C, A, D) a teljes átfutást 20 óráról 16 órára rövidíti, ami egyben az alsó korlát (42.2. ábra).

Tanulságok:

- **A sorrend ingyen van.** Ugyanazokkal a gépekkel és időkkel a késések száma négyről nullára csökken.
- **Minden szabály más célt szolgál.** Az SPT az átfutást, az EDD a határidőt védi; ha mindkettő fontos, a MES-ütemező EDD-vel indul, és az egyforma határidejűeket SPT szerint rendezi.
- **A Johnson-eljárás a második gép üresjáratát csökkenti.** A rövid első műveletű feladattal kezd, hogy a második gép hamar munkát kapjon.
- **A kritikus arány érzékeny a tervezés kezdetére.** A CR dinamikus helyzetekre való; statikus listánál nem feltétlenül jobb az EDD-nél.

42.4. Sablon és notebook



42.2. ábra. Sorolási elvek egy gépen, és két gép ütemezése érkezési és Johnson-sorrendben. A notebookkal rajzolva.

lap legfeljebb 15 feladattal, Johnson- és érkezési sorrendű ütemtervvel, alsó korláttal és időráccsal. A ForgácsTech példájával kitöltve.

- gantt.ipynb · Megnyitás Google Colabban: a sorolások összevetése, teljes keresés kis feladatszámnál az optimum igazolására, Johnson-eljárás, Gantt-diagramok (a 42.2. ábra így készült).

42.5. Előnyök és korlátok

42.2. táblázat. A Gantt-diagram és a sorolási elvek előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
A Gantt-diagram közérthető, a műhelyben is használható (Wilson 2003)	Nagy feladatszámnál áttekinthetetlen; a függőségeket nem mutatja jól
A sorolási elvek egyszerűek, gyorsak, egy gépen bizonyítottan optimálisak egy-egy célra (Lakatos, é. n., 6.3. szakasz)	Egyetlen célfüggvényre optimálisak; több cél egyidejű kezelése kompromisszumot kíván
A Johnson-eljárás két gépre optimális, kézzel is alkalmazható (Johnson 1954)	Három vagy több gépre és műhelyrendszerre a feladat általában NP-nehéz (Pinedo 2022)
A sablonnal és a notebookkal a változatok gyorsan összevethetők	Determinisztikus időkkel számol; a zavarokra újraütemezéssel kell válaszolni

Gyakori buktató

- **Rossz időegység vagy kezdőpont.** A határidőket és a műveleti időket azonos egységben, ugyanattól a kezdőponttól kell mérni.
- **Átállási idő elhagyása.** Ha a sorrendtől függő átállás jelentős, a sorolási elvek eredménye félrevezető; az átállást is be kell építeni a modellbe.
- **Egyszer elkészített, soha nem frissített ütemterv.** Az ütemterv a zavarok után azonnal elavul; az újraütemezés szabályait előre rögzíteni kell.
- **Optimalizálás a szűk keresztmetszeten kívül.** A nem szűk keresztmetszetű gép sorrendjének finomítása keveset ér; a figyelmet a korlátozó erőforrásra kell fordítani.

42.6. Mintapromptok

Mintaprompt: ütemezési feladat megfogalmazása

```
A helyzet leírása: [ERŐFORRÁSOK, RENDELÉSEK, HATÁRIDŐK, SZOKÁSOK].
Feladat: fogalmazd meg ütemezési feladatként: munkafeladatok,
műveletek, erőforrások, korlátozások (időbeli, kizárási, sorrendi)
és a célfüggvény. Jelöld, melyik adat hiányzik, és milyen
egyszerűsítést javasolsz (például egy gép vagy két gép egymás után).
Ütemtervet ne készíts: azt a sablonnal számoljuk ki.
```

Mintaprompt: ütemterv magyarázata a műhelynek

```
Az ütemterv és a mutatók: [TÁBLÁZAT: sorrend, kezdés, befejezés,
határidő, késedelem; összevetés más sorolással].
Feladat: írj rövid, közérthető magyarázatot a műszakvezetőnek arról,
miért ez a sorrend, mit nyerünk vele az érkezési sorrendhez képest,
és mi a teendő, ha egy sürgős rendelés érkezik vagy a gép leáll.
A számokat ne változtasd meg.
```

42.7. Feladat

7. projektlépés (választható): ütemezés

Ha projektedben több feladat osztozik egy erőforráson, készíts ütemtervet egy jellemző napra vagy műszakra legalább két sorolási elvvel, rajzold meg a Gantt-diagramot, és indokold a választott sorrendet. Ha a folyamatban két egymást követő szűk erőforrás van, alkalmazd a Johnson-eljárást.

43. ABC-elemzés és készlethatékonyság

Eszközkártya

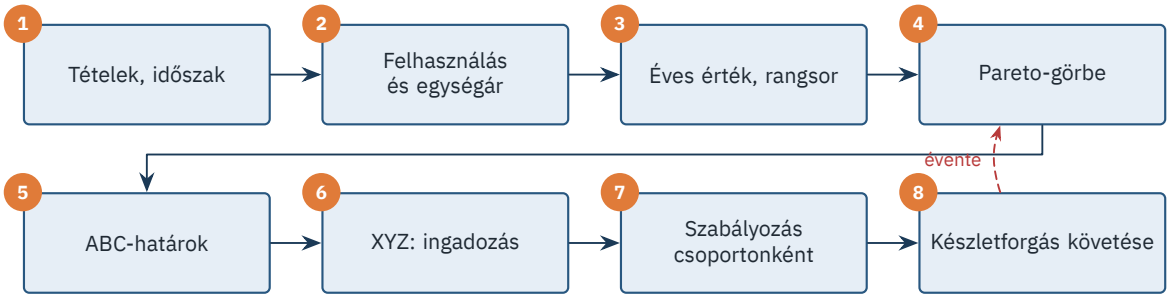
- **Mire való?** A készlettételek csoportosítása éves felhasználási értékük (ABC) és felhasználásuk ingadozása (XYZ) szerint, hogy a készletgazdálkodás figyelme és a szabályozás szigorúsága a tétel jelentőségéhez igazodjon; a készletforgás és a készlethatékonyság mérése.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel elvégezni egy készlet ABC- és XYZ-elemzését, és a csoportokhoz eltérő készletgazdálkodási szabályt rendelni.
- **V-lépés:** 6. Megvalósítás (a logisztikai és beszerzési folyamat tervezése); 9. Üzemeltetés (készletcsökkentés, folyamatos fejlesztés).
- **Bemenet:** a tételek listája egységárral és (lehetőleg havi bontású) felhasználással egy évre; a havi készletértékek.
- **Kimenet:** Pareto-görbe, ABC- és XYZ-besorolás, ABC–XYZ mátrix javasolt szabályozással, fordulatszám, készletnapok, 1000 Ft forgalomra jutó készlet.
- **Időigény:** az adatok kigyűjtése után 1 óra.
- **Kézikönyv:** 21. fejezet, 21.5. szakasz.

43.1. Mikor használd?

- **Ha sok a tétel, és kevés az idő**: az ABC-elemzés megmutatja, mely kevés tételre érdemes a figyelmet összpontosítani (Silver, Pyke, és Thomas 2016).
- **Ha a készlet sok pénzt köt le**, és el kell dönteni, hol érdemes csökkenteni.
- **Ha egységes szabályozás helyett differenciáltat akarsz** (nyilvántartás, felülvizsgálat gyakorisága, rendelési mód, biztonsági készlet).
- **Ha a készletforgást vagy a készletnapokat kell követni**, vagy egy fejlesztés hatását kimutatni.
- **Kevésbé alkalmas** önmagában a kritikus, de olcsó tételek kezelésére: ezeket kritikusság szerint külön is meg kell jelölni.

43.2. Lépések

1. **Határold le a tételek körét és az időszakot**: például az összes anyag- és szerszámtétel egy évre.
2. **Gyűjtsd ki a felhasználást és az egységárat**, lehetőleg havi bontásban.
3. **Számítsd ki az éves értéket**, és rendezd a tételeket csökkenő sorrendbe.
4. **Rajzold meg a Pareto-görbét**: a kumulált értékarányt a kumulált tételarány függvényében.
5. **Jelöld ki az ABC-határokat**: tételszám szerint (a könyv példáiban 20–40–40%) vagy érték szerint (a kumulált érték 80 és 95%-áig); a határ a vállalati körülményekhez igazítható.



43.1. ábra. Az ABC–XYZ-elemzés lépései.

6. **Sorold XYZ-csoportokba a tételeket** a havi felhasználás relatív szórása szerint (például $X \le 0{,}5 < Y \le 1{,}0 < Z$).
7. **Rendelj szabályozást a csoportokhoz**: az A tételeknél pontos előrejelzés, gyakori felülvizsgálat, rendeléshez kötött beszerzés; a C tételeknél egyszerű nyilvántartás, nagyobb rendelési tételek, keretrendelés.
8. **Kövesd a készletforgást**: fordulatszám = éves felhasználás / átlagos készlet; készletnapok = napok száma / fordulatszám (Silver, Pyke, és Thomas 2016).

43.3. Kidolgozott példa: a ForgácsTech anyag- és szerszámkészlete

A sablon 20 tétel havi felhasználását tartalmazza (kézikönyv 21. fejezet). A 43.1. táblázat a tételszám szerinti besorolást foglalja össze.

43.1. táblázat. A ForgácsTech tételeinek ABC–XYZ-besorolása.

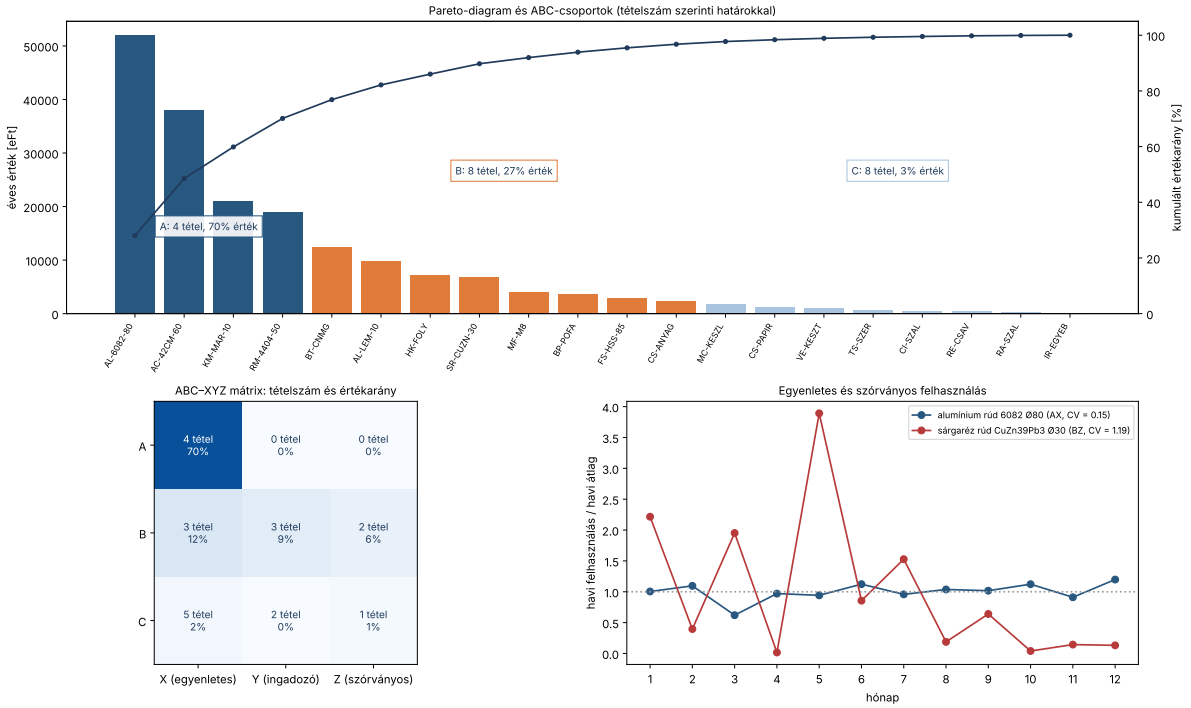
Csoport	Tételek	Tételarány	Éves érték [MFt]	Érték-arány	XYZ
A	4	20%	130,0	70%	4 X
B	8	40%	49,4	27%	3 X, 3 Y, 2 Z
C	8	40%	6,0	3%	5 X, 2 Y, 1 Z
összesen	**20**		**185,4**		

Az érték szerinti határokkal (80/95%) az A csoport hat tételre bővül (a forgácsolóbetét és az alumíniumlemez is A lesz), és 82%-ot fed le; a határon lévő tételeknél a kritikusság és a beszerzési idő dönt. Az átlagos készlet 31,1 MFt, a fordulatszám 6,0/év, a készlet 38,5 munkanapnyi felhasználás, 1000 Ft forgalomra 168 Ft készlet jut (43.2. ábra).

Tanulságok:

- **Kevés tétel, sok pénz.** Négy tétel (három rúdanyag és a keményfém marószár) adja az érték 70%-át: a készletcsökkentést itt érdemes kezdeni.
- **Az A tételek egyenletesek.** Mind a négy AX: rendeléshez vagy ütemtervhez kötött beszerzéssel, kis biztonsági készlettel kezelhetők; a MES-ben bevezetett anyaglefoglalás pontosan ezt teszi.
- **A szórványos tételek más logikát kívánnak.** A BZ és CZ tételeknél (sárgaréz rúd, befogó pofák, mérőcsap-készlet) a rendelésre beszerzés vagy a tudatos biztonsági készlet a kérdés.
- **A besorolás alapja számít.** A tételszám és az érték szerinti határok a határ közelében más eredményt adnak; a választást dokumentálni kell.

43.4. Sablon és notebook



43.2. ábra. A Pareto-diagram ABC-csoportokkal, az ABC–XYZ mátrix és egy egyenletes, illetve egy szórványos felhasználású tétel havi profilja. A notebookkal rajzolva.

javasolt szabályozással; „Készlethatékonyság” lap havi készletértékekkel, fordulatszámmal és készletnapokkal. A ForgácsTech példájával kitöltve.

- abc.ipynb · Megnyitás Google Colabban: Pareto-görbe, a két besorolási alap összevetése, XYZ és ABC–XYZ mátrix, készletforgás és egy készletcsökkentési változat (a 43.2. ábra így készült).

43.5. Előnyök és korlátok

43.2. táblázat. Az ABC–XYZ-elemzés előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Egyszerű, gyors, kevés adatot igényel (Silver, Pyke, és Thomas 2016)	Csak az értéket nézi; a kritikusságot, a beszerzési időt és az avulást nem
A figyelmet a kevés, nagy értékű tételre irányítja	A csoporthatárok önkényesek; a határ közeli tételek besorolása vitatható
Az XYZ-dimenzióval a szabályozás módja is kijelölhető	A múltbeli felhasználásra épül; új vagy kifutó tételeknél félrevezető
A készletforgás a Little-törvénnyel közvetlenül átfutássá alakítható	Az értékalapot (bekerülési vagy eladási ár) következetesen kell választani

Gyakori buktató

- **Darabszám szerinti rendezés.** Az ABC az éves felhasználási értéken alapul, nem a darabszámon vagy az egységáron.
- **Egyszeri elemzés.** A felhasználás változik; a besorolást rendszeresen (például évente)

frissíteni kell.
- **Az olcsó, de kritikus tétel elhanyagolása.** Egy C tétel hiánya is leállíthatja a termelést; a kritikus tételeket külön jelölni kell.
- **Eltérő értékalap a forgalomban és a készletben.** A fordulatszámhoz mindkettőt ugyanazon az áron kell mérni.

43.6. Mintapromptok

Mintaprompt: differenciált szabályozás javaslata

```
ABC–XYZ-elemzésünk eredménye: [TÁBLÁZAT: tétel, csoport, éves érték,
CV, beszerzési idő, kritikusság].
Feladat: javasolj csoportonként készletszabályozást (felülvizsgálat
gyakorisága, rendelési mód, biztonsági készlet logikája, nyilvántartás
pontossága), és jelöld azokat a tételeket, amelyeknél a kritikusság
vagy a beszerzési idő miatt a csoportjától eltérő kezelés indokolt.
Számszerű készletszintet ne adj meg.
```

Mintaprompt: adattisztítás az elemzés előtt

```
A tételtörzs és a felhasználási adatok kivonata: [ADATOK].
Feladat: keresd meg az elemzést torzító hibákat: ismétlődő vagy
összevonandó tételek, eltérő mértékegységek, hiányzó vagy kiugró árak,
egyszeri nagy felhasználások. Mindegyikhez javasolj kezelést, és jelöld,
mely döntés kíván szakmai jóváhagyást.
```

43.7. Feladat

7. projektlépés (választható): ABC-elemzés és készlethatékonyság

Ha projektedben készlet van (anyag, alkatrész, késztermék, de akár egy szolgáltatás fogyóeszközei), készíts ABC–XYZ-elemzést legalább 15 tételre, javasolj csoportonkénti szabályozást, és számítsd ki a fordulatszámot és a készletnapokat. Szolgáltatásnál a készlet helyett a vevői sorbanállást is elemezheted (44. eszközlap).

44. Sorbanállási modellek

Eszközkártya

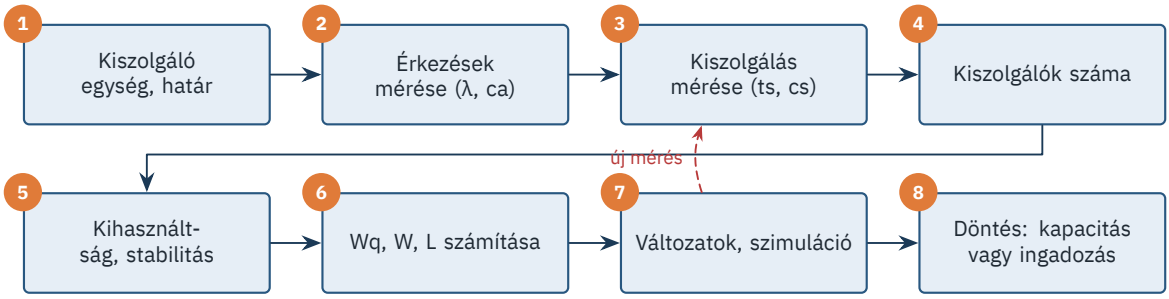
- **Mire való?** Egy kiszolgáló egység (gép, munkahely, pult, ügyfélszolgálat) várakozási idejének, sorhosszának és kihasználtságának becslése az érkezések, a kiszolgálás és a kiszolgálók száma alapján; a kapacitásbővítés és a változékonyság csökkentésének összevetése.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel egyszerű sorbanállási modellel kiszámítani a várakozási időt, a sorhosszt és a kihasználtságot, és meghatározni a szükséges kiszolgálói kapacitást.
- **V-lépés:** 6. Megvalósítás (a kapacitás méretezése); 4. Architektúra (a kiszolgálók számának és az automatizálás mértékének megválasztása); 8. Validáció (szolgáltatási szint ellenőrzése); 9. Üzemeltetés.
- **Bemenet:** érkezési intenzitás és az érkezések közötti idő relatív szórása; átlagos kiszolgálási idő és relatív szórása; a kiszolgálók száma.
- **Kimenet:** kihasználtság, a várakozás valószínűsége, átlagos várakozás és átfutás, átlagos sor- és rendszerhossz, változatok összevetése.
- **Időigény:** a mérések után 30–60 perc; szimulációval néhány óra.
- **Kézikönyv:** 21. fejezet, 21.3–21.4. szakasz.

44.1. Mikor használd?

- **Ha a kapacitás átlagban elég, mégis sorok alakulnak ki**: a várakozást az ingadozás és a kihasználtság együtt okozza (Hopp és Spearman 2008).
- **Ha el kell dönteni, hány kiszolgáló kell** egy adott várakozási célhoz (például legfeljebb 15 perc átlagos várakozás).
- **Ha egy fejlesztés hatását kell becsülni**: több kapacitás vagy kisebb ingadozás (időpontfoglalás, szabványos munka, kisebb sorozatok)?
- **Ha szolgáltatásban a vevő a sorban vár**, és a várakozás a szolgáltatás minőségének része.
- **Kevésbé alkalmas** erősen időben változó érkezésekre, véges időtávra és összetett útvonalakra; ezekhez diszkrét eseményű szimuláció kell (Law 2015).

44.2. Lépések

1. **Határold le a kiszolgáló egységet**: mi a „kliens” (munkadarab, kerékpár, ügyfél), mi a kiszolgáló, hol kezdődik és végződik a sor.
2. **Mérd az érkezéseket**: az érkezési intenzitást (λ) és az érkezések közötti idő relatív szórását (c_a); véletlenszerű (Poisson) érkezésnél $c_a \approx 1$.
3. **Mérd a kiszolgálást**: az átlagos kiszolgálási időt (t_s) és a relatív szórását (c_s).
4. **Add meg a kiszolgálók számát** (c).
5. **Számítsd ki a kihasználtságot**: $\rho = \lambda t_s / c$; ha $\rho \geq 1$, a sor korlátlanul nő.



44.1. ábra. A sorbanállási elemzés lépései.

6. **Számítsd ki a jellemzőket**: M/M/c esetben pontosan (Erlang C), általános eloszlásoknál közelítéssel; egy kiszolgálónál Kingman közelítésével: $W_q \approx \frac{c_a^2 + c_s^2}{2} \cdot \frac{\rho}{1-\rho} \cdot t_s$ (Kingman 1961; Hopp és Spearman 2008). Ellenőrizd a Little-törvénnyel: $L = \lambda W$ (Lakatos, é. n., 8.3. szakasz).
7. **Vizsgálj változatokat**: több kiszolgáló, rövidebb kiszolgálás, kisebb ingadozás; ha a napon belüli lefolyás is számít, szimulálj.
8. **Dönts**: kapacitást bővítesz, vagy az ingadozást csökkented; a döntést a mért adatokkal ismételten ellenőrizd.

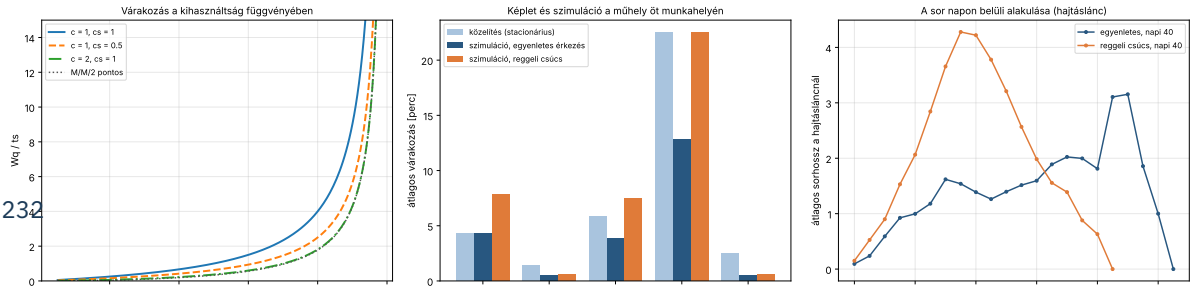
44.3. Kidolgozott példa: a VárosiBringa javítóműhelye

A műhely szűk keresztmetszete a hajtáslánc-javítás: óránként 5,33 kerékpár érkezik, a javítás átlagosan 9 perc, a kihasználtság 80% (kézikönyv 21. fejezet). A 44.1. táblázat a sablon „Változatok” lapjának eredménye.

44.1. táblázat. A javítóműhely várakozási ideje különböző helyzetekben (G/G/c közelítés).

Változat	ρ	c	c_a	c_s	W_q [perc]	L
hajtáslánc, M/M/1	0,80	1	1	1	36,0	4,0
hajtáslánc, mért kiszolgálási szórás	0,80	1	1	0,5	22,5	2,8
fékjavítás, 2 szerelő	0,62	2	1	1	9,3	2,1
mosás + lánctisztítás, nyári csúcs	0,86	1	1	1	41,5	5,9
fékjavítás, nyári csúcs	0,86	2	1	1	38,7	6,4
mosás, csúcs, időpontfoglalással	0,86	1	0,5	0,5	10,4	2,1

A két szerelős fékjavításnál a közelítés (9,3 perc) jól egyezik az M/M/2 pontos értékével (8,8 perc). A teljes műhely diszkrét eseményű szimulációja szerint a hajtáslánc előtti átlagos várakozás egyenletes érkezésnél mintegy 13 perc: a műhely minden reggel üresen nyit, és a megelőző munkahelyek kisimítják az érkezéseket. Ha a kerékpárok 60%-a az első három órában érkezik, a délelőtti sor felhalmozódik, és a várakozás csaknem kétszeresére nő (44.2. ábra).



- **A kihasználtság közelében a várakozás robbanásszerűen nő.** 80%-ról 86%-ra emelkedve a várakozás 36 percről 42 percre nő, 95%-nál a kiszolgálási idő 19-szerese lenne.
- **A változékonyság csökkentése kapacitásnövelés nélkül is hat.** A szabványos munka (kisebb c_s) és az időpontfoglalás (kisebb c_a) a csúcsban a mosásnál 41 percről 10 percre csökkenti a várakozást.
- **A párhuzamos kiszolgálók egyesítése előnyös.** Két szerelő közös sorral azonos kihasználtságnál kevesebbet várakoztat, mint két külön sor (Cachon és Terwiesch 2013).
- **A napon belüli lefolyás más képet adhat.** A stacionárius képlet a hosszú távú átlagot adja; a nyitás utáni és a csúcsidőszaki sorokat a szimuláció mutatja meg.

44.4. Sablon és notebook

- sorbanallas_sablon.xlsx: „M-M-c” lap pontos M/M/c számítással (Erlang C, P0, L_q, W_q, W, L, a várakozási időhatár túllépésének valószínűsége, Little-ellenőrzés); „Változatok” lap legfeljebb 20 helyzettel, G/G/c közelítéssel és figyelmeztetésekkel; „Kihasználtság” lap a várakozás–kihasználtság görbével. A VárosiBringa példájával kitöltve.
- sorbanallas.ipynb · Megnyitás Google Colabban: pontos és közelítő képletek összevetése, a teljes műhely diszkrét eseményű szimulációja egyenletes és reggeli csúcsos érkezéssel, a sor napon belüli alakulása (a 44.2. ábra így készült).

44.5. Előnyök és korlátok

44.2. táblázat. A sorbanállási modellek előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Kevés adatból gyors, jól értelmezhető becslés (Lakatos, é. n., 8.3. szakasz)	Stacionárius állapotot feltételez: hosszú távon állandó intenzitásokat és $\rho < 1$-et
Megmutatja a kihasználtság és a változékonyság hatását (Hopp és Spearman 2008)	A közelítések nagy kihasználtságnál pontosak, kicsinél és összetett hálózatokban kevésbé
A Little-törvénnyel a mérések könnyen ellenőrizhetők (Little 1961)	Az érkezések és a kiszolgálás szórását mérni kell; a feltételezett exponenciális eloszlás túlbecsülhet
A szimuláció tetszőleges részletezettségre kiterjeszthető (Law 2015)	A szimuláció adat- és időigényes, eredménye több futás statisztikai értékelését kívánja

Gyakori buktató

- **Méretezés 100%-os kihasználtságra.** Ingadozó érkezésnél a sor korlátlanul nő; a szűk keresztmetszeten tartalék kell.
- **Mértékegység-keveredés.** Az intenzitás óránként, a kiszolgálási idő percben: a képletekben egységesíteni kell.
- **Exponenciális eloszlás feltételezése mérés nélkül.** Szabványos munkánál a kiszolgá-

lási idő szórása sokkal kisebb, a várakozás kisebb lesz a becsültnél.
- **Átlagos nap, átlagos óra.** Ha az érkezések napon belül erősen ingadoznak, a napi átlagból számolt várakozás félrevezető.

44.6. Mintapromptok

Mintaprompt: a sorbanállási modell kiválasztása

```
A rendszer leírása: [ÉRKEZÉSEK, KISZOLGÁLÓK, MÉRT ADATOK, NAPI LEFOLYÁS].
Feladat: (1) írd le a rendszert Kendall-jelöléssel, és indokold;
(2) jelöld, mely feltevés (stacionaritás, független érkezések,
végtelen sor) teljesül és melyik nem; (3) javasold, elég-e a képlet,
vagy szimuláció kell, és milyen mérésekre van szükség a döntéshez.
Számot ne becsülj: a számítást a sablonnal végezzük.
```

Mintaprompt: változatok értelmezése a döntéshozónak

```
Sorbanállási elemzésünk változatai: [TÁBLÁZAT: változat, □, c, ca, cs,
Wq, L]. Célunk: [SZOLGÁLTATÁSI CÉL, például átlagos várakozás ≤ 15 perc].
Feladat: foglald össze közérthetően, melyik változat teljesíti a célt,
mennyibe kerülhet (kapacitás vagy szervezési változtatás), milyen
kockázatokkal jár, és mit kell mérni a bevezetés után.
A számokat ne változtasd meg.
```

44.7. Feladat

7. projektlépés (választható): sorbanállás

Ha projektedben kiszolgáló egység van (gép, munkahely, pult), mérd vagy becsüld az érkezéseket és a kiszolgálást, számítsd ki a várakozást a jelenlegi helyzetre és legalább két változatra (kapacitás, ingadozás), és értelmezd, melyik a hatékonyabb beavatkozás.

IV. rész – A V jobb ága

Pannon Egyetem
University of Pannonia

45. Integrációs terv és interfészmátrix

Eszközkártya

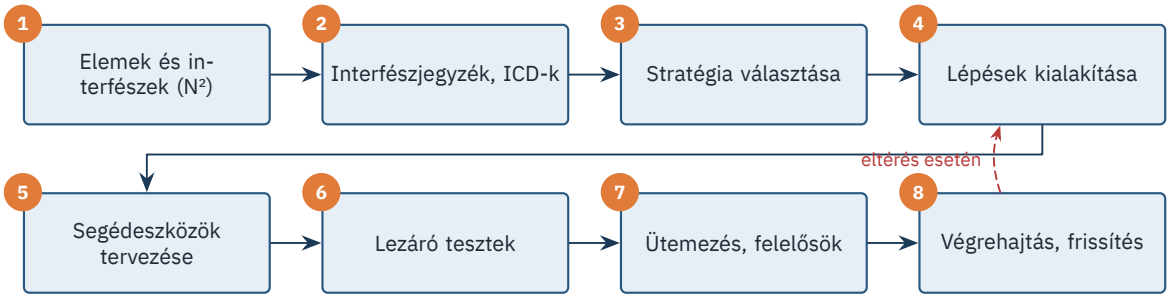
- **Mire való?** Az integráció megtervezése: az elemek és az interfészek nyilvántartása, az N²-mátrix, az integrációs lépések (mi kerül össze, milyen segédeszközzel, milyen teszt zárja, ki a felelős), az ütemezés és a terv ellenőrzése.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel interfészjegyzéket és integrációs tervet készíteni, integrációs stratégiát választani, és minden lépéshez segédeszközt és ellenőrzést rendelni.
- **V-lépés:** 7. Integráció. Tervezése a koncepciónál kezdődik, és a részletes tervezés során finomodik.
- **Bemenet:** a rendszer felépítése (termékfa), az N²-diagram (14. eszközlap), az interfészkövetelmények, az elemek várható elkészülése, a rendelkezésre álló teszteszközök.
- **Kimenet:** interfészjegyzék az ICD-k állapotával, N²-mátrix, integrációs lépések lezáró tesztekkel, ütemterv kritikus úttal, a terv ellenőrzésének eredménye.
- **Időigény:** egy 10–15 elemes rendszer első terve 2–4 óra; a terv az integráció végéig élő dokumentum.
- **Kézikönyv:** 22. fejezet.
- **Továbbolvasás:** (NASA 2016, 5.2. szakasz és H függelék).

45.1. Mikor használd?

- **Ha a rendszer több, külön fejlesztett vagy beszerzett elemből áll**, és az elemeket valakinek össze kell raknia és működőképességüket igazolnia kell.
- **Ha az elemeket több beszállító vagy csapat készíti**: az interfészek megállapodást kívánnak, amelyet az interfészvezérlő dokumentum (ICD) rögzít (Defense Acquisition University 2001).
- **Ha az elemek különböző időpontokban készülnek el**, és el kell dönteni, mit lehet már integrálni, és mit kell addig helyettesítővel (csonkkal, szimulátorral) pótolni.
- **Ha a rendszert a gyártónál összerakják, majd szétszedve a helyszínre szállítják**: a gyári és a helyszíni átvételi teszt (FAT és SAT) is az integrációs terv része.
- **Kevésbé szükséges** egyetlen beszállítótól származó, kész, egyben szállított termék esetén; ott elég az átvételi teszt.

45.2. Lépések

1. **Gyűjtsd össze az elemeket és az interfészeket.** Az N²-diagram átlójába az elemek kerülnek, a cellákba a köztük haladó anyag, energia, információ vagy erőhatás (14. eszközlap). Az ember (a kezelő) és a környezet (az üzem) is elem.
2. **Készítsd el az interfészjegyzéket.** Minden interfészhez azonosító, a két elem, az irány, a típus, a tartalom, a dokumentum (ICD) és az állapota, a felelős és a kockázat



45.1. ábra. Az integrációs terv elkészítésének lépései.

tartozik. Az interfészkövetelmény-dokumentum (IRD) a követelményeket, az ICD a megvalósítást rögzíti (Defense Acquisition University 2001).

3. **Válassz stratégiát.** Egyszerre, alulról felfelé, felülről lefelé vagy szálanként; a választást a rendszer szerkezete, a kockázatok, az elemek elkészülése és a segédeszközök határozzák meg (ISO/IEC/IEEE 2023, 6.4.8. szakasz; INCOSE 2023b).
4. **Alakítsd ki a lépéseket.** Mi kerül hozzá, mely interfészek válnak ellenőrizhetővé. Egy interfész csak olyan lépésben ellenőrizhető, amikor mindkét eleme már a rendszerben van.
5. **Tervezd meg a segédeszközöket.** Csonkok és meghajtók a még hiányzó elemek helyett, szimulátorok, teszteszközök, mérőműszerek.
6. **Rendelj minden lépéshez lezáró tesztet.** A következő lépés csak akkor kezdődik, ha a teszt sikeres; így a hiba a legutóbb hozzáadott elemben vagy interfészében keresendő.
7. **Ütemezz, és jelöld ki a felelősöket.** A lépések előzményeiből a kritikus út módszerével számold ki a legkorábbi kezdéseket és a tartalékokat (Kelley és Walker 1959).
8. **Hajtsd végre, és frissítsd a tervet.** Eltérés esetén javítsd az ICD-t vagy az elemet, ismételd meg a lépés tesztjét, és vezesd át a változást a terven.

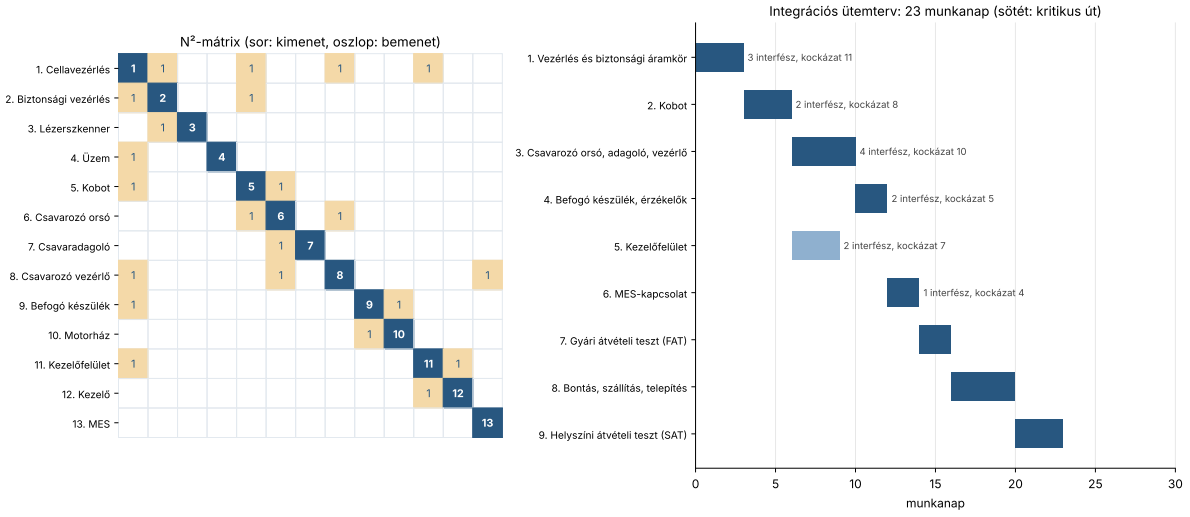
45.3. Kidolgozott példa: a KoboCella integrációja

A kézikönyv nyolc fő interfészét (22. fejezet) a csapat a részletes tervezés során a cellavezérlés hat belső kapcsolatával egészítette ki; a teljes jegyzék 13 elemet és 14 interfészt tartalmaz. Az N²-mátrix szerint a cellavezérléshez hat interfész kapcsolódik, a többi elemhez legfeljebb három (45.2. ábra). A terv kilenc lépésből áll: hat integrációs lépés, a gyári átvételi teszt, a bontás, szállítás és telepítés, végül a helyszíni átvételi teszt (45.1. táblázat).

45.1. táblázat. A KoboCella integrációs lépései.

Lépés	Hozzáadott elemek	Interfészek	Segédeszköz	Lezáró teszt	Előzmény	Nap
1. Vezérlés és biztonsági áramkör	cellavezérlés, biztonsági vezérlés, lézerszkenner, üzemi betáplálás	3	I/O-szimulátor	T1: vészleállítás, védőmező	–	3

Lépés	Hozzáadott elemek	Inter-fészek	Segédeszköz	Lezáró teszt	Előz-mény	Nap
2. Kobot	kobot	2	tömegpróba-test a csavarozó helyett	T2: mozgás, védett leállítás	1	3
3. Csavarozó	orsó, adagoló, vezérlő	4	kalibrált nyomaték-mérő	T3: nyomaték és szög	2	4
4. Befogó, érzékelők	befogó készülék, motorház	2	mintadara-bok a tűrésmező szélein	T4: pozicionálás	3	2
5. Kezelőfelület	kezelőfelület, kezelő	2	kezelői próbaforga-tókönyv	T5: kezelői feladatok	2	3
6. MES-kapcsolat	MES	1	MES-tesztpéldány	T6: adatátvitel	4, 5	2
7. FAT	–	–	–	ciklusidő, minőség, biztonság	6	2
8. Bontás, szállítás, telepítés	–	–	–	bekötési ellenőrzés	7	4
9. SAT	–	–	–	háromműszakos próbaüzem	8	3



45.2. ábra. A KoboCella N²-mátrixa és integrációs ütemterve. A notebookkal rajzolva.

A terv ellenőrzése a 14 interfészből 13-at talált rendben; az I-07 interfész (csavarozó vezérlő → MES) ICD-je még csak tervezet volt. A kézikönyvben leírt eltérés éppen itt jelentkezett: a T6 teszten derült ki, hogy a nyomatékadat formátuma a két oldalon eltér. A kritikus út módszere szerint a teljes integráció 23 munkanap; a kezelőfelület lépésének 3 nap tartaléka van, mert párhuzamosan végezhető a csavarozó és a befogó integrálásával,

minden más lépés a kritikus úton van. A T6 egynapos megismétlése ezért a helyszíni átvételt is egy nappal csúsztatta.

Tanulságok:

- **A jegyzék előre jelzi a kockázatot.** Ha az integráció indulása előtt minden ICD-t jóváhagyatnak, a T6 hibája a tervezőasztalon derül ki, nem a cellánál.
- **A sok kapcsolattal rendelkező elem korán kell.** A cellavezérlésre hat interfész épül, ezért került az első lépésbe; a biztonsági áramkör pedig azért, mert minden további lépés csak működő biztonsági funkciókkal végezhető biztonságosan.
- **Egy lépésre kevés új interfész jusson.** Egyszerre integrálva 14 interfészt kellene egyetlen lépésben ellenőrizni; a tervben legfeljebb négy kerül egy lépésre, így a hiba gyorsan behatárolható.
- **A tartalék megmutatja, hol van mozgástér.** A kritikus úton lévő, kockázatos lépésekhez érdemes előre segédeszközt készíteni.

45.4. Sablon és notebook

- integracios_terv_sablon.xlsx: „Elemek” lap legfeljebb 15 elemmel és integrálási lépésükkel; „Interfészek” lap legfeljebb 30 interfésszel, legördülő elem-, irány- és állapotválasztással, automatikus ellenőrzéssel (nincs lépéshez rendelve, túl korai lépés, ICD nincs jóváhagyva); „N2” lap az automatikusan előálló N^2-mátrixszal; „Lépések” lap legfeljebb 20 lépéssel, előzményekből számolt kezdéssel és befejezéssel, 30 napos időráccsal; „Összesítés” lap a terv lefedettségével és a lépésenkénti interfészszám és kockázat diagramjával. A KoboCella példájával kitöltve.
- integracios_terv.ipynb · Megnyitás Google Colabban: a terv ellenőrzése, N^2-mátrix és kapcsolatszám, kapcsolatokon alapuló sorrendjavaslat, kritikus út számítása, a lépések csúszásának hatása (a 45.2. ábra így készült).

45.5. Előnyök és korlátok

45.2. táblázat. Az integrációs terv és az interfészmátrix előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Az interfészek kezelése láthatóvá válik; a hiányzó vagy jóvá nem hagyott ICD az integráció előtt kiderül	A jegyzék csak azt tartalmazza, amit felismertek; a nem tervezett kölcsönhatások (hő, rezgés, elektromágneses zavar) kimaradhatnak
A lépésenkénti teszt a hibát a legutóbb hozzáadott elemre szűkíti	A sok lépés és a segédeszközök időt és pénzt igényelnek
Az N^2-mátrix a sorrend kialakítását is segíti (Eppinger és Browning 2012)	A kapcsolatszám önmagában nem dönt; a biztonság, a kockázat és az elemek elkészülése gyakran felülírja
A kritikus út megmutatja, melyik lépés csúszása veszélyezteti a határidőt (Kelley és Walker 1959)	Determinisztikus időkkel számol; a tesztek ismétlésének valószínűségét külön kell becsülni

Gyakori buktató

- **Rajz az ICD helyett.** A két oldal rajza nem rögzíti a megállapodást a mértékegységekről, a tűrésekről, az időzítésről és a hibahelyzetek kezeléséről.
- **Az ember és a környezet kihagyása.** A kezelő és az üzem (energia, padló, hálózat) is elem; interfészeik ugyanúgy hibát okozhatnak.
- **Észrevétlen „big bang”.** Ha a segédeszközök nem készülnek el, a lépéseket csak akkor lehet elvégezni, amikor minden elem megérkezett, és a terv egyszerre integrálássá válik.
- **Teszt nélküli lépés.** Lezáró ellenőrzés nélkül a hibák összeadódnak, és a következő lépésben már nem tudni, honnan erednek.
- **Egyszer elkészített terv.** Az elemek késése és a teszteltérések után a sorrendet felül kell vizsgálni.

45.6. Mintapromptok

Mintaprompt: interfészek feltárása

```
A rendszer elemei és működése: [ELEMEK LISTÁJA, RÖVID MŰKÖDÉSLEÍRÁS].
Feladat: sorold fel a lehetséges interfészeket táblázatban (A elem,
B elem, irány, típus: mechanikai, energetikai, adat és jel, ember–gép,
biztonsági, környezeti; mi halad át). Külön jelöld azokat, amelyek
két beszállító vagy csapat között vannak, és azokat, ahol a hibahelyzet
kezelését is rögzíteni kell. Ne találj ki új elemet; ha hiányt látsz,
kérdezz rá.
```

Mintaprompt: integrációs terv kritikája

```
Az integrációs terv: [LÉPÉSEK: hozzáadott elemek, interfészek,
segédeszköz, lezáró teszt, előzmény, időtartam].
Feladat: vizsgáld meg a tervet. Van-e olyan interfész, amelyet olyan
lépésben ellenőriznénk, amikor egyik eleme még hiányzik? Melyik
lépésre jut túl sok új interfész? Hol hiányzik segédeszköz? Mely
lépések kockázatosak és a kritikus úton vannak? Javaslataidat
indokold; az időtartamokat ne változtasd meg.
```

45.7. Feladat

8. projektlépés (választható): integrációs terv

Készíts interfészjegyzéket saját rendszeredhez az N²-diagram alapján, válassz integrációs stratégiát, és bontsd legalább öt lépésre a segédeszközökkel, a lezáró tesztekkel és az előzményekkel. Ellenőrizd a tervet a sablonnal: minden interfész legyen lépéshez rendelve, és jelöld, melyik ICD hiányzik még. Számold ki a kritikus utat, és nevezd meg a két legkockázatosabb lépést.

46. Követelmény-verifikációs mátrix

Eszközkártya

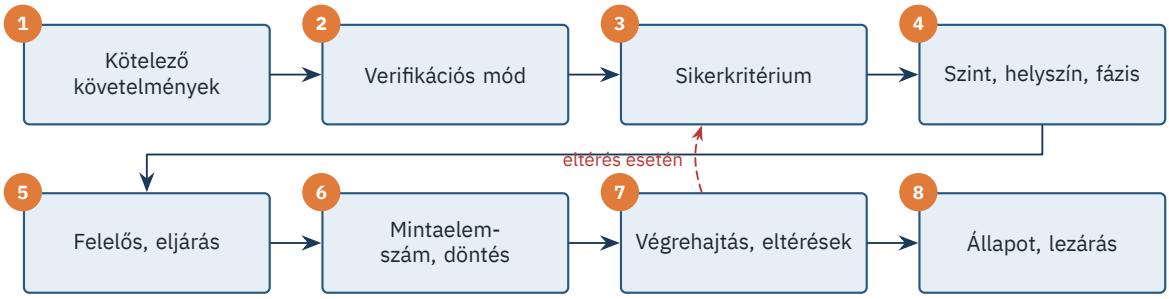
- **Mire való?** A verifikáció megtervezése és követése: minden kötelező követelményhez sikerkritérium, verifikációs mód, szint, helyszín, felelős, eljárás, eredmény és állapot; az eltérések naplózása; a statisztikai döntési szabály (konfidenciahatár, sikeres futás próba) meghatározása.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel követelmény-verifikációs mátrixot készíteni sikerkritériummal, verifikációs móddal és szinttel, és mennyiségi követelményhez statisztikai döntési szabályt rendelni.
- **V-lépés:** a követelmények meghatározásakor indul (3. lépés), a verifikációban (8. lépés) teljesedik ki.
- **Bemenet:** a jóváhagyott követelmények (azonosító, szöveg, forrás, verifikációs mód), a verifikációs terv, a rendelkezésre álló létesítmények és segédeszközök.
- **Kimenet:** kitöltött mátrix sikerkritériumokkal és eredményekkel, eltérésnapló, a verifikáció állapota és lezárhatósága, mintaelemszám-terv.
- **Időigény:** 20–30 követelmény mátrixának első változata 2–3 óra; a verifikáció végéig folyamatosan frissül.
- **Kézikönyv:** 23. fejezet.
- **Továbbolvasás:** (Goldberg és mtsai. 1994, 6.1. és 6.5. szakasz; NASA 2016, 5.3. szakasz és D függelék).

46.1. Mikor használd?

- **Már a követelmények alapvonalba helyezésekor**: ha egy követelményhez nem rendelhető verifikációs mód és sikerkritérium, a követelmény nem verifikálható, és újra kell fogalmazni (9. eszközlap).
- **A verifikációs terv elkészítésekor**: a mátrix megmutatja, mely követelményekhez kell drága létesítmény, segédeszköz vagy hosszú teszt, és ezek mikor esedékesek (Engel 2010).
- **A tesztek alatt és után**: az állapot, az eltérések és az eredménydokumentumok egy helyen követhetők.
- **Átadás előtt**: a verifikáció akkor zárható le, ha minden követelményre van objektív bizonyíték vagy eltérési engedély, és minden eltérés lezárult.
- **Kevésbé szükséges** néhány követelményes, egyszerű feladatnál; ott egy ellenőrző-lista is elég, de a sikerkritériumokat akkor is rögzíteni kell.

46.2. Lépések

1. **Gyűjtsd össze a kötelező követelményeket.** Csak a „kell” követelmények kerülnek a mátrixba, egyedi azonosítóval és a forrásdokumentum megjelölésével (ECSS 2018).



46.1. ábra. A követelmény-verifikációs mátrix elkészítésének és használatának lépései.

2. **Válassz verifikációs módot.** Vizsgálat, elemzés, bemutatás vagy teszt, esetleg ezek kombinációja; a teszt adja a legrészletesebb adatot, de a legdrágább (ISO/IEC/IEEE 2018; INCOSE 2023b).
3. **Rögzítsd a sikerkritériumot.** Mi számít teljesülésnek: mintaelemszám, körülmények, döntési szabály. A kritériumot a teszt előtt kell rögzíteni.
4. **Add meg a szintet, a helyszínt és a fázist.** Komponens, alrendszer vagy rendszer; labor, gyári vagy helyszíni átvétel; és jelöld, kell-e a követelményt minden legyártott példány átvételekor is ellenőrizni.
5. **Jelöld ki a felelőst, és rendeld hozzá az eljárást.** Az eljárás lépésenként leírja a konfigurációt, a mérőeszközöket, a lépéseket, a biztonsági előírásokat és az eltérések kezelését.
6. **Határozd meg a mintaelemszámot és a döntési szabályt.** Mennyiségi követelménynél konfidenciahatárral (Montgomery 2020), nagy megbízhatóságú követelménynél sikeres futás próbával (O'Connor és Kleyner 2012).
7. **Hajtsd végre, és naplózd az eltéréseket.** Eltérésnél állj meg, készíts eltérésjelentést, és döntsd el, hogy a termék vagy az eljárás, a környezet, a mérőeszköz hibás.
8. **Kövesd az állapotot, és zárd le a verifikációt.** Az eredmény dokumentuma kerüljön a mátrixba; a lezárás feltétele, hogy minden követelmény teljesült vagy eltérési engedélyt kapott, és nincs nyitott eltérés.

46.3. Kidolgozott példa: a KoboCella verifikációja

A KoboCella mátrixa kilenc követelményt tartalmaz (23. fejezet). A helyszíni átvétel után nyolc teljesült, a típusváltás bemutatása (R-12) folyamatban van, mert a második motortípus csak később érkezik. A verifikáció során három eltérésjelentés készült (46.1. táblázat).

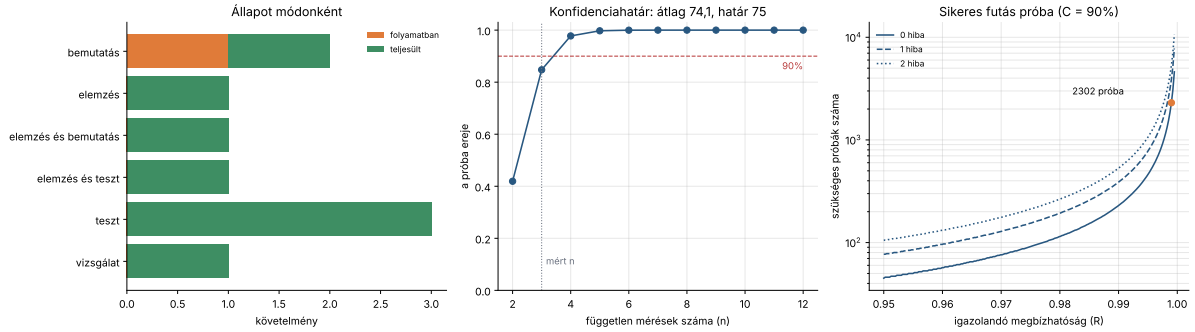
46.1. táblázat. A KoboCella eltérésnaplója.

Eltérés	Követelmény	Leírás	Ok	Intézkedés és ismételt verifikáció
E-01	R-01 ciklusidő	FAT: 77,4 s a 75 s helyett	termékhiba	a kobot pályájának átírása; SAT: 74,1 s, felső határ 74,7 s
E-02	R-09 MES-adatok	a MES hibás nyomatékértéket tárolt	termékhiba	az I-07 ICD pontosítása, a fogadó oldal átalakítása; FAT-ismétlés: 10/10 egyezés

Eltérés	Követel-mény	Leírás	Ok	Intézkedés és ismételt verifikáció
E-03	R-03 nyomaték	a nyomatékmérő kalibrálása a teszt napján lejárt	mérőesz-köz	kalibrált mérőeszközzel megismételt mérés; a termék nem érintett

Az E-03 jól mutatja, miért kell az okot elkülöníteni: a hiba nem a termékben, hanem a verifikációban volt, ezért nem kellett a cellán változtatni, csak a mérést megismételni.

Az R-01 döntési szabálya a műszakátlagokból számolt egyoldali felső konfidenciahatár: 73,8, 74,0 és 74,5 s műszakátlagból a 95%-os felső határ 74,7 s, így a követelmény teljesül. A notebook a próba erejét is kiszámolja: a három műszakkal végzett próba 85% valószínűséggel nyilvánította volna megfelelőnek a ténylegesen 74,1 s átlagú cellát, 90%-os erőhöz négy műszak kellett volna. Az R-03 megbízhatósági része (egy kötés legalább 0,999 valószínűséggel megfelelő, 90%-os konfidenciaszinten) 2302 hibátlan kötést kíván; ha egy hiba megengedett, 3889-et, kettőnél 5321-et (46.2. ábra). A próbaüzem 8096 hibátlan kötése 0,9997 megbízhatóságot igazol.



46.2. ábra. A KoboCella verifikációjának állapota, a ciklusidő-próba ereje és a sikeres futás próba szükséges próbaszáma. A notebookkal rajzolva.

Tanulságok:

- **A sikerkritérium a követelmény kiegészítése.** A „legfeljebb 75 s” csak a mintaelemszámmal, a körülményekkel és a döntési szabállyal együtt verifikálható.
- **A mintaelemszámot az erő alapján kell választani.** Egy sikeres próba is lehetett szerencsés; a terv megmutatja, mennyi esély volt a helyes döntésre.
- **Az eltérés oka dönti el a teendőt.** Termékhibánál javítás vagy eltérési engedély, eljárás- vagy eszközhibánál ismétlés.
- **A nyitott tétel is információ.** Az R-12 nyitott állapota jelzi, hogy a verifikáció nem zárható le, és rögzíti, mi hiányzik.

46.4. Sablon és notebook

- rvm_sablon.xlsx: „Mátrix” lap legfeljebb 40 követelménnyel, legördülő móddal, szinttel és állapottal, automatikus sor-ellenőrzéssel; „Eltérések” lap legfeljebb 20 eltérésjelentéssel; „Állapot” lap módonkénti és állapotonkénti összesítéssel, lezárhatósági ellenőrzéssel és diagrammal; „Statisztika” lap egyoldali konfidenciahatárral, közelítő mintaelemszámmal és sikeres futás próbával. A KoboCella példájával kitöltve.

- rvm.ipynb · Megnyitás Google Colabban: állapotösszesítés, konfidenciahatár, a próba ereje a nem centrális t-eloszlással, a szükséges mintaelemszám, sikeres futás próba és binomiális számítás hibás próbák esetére (a 46.2. ábra így készült).

46.5. Előnyök és korlátok

46.2. táblázat. A követelmény-verifikációs mátrix előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Minden kötelező követelményhez egyértelmű bizonyítékot rendel; a hiányok korán láthatók	Csak azt verifikálja, ami a követelményekben szerepel; a hiányzó követelményt nem pótolja (ez a validáció feladata)
Az állapot és az eltérések egy helyen követhetők, a lezárhatóság egyértelmű	Sok követelménynél táblázatban nehezen kezelhető; követelménykezelő eszköz kell
A statisztikai döntési szabály átláthatóvá teszi a bizonyíték erejét	A t-próba közel normális eloszlást és független méréseket feltételez (Montgomery 2020)
A sikeres futás próba egyszerűen megadja a szükséges próbaszámot	Nagy megbízhatóságnál a próbaszám gyakorlatilag kivitelezhetetlen; elemzéssel kell kiegészíteni (O'Connor és Kleyner 2012)

Gyakori buktató

- **Utólag megfogalmazott sikerkritérium.** Ha a kritérium az eredmény ismeretében születik, a verifikáció nem bizonyít semmit.
- **„Teszt" minden sorban.** A verifikációs mód választása mérlegelés: a vizsgálat és az elemzés sokszor elegendő és olcsóbb.
- **Egymást követő ciklusok független mintaként kezelése.** Az egymást követő mérések összefüggnek; a konfidenciahatár így túl szűk lesz. Független egységeket (műszakot, napot, példányt) kell mintaként használni.
- **Eltérés szóbeli lezárása.** Minden eltéréshez jelentés, ok, intézkedés és ismételt verifikáció tartozik.
- **Teljesült állapot eredménydokumentum nélkül.** A sablon jelzi, ha a „teljesült" sorban nincs hivatkozott jegyzőkönyv.

46.6. Mintapromptok

Mintaprompt: sikerkritériumok megfogalmazása

```
Követelmények: [AZONOSÍTÓ, SZÖVEG, VERIFIKÁCIÓS MÓD].
Feladat: minden követelményhez javasolj sikerkritériumot: mi a mért
jellemző, milyen körülmények között, hány mérés vagy próba, mi a
döntési szabály (például egyoldali konfidenciahatár vagy hibátlan
próbák száma). Jelöld, ha a verifikációs mód nem illik a
követelményhez, és indokold. A követelmények szövegét ne változtasd
meg.
```

Mintaprompt: eltérés elemzése

```
Eltérés: [MI TÖRTÉNT, MELYIK KÖVETELMÉNY, MILYEN TESZT, MÉRT ÉRTÉKEK,
A TESZTKONFIGURÁCIÓ ÉS A MÉRŐESZKÖZÖK ADATAI].
Feladat: segíts eldönteni, hogy termékhibáról vagy az eljárás, a
környezet, a mérőeszköz, a végrehajtás hibájáról van-e szó. Sorold
fel, milyen ellenőrzésekkel lehet a lehetőségeket szétválasztani,
és milyen ismételt verifikáció kell az egyes esetekben. Ne állapíts
meg okot bizonyíték nélkül.
```

46.7. Feladat

8. projektlépés: verifikációs terv

Készíts követelmény-verifikációs mátrixot legalább nyolc kötelező követelménnyel, siker-kritériumokkal, módokkal, szintekkel és felelősökkel. Egy mennyiségi követelményhez határozd meg a döntési szabályt konfidenciahatárral, és a notebookkal számold ki, hány független mérés kell 90%-os erőhöz. Egy megbízhatósági követelményhez add meg a sikeres futás próba szükséges próbaszámát.

47. Használhatósági teszt

Eszközkártya

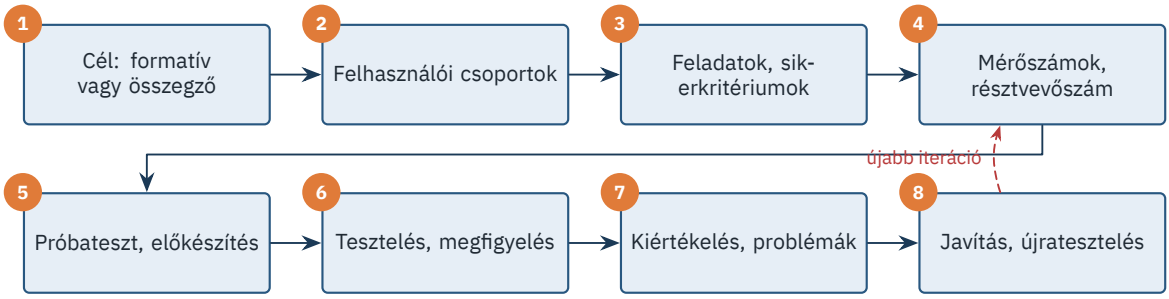
- **Mire való?** Annak vizsgálata, hogy a rendszert a meghatározott felhasználók a céljaik elérésére mennyire hatásosan, hatékonyan és elégedetten használják; a használhatósági problémák feltárása; a validáció egyik fő eszköze.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel használhatósági tesztet megtervezni és lebonyolítani, kiértékelni a sikerességet, az időt és a hibákat, és a mintaelemszám korlátait figyelembe venni.
- **V-lépés:** 9. Validáció; formatív változata már a részletes tervezésben (makettel, prototípussal) alkalmazható.
- **Bemenet:** a működési forgatókönyvek, a felhasználói csoportok és a használati környezet leírása, a célértékek (például sikerarány, célidő), a tesztelendő makett, prototípus vagy termék.
- **Kimenet:** feladatonkénti sikerarány intervallummal, feladatidők, SUS-pontszám, a feltárt problémák súlyossággal, javaslatok és a résztvevőszám indoklása.
- **Időigény:** tervezés fél–egy nap; résztvevőnként 30–60 perc; kiértékelés fél–egy nap.
- **Kézikönyv:** 24. fejezet, 24.3. szakasz; 11. fejezet.
- **Továbbolvasás:** (NASA 2016, 5.4. szakasz).

47.1. Mikor használd?

- **Ha a rendszernek emberi felhasználója van**, és a siker azon múlik, hogy a felhasználók segítség nélkül, hiba nélkül, elfogadható idő alatt elvégzik a feladataikat (ISO 2018).
- **A tervezés közben (formatív teszt)**: makettel vagy prototípussal, hogy a problémák még olcsón javíthatók legyenek (ISO 2019).
- **A validációban (összegző teszt)**: egy MOE vagy célérték (például az, hogy a 65 év felettiek első kölcsönzéseinek legalább 85%-a segítség nélkül sikerüljön) teljesülésének értékelésére.
- **Két változat összevetésére**: ugyanazokkal a feladatokkal és mérőszámokkal.
- **Kevésbé alkalmas** a ritka, veszélyes helyzetek vizsgálatára; azokhoz szimulátor, feladatelemzés vagy emberi megbízhatósági elemzés kell (25. eszközlap).

47.2. Lépések

1. **Döntsd el a teszt célját.** Formatív teszt: a problémák feltárása; összegző teszt: a célértékek igazolása. A kettő eltérő résztvevőszámot és mérőszámokat kíván.
2. **Határozd meg a felhasználói csoportokat**, és csoportonként válassz résztvevőket. A résztvevők a felhasználói népességet képviseljék, ne a fejlesztőcsapatot (Rubin és Chisnell 2008; ISO 2019).



47.1. ábra. A használhatósági teszt lépései.

3. **Írd meg a feladatokat** a működési forgatókönyvekből, sikerkritériummal és célidővel. A feladat a célt mondja meg, ne a lépéseket („kölcsönözz egy kerékpárt vendégként", nem „nyomd meg a Vendég gombot") (Rubin és Chisnell 2008).
4. **Válaszd ki a mérőszámokat, és tervezd meg a résztvevők számát.** Hatásosság: sikerarány, hibák; hatékonyság: idő; elégedettség: SUS (Brooke 1996). Formatív tesztnél a problémafeltárás modellje (Nielsen és Landauer 1993), összegző tesztnél a sikerarány intervalluma (Agresti és Coull 1998) adja a résztvevőszámot.
5. **Végezz próbatesztet**, és készítsd elő a környezetet: eszközök, rögzítés, a moderátor forgatókönyve, a beleegyező nyilatkozat.
6. **Teszteld és figyeld meg a résztvevőket.** Rögzítsd a sikert, az időt, az elakadásokat; a hangos gondolkodás feltárja az okokat. A moderátor ne segítsen, csak ha a résztvevő végleg elakadt (ilyenkor a feladat sikertelen).
7. **Értékeld ki az eredményeket.** Feladatonkénti sikerarány intervallummal, mértani átlagos idő, SUS-átlag; a problémák listája súlyossággal és azzal, kik találkoztak velük.
8. **Javíts, és teszteld újra.** A javított változat új tesztje igazolja, hogy a javítás működik, és nem okozott új problémát.

47.3. Kidolgozott példa: a VárosiBringa alkalmazásának prototípusai

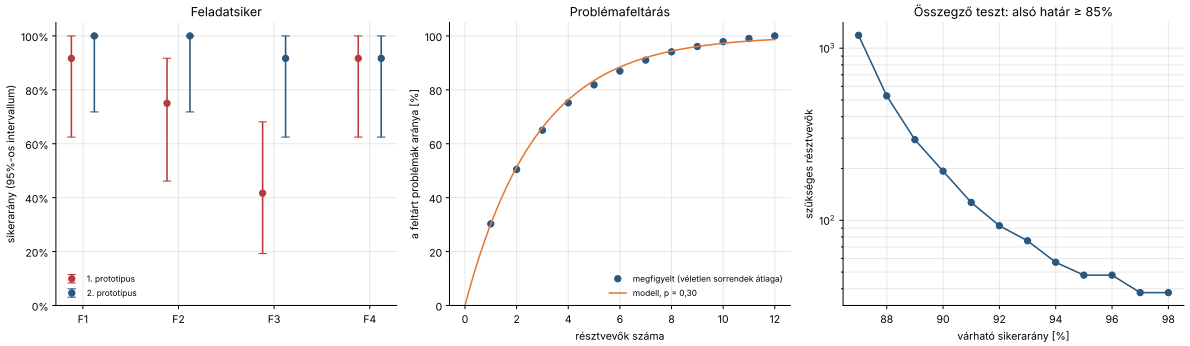
A VárosiBringa csapata a kölcsönző alkalmazás első prototípusát 12 résztvevővel tesztelte: három egyetemistával, három idősebb lakóval, három turistával és három gyengénlátó felhasználóval (11. fejezet). A négy feladat a működési koncepció forgatókönyveiből származott; a vendégként történő kölcsönzés célideje a követelményből adódott (legfeljebb 3 perc). Az eredményeket a 47.1. táblázat mutatja.

47.1. táblázat. Az első prototípus feladatsikerei és -idői (a sikerarány intervalluma módosított Wald-módszerrel).

Feladat	Siker	95%-os intervallum	Idő (mértani átlag)	Célidő
F1 kölcsönzés regisztrált felhasználóként	11/12	62–100%	77 s	90 s
F2 dokkoló keresése szabad hellyel	9/12	46–92%	48 s	60 s
F3 kölcsönzés vendégként	5/12	19–68%	161 s	180 s

Feladat	Siker	95%-os intervallum	Idő (mértani átlag)	Célidő
F4 visszaadás	11/12	62–100%	44 s	60 s
összesen	36/48	61–85%		

A SUS-átlag 64,0 lett (95%-os intervallum 55,2–72,7), az átlagnak tekintett 68 alatt (Sauro és Lewis 2016). A teszt nyolc problémát tárt fel; a két súlyos a vendégfizetés következő lépésének érthetetlensége (hat résztvevő) és a szabad dokkolóhelyek kizárólag színnel való jelölése (mindhárom gyengénlátó résztvevő). Az észlelés átlagos valószínűsége $p = 29/96 = 0{,}30$; a modell szerint 12 résztvevő a problémák mintegy 99%-át, öt résztvevő 83%-át tárta volna fel (47.2. ábra). A javított második prototípusnál ugyanazok a résztvevők 46/48 feladatot teljesítettek, a SUS-átlag 79,0-ra (74,2–83,7) nőtt; a résztvevőnkénti különbség átlaga +15,0 pont.



47.2. ábra. A két prototípus feladatsikerei, a problémafeltárás megfigyelt és modell szerinti görbéje, és egy összegző teszt szükséges résztvevőszáma a várható sikerarány függvényében. A notebookkal rajzolva.

Tanulságok:

- **Kis mintán a problémák feltárhatók, az arányok nem igazolhatók.** A 12 fős teszt szinte minden problémát megtalált, de a vendégkölcsönzés sikerarányának intervalluma 19–68%: arra elég, hogy a feladat egyértelműen rossz, arra nem, hogy egy 90%-os célérték teljesülését igazolja.
- **A csoportok számítanak.** A szabad helyek jelölésének problémája csak a gyengénlátó résztvevőknél jelentkezett; nélkülük a teszt nem tárta volna fel.
- **Az összegző teszt drága.** Ha a várható sikerarány 89%, a 85%-os cél igazolásához mintegy 300 résztvevő kell; a VárosiBringa ezért az üzemi naplóból validálta a C3 célkitűzést (24. fejezet).
- **A mértani átlag és a célidő együtt értelmezendő.** A vendégkölcsönzés mértani átlagos ideje a célidő alatt van, de ez csak a sikeres résztvevőkre vonatkozik; a célidőn belül sikeres résztvevők aránya mindössze 33%.

47.4. Sablon és notebook

- hasznalhatosagi_teszt_sablon.xlsx: „Résztvevők” (legfeljebb 30, csoporttal és SUS-pontszámmal), „Feladatok” (legfeljebb 8, sikerkritériummal és célidővel), „Eredmények” (siker és idő résztvevőnként és feladatonként), „Problémák” (legfeljebb 30

probléma súlyossággal és résztvevő-mátrixszal) és „Összesítés” lap (sikerarány módosított Wald-intervallummal, mértani átlagos idő, célidőn belüli arány, SUS-átlag t-intervallummal, az észlelés valószínűsége és a feltárt hányad becslése). Az első prototípus adataival kitöltve. A SUS-pontszám kiszámításához a NASA-TLX és SUS sablonja használható (27. eszközlap).

- hasznalhatosagi_teszt.ipynb · Megnyitás Google Colabban: a mérőszámok intervallumokkal, a megfigyelt és a modell szerinti problémafeltárás, a résztvevőszám tervezése formatív és összegző tesztre, két prototípus összevetése (a 47.2. ábra így készült).

47.5. Előnyök és korlátok

47.2. táblázat. A használhatósági teszt előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Valódi felhasználók valószerű feladatokon: a problémák okai is láthatók (Rubin és Chisnell 2008)	A laboratóriumi helyzet eltér a valós használattól (zaj, sietség, időjárás, motiváció)
Kis résztvevőszámmal is feltárja a gyakori problémákat (Nielsen és Landauer 1993; Virzi 1992)	A ritka problémák és a ritka felhasználói csoportok problémái kimaradhatnak
Szabványos mérőszámok: a változatok és a célértékek összevethetők (ISO 2018)	Az arányok igazolásához nagy minta kell; kis mintán az intervallumok szélesek (Sauro és Lewis 2016)
A SUS rövid, megbízható és nagy összehasonlító adatbázisra támaszkodik (Sauro és Lewis 2016)	A SUS a felhasználó észlelését méri, nem a teljesítményét; a kettő eltérhet

Gyakori buktató

- **A fejlesztők vagy a kollégák mint résztvevők.** Ők ismerik a rendszert, ezért nem akadnak el ott, ahol a valódi felhasználó.
- **Lépéseket megadó feladatleírás.** Ha a feladat megmondja, mit kell megnyomni, a teszt a navigációt nem vizsgálja.
- **A moderátor segít.** A segítséggel befejezett feladat sikertelen; ha ezt nem rögzítik, a sikerarány túl kedvező lesz.
- **Az öt résztvevő mint törvény.** Az öt résztvevő csak akkor tárja fel a problémák nagy részét, ha az észlelés valószínűsége elég nagy, és a felhasználói csoportok hasonlóak; csoportonként kell résztvevőket bevonni.
- **Százalékok intervallum nélkül.** Kis mintán a „92%-os sikerarány” 62–100% is lehet; az intervallumot mindig közölni kell.

47.6. Mintapromptok

Mintaprompt: feladatok megfogalmazása

```
A rendszer és a felhasználói csoportok: [LEÍRÁS]. Működési
forgatókönyvek: [FORGATÓKÖNYVEK].
Feladat: fogalmazz 4–6 tesztfeladatot használhatósági teszthez. Minden
feladat a felhasználó célját írja le, ne a lépéseket; adj hozzá
sikerkritériumot és célidőt, és jelöld, melyik forgatókönyvből és
melyik felhasználói csoport számára fontos. A célidőket jelöld
feltételezésként, ha a követelmények nem adják meg őket.
```

Mintaprompt: megfigyelések rendezése problémalistává

```
Megfigyelési jegyzetek résztvevőnként: [JEGYZETEK].
Feladat: rendezd a megfigyeléseket problémákba. Minden problémához
adj rövid leírást, az érintett feladatot, a súlyosság javaslatát
(kritikus, súlyos, közepes, kisebb) indoklással, és sorold fel, mely
résztvevőknél jelentkezett. Ne vonj össze különböző okú problémákat,
és ne találj ki megfigyelést, amely a jegyzetekben nem szerepel.
```

47.7. Feladat

9. projektlépés: validációs terv

Készíts validációs tervet a fő érdekelt csoportokkal végzendő próbára: a MOE-k mérési módjával, legalább négy tesztfeladattal sikerkritériummal és célidővel, felhasználói csoportonként tervezett résztvevőkkel. Indokold a résztvevők számát a problémafeltárás modelljével, és mutasd meg a notebookkal, hány résztvevő kellene egy célérték összegző teszttel való igazolásához. Ha van makett vagy prototípus, végezz legalább öt résztvevővel formatív tesztet, és értékeld a sablonnal.

48. Pareto-diagram

Eszközkártya

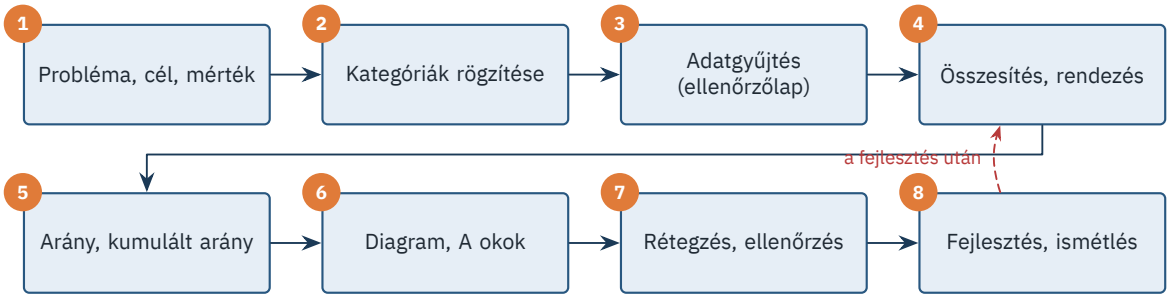
- **Mire való?** Problémák, hibák vagy okok rangsorolása gyakoriság, időtartam vagy költség szerint; a hatás nagy részét adó „kevés lényeges” ok kiválasztása; a fejlesztés hatásának bemutatása.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel Pareto-diagramot készíteni, kiválasztani a „kevés lényeges” okot, és rétegzéssel elkülöníteni a források hatását.
- **V-lépés:** 9. Üzemeltetés és folyamatos fejlesztés; a verifikáció és a validáció eltéréseinek elemzésére is használható.
- **Bemenet:** eseménynapló vagy ellenőrzőlap (mi, mikor, hol, mekkora hatással), egységes kategóriák, a választott mérték (darab, perc, Ft).
- **Kimenet:** rangsorolt okok arányokkal és kumulált aránnyal, Pareto-diagram, rétegzett összesítés, a fejlesztési célpont kijelölése.
- **Időigény:** meglévő naplóból 30–60 perc; adatgyűjtéssel néhány nap–hét.
- **Kézikönyv:** 25. fejezet, 25.3. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (Goldberg és mtsai. 1994, 5.5. és 5.6. szakasz).

48.1. Mikor használd?

- **Ha sok különböző probléma vagy ok van**, és el kell dönteni, melyikkel érdemes először foglalkozni (Montgomery 2020).
- **Ha a hatás nagy része feltehetően kevés okból ered**: a tapasztalat szerint gyakran ez a helyzet („kevés lényeges és sok kevésbé lényeges”) (Montgomery 2020).
- **Fejlesztés előtt és után**, azonos mértékkel és időszakkal: a változás és az új első ok látható.
- **Rétegzéssel együtt** (gép, műszak, termék, beszállító szerint), ha a különbségek a forrásra utalnak (Montgomery 2020).
- **Kevésbé alkalmas**, ha a kategóriák átfedők vagy rosszul meghatározottak, illetve ha egy ritka, de súlyos esemény (például balesetveszély) a fontos: a súlyosságot külön kell értékelni (28. eszközlap).

48.2. Lépések

1. **Fogalmazd meg a problémát és a célt, és válaszd meg a mértéket.** Rendelkezésre állási cél esetén időtartam, zavarás esetén gyakoriság, gazdasági döntésnél költség.
2. **Rögzítsd a kategóriákat** egyértelműen, átfedés nélkül; az „egyéb” kategória legyen kicsi.
3. **Gyűjtsd az adatokat** ellenőrzőlappal vagy informatikai naplóból, meghatározott időszakra (Ishikawa 1982).
4. **Összesítsd és rendezd** a kategóriákat a mérték szerint csökkenő sorrendbe.



48.1. ábra. A Pareto-elemzés lépései.

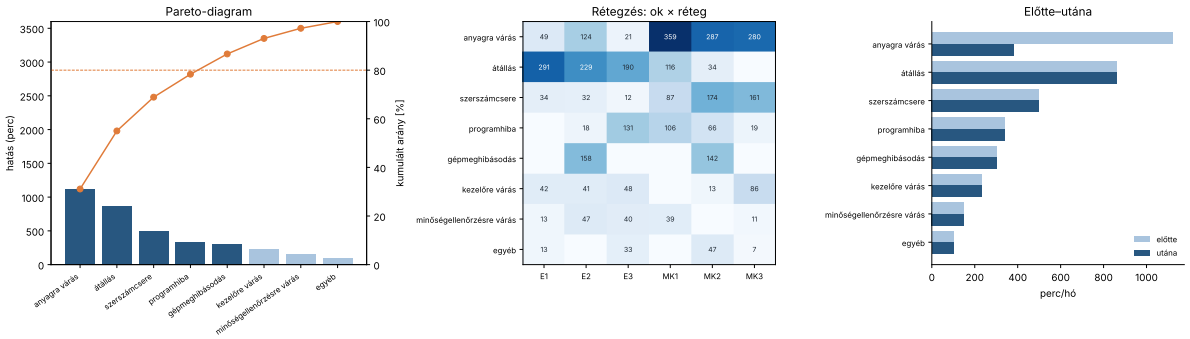
5. **Számold ki az arányokat és a kumulált arányt.**
6. **Rajzold meg a diagramot**: oszlopok a hatással, vonal a kumulált aránnyal; jelöld a „kevés lényeges” okokat.
7. **Rétegezz, és ellenőrizd**, hogy a rangsor más mértékkel vagy más rétegekben is ugyanaz-e.
8. **Indítsd el a fejlesztést**, és a változás után ismételd meg az elemzést.

48.3. Kidolgozott példa: a ForgácsTech állásideje

A MES egy hónap alatt 135 állásidő-eseményt rögzített, összesen 3600 percet (25. fejezet). Az időtartam szerinti Pareto-elemzést a 48.1. táblázat és a 48.2. ábra mutatja.

48.1. táblázat. A ForgácsTech havi állásideje okok szerint.

Rang	Ok	Perc	Arány	Kumulált	Események
1	anyagra várás	1120	31,1%	31,1%	38
2	átállás	860	23,9%	55,0%	22
3	szerszámcsere	500	13,9%	68,9%	25
4	programhiba	340	9,4%	78,3%	12
5	gépmeghibásodás	300	8,3%	86,7%	6
6	kezelőre várás	230	6,4%	93,1%	14
7	minőségellenőrzésre várás	150	4,2%	97,2%	10
8	egyéb	100	2,8%	100,0%	8



48.2. ábra. Pareto-diagram, rétegzés gépenként és a fejlesztés előtti és utáni állapot. A notebookkal rajzolva.

Tanulságok:

- **Három ok adja az állásidő 69%-át.** A 80%-os határig öt ok kell; a sor vége (kezelőre várás, minőségellenőrzés, egyéb) együtt is csak 13%.
- **A mérték megváltoztatja a sorrendet.** Gyakoriság szerint a szerszámcsere a máso-

48.4. Sablon és notebook

- pareto_sablon.xlsx: „Napló” (ellenőrzőlap, legfeljebb 400 esemény, legördülő okokkal), „Okok” (legfeljebb 15 ok, opcionális súllyal, automatikus rangsorral), „Pareto” (rangsorolt okok, arányok, kumulált arány, A osztály, kombinált oszlop- és vonaldiagram) és „Rétegzés” lap (hatás rétegenként és okonként, halmozott diagram). A ForgácsTech egy havi naplójával kitöltve.
- pareto.ipynb · Megnyitás Google Colabban: Pareto időtartam, gyakoriság és súlyozott hatás szerint, rétegzés hőtérképpel, előtte–utána összevetés (a 48.2. ábra így készült).

48.5. Előnyök és korlátok

48.2. táblázat. A Pareto-diagram előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Egyszerű, közérthető, a fejlesztési erőforrásokat a legfontosabb okokra irányítja (Montgomery 2020)	A rangsor a kategóriák meghatározásától és a mértéktől függ
A meglévő naplókból gyorsan elkészíthető	A gyakoriság nem azonos a súlyossággal; a ritka, súlyos eseményeket külön kell kezelni
Az előtte–utána összevetés láthatóvá teszi a fejlesztés hatását	Okot nem bizonyít: csak megmutatja, hol érdemes keresni; a gyökérokot más eszközök tárják fel
Rétegzéssel a források is elkülöníthetők (Montgomery 2020)	Rövid időszakban a véletlen ingadozás eltorzíthatja a sorrendet

Gyakori buktató

- **Nagy „egyéb” kategória.** Ha az „egyéb” a legnagyobb oszlopok között van, a kategóriák rosszul vannak meghatározva.
- **Átfedő kategóriák.** Egy esemény két kategóriába is beleillik („gépmeghibásodás” és „szerszámtörés”), és a kezelők eltérően sorolják be; a kategóriákat meghatározásokkal és példákkal kell rögzíteni.
- **Rossz mérték.** Darabszám szerinti Pareto rendelkezésre állási célhoz félrevezető lehet.
- **Egyszeri elemzés.** A fejlesztés után a sorrend megváltozik; a Pareto-elemzés a folyamatos fejlesztés visszatérő lépése.

48.6. Mintapromptok

Mintaprompt: kategóriarendszer kialakítása

```
Szabad szöveges hibaleírások a naplóból: [LEÍRÁSOK, LEGALÁBB 50].
Feladat: javasolj 6–10 egymást kizáró kategóriát, mindegyikhez egy
mondatos meghatározással és két példával a fenti leírásokból.
Jelöld azokat a leírásokat, amelyek több kategóriába is illenének,
és javasolj szabályt a besorolásukra. Az „egyéb” kategóriába a
leírások legfeljebb 10%-a kerüljön.
```

Mintaprompt: a Pareto-eredmény értelmezése

```
Pareto-táblázat: [OK, HATÁS, ARÁNY, KUMULÁLT ARÁNY]; rétegzés:
[RÉTEG × OK TÁBLÁZAT]; a mérték: [PERC / DARAB / FT].
Feladat: írj rövid értelmezést a vezetői megbeszélésre: mely okokra
összpontosítsunk, mit mutat a rétegzés, és milyen további adat kell
a gyökérok feltárásához. Ne állíts okot az adatokon túl; a számokat
ne változtasd meg.
```

48.7. Feladat

Választható feladat: Pareto-elemzés

Ha projektedben van olyan folyamat vagy szolgáltatás, amelyhez hibák, panaszok vagy állásidők tartoznak, gyűjts vagy becsülj adatokat legalább hat kategóriára, készíts Pareto-diagramot két különböző mértékkel, és rétegezd az adatokat egy jellemző szerint. Fogalmazd meg, melyik okkal foglalkoznál először, és miért.

49. Ok-okozati (halszálka-) diagram

Eszközkártya

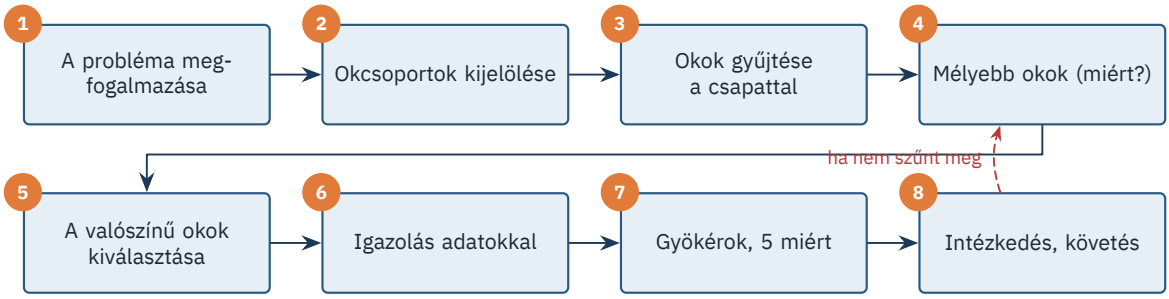
- **Mire való?** Egy probléma (hatás) lehetséges okainak összegyűjtése és rendszerezése okcsoportok szerint, csapatmunkában; a valószínű okok kiválasztása és adatokkal való igazolása; a mélyebb okok feltárása 5 miért elemzéssel.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel csapatban ok-okozati diagramot készíteni, és a lehetséges okok közül adatokkal kiválasztani a valódiakat.
- **V-lépés:** 9. Üzemeltetés és folyamatos fejlesztés; a verifikációs és validációs eltérések okainak keresésére, valamint a tervezési szakasz kockázatelemzésére is használható.
- **Bemenet:** mérhető formában megfogalmazott probléma, a folyamatot ismerő csapat, adatok (napló, Pareto-elemzés, mérések).
- **Kimenet:** ok-okozati diagram, a lehetséges okok listája szavazatokkal és igazolási állapottal, a gyökérok és az intézkedés.
- **Időigény:** a diagram 60–90 perces csapatülés; az okok igazolása napok–hetek.
- **Kézikönyv:** 25. fejezet, 25.3. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (Goldberg és mtsai. 1994, 7.2. szakasz).

49.1. Mikor használd?

- **Ha egy problémának sok lehetséges oka van**, és a csapat tagjai különböző okokra gyanakszanak (Ishikawa 1982).
- **A Pareto-elemzés után**: a kiválasztott első ok mélyebb okainak keresésére (48. eszközlap).
- **A 8D és a DMAIC elemzési lépésében** a gyökérok feltárására (52. eszközlap).
- **Ha a csapatnak közös képet kell kialakítania** a problémáról: a diagram a tudást láthatóvá és rendezetté teszi (Ishikawa 1982).
- **Kevésbé alkalmas** összetett, sok kölcsönhatású rendszerhibák elemzésére; ott a hibafa (32. eszközlap) vagy a rendszerelméleti elemzés (34. eszközlap) kell.

49.2. Lépések

1. **Fogalmazd meg a problémát mérhetően**: mi, hol, mikor, mekkora mértékben (például „anyagra várás a megmunkáló gépeknél, havi 1120 perc”).
2. **Jelöld ki az okcsoportokat.** Gyártásban gyakran: ember, gép, módszer, anyag, mérés, környezet; szolgáltatásban például: ügyfél, munkatárs, eljárás, rendszer, környezet.
3. **Gyűjtsd össze a lehetséges okokat a csapattal**, ítélkezés nélkül; minden ok a megfelelő csoportba kerül.
4. **Kérdezz rá a mélyebb okokra** („miért?”): az okok gyakran egy szinttel lejjebb válnak kezelhetővé.
5. **Válaszd ki a valószínű okokat**, például szavazással; ez a csapat véleménye, nem bizonyíték.

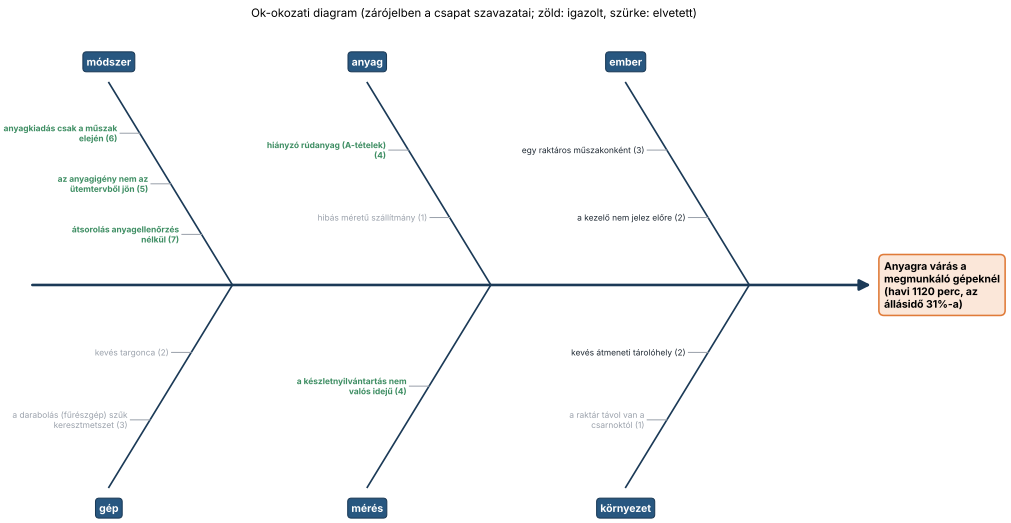


49.1. ábra. Az ok-okozati elemzés lépései.

6. **Igazold vagy vesd el az okokat adatokkal**: napló, rétegzés, mérés, kísérlet (Ishikawa 1982).
7. **Az igazolt okra végezz 5 miért elemzést**, amíg olyan okhoz nem érsz, amelyre intézkedés tervezhető.
8. **Tervezz intézkedést, és kövesd a hatását**; ha a probléma nem szűnik meg, a vizsgálandó okok a következő jelöltek.

49.3. Kidolgozott példa: anyagra várás a ForgácsTechnél

A Pareto-elemzés szerint az állásidő legnagyobb oka az anyagra várás volt (48. eszközlap). A csapat (termelésvezető, két műszakvezető, a raktáros, a logisztikai vezető és egy kezelő) 12 lehetséges okot gyűjtött hat csoportban (49.2. ábra). A szavazás után az okokat adatokkal ellenőrizték: öt okot igazoltak, négyet elvetettek, hármat további vizsgálatra jelöltek.



49.2. ábra. A ForgácsTech anyagra várási problémájának ok-okozati diagramja; zöld: adatokkal igazolt ok, szürke: elvetett. A notebookkal rajzolva.

Az igazolt okok közül a legerősebb a módszer csoportban volt: a MES-napló szerint a márciusi 17 átsorolásból 11 után keletkezett várakozás, és a várakozások 64%-a átsorolás után jelentkezett. Az 5 miért elemzés (49.1. táblázat) a gyökérokot a folyamatok összekötésének hiányára vezette vissza.

49.1. táblázat. Az 5 miért elemzés.

Lépés	Kérdés	Válasz	Bizonyíték
1	Miért vár a gép anyagra?	Az átsorolt rendelés anyaga nincs kikészítve.	MES-napló
2	Miért nincs kikészítve?	Az anyagot csak a műszak elején, az akkori sorrend szerint adják ki.	kiadási napló
3	Miért csak a műszak elején?	A raktáros a műszak elején kapja meg a listát, közben nem kap értesítést.	interjú
4	Miért nem kap értesítést?	A MES ütemezője átsoroláskor nem küld anyagigényt.	a MES beállításai
5	Miért nem küld?	Az anyagkiadás nem volt része a bevezetett folyamatnak.	a jövőbeli BPMN-modell

Tanulságok:

- **A szavazás nem bizonyíték.** A „darabolás szűk keresztmetszet” három szavazatot kapott, de a fűrészgép kihasználtsága 52% volt, így az okot elvetették.
- **A mélyebb ok gyakran a folyamatok határán van.** Sem a raktár, sem a termelés nem hibázott a saját szabályai szerint; a hiány a két folyamat összekötésében volt, ami a BPMN-modellben sem szerepelt (41. eszközlap).
- **A vizsgálandó okokat meg kell őrizni.** Ha az intézkedés után a várakozás nem csökken eléggé, a „kevés átmeneti tárolóhely” és a „kezelő nem jelez előre” a következő jelöltek.

49.4. Sablon és notebook

- halszalka_sablon.xlsx: „Csoportok” (legfeljebb 8 okcsoport), „Okok” (a probléma és legfeljebb 40 lehetséges ok mélyebb okkal, szavazattal, igazolási állapottal és bizonyítékkal), „Összesítés” (okcsoportonként, diagrammal), „Diagram” (halszálka-elrendezés automatikusan, zölddel az igazolt okok) és „5 miért” lap. A ForgácsTech példájával kitöltve.
- halszalka.ipynb · Megnyitás Google Colabban: az ok-okozati diagram automatikus rajzolása a táblázatból, a szavazatok összesítése és az okok rangsora (a 49.2. ábra így készült).

49.5. Előnyök és korlátok

49.2. táblázat. Az ok-okozati diagram előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Egyszerű, a csapat tudását rendezetten láthatóvá teszi (Ishikawa 1982)	A lehetséges okok listája a csapat tudásán múlik; ami senkinek nem jut eszébe, kimarad

Előnyök	Korlátok
Az okcsoportok segítenek, hogy egyetlen terület se maradjon ki	A kölcsönhatásokat és a több ok együttes hatását nem ábrázolja (Ishikawa 1982)
Az 5 miért elemzéssel a kezelhető mélyebb okokig vezet	Az 5 miért egyetlen láncot követ; több párhuzamos ok esetén félrevezethet
A Pareto-elemzéssel és az adatokkal együtt erős eszköz	Adatokkal való igazolás nélkül csak vélemények gyűjteménye

Gyakori buktató

- **Homályos probléma.** A „rossz a minőség” nem elemezhető; a probléma legyen mérhető, és egy hatásra vonatkozzon.
- **Megoldások az okok helyén.** A „nincs elég raktáros” megoldási javaslat; az ok: „a raktári kiadások a műszak elejére torlódnak”.
- **A legtöbb szavazatot kapott ok mint gyökérok.** A gyökérokot adatokkal kell igazolni.
- **Hibáztatás.** Az „ember” csoport nem a bűnös keresésére szolgál; az emberi hiba mögött rendszerint a munkakörnyezet és a folyamat okai állnak (25. eszközlap; kézikönyv 13. fejezet).

49.6. Mintapromptok

Mintaprompt: lehetséges okok kiegészítése

```
Probléma: [MÉRHETŐ PROBLÉMALEÍRÁS]. A csapat eddigi okai csoportonként:
[TÁBLÁZAT]. A folyamat rövid leírása: [LEÍRÁS].
Feladat: javasolj csoportonként legfeljebb három további lehetséges
okot, amely a listából hiányzik, és mindegyikhez írd le, milyen adattal
lehetne igazolni vagy elvetni. Jelöld, ha egy javasolt ok valójában
megoldási ötlet. Ne állítsd, hogy bármelyik ok a gyökérok.
```

Mintaprompt: 5 miért ellenőrzése

```
Az 5 miért lánc: [KÉRDÉSEK ÉS VÁLASZOK, BIZONYÍTÉKOKKAL].
Feladat: vizsgáld meg a láncot. Van-e olyan lépés, ahol a válasz nem
következik az előzőből, vagy több ok is lehetséges? Melyik válaszhoz
hiányzik bizonyíték? Hol ágazik el a lánc? Javasolj ellenőrző kérdést
minden gyenge lépéshez.
```

49.7. Feladat

Választható feladat: ok-okozati elemzés

Válassz egy problémát a projektedből (például a Pareto-elemzés első okát vagy egy verifikációs eltérést). Készíts ok-okozati diagramot legalább öt okcsoporttal és tizenkét lehetséges okkal, jelöld a csapat szavazatait, és írd le, hogyan igazolnád vagy vetnéd el a három legvalószínűbb okot. Végezz 5 miért elemzést a legerősebb okra.

50. Kontrollkártya (SPC)

Eszközkártya

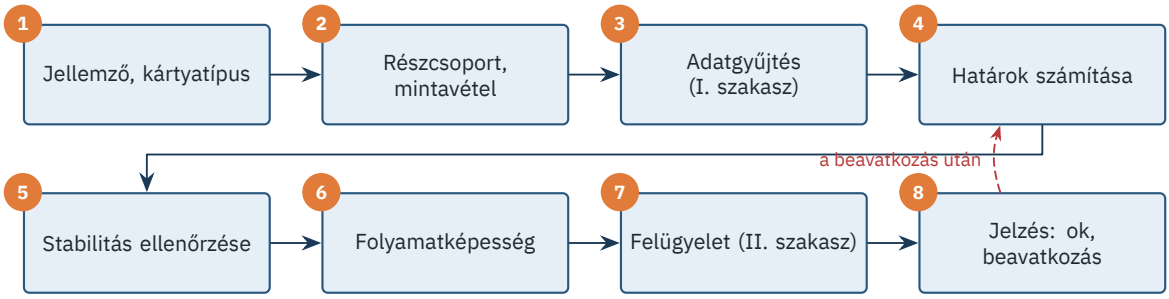
- **Mire való?** Egy folyamatjellemző időbeli stabilitásának figyelése: a véletlen ingadozás elkülönítése a különleges (azonosítható) okoktól, a beavatkozás jelzése, és stabil folyamatra a folyamatképesség (Cp, Cpk) számítása.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel kiválasztani a megfelelő kontrollkártyát, kiszámítani a határokat, és a jelzési szabályokkal elkülöníteni a különleges okokat a véletlen ingadozástól.
- **V-lépés:** 9. Üzemeltetés és folyamatos fejlesztés; a DMAIC szabályozási lépése; a próbaüzemben a stabilitás igazolása.
- **Bemenet:** időrendben gyűjtött mérési eredmények (részcsoportokban vagy egyenként), a tűréshatárok, a mintavételi terv.
- **Kimenet:** kontrollkártya középvonallal és beavatkozási határokkal, a jelzések listája, képességindexek, beavatkozási szabályok.
- **Időigény:** a kártya felállítása 1–2 óra; a felügyelet folyamatos, mintavételenként néhány perc.
- **Kézikönyv:** 25. fejezet, 25.4. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (Goldberg és mtsai. 1994, 7.14. szakasz).

50.1. Mikor használd?

- **Ha egy kritikus jellemzőt folyamatosan gyártanak vagy mérnek**, és a változást még a hibás termék előtt fel kell ismerni (Montgomery 2020).
- **Fejlesztés után**, hogy a javulás fennmaradjon (a DMAIC szabályozási lépése) (52. eszközlap).
- **A képességindex számítása előtt**: a Cp és Cpk csak stabil folyamatra értelmezhető (Montgomery 2020).
- **Szolgáltatási és menedzsmentmutatókra is** (napi várakozás, átfutás, hibás rendelések aránya), egyedi értékes vagy arányra vonatkozó kártyával.
- **Kevésbé alkalmas**, ha az adatok erősen autokorreláltak (például egymást követő ciklusok folyamatos folyamatban) vagy trendet mutatnak természetüknél fogva; ilyenkor módosított módszerek kellenek (Montgomery 2020).

50.2. Lépések

1. **Válaszd ki a jellemzőt és a kártyatípust.** Mért érték részcsoportokban: átlag- és terjedelemkártya ($\bar{X}$–R); egyenként: egyedi értékes és mozgóterjedelem-kártya (I-MR); hibás arány: p-kártya; hibaszám: c- vagy u-kártya (Montgomery 2020).
2. **Határozd meg a részcsoportot és a mintavételt.** A részcsoporton belül csak véletlen ingadozás legyen (például öt egymást követő darab), a részcsoportok között a folyamat változásai látszódjanak.



50.1. ábra. A kontrollkártya felállításának és használatának lépései.

3. **Gyűjts adatot egy stabil időszakból** (I. szakasz), legalább 20–25 részcsoportot.
4. **Számold ki a határokat**: középvonal ± 3σ; X̄–R kártyán $\bar{\bar{x}} \pm A_2 \bar{R}$, a terjedelemre $D_3 \bar{R}$ és $D_4 \bar{R}$ (Montgomery 2020).
5. **Ellenőrizd a stabilitást.** Ha az I. szakaszban jelzés van, keresd meg és szüntesd meg az okát, hagyd ki a pontot, és számold újra a határokat.
6. **Számold ki a folyamatképességet** a tűréshatárokkal (Cp, Cpk).
7. **Felügyeld a folyamatot** (II. szakasz) a rögzített határokkal és a jelzési szabályokkal.
8. **Jelzésnél keresd meg az okot, és avatkozz be**; rögzítsd az okot és az intézkedést a kártyán.

A jelzési szabályok (Western Electric-szabályok) (Montgomery 2020): (1) egy pont a ±3σ határon kívül; (2) három egymást követő pontból kettő ugyanazon az oldalon a 2σ-n túl; (3) öt egymást követő pontból négy ugyanazon az oldalon az 1σ-n túl; (4) nyolc egymást követő pont a középvonal ugyanazon oldalán.

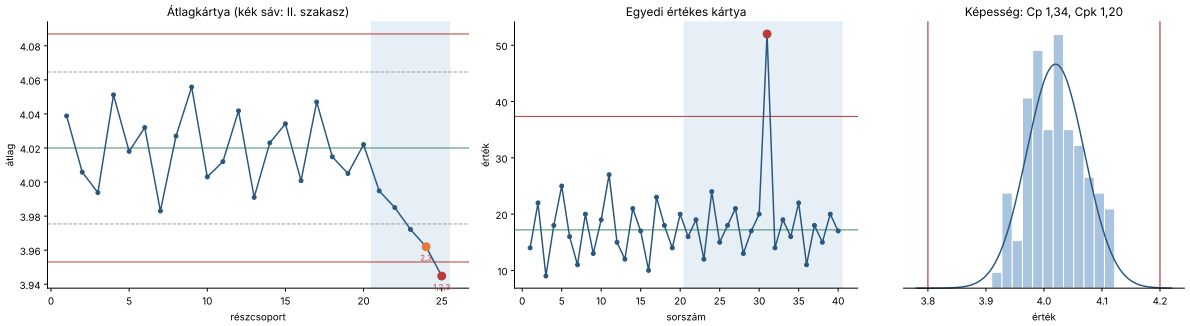
50.3. Kidolgozott példa: a KoboCella nyomatéka és a ForgácsTech várakozásai

Átlag- és terjedelemkártya. A KoboCella csavarozó egysége óránként öt egymást követő kötés nyomatékát rögzíti (25. fejezet). Az első 20 részcsoportból a középvonal 4,020 Nm, $\bar{R} = 0{,}116$ Nm, $\hat{\sigma} = 0{,}116/2{,}326 = 0{,}050$ Nm, a határok 3,953 és 4,087 Nm. Az I. szakaszban nincs jelzés. A II. szakaszban az átlag csökkenni kezd; a 24. részcsoportnál a 2. és a 3. szabály jelez, a 25. pont a határ alá esik (50.2. ábra). A rétegzés egy új csavartételre vezetett (51. eszközlap).

Képesség. A 4,0 ± 0,2 Nm tűrésre $C_p = 1{,}34$, $C_{pk} = 1{,}20$, a teljes szórással $P_p = 1{,}37$, $P_{pk} = 1{,}24$. A C_{pk} azért marad Montgomery 1,33-as ajánlott minimuma alatt (Montgomery 2020), mert a középérték 0,02 Nm-rel a tűrésmező közepe fölött van; beállítás után a C_{pk} a C_p-hez közelít.

Egyedi értékes kártya. A ForgácsTech a DMAIC-projekt után a napi anyagra várást követi. Az első 20 nap átlaga 17,2 perc, a mozgó terjedelmek átlaga 7,58 perc, $\hat{\sigma} = 7{,}58/1{,}128 = 6{,}72$ perc, a felső határ 37,4 perc (az alsó határ negatív lenne, ezért 0). A 31. nap 52 perce a határ fölött van: a vizsgálat szerint egy beszállító késése okozta, különleges ok, nem a folyamat romlása.

Tanulságok:



50.2. ábra. Az átlagkártya a jelzésekkel, az egyedi értékes kártya és a nyomaték folyamatképessége. A notebookkal rajzolva.

- **A futási szabályok korábban jeleznek.** A 24. részcsoportnál még minden pont a határokon belül volt, de a 2. és a 3. szabály már jelezte az elmozdulást.
- **Az I. szakasznak stabilnak kell lennie.** Ha a határokat egy instabil időszakból számolják, a kártya a rendellenességet „normálisnak” tanulja meg.
- **A határ nem a tűrés.** A beavatkozási határok a folyamat ingadozásából, a tűréshatárok a követelményből származnak; a kettőt nem szabad összekeverni.
- **A különleges okot meg kell nevezni.** A 31. napi kiugrás nem a fejlesztés kudarca; a kártyán rögzített ok segít elkerülni a felesleges beavatkozást.

50.4. Sablon és notebook

- kontrollkartya_sablon.xlsx: „X–R” lap (legfeljebb 50 részcsoport, 2–10 mérés, választható I. szakasz, a négy jelzési szabály és a terjedelem automatikus ellenőrzése, átlag- és terjedelemkártya), „Egyedi (I-MR)” lap (legfeljebb 100 érték, nemnegatív alsó határ választható), „Képesség” lap (Cp, Cpk, Pp, Ppk, értékelés) és „Állandók” lap. A KoboCella és a ForgácsTech példájával kitöltve.
- kontrollkartya.ipynb · Megnyitás Google Colabban: határok, jelzési szabályok, képesség normális eloszlással és a tűrésen kívüli arány becslésével (a 50.2. ábra így készült).

50.5. Előnyök és korlátok

50.1. táblázat. A kontrollkártya előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Elválasztja a véletlen ingadozást a különleges okoktól; a felesleges beavatkozást is megelőzi (Shewhart 1931)	Csak a változást jelzi, az okot nem; az okot más eszközökkel kell megtalálni (Montgomery 2020)
A futási szabályok a határátlépés előtt is jeleznek	Több szabály együtt több téves jelzést is ad
Egyszerű, a műhelyben kézzel is vezethető	Független, közel normális eloszlású adatokat feltételez; autokorreláció esetén félrevezet (Montgomery 2020)

Előnyök	Korlátok
A képességindexekkel a tűréshez viszonyított teljesítmény is mérhető	A képességindex csak stabil folyamatra és megfelelő mintára értelmes; kis mintán bizonytalan

Gyakori buktató

- **Tűréshatár a beavatkozási határ helyén.** Ilyenkor a kártya csak a selejtet jelzi, a változást nem.
- **A határok folyamatos újraszámolása.** Ha minden új adattal újraszámolják a határokat, a lassú elmozdulás „beleolvad” a határokba.
- **Beavatkozás minden kiugró pontra az ok keresése nélkül.** A folyamat „állítgatása” a véletlen ingadozásra növeli a szórást.
- **Képességindex instabil folyamatra.** Az eredmény nem jelzi előre a jövőbeli teljesítményt.
- **Rossz részcsoport.** Ha a részcsoporton belül eltérő gépek vagy fészkek adatai keverednek, a határok túl szélesek lesznek.

50.6. Mintapromptok

Mintaprompt: kártyatípus és mintavételi terv

```
A folyamat és a jellemző: [LEÍRÁS, MÉRÉSI MÓD, GYAKORISÁG, A TERMELÉS
ÜTEME, A FONTOS ZAVARÓ TÉNYEZŐK].
Feladat: javasolj kontrollkártya-típust, részcsoportméretet és
mintavételi gyakoriságot, indoklással. Írd le, milyen zavaró tényezők
keveredhetnek a részcsoporton belül, és hogyan kerülhető el. Jelöld,
ha az adatok autokorreláltak lehetnek. Határokat ne számolj.
```

Mintaprompt: jelzés kivizsgálása

```
A kontrollkártya jelzése: [RÉSZCSOPORT, SZABÁLY, ÉRTÉKEK]; a jelzés
körüli események: [MŰSZAKVÁLTÁS, ANYAGTÉTEL, KARBANTARTÁS, BEÁLLÍTÁS].
Feladat: sorold fel a lehetséges különleges okokat, és mindegyikhez
azt az adatot vagy rétegzést, amellyel igazolható vagy elvethető.
Ne állapíts meg okot bizonyíték nélkül, és ne javasolj beavatkozást,
amíg az ok nem ismert.
```

50.7. Feladat

Választható feladat: kontrollkártya

Válassz egy kritikus jellemzőt vagy üzemi mutatót a projektedből. Határozd meg a kártyatípust, a részcsoportot és a mintavételt; valós vagy szimulált adatokkal (legalább 25 részcsoport vagy 30 érték) állítsd fel a kártyát a sablonnal, ellenőrizd a stabilitást, és ha van tűrés, számold ki a képességindexeket. Írd le, ki és hogyan reagál egy jelzésre.

51. Hisztogram, szórás- és rétegzett diagram

Eszközkártya

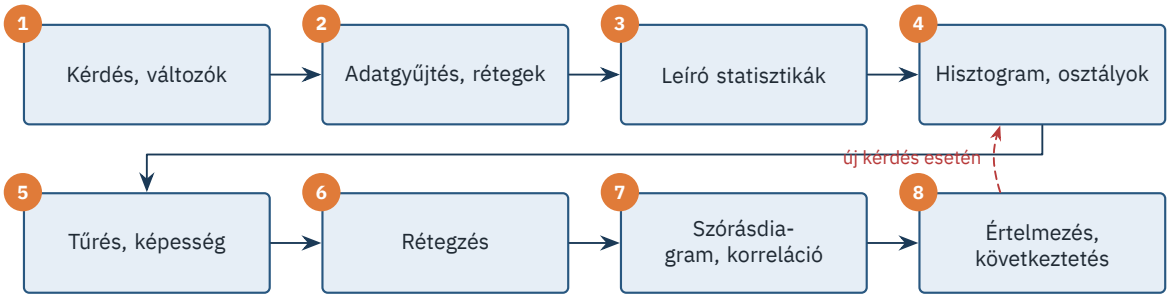
- **Mire való?** Egy mért jellemző eloszlásának megjelenítése és értékelése a tűrésmezőben (hisztogram), az adatok csoportosítása a különbségek feltárására (rétegzés), és két változó kapcsolatának vizsgálata (szórásdiagram, korreláció, regresszió).
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel hisztogrammal értékelni egy jellemző eloszlását a tűrésmezőben, kiszámítani a folyamatképességi indexeket, és szórásdiagrammal és rétegzéssel vizsgálni az okokat.
- **V-lépés:** 9. Üzemeltetés és folyamatos fejlesztés; a verifikáció mérési adatainak és a beérkező anyagok vizsgálatára is.
- **Bemenet:** mérési adatok (legalább 50–100 érték a hisztogramhoz), a rétegző jellemző (tétel, gép, műszak), egy vagy több lehetséges magyarázó változó, a tűréshatárok.
- **Kimenet:** hisztogram, leíró statisztikák és képességindexek összesen és rétegenként, szórásdiagram korrelációval és regressziós egyenessel, következtetések.
- **Időigény:** meglévő adatokból 30–60 perc.
- **Kézikönyv:** 25. fejezet, 25.3–25.4. szakasz.
- **Továbbolvasás:** (Goldberg és mtsai. 1994, 5.1., 5.5. és 5.7. szakasz).

51.1. Mikor használd?

- **Ha egy jellemző eloszlására vagy a tűréshez viszonyított helyzetére vagy kíváncsi**: középre esik-e, mekkora a szórása, van-e kiugró érték vagy több csúcs (Montgomery 2020).
- **Ha az adatok több forrásból származnak** (tételek, gépek, műszakok, beszállítók): a rétegzés megmutatja, honnan ered a különbség (Ishikawa 1982).
- **Ha egy lehetséges ok és a hatás kapcsolatát kell vizsgálni**: szórásdiagram, korreláció, regresszió (Montgomery 2020).
- **A kontrollkártya jelzése után**, az ok keresésére (50. eszközlap).
- **Kevésbé alkalmas** időbeli változás kimutatására (arra a kontrollkártya való), és a korreláció nem bizonyít ok-okozati kapcsolatot (Montgomery 2020).

51.2. Lépések

1. **Fogalmazd meg a kérdést, és válaszd meg a változókat**: mi a vizsgált jellemző (Y), mi a rétegző jellemző, mi a lehetséges magyarázó változó (X).
2. **Gyűjts adatokat a rétegek jelölésével.** A réteget az adatgyűjtéskor kell rögzíteni; utólag ritkán pótolható.
3. **Számold ki a leíró statisztikákat**: átlag, szórás, medián, minimum, maximum.



51.1. ábra. A hisztogram, a rétegzés és a szórásdiagram használatának lépései.

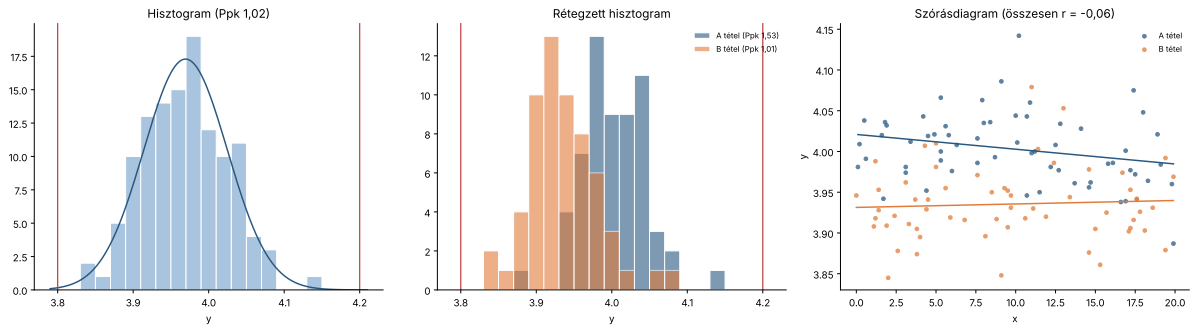
4. **Rajzold meg a hisztogramot.** Az osztályok száma ökölszabályként a mintaelemszám négyzetgyöke körül legyen; az osztályszélesség egyenlő.
5. **Vesd össze a tűréssel**: hol van a középérték, mekkora a tartalék a tűréshatárokig (Pp, Ppk).
6. **Rétegezz**: rajzold meg rétegenként a hisztogramot, és hasonlítsd össze a rétegek átlagát és szórását.
7. **Vizsgáld meg a kapcsolatot szórásdiagrammal**, összesen és rétegenként: korreláció, a meredekség és konfidenciaintervalluma.
8. **Értelmezd az eredményt**, és jelöld, mit kell még igazolni (a korrelációt kísérlettel vagy műszaki vizsgálattal).

51.3. Kidolgozott példa: két csavartétel a KoboCellánál

A kontrollkártya jelzése után a csapat két csavartétellel (A: a korábbi gyártóhelyről, B: az új gyártóhelyről) tételenként 60 próbacsavarozást végzett, és rögzítette, hány csavarozás volt már az adott bitbetéttel (50. eszközlap). Az eredményeket a 51.1. táblázat és a 51.2. ábra mutatja.

51.1. táblázat. A két csavartétel nyomatéka és a bitbetét használatával való kapcsolata.

	Összesen	A tétel	B tétel
n	120	60	60
átlag [Nm]	3,969	4,003	3,935
szórás [Nm]	0,055	0,043	0,045
Pp	1,20	1,55	1,49
Ppk	1,02	1,53	1,01
korreláció a bitbetét használatával (r)	−0,06	−0,25	0,06



51.2. ábra. Az összesített és a rétegzett hisztogram, valamint a nyomaték és a bitbetét használatának szórásdiagramja. A notebookkal rajzolva.

Tanulságok:

- **A rétegzés két keskeny eloszlást tárt fel.** Az összesített hisztogram széles, de

- **A kopás hatása kicsi.** Az A tételnél a nyomaték ezer csavarozásonként kb. 0,002 Nm-rel csökken (határeset p-érték), ami összhangban van a kétlépcsős stratégiára végzett kísérlettel (kézikönyv 18. fejezet); a tételhatás ennek sokszorosa.
- **A korreláció nem ok.** A tétel és a nyomaték kapcsolatát a beszállítóval közösen végzett bevonatvizsgálat igazolta.

51.4. Sablon és notebook

- hisztogram_szoras_sablon.xlsx: „Adatok” (legfeljebb 300 sor: réteg, X, Y), „Statisztika” (leíró statisztikák és Pp, Ppk összesen és legfeljebb három rétegre), „Hisztogram” (választható osztályhatárok, összesített és rétegzett hisztogram, a tűrésen kívüli osztályok jelölése) és „Szórásdiagram” lap (korreláció, meredekség, tengelymetszet, r^2, a korreláció p-értéke összesen és rétegenként). A KoboCella példájával kitöltve.
- hisztogram_szoras.ipynb · Megnyitás Google Colabban: hisztogram normális illesztéssel és normalitásvizsgálattal, rétegenkénti statisztikák és a rétegek összevetése, regresszió a meredekség konfidenciaintervallumával (a 51.2. ábra így készült).

51.5. Előnyök és korlátok

51.2. táblázat. A hisztogram, a rétegzés és a szórásdiagram előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
A hisztogram egy pillantással mutatja az eloszlás alakját, helyzetét és a tűréshez viszonyított tartalékot (Montgomery 2020)	Kis mintán és rossz osztályválasztással félrevezető alakot mutathat
A rétegzés egyszerűen elkülöníti a források hatását (Ishikawa 1982)	Csak az adatgyűjtéskor rögzített rétegek vizsgálhatók
A szórásdiagram a kapcsolat alakját és a kiugró értékeket is mutatja (Montgomery 2020)	A korreláció nem bizonyít okságot; egy harmadik változó látszólagos kapcsolatot okozhat (Montgomery 2020)
Kevés eszközzel, táblázatkezelőben is elvégezhető	Az időbeli változást nem mutatja; a hisztogram egy stabil folyamatról szól

Gyakori buktató

- **Összekevert rétegek.** A több forrásból származó adatok közös hisztogramja elfedheti a különbségeket, vagy hamis „széles” eloszlást mutat.
- **Instabil folyamat hisztogramja.** Ha a folyamat közben elmozdult, a hisztogram a két állapot keverékét mutatja; előbb a kontrollkártyát kell megnézni.
- **Korreláció mint ok.** A korrelációt kísérlettel vagy műszaki vizsgálattal kell megerősíteni.
- **Túl kevés vagy túl sok osztály.** Az előbbi elmossa, az utóbbi zajossá teszi az alakot.

51.6. Mintapromptok

Mintaprompt: rétegzési terv

```
A vizsgált jellemző és a probléma: [LEÍRÁS]. A folyamatban szereplő
lehetséges források: [GÉPEK, MŰSZAKOK, TÉTELEK, BESZÁLLÍTÓK, KEZELŐK].
Feladat: javasolj rétegző jellemzőket és lehetséges magyarázó
változókat, mindegyikhez azt, hogy milyen különbséget vagy kapcsolatot
várnánk, ha ez lenne az ok, és hogyan kell az adatgyűjtéskor rögzíteni.
Jelöld, melyik vizsgálathoz kell kísérlet a megfigyelés helyett.
```

Mintaprompt: eredmények értelmezése

```
Leíró statisztikák és képességindexek rétegenként: [TÁBLÁZAT];
korreláció és regresszió: [TÁBLÁZAT].
Feladat: írj rövid értelmezést: mi a különbség a rétegek között, mennyire
biztos ez, mekkora a magyarázó változó hatása a rétegek különbségéhez
képest, és mit kell még igazolni. Ne állíts ok-okozati kapcsolatot csak
a korreláció alapján; a számokat ne változtasd meg.
```

51.7. Feladat

Választható feladat: eloszlás és rétegzés

Gyűjts vagy szimulálj legalább 60 mérési eredményt egy jellemzőre a projektedből, legalább két réteggel és egy lehetséges magyarázó változóval. Készíts összesített és rétegzett hisztogramot, számold ki a képességindexeket, és vizsgáld meg a kapcsolatot szórásdiagrammal. Fogalmazd meg, mit bizonyítanak az adatok, és mit nem.

52. PDCA, 8D és DMAIC

Eszközkártya

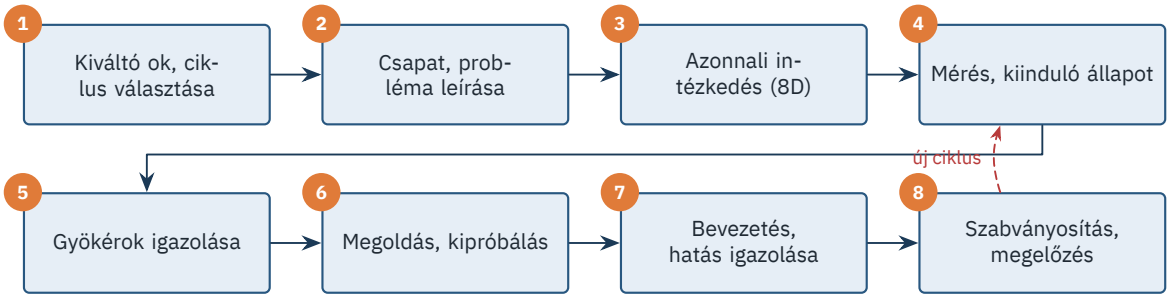
- **Mire való?** A folyamatos fejlesztés szervezett ciklusainak vezetése és dokumentálása: PDCA kisebb, gyorsan ismételhető fejlesztésekhez, 8D reklamációk és súlyos hibák csapatban végzett kezeléséhez, DMAIC krónikus, adatokkal mérhető teljesítményhiányok felszámolásához.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel kiválasztani a problémához illő fejlesztési ciklust (PDCA, 8D, DMAIC), és annak lépései szerint dokumentálni egy fejlesztést.
- **V-lépés:** 9. Üzemeltetés és folyamatos fejlesztés; a verifikációs és validációs eltérések kezelésére is.
- **Bemenet:** a probléma vagy fejlesztési lehetőség mérhető leírása, adatok, a folyamatot ismerő csapat, a döntéshozó támogatása.
- **Kimenet:** kitöltött PDCA-lap, 8D-jelentés vagy DMAIC-projektlap, intézkedési terv, a hatás igazolása, a változás rögzítése (szabvány, eljárás, FMEA, követelmény).
- **Időigény:** PDCA napok–hetek; 8D néhány hét; DMAIC néhány hónap.
- **Kézikönyv:** 25. fejezet, 25.5. szakasz.

52.1. Mikor használd?

- **PDCA**, ha egy fejlesztési ötlet kis léptékben gyorsan kipróbálható, és a hatása rövid idő alatt mérhető (Deming 1986).
- **8D**, ha reklamáció vagy súlyos hiba érkezik, és az ügyfelet azonnal védeni kell, miközben a gyökérokot is meg kell szüntetni (VDA QMC 2018).
- **DMAIC**, ha egy teljesítményhiány tartósan fennáll, adatokkal mérhető, és az oka nem nyilvánvaló (Schroeder és mtsai. 2008; Montgomery 2020).
- **Mindhármat**, ha a változás eredményét rögzíteni kell: a bevált megoldásnak be kell kerülnie a szabványokba, az eljárásokba és a tervezési dokumentumokba (FMEA, követelmények).
- **Nem alkalmas** a ciklusok egyike sem arra, hogy egy már ismert megoldás bevezetését „projektként” utólag igazolja; ilyenkor elég egy egyszerű változáskezelés (56. eszközlap).

52.2. Lépések

1. **Döntsd el, melyik ciklus illik a helyzethez** (kiváltó ok, lépték, sürgősség, adatok).
2. **Állítsd össze a csapatot, és írd le a problémát mérhetően**: mi, hol, mikor, mekkora, és mi *nem* érintett (8D: D1–D2; DMAIC: meghatározás).
3. **Ha az ügyfelet védeni kell, tegyél azonnali intézkedést** (8D: D3), és igazold a hatékonyságát.
4. **Mérd a kiinduló állapotot** megbízható adatokkal (DMAIC: mérés).



52.1. ábra. A fejlesztési ciklusok közös lépései.

5. **Tárd fel és igazold a gyökérokot** (49. eszközlap; 8D: D4; DMAIC: elemzés).
6. **Válaszd ki és próbáld ki a megoldást** kis léptékben (PDCA: P–D; 8D: D5; DMAIC: fejlesztés).
7. **Vezesd be, és igazold a hatást** a kiinduló állapothoz mért adatokkal (PDCA: C; 8D: D6).
8. **Rögzítsd a változást, és előzd meg a megismétlődést**: szabványosítás, eljárás, képzés, FMEA, kontrollkártya (PDCA: A; 8D: D7–D8; DMAIC: szabályozás) (50. eszközlap).

52.3. Kidolgozott példák

PDCA: a KoboCella hibanyugtázása. A validáció első hetében a kezelők műszakonként átlagosan 14-szer mentek a cella mögé nyugtázni (24. fejezet). Terv: második nyugtázó gomb a kezelői oldalon, a biztonsági mérnök jóváhagyásával; végrehajtás: egyhetes próba egy műszakban; ellenőrzés: a cella mögé menetelek száma 0, a hibaelhárítás átlagos ideje 95 s-ról 52 s-ra csökkent; beavatkozás: szabványosítás mindkét műszakra, az interfész-dokumentáció, a kezelési útmutató és a feladatelemzés frissítése.

8D: a VárosiBringa téli zárhibái. Három hét alatt 12 bejelentés érkezett, hogy a dokkoló nem zárt; mind a négy érintett állomás árnyékos volt, az esetek hidegben, reggel történtek (25. fejezet). A 52.1. táblázat a lépéseket foglalja össze.

52.1. táblázat. A VárosiBringa 8D-jelentésének összefoglalása.

Lépés	Tartalom
D1 csapat	rendszermérnök (vezető), üzemeltetési vezető, a beszállító szervizmérnöke, diszpécser, ügyfélszolgálat
D2 probléma	12 eset, 4 árnyékos állomás, 6–9 óra, −3 °C alatt; nem érintett: a napos állomások és a nappali órák
D3 azonnali intézkedés	az alkalmazás ellenőrzi a zár állapotát, és a szomszédos dokkolóhoz irányít; reggeli állomásellenőrzés
D4 gyökérok	hűtőkamrás teszt: −5 °C alatt a kenőanyag besűrűsödik (10/10 hiba), +5 °C-on 0/10
D5 megoldás	alacsony hőmérsékleten is működő kenőanyag, erősebb zárnyelvrugó; elvetve: fűtött zár
D6 bevezetés, igazolás	−15 °C-ig 20/20 sikeres zárás; két állomáson két hét hiba nélkül; ezután mind a 300 dokkoló
D7 megelőzés	FMEA-frissítés, kenőanyag-specifikáció, téli ellenőrzőlista, tanulság a beszerzési követelményekhez

Lépés	Tartalom
D8 lezárás	lezáró megbeszélés, archiválás, a csapat elismerése

DMAIC: a ForgácsTech anyagra várása. Meghatározás: havi 1120 perc, cél legfeljebb 400 perc; mérés: MES-napló; elemzés: Pareto-diagram, ok-okozati diagram, 5 miért (48., 49. eszközlap); fejlesztés: anyag-ellenőrzés átsorolásakor, kétóránkénti anyagkiadás az ütemterv alapján, egy hónapos próba két gépen; szabályozás: napi egyedi értékes kontrollkártya. A havi anyagra várás 1120 percről 380 percre csökkent.

Tanulságok:

- **A probléma leírása a fél megoldás.** A 8D D2 lépésében a „mi nem érintett” (napos állomások, nappali órák) mutatott a hőmérsékletre.
- **Az azonnali intézkedés nem megoldás.** A reggeli állomásellenőrzés megvédte az ügyfeleket, de költséges volt; tartóssá válva elfedte volna a gyökérokot.
- **A gyökérok igazolása kísérlettel a legerősebb.** A hűtőkamrás teszt a hibát ki- és bekapcsolta.
- **A ciklus a rögzítéssel zárul.** Mindhárom példában a tervezési dokumentumok (ICD, FMEA, specifikáció, HTA) is frissültek: a fejlesztés tanulsága így a következő rendszerbe is eljut.

52.4. Sablon

A ciklusok dokumentálására egy közös munkafüzet szolgál; a számítások egyszerűek, ezért ehhez az eszközhöz nem tartozik notebook. A statisztikai elemzésekhez a Pareto-diagram, az ok-okozati diagram, a kontrollkártya és a hisztogram eszközlapjának notebookjai használhatók.

- pdca_8d_dmaic_sablon.xlsx: „PDCA-lap” (egylapos, A3-szemléletű összefoglaló), „8D-jelentés” (D1–D8 tartalommal, felelőssel, határidővel, állapottal és a késések jelzésével egy értékelési dátumhoz képest), „DMAIC-projektlap” (projektlap, fázisok fő kérdésekkel, eszközökkel, kimenetekkel és fázislezáró ellenőrző kérdésekkel, a mérőszám alakulása diagrammal) és „Intézkedések” lap (közös intézkedési terv a lejárt határidők és a hatékonyság-ellenőrzés nélkül lezárt intézkedések jelzésével). A három példával kitöltve.

52.5. Előnyök és korlátok

52.2. táblázat. A fejlesztési ciklusok előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Egységes, átlátható logika: probléma, gyökérok, megoldás, igazolás, rögzítés (Deming 1986)	A ciklus formává üresedhet: a lapot kitöltik, a gyökérokot nem igazolják
A 8D az ügyfél azonnali védelmét elválasztja a tartós megoldástól (VDA QMC 2018)	A 8D egy problémára összpontosít; a rendszerszintű, több okú problémákra kevésbé alkalmas

Előnyök	Korlátok
A DMAIC adatvezérelt, a szervezeti struktúrával (képzett projektvezetők) együtt hatékony (Schroeder és mtsai. 2008)	A DMAIC erőforrás-igényes; kis problémákra túlméretezett
A dokumentáció a szervezeti tanulást támogatja	A siker a vezetői támogatáson és a csapat függetlenségén múlik

Gyakori buktató

- **A 8D D3 lépésének tartóssá válása.** A szigorított ellenőrzés vagy a kézi válogatás a gyökérok megszüntetése nélkül drága, és elfedi a problémát.
- **Gyökérok bizonyíték nélkül.** A „kezelői hiba” vagy az „anyaghiba” gyakran az első kézenfekvő magyarázat; az okot adatokkal vagy kísérlettel kell igazolni.
- **Hatásigazolás nélküli lezárás.** A bevezetett intézkedés nem azonos a megoldott problémával; a hatást a kiinduló állapothoz mért adatokkal kell igazolni.
- **A tanulság nem jut vissza a tervezésbe.** Ha az FMEA, a követelmények és az interfész-dokumentáció nem frissül, a következő rendszer ugyanazt a hibát hordozza.

52.6. Mintapromptok

Mintaprompt: problémaleírás (D2) élesítése

```
A beérkezett bejelentések és adatok: [ESETEK, IDŐPONTOK, HELYEK,
KÖRÜLMÉNYEK].
Feladat: fogalmazz 8D D2 szerinti problémaleírást: mi a hiba, hol, mikor,
mekkora mértékben, és mi NEM érintett (összehasonlító oszlopokkal: van–
nincs). Jelöld, milyen adat hiányzik a leírás teljessé tételéhez.
Okot ne állapíts meg.
```

Mintaprompt: DMAIC-projektlap ellenőrzése

```
DMAIC-projektlap: [PROBLÉMA, CÉL, MÉRŐSZÁM, HATÓKÖR, CSAPAT, ÜTEMEZÉS].
Feladat: ellenőrizd, hogy a probléma mérhető-e, a cél konkrét és
határidős-e, a mérőszám definíciója egyértelmű-e, a hatókör kizárja-e
a megoldást előre megadó elemeket, és van-e folyamatgazda a szabályozási
fázisra. Minden hiányosságra javasolj konkrét átfogalmazást.
```

52.7. Feladat

Választható feladat: fejlesztési ciklus

Válassz egy problémát a projektedből (például egy verifikációs vagy validációs eltérést, vagy a Pareto-elemzés első okát). Döntsd el és indokold, melyik ciklus illik hozzá, majd töltsd ki a sablon megfelelő lapját. Jelöld, mely tervezési dokumentumokat (követelmények, FMEA, interfész-dokumentáció, eljárások) kell a ciklus végén frissíteni.

53. Folyamatbányászat alapjai

Eszközkártya

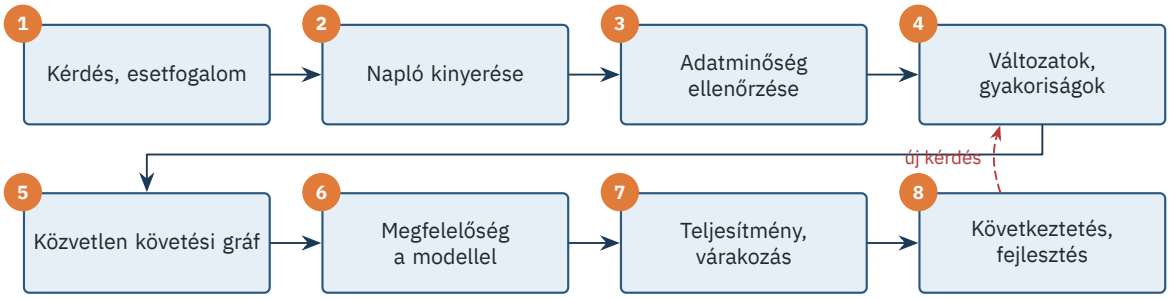
- **Mire való?** Az informatikai rendszerek (ERP, MES, ügyviteli rendszerek) eseménynaplóiból a valóságban futó folyamat feltárása: változatok, közvetlen követések, eltérések a folyamatmodelltől, várakozások és átfutási idők.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel eseménynaplóból folyamatmodellt feltárni, és összevetni a tényleges folyamatot az előírt modellel.
- **V-lépés:** 9. Üzemeltetés és folyamatos fejlesztés; az üzem közbeni validáció és a folyamat újratervezésének bemenete.
- **Bemenet:** eseménynapló esetazonosítóval, tevékenységgel és időbélyeggel (lehetőleg erőforrással), a folyamatmodell (például BPMN), az esetek jellemzői (határidő, típus).
- **Kimenet:** adatminőségi jelentés, változatok, közvetlen követési gráf, a modelltől eltérő esetek, teljesítménymutatók esetcsoportonként, fejlesztési javaslatok.
- **Időigény:** a napló kinyerése és tisztítása gyakran napokig tart; az elemzés kész napló esetén néhány óra.
- **Kézikönyv:** 20. fejezet, 20.6. szakasz; 25. fejezet, 25.6. szakasz.

53.1. Mikor használd?

- **Ha egy folyamatot informatikai rendszer támogat**, és a lépések naplózódnak: a napló objektív képet ad arról, hogyan működik valójában a folyamat (Aalst 2016).
- **Bevezetés után**, a tervezett (BPMN-) modell és a valóság összevetésére (41. eszközlap).
- **Ha a teljesítmény nem éri el a célt**, és meg kell találni, mely változatok, lépések vagy erőforrások okozzák a késést.
- **Az üzem közbeni validációban**: a ki nem mondott elvárások és a megkerülő megoldások a naplóban látszanak (kézikönyv 24. fejezet).
- **Kevésbé alkalmas**, ha a folyamat lépései nem naplózódnak, vagy ha az esetfogalom nem határozható meg egyértelműen; ilyenkor a megfigyelés és az interjú a jobb eszköz (37. eszközlap).

53.2. Lépések

1. **Fogalmazd meg a kérdést, és határozd meg az esetet.** Mi egy eset (rendelés, ügyfél, termék)? Mire keresünk választ (késés, eltérés, szűk keresztmetszet)?
2. **Nyerd ki a naplót**: esetazonosító, tevékenység, időbélyeg, erőforrás; ha több rendszerből jön, kapcsold össze az esetazonosítóval.
3. **Ellenőrizd az adatminőséget**: hiányzó és rossz sorrendű időbélyegek, eltérő tevékenységnevek, hiányos esetek (Aalst 2016).



53.1. ábra. A folyamatbányászati elemzés lépései.

4. **Tárd fel a változatokat és a gyakoriságokat**: hány különböző útvonal van, és melyek a leggyakoribbak.
5. **Rajzold meg a közvetlen követési gráfot** gyakoriságokkal és várakozási időkkel (feltárás).
6. **Vesd össze a modellel** (megfelelőség-ellenőrzés): mely esetek térnek el, és hol.
7. **Elemezd a teljesítményt**: átfutás, várakozás, határidő-tartás esetcsoportonként és erőforrásonként (bővítés).
8. **Vonj le következtetést**: a modellt, a szabályokat vagy a folyamatot kell-e módosítani, és mit kell mérni a változás után.

53.3. Kidolgozott példa: a ForgácsTech MES-naplója

A MES első három hónapjának naplója 300 rendelést és 2499 eseményt tartalmaz (a példában szimulált adatok; kézikönyv 20. fejezet). Az adatminőség rendben van: nincs hiányzó vagy rossz sorrendű időbélyeg, minden tevékenységnév egységes. A rendelések 89,3%-a teljesült határidőre.

Feltárás és megfelelőség. A közvetlen követési gráfban két, a jövőbeli modellben nem szereplő útvonal jelenik meg (53.2. ábra): a rendelések 17,3%-ánál (52 eset) az ütemezés után „rendelés átsorolása” következik, 11 esetnél pedig a megmunkálás után a mérés kimarad, és a rendelés közvetlenül a csomagolásra kerül. A modelltől eltérő esetek aránya 20,3%.

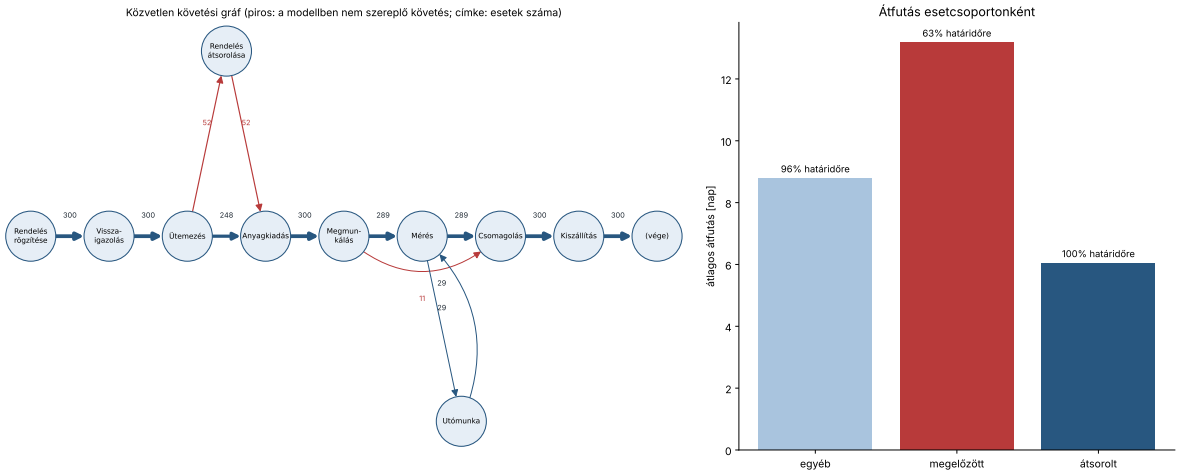
Teljesítmény és erőforrás-nézőpont. Az erőforrás-nézőpontból a csapat megvizsgálta, mely rendeléseket előzték meg ugyanazon a gépen az átsorolt rendelések (53.1. táblázat).

53.1. táblázat. A ForgácsTech rendeléseinek átfutása és határidő-tartása esetcsoportonként.

Esetcsoport	Esetek	Átlagos átfutás [nap]	Határidőre
átsorolt	52	6,0	100%
megelőzött (egy átsorolt rendelés ugyanazon a gépen előbb került sorra)	65	13,2	63%
egyéb	183	8,8	96%
összesen	300	9,3	89%

Tanulságok:

- **A napló a valós folyamatot mutatja.** Az átsorolás a jövőbeli modellben nem szerepelt, a gyakorlatban azonban minden hatodik rendelésnél megtörtént.
- **Az átsorolás nem szünteti meg a késést, csak áthelyezi.** Az átsorolt rendelések mind határidőre teljesültek, a megelőzött rendelések átfutása viszont több mint négy nappal hosszabb, és több mint harmaduk késett; egy megelőzött rendelést átlagosan csaknem két munkanapnyi átsorolt megmunkálás előzött meg.



53.2. ábra. A közvetlen követési gráf a modellben nem szereplő követésekkel, és az átfutás esetcsoportonként. A notebookkal rajzolva.

53.4. Sablon és notebook

- folyamatbanyaszat_sablon.xlsx: „Napló” (eseménynapló a kötelező oszlopokkal és adatminőségi jelzőkkel: ismeretlen tevékenységnév, időrend hiba, a következő tevékenység és annak megfelelősége a modellel), „Esetek” (határidő, átfutás, késés, átsorolás, eltérés esetenként), „Tevékenységek” (gyakoriság, átlagos időtartam, az esetek aránya), „Modell” (a megengedett közvetlen követések), „Követések” (közvetlen követési mátrix, pirossal a modellben nem szereplő követések) és „Összesítés” lap. A ForgácsTech szimulált naplójával kitöltve.
- folyamatbanyaszat.ipynb · Megnyitás Google Colabban: adatminőség, változatok, közvetlen követési gráf várakozási időkkel, megfelelőség-ellenőrzés, teljesítmény esetcsoportonként és az erőforrás-nézőpontú elemzés (a 53.2. ábra így készült). A haladó algoritmusokhoz (folyamatmodell automatikus feltárása, tokenalapú visszajátszás, igazítás) a `pm4py` könyvtár ajánlott (Berti, Zelst, és Aalst 2019).

53.5. Előnyök és korlátok

53.2. táblázat. A folyamatbányászat előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Objektív, teljes képet ad a valós folyamatról, nem csak a mintáról vagy a megkérdezettek emlékezetéről (Aalst 2016)	Csak a naplózott lépéseket látja; a rendszeren kívüli munka (telefon, papír) rejtve marad
Megmutatja a változatokat, a megkerülő megoldásokat és a modelltől való eltéréseket	Az eredmény a napló minőségén és az esetfogalom helyességén múlik (Aalst 2016)
A teljesítményt esetcsoportonként és erőforrásonként is elemezhetővé teszi	A napló személyes adatokat tartalmazhat; a célt és az adatkezelést előre rögzíteni kell
A változtatás után ugyanazzal a módszerrel mérhető a hatás	Az okokat nem magyarázza meg; az eltérések értelmezéséhez a folyamat szereplőit is meg kell kérdezni

Gyakori buktató

- **Rossz esetfogalom.** Ha egy rendelés több tételből áll, és a napló tételenként rögzít, a rendelés mint eset összekeverheti a párhuzamos tételeket.
- **Tisztítatlan napló.** A különböző néven rögzített azonos tevékenységek („Mérés”, „3D mérés”, „Ellenőrzés”) hamis változatokat hoznak létre.
- **Az eltérés mint hiba.** A modelltől eltérő eset nem feltétlenül hibás; lehet, hogy a modell hiányos. Mindkét irányt meg kell vizsgálni.
- **A spagettimodell.** Sok változatnál a közvetlen követési gráf áttekinthetetlen; szűrni kell gyakoriságra, időszakra vagy esetcsoportra.
- **Személyes adatok kezelése.** Az erőforrás-oszlop nevekre is utalhat; az elemzés célját és az adatkezelés módját előre rögzíteni kell (kézikönyv 20. fejezet).

53.6. Mintapromptok

Mintaprompt: tevékenységnevek egységesítése

```
A naplóban szereplő tevékenységnevek és gyakoriságaik: [LISTA].
Feladat: javasolj egységes tevékenységneveket (legfeljebb 15), és add
meg a régi → új hozzárendelést táblázatban. Jelöld azokat a neveket,
amelyek két különböző tevékenységet is jelenthetnek, és azokat,
amelyeket nem tudsz egyértelműen besorolni. Ne vonj össze olyan
neveket, amelyek eltérő erőforráshoz tartoznak, kérdés nélkül.
```

Mintaprompt: eltérések értelmezése

```
A modellben nem szereplő közvetlen követések gyakoriságokkal:
[TÁBLÁZAT]; a teljesítmény esetcsoportonként: [TÁBLÁZAT]; a folyamat
rövid leírása: [LEÍRÁS].
Feladat: minden eltérésre fogalmazz meg két-három lehetséges
magyarázatot (hiányos modell, megkerülő megoldás, adatminőségi hiba),
és mindegyikhez azt, milyen további adattal vagy kérdéssel lehet
eldönteni. Javaslatot csak a magyarázat igazolása után tegyél.
```

53.7. Feladat

Választható feladat: folyamatbányászat

Ha a projektedhez tartozó folyamatot informatikai rendszer támogatja, nyerj ki vagy állíts össze egy legalább 50 esetből álló eseménynaplót (szimulált napló is elfogadható, ha leírod, hogyan készült). Ellenőrizd az adatminőséget a sablonnal, rajzold meg a közvetlen követési gráfot a notebookkal, vesd össze a BPMN-modelleddel, és fogalmazz meg legalább két következtetést a modellre vagy a folyamatra.

V. rész – Átívelő menedzsment

Pannon Egyetem
University of Pannonia

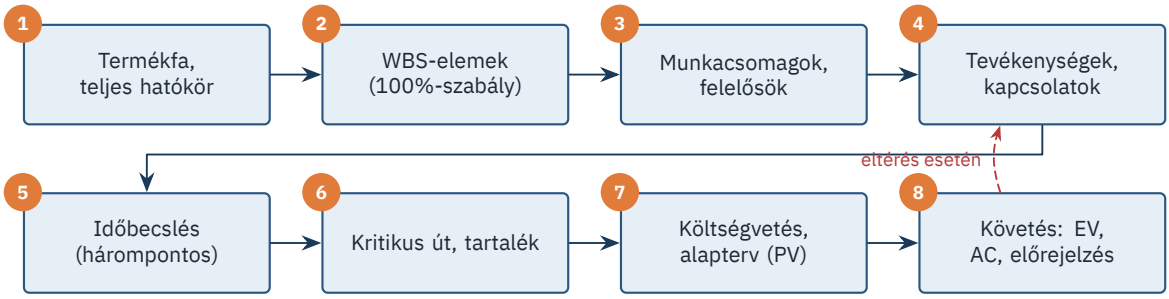
54. Munkalebontási struktúra (WBS)

Eszközkártya

- **Mire való?** A projekt teljes munkájának termékorientált, hierarchikus felosztása felelősökhöz és költségekhez rendelt munkacsomagokra; erre épül a hálós ütemterv a kritikus úttal, a határidő teljesülésének valószínűsége és a teljesítmény követése a megszerzett érték módszerével.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel termékorientált WBS-t készíteni a 100%-szabály szerint, a munkacsomagokhoz költséget és felelőst rendelni, és megszerzett érték módszerével követni az előrehaladást.
- **V-lépés:** átívelő. Az első változat a koncepciós szakaszban készül, az alapterv a követelmények és az architektúra alapvonalba helyezésekor; utána havonta frissül.
- **Bemenet:** termékfa (architektúra), a szállítandó termékek listája, a rendszermérnöki irányítási terv (SEMP), idő- és költségbecslések, a jóváhagyott határidő és keret.
- **Kimenet:** WBS kódokkal, felelősökkel és költségekkel; hálós ütemterv kritikus úttal és tartalékokkal; a határidő teljesülésének valószínűsége; költségalapterv (PV-görbe); havi megszerzettérték-jelentés.
- **Időigény:** egy 20–30 munkacsomagos projekt első WBS-e és ütemterve fél–egy nap; a havi frissítés 1–2 óra.
- **Kézikönyv:** 26. fejezet.
- **Továbbolvasás:** (NASA 2016, 6.1. szakasz és B függelék).

54.1. Mikor használd?

- **A projekt indításakor**, a rendszermérnöki irányítási tervvel együtt: a WBS, az ütemterv és a költségvetés egymástól kölcsönösen függ, és együtt kell kezelni őket (Fleming és Koppelman 2010).
- **Ha több szervezet vagy beszállító dolgozik a projekten**: a WBS a felelősség és az elszámolás közös kerete; mutatja, hogyan gyűjtik, összesítik és jelentik a költség-, ütemezési és műszaki adatokat (Project Management Institute 2019).
- **Ha a határidő kockázatos**: a hárompontos becslésből és a szimulációból kiderül, mekkora eséllyel tartható a határidő, és mely tevékenységek döntik el.
- **A végrehajtás alatt havonta**: a megszerzett érték módszere az ütemezési és a költségeltérést együtt, korán jelzi (Fleming és Koppelman 2010).
- **Kevésbé szükséges** rövid, néhány fős, egyszakaszos feladatnál. Agilis szoftverfejlesztésben a rangsorolt teendőlista és a sprintek kiválthatják a WBS alsó szintjeit (Schwaber és Sutherland 2020), de hardvert is tartalmazó, hibrid projektekben a felső szintek és a költségkeret akkor is kellenek (26. fejezet).



54.1. ábra. A munkalebontás, az ütemezés és a követés lépései.

54.2. Lépések

1. **Indulj a termékfából, és határold le a teljes hatókört.** A WBS a végtermékek előállításához szükséges hardver, szoftver, szolgáltatások, adatok és létesítmények termékorientált, hierarchikus felosztása (U.S. Department of Defense 2022). A termékfa elemei mellé vedd fel a „láthatatlan” munkát is: projektirányítás, rendszermérnöki munka, integráció, verifikáció, validáció, telepítés, képzés, dokumentáció.
2. **Bontsd WBS-elemekre a 100%-szabály szerint.** Minden szint pontosan a felette álló elem teljes munkáját tartalmazza, se többet, se kevesebbet; a testvérelemek nem fedik át egymást (Project Management Institute 2019). Az elemek nevei termékek vagy eredmények (főnevek), nem tevékenységek.
3. **Jelöld ki a munkacsomagokat és a felelősöket.** A legalsó szint elemei önállóan tervezhetők, becsülhetők és követhetők, és mindegyiknek egy felelőse van. A kódolás (1, 1.1, 1.1.1) a költségek összesítésének alapja.
4. **Bontsd tevékenységekre, és add meg a kapcsolatokat.** A munkacsomagokból tevékenységek lesznek; a leggyakoribb a befejezés–kezdés kapcsolat. A felülvizsgálatok és az átvételek mérföldkövek (nulla időtartamú tevékenységek).
5. **Becsüld meg az időket három ponttal.** Optimista (o), legvalószínűbb (m) és pesszimista (p) idő; ebből a PERT a várható időt és a szórást közelíti (54.1. egyenlet) (Malcolm és mtsai. 1959).
6. **Számold ki a kritikus utat és a tartalékokat.** Előre haladva a legkorábbi, visszafelé a legkésőbbi kezdési időket; a tartalék ezek különbsége, a kritikus út a nulla tartalékú tevékenységek sorozata (Kelley és Walker 1959). A kritikus út a projekt során változik, ezért folyamatosan figyelni kell.
7. **Készítsd el a költségvetést és az alaptervet.** A munkacsomagok költségét az ütemterv szerint időben elosztva kapod a tervezett érték (PV) görbéjét; ez a teljesítménymérés alapterve (Fleming és Koppelman 2010).
8. **Kövesd havonta a megszerzett értéket.** Az elvégzett munka tervezett költsége (EV), a tényleges költség (AC) és a tervezett érték (PV) összevetéséből az ütemezési és a költséghatékonysági index, valamint a befejezéskori költség előrejelzése adódik (Fleming és Koppelman 2010). Jelentős eltérésnél újra kell tervezni.

A klasszikus PERT közelítése a K kritikus út tevékenységeire:

$$t_e = \frac{o + 4m + p}{6}, \qquad \sigma = \frac{p - o}{6}, \qquad P(T \le T_{\text{cél}}) \approx \Phi\left(\frac{T_{\text{cél}} - \sum_{i \in K} t_{e,i}}{\sqrt{\sum_{i \in K} \sigma_i^2}}\right) \tag{54.1}$$

ahol Φ a standard normális eloszlásfüggvény (Malcolm és mtsai. 1959). A közelítés csak a determinisztikus kritikus úttal számol, ezért a Monte Carlo-szimuláció pontosabb: minden futásban újrasorsolja az időket, és újraszámolja a kritikus utat.

54.3. Kidolgozott példa: a KoboCella-projekt

A KoboCella-projekt WBS-e négy felső szintű elemből és 18 munkacsomagból áll: projektirányítás és rendszermérnökség 8 MFt, a cella 52 MFt, integráció, verifikáció és validáció 10 MFt, telepítés és átadás 8 MFt, összesen 78 MFt (26. fejezet). A 100%-szabályt a sablonban képlet ellenőrzi: minden szülőelem költsége a munkacsomagjainak összege.

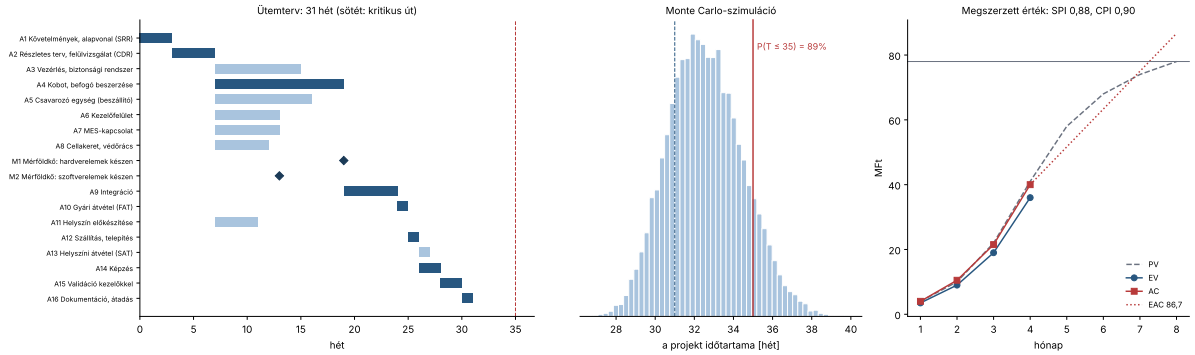
Az ütemterv 18 tevékenységből áll. A legvalószínűbb időkkel a projekt 31 hét; a jóváhagyott időtartam 35 hét (nyolc hónap). A kritikus út: követelmények és alapvonal → részletes terv → a kobot és a befogó beszerzése (12 hét) → a hardverelemek mérföldköve → integráció → gyári átvétel → szállítás és telepítés → képzés → validáció a kezelőkkel → átadás. A csavarozó egység beszerzésének 3, a vezérlésnek 4 hét tartaléka van.

A négy hét tartalék kevésbé megnyugtató, mint amilyennek látszik. A PERT szerint a várható időtartam 32,6 hét, a szórás 1,77 hét, a határidő teljesülésének valószínűsége 91,4%. A 20 000 futásos Monte Carlo-szimuláció 89,0%-ot ad; a futások 80%-ában a projekt 34,2 héten belül elkészül (54.2. ábra). A különbség oka, hogy a PERT csak egyetlen kritikus úttal számol, és figyelmen kívül hagyja, hogy a párhuzamos, közel kritikus utak is meghosszabbíthatják a projektet; ezért a klasszikus PERT-becslés optimista (MacCrimmon és Ryavec 1964). A legvalószínűbb időkből számolt 31 hetet a futásoknak csak 21%-a tartotta: a legvalószínűbb idők összege nem a legvalószínűbb projektidőtartam.

54.1. táblázat. A KoboCella-projekt megszerzettérték-mutatói a negyedik hónap végén (PV = 41, EV = 36, AC = 40, BAC = 78 MFt) (Fleming és Koppelman 2010).

Mutató	Képlet	Érték (4. hónap)	Értelmezés
ütemezési eltérés	SV = EV − PV	−5,0 MFt	a tervezettnél kevesebb munka készült el
költségeltérés	CV = EV − AC	−4,0 MFt	az elvégzett munka többe került a tervezettnél
ütemezési index	SPI = EV/PV	0,88	a tervezett ütem 88%-ával halad
költséghatékonysági index	CPI = EV/AC	0,90	1 Ft-ért 0,90 Ft értékű munka készül
befejezéskori költség	EAC = BAC/CPI	86,7 MFt	ha a költséghatékonyság nem javul
befejezéskori költség	EAC = AC + (BAC − EV)	82,0 MFt	ha a hátralévő munka a tervezett költséggel készül

A negyedik hónap végén a projekt késésben van, és a vártnál drágábban halad (54.1. táblázat). A két előrejelzés közötti különbség a feltevésben van: az első szerint a mostani költséghatékonyság folytatódik, a második szerint az eddigi túllépés egyszeri volt. A kézikönyv szerint a késés oka a kobot beszállítójának kéthetes csúszása, a többletköltségé a kockázatértékelés után előírt kiegészítő biztonsági berendezés volt; az előbbi közvetlenül a kritikus utat érinti.



54.2. ábra. A KoboCella ütemterve a kritikus úttal, a projekt időtartamának Monte Carlo-szimulációja és a megszerzettérték-görbék. A notebookkal rajzolva.

Tanulságok:

- **A tartalék nem biztonság.** A négy hét tartalék ellenére a határidő a futások 11%-ában csúszik, mert a tevékenységidők bizonytalanok és jobbra ferdék.
- **A kritikus út a beszerzésen át vezet.** A beszállítói határidők követése itt fontosabb, mint a belső fejlesztési feladatoké; a kritikussági index ezt számszerűen is mutatja (a kobot beszerzése a futások 98%-ában kritikus).
- **A „láthatatlan" munka nagy.** Az integráció, a verifikáció és a validáció, valamint a telepítés és az átadás (benne a képzés és a dokumentáció) együtt a költségvetés 23%-a; WBS nélkül ezek könnyen kimaradnak a tervből.
- **Az elköltött pénz nem elvégzett munka.** A tényleges költség (40 MFt) közel van a tervezett értékhez (41 MFt), mégis késés és túlköltés van: ezt csak a megszerzett érték mutatja meg.

54.4. Sablon és notebook

- wbs_sablon.xlsx: „WBS" lap legfeljebb 60 elemmel, a szint, a szülő és a munkacsomagok képlettel való felismerésével, költség- és megszerzettérték-összesítéssel és a 100%-szabály ellenőrzésével; „Ütemezés" lap legfeljebb 40 tevékenységgel és tevékenységenként legfeljebb négy előzménnyel: legkorábbi és legkésőbbi időpontok, tartalék, kritikus út, PERT-valószínűség és Gantt-rács; „Megszerzett érték" lap havi PV-, EV- és AC-értékekkel, a mutatókkal és diagrammal. A KoboCella példájával kitöltve.
- wbs.ipynb · Megnyitás Google Colabban: a 100%-szabály ellenőrzése, kritikus út módszer, klasszikus PERT, Monte Carlo-szimuláció PERT-béta eloszlással, kritikussági index és megszerzettérték-elemzés két előrejelzéssel (a 54.2. ábra így készült).

54.5. Előnyök és korlátok

54.2. táblázat. A munkalebontás, a hálós ütemezés és a megszerzett érték előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
A teljes hatókört lefedi; a 100%-szabály miatt munka nem marad ki, és nem szerepel kétszer (Project Management Institute 2019)	Csak olyan jó, mint a termékfa: hiányos architektúrából hiányos WBS lesz
Közös keretet ad a felelősségnek, a költségnek, az ütemezésnek és a jelentéseknek (Project Management Institute 2019)	A túl részletes WBS adminisztrációs teher, és lassítja a változtatásokat
A kritikus út megmutatja, mely tevékenységek csúszása késlelteti a projektet (Kelley és Walker 1959)	Determinisztikus időkkel számolva elrejti a bizonytalanságot
A hárompontos becslés és a szimuláció valószínűséget ad a határidőre (Malcolm és mtsai. 1959)	A becslések szubjektívek; a klasszikus PERT egyetlen kritikus utat feltételez, ezért optimista (MacCrimmon és Ryavec 1964); a tevékenységek függetlensége sem mindig teljesül
A megszerzett érték az ütemezést és a költséget együtt méri, és korai előrejelzést ad (Fleming és Koppelman 2010)	Az elkészültség becslése szubjektív lehet; előre rögzített mérési szabály kell (például mérföldkövek vagy 0/100) (Fleming és Koppelman 2010)

Gyakori buktató

- **Tevékenységlista WBS helyett.** Az igékből álló lista nem garantálja a teljességet; a WBS elemei termékek és eredmények.
- **Kimaradt „láthatatlan” munka.** Az integráció, a verifikáció, a képzés, a dokumentáció és a projektirányítás gyakran hiányzik a tervből és a költségvetésből.
- **A legvalószínűbb idők összege mint határidő.** A példában ez az időtartam a szimulációs futások csak 21%-ában teljesült.
- **Tartalék minden tevékenységbe elosztva.** A rejtett tartalékok elfogynak, és nem látszik, hol van valódi kockázat; a tartalékot láthatóan, a projekt vagy a mérföldkövek szintjén érdemes kezelni.
- **Elköltött pénz mint előrehaladás.** Az AC és a PV összevetése nem mutatja a késést; az EV kell hozzá.
- **Terv a fiókban.** A frissítés nélküli ütemterv és költségvetés elavul, és a projekt észrevétlenül ellenőrizetlen állapotba csúszhat.

54.6. Mintapromptok

Mintaprompt: WBS-tervezet a termékfából

```
Termékfa: [A RENDSZER ELEMEI HIERARCHIÁBAN].
Szállítandó eredmények: [TERMÉKEK, DOKUMENTUMOK, KÉPZÉS, ÁTVÉTELEK].
Feladat: javasolj legfeljebb háromszintű, termékorientált WBS-t
kódolással (1, 1.1, 1.1.1). Vedd fel a projektirányítást, a
rendszermérnöki munkát, az integrációt, a verifikációt, a validációt,
a telepítést, a képzést és a dokumentációt is. Ellenőrizd a
100%-szabályt, és jelöld az átfedéseket. Költséget és időt ne becsülj;
ahol a termékfából nem dönthető el valami, kérdezz.
```

Mintaprompt: a megszerzett érték értelmezése

```
Havi adatok: [HÓNAP, PV, EV, AC], teljes költségvetés: [BAC],
a kritikus út tevékenységei: [LISTA], az eddigi események: [LEÍRÁS].
Feladat: számítsd ki az SV, CV, SPI, CPI és EAC értékét két
feltevéssel, és értelmezd őket. Sorold fel, milyen okok magyarázhatják
az eltéréseket, és milyen adatokkal ellenőrizhetők. Ne állapíts meg
okot bizonyíték nélkül, és jelezd, ha az EV mérési módja bizonytalan.
```

54.7. Feladat

Választható feladat: a csapatprojekt terve

Készítsétek el a féléves csapatprojekt WBS-ét legalább három szinttel, a projekt tíz lépéséből és a zárójelentés fejezeteiből kiindulva (1.2. táblázat). Bontsátok tevékenységekre, adjatok hárompontos becslést munkaórában, és a notebookkal becsüljétek meg, mekkora eséllyel készültök el a zárójelentés határidejéig, és mely tevékenységek kritikussági indexe a legnagyobb. A félév közepén végezzetek megszerzettérték-elemzést munkaórában számolva, és értelmezzétek az eredményt.

55. Technikai felülvizsgálat lebonyolítása

Eszközkártya

- **Mire való?** Egy technikai felülvizsgálat (például követelmény-, előzetes vagy részletes tervfelülvizsgálat) vagy szakmai átvizsgálás előkészítése, lebonyolítása és lezárása: belépési és sikerességi feltételek, felülvizsgáló csoport, észrevételek, válaszok, intézkedések és az eredmény.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel egy technikai felülvizsgálatot belépési és sikerességi feltételekkel megtervezni, lebonyolítani, és az észrevételeket felelőssel és határidővel lezárni.
- **V-lépés:** átívelő; a szakaszhatárokon (alapvonalak előtt) és egy-egy munkatermék elkészültekor.
- **Bemenet:** a felülvizsgálat tárgya (dokumentumok, modellek, prototípusok), a belépési és sikerességi feltételek, a bírálók köre, az előző felülvizsgálat nyitott tételei.
- **Kimenet:** észrevételnapló súlyossággal, válasszal, felelőssel és határidővel; jegyzőkönyv az eredménnyel; a nyitott tételek követése a lezárásig.
- **Időigény:** az előkészítés 1–2 nap, a bírálóknak a dokumentumok átolvasása néhány óra, maga a felülvizsgálat fél–egy nap; az intézkedések lezárása heteket is igényelhet.
- **Kézikönyv:** 2. fejezet (felülvizsgálatok az életciklusban) és 26. fejezet.
- **Továbbolvasás:** (NASA 2016, 6.7. szakasz és N függelék).

55.1. Mikor használd?

- **A szakaszhatárokon**: a felülvizsgálatok azok a pontok, ahol a technikai mérőszámokat és trendjeiket a lehetséges problémák korai jelei után kutatva meg kell vizsgálni, és ahol eldől, hogy a projekt továbbléphet-e (IEEE 2014).
- **Egy-egy munkatermék elkészültekor**: a szakmai átvizsgálás (peer review) kisebb körben, részletesen vizsgál meg egy tervet, kódot vagy elemzést (IEEE 2008). A formális átvizsgálás a hibákat a tesztelés előtt, olcsóbban tárja fel (Fagan 1976).
- **Alapvonalba helyezés előtt**: a felülvizsgálat zárja le, hogy a dokumentum változtatása ettől kezdve konfigurációkezelés alá kerül (56. eszközlap).
- **Kevésbé szükséges** a napi szakmai egyeztetésekhez; ott elég egy rövid, dokumentált átnézés. A formális felülvizsgálat ott éri meg, ahol a hiba utólagos javítása drága.

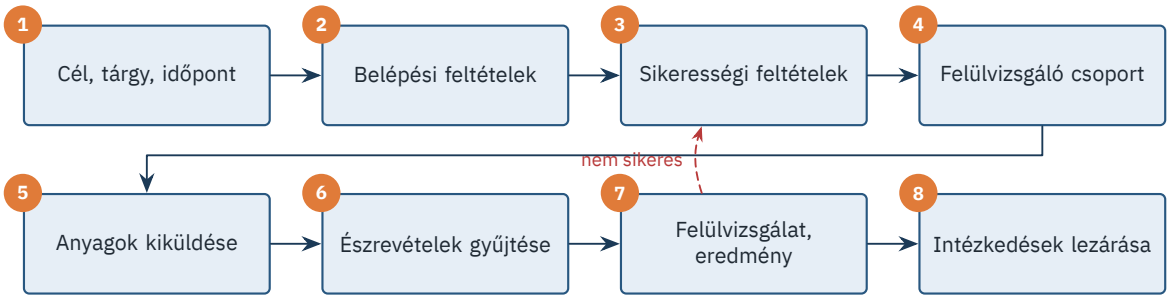
A felülvizsgálatnak több fajtája van; az IEEE 1028 szabvány ötöt különböztet meg (55.1. táblázat) (IEEE 2008).

55.1. táblázat. A felülvizsgálatok fajtái (IEEE 2008 alapján).

Fajta	Fő kérdés	Jellemző résztvevők
vezetői felülvizsgálat	Hol tart a munka a tervekhez képest, kell-e beavatkozni?	vezetők, projektvezető

Fajta	Fő kérdés	Jellemző résztvevők
technikai felülvizsgálat	Alkalmas-e a termék a rendeltetésére, eltér-e a specifikációtól és a szabványoktól?	szakértők, érdekelt felek képviselői
átvizsgálás (inspection)	Milyen hibák vannak a termékben?	képzett, független moderátor vezetésével a szerző kollégái
végigvezetés (walk-through)	Mit gondolnak a kollégák a megoldásról?	a szerző vezeti, a résztvevők kérdeznek és észrevételeznek
audit	Megfelel-e a termék vagy a folyamat a követelményeknek, szabványoknak, szerződésnek?	a projekttől független auditorok

55.2. Lépések



55.1. ábra. A technikai felülvizsgálat lebonyolításának lépései.

1. **Rögzítsd a célt, a tárgyat és az időpontot.** Melyik felülvizsgálat ez, mit kell eldönteni rajta, mely dokumentumok és termékek a tárgyai (IEEE 2014).
2. **Határozd meg a belépési feltételeket.** Mi kell ahhoz, hogy a felülvizsgálat egyáltalán megtartható legyen: milyen dokumentumok, milyen érettségi szinten, mikorra kiküldve. Ha a feltételek nem teljesülnek, a felülvizsgálatot el kell halasztani.
3. **Határozd meg a sikerességi feltételeket.** Mit kell a felülvizsgálaton igazolni (például: az architektúra minden követelményt teljesíthet elfogadható kockázattal). A feltételeket előre, a dokumentumok ismerete előtt kell rögzíteni.
4. **Állítsd össze a felülvizsgáló csoportot.** A szakértők mellett az érdekelt felek képviselői és legalább egy, a projekttől független szakértő; a szerepek (vezető, jegyzőkönyvvezető, bírálók) legyenek tisztázva (Fagan 1976).
5. **Küldd ki az anyagokat időben.** A bírálóknak a felülvizsgálat előtt el kell olvasniuk a dokumentumokat; a kiküldés határideje maga is belépési feltétel (a példában tíz nap).
6. **Gyűjtsd az észrevételeket.** Az észrevételek írásban, hivatkozással (dokumentum, fejezet), súlyossággal érkezzenek, lehetőleg a felülvizsgálat előtt, hogy a szerzők felkészülhessenek a válaszokra.
7. **Tartsd meg a felülvizsgálatot, és rögzítsd az eredményt.** A megbeszélés a súlyos és a vitatott észrevételekre összpontosít; a megoldás részleteit nem itt kell kidolgozni (IEEE 2008). Az eredmény lehet sikeres, feltételesen sikeres vagy nem sikeres; a jegyzőkönyv rögzíti az eredményt, az ajánlásokat és az intézkedéseket (IEEE 2014).

8. **Zárd le az intézkedéseket.** Minden észrevételhez válasz, felelős és határidő tartozik; a lezárást a bíráló is elfogadja. A nyitott tételeket a következő felülvizsgálat belépési feltételei között ellenőrizni kell.

55.3. Kidolgozott példa: a VárosiBringa előzetes tervfelülvizsgálata

A VárosiBringa előzetes tervfelülvizsgálatának nyolc belépési feltétele volt: a rendszerarchitektúra, az allokált követelmények nyomonkövetéssel, az interfészjegyzék, a dokkoló tervezési FMEA-ja, a kölcsönző alkalmazás első prototípusának használhatósági eredményei, az áthelyezési stratégia szimulációja, a dokumentumok kiküldése legalább tíz nappal előtte és a felülvizsgáló csoport kijelölése (26. fejezet). Mind teljesült. Az öt sikerességi feltétel közül kettő csak részben: két állomáson nem volt igazolva, hogy a dokkoló mellett megmarad a kerekesszékhez szükséges járdaszélesség, és a téli üzemre nem készült forgatókönyv.

55.2. táblázat. A VárosiBringa előzetes tervfelülvizsgálatának észrevételei a május 18-i állapot szerint.

Súlyosság	Nyitott	Folyamatban	Lezárt	Elutasított	Összesen
súlyos	2	0	0	0	2
közepes	0	3	5	0	8
kisebb	0	0	9	0	9
javaslat	0	0	3	1	4
összesen	**2**	**3**	**17**	**1**	**23**

A felülvizsgálat feltételesen sikeres lett: a következő szakasz elkezdődhetett, de a két súlyos észrevételt felelőssel és határidővel le kellett zárni a részletes tervfelülvizsgálat előtt. A sablon a javasolt eredményt egyszerű szabállyal számolja: sikeres, ha minden sikerességi feltétel teljesül és nincs nyitott súlyos észrevétel; feltételesen sikeres, ha minden nyitott súlyos észrevételhez felelős és határidő tartozik; egyébként nem sikeres. A döntést a felülvizsgáló csoport hozza meg, a szabály csak az egységes indoklást segíti.

Egy hónappal később, a május 18-i állapot szerint 23 észrevételből 17 lezárult, egyet elutasítottak, ötöt még nem zártak le (55.2. táblázat). Három nyitott tétel határideje lejárt, köztük az egyik súlyosé (a járdaszélesség helyszíni felmérése). Ez a projektvezetőnek szóló jelzés: vagy a felmérést kell gyorsítani, vagy a határidőt kell indoklással módosítani, de a tételt nem lehet szó nélkül továbbgörgetni. Az elutasított javaslat (szponzorációs felület a dokkolókon) indoklással került a naplóba: a városkép-védelmi szabályokkal ütközött.

Tanulságok:

- **A belépési feltétel védi a bírálók idejét.** Hiányos anyagokra épülő felülvizsgálat csak azt állapítja meg, hogy az anyag hiányos.
- **Az érdekelt felek képviselete számít.** A két súlyos észrevétel közül az egyiket az akadálymentességi képviselő, a másikat a független rendszermérnök tette.
- **A feltételes siker kötelezettség.** A nyitott súlyos tételeket felelőssel és határidővel kell követni; a lejárt határidő vezetői beavatkozást kíván.

- **A súlyos észrevétel mögött valós kockázat áll.** A téli forgatókönyv hiánya utólag különösen tanulságos volt: az első télen a dokkolók zárjai alacsony hőmérsékleten nem zártak, és a hibát 8D-folyamattal kellett felszámolni (25. fejezet).

55.4. Sablon

- felulvizsgalat_sablon.xlsx: „Terv” lap a felülvizsgálat adataival, legfeljebb 15 belépési és 15 sikerességi feltétellel, színezett állapottal; „Észrevételek” lap legfeljebb 60 észrevétellel, legördülő súlyossággal és állapottal, a lejárt határidők automatikus jelzésével; „Összesítés” lap súlyosság és állapot szerinti összesítéssel, diagrammal, a megtarthatóság ellenőrzésével és a javasolt eredménnyel. A VárosiBringa példájával kitöltve.
- Ehhez az eszközhöz nem készült notebook: az észrevételek követése táblázatban a legegyszerűbb, és a felülvizsgálat értéke a szakmai tartalomban van, nem a számításban.

55.5. Előnyök és korlátok

55.3. táblázat. A technikai felülvizsgálat előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Független szemmel, korán tárja fel a hibákat, amikor a javítás még olcsó (Fagan 1976)	Időigényes; a jó bírálók ideje drága és szűkös
Az előre rögzített belépési és sikerességi feltételek tárgyilagossá teszik a döntést (IEEE 2014)	Túl általános feltételek mellett formalitássá válik
Az intézkedések felelőssel és határidővel dokumentáltak, a lezárás követhető	A felülvizsgálat pillanatfelvétel; a trendeket a havi technikai értékelés mutatja
Az érdekelt feleket strukturáltan bevonja	A bírálók csak azt látják, amit a dokumentumok tartalmaznak; ami hiányzik belőlük, könnyen rejtve marad

Gyakori buktató

- **Utólag megfogalmazott feltételek.** Ha a sikerességi feltételek a felülvizsgálaton születnek, a döntés nem tárgyilagos.
- **Késve kiküldött anyagok.** A bírálók felkészületlenül érkeznek, az észrevételek felületesek lesznek.
- **Megoldástervezés a felülvizsgálaton.** A megbeszélés a hibák és kockázatok feltárására való; a megoldást a felelős dolgozza ki (IEEE 2008).
- **Észrevétel felelős és határidő nélkül.** Az ilyen tételek nem zárulnak le, és a következő felülvizsgálaton újra előkerülnek.
- **A „feltételesen sikeres” mint „sikeres”.** A nyitott tételek követése nélkül a feltétel elveszíti az értelmét.
- **Csak belső bírálók.** Független szakértő és az érdekelt felek képviselői nélkül a csoport a saját vakfoltjait nem látja.

55.6. Mintapromptok

Mintaprompt: belépési és sikerességi feltételek

```
Felülvizsgálat: [FAJTÁJA, A PROJEKT SZAKASZA], tárgya: [DOKUMENTUMOK,
MODELLEK, PROTOTÍPUSOK], a projekt fő kockázatai: [LISTA].
Feladat: javasolj belépési feltételeket (mi kell a megtartáshoz,
milyen érettségi szinten) és sikerességi feltételeket (mit kell
igazolni). Minden feltétel legyen ellenőrizhető, és jelöld, milyen
bizonyíték igazolja. Jelezd, ha egy kockázathoz nem tartozik feltétel.
A projekt adatait ne egészítsd ki feltételezésekkel.
```

Mintaprompt: észrevételek rendezése

```
Észrevételek: [AZONOSÍTÓ, DOKUMENTUM ÉS HELY, SZÖVEG, BÍRÁLÓ].
Feladat: csoportosítsd az észrevételeket témák szerint, jelöld az
ismétlődő vagy egymásnak ellentmondó tételeket, és javasolj
súlyosságot (súlyos, közepes, kisebb, javaslat) egy mondatos
indoklással. A súlyosságról és az eredményről a felülvizsgáló csoport
dönt; a javaslatod csak előkészítés. Ne fogalmazz meg megoldást.
```

55.7. Feladat

Választható feladat: kölcsönös felülvizsgálat

Két csapat vizsgálja felül egymás követelményeit és működési koncepcióját (3. projektlépés). A szerző csapat előre rögzítse a belépési és a sikerességi feltételeket, és legalább egy héttel előtte küldje ki az anyagot; a bíráló csapat legalább tíz észrevételt adjon súlyossággal. Vezessétek a sablon „Észrevételek” lapját, válaszoljatok minden észrevételre, és egy héten belül zárjátok le a súlyos tételeket. A zárójelentésben röviden értékeljétek, mit tárt fel a felülvizsgálat.

56. Konfigurációkezelés és változáskérelem

Eszközkártya

- **Mire való?** A konfigurációs elemek (dokumentumok, szoftverek, hardverek, adatok, modellek) azonosítása és nyilvántartása, a köztük lévő hatáskapcsolatok rögzítése, a változáskérelmek besorolása, hatáselemzése, döntése és lezárása, valamint az eltérési engedélyek kezelése.
- **Tanulási eredmény:** az eszközlap feldolgozása után képes leszel konfigurációs elemeket azonosítani, egy változáskérelem hatását a kapcsolatok mentén elemezni, és a változást jelentős vagy kisebb osztályba sorolni.
- **V-lépés:** átívelő; az első alapvonaltól (a jóváhagyott követelményektől) az üzemeltetés végéig.
- **Bemenet:** a termékfa és a projekt dokumentumainak, szoftvereinek, rajzainak listája; az alapvonalak; a beérkező változtatási javaslatok.
- **Kimenet:** konfigurációs nyilvántartás változatokkal és felelősökkel; hatáskapcsolatok; változáskérelem-napló besorolással, döntéshozóval, állapottal és átfutással; a hiányos hatáselemzések listája.
- **Időigény:** az elemek és a kapcsolatok első felvétele 2–3 óra; egy kérelem hatáselemzése fél órától néhány napig tart.
- **Kézikönyv:** 26. fejezet.
- **Továbbolvasás:** (NASA 2016, 6.5. szakasz).

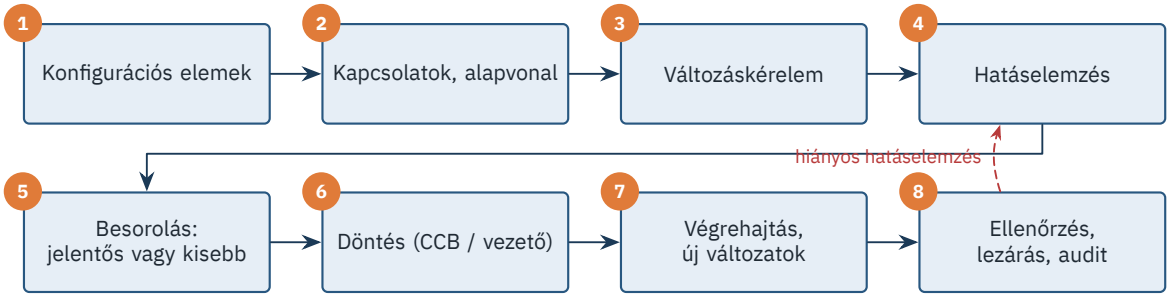
56.1. Mikor használd?

- **Az első alapvonaltól kezdve**: a jóváhagyott követelmények, majd az architektúra, végül a termék dokumentációja csak szabályozott módon változhat. A konfigurációkezelés gondoskodik arról, hogy a termék konfigurációja ismert legyen, tükröződjön a termékinformációkban, és minden változás szabályozott legyen (ISO 2017).
- **Ha többen dolgoznak ugyanazokon az elemeken**: mindenkinek ugyanazt a jóváhagyott változatot kell használnia.
- **Ha egy változtatás „apróságnak” látszik**, de érintheti a biztonságot, az interfészeket vagy a képzést: a hatáselemzés derít fényt a rejtett következményekre.
- **Üzemeltetés alatt**: a karbantartáshoz, a pótalkatrészekhez és a hibaelemzéshez tudni kell, pontosan milyen konfigurációjú termék működik a helyszínen.
- **Kevésbé szükséges** rövid, egyszemélyes munkánál; ott a verziókezelés is elég. A szoftverek verziókezelése (például Git) a konfigurációkezelés eszköze, de nem helyettesíti a változások besorolását és a hatáselemzést.

A változás **jelentős** (I. osztályú) (U.S. Department of Defense 2020), ha az alapvonal konfigurációs dokumentációját jelentősen érinti: utólagos átalakítást kíván a leszállított termékeken, vagy érinti a specifikációt, a költséget, a biztonságot, az interfésszel kapcsolódó termékekkel való összeférhetőséget, illetve a kezelők vagy karbantartók képzését. **Kisebb** (II. osztályú), ha a dokumentációt vagy a folyamatokat úgy javítja, hogy a cserélhetőséget

nem érinti. Az **eltérési engedély** dokumentált megállapodás egy követelmény teljesítésének szándékos elengedéséről, és nem változtatja meg az alapvonalat (U.S. Department of Defense 2020).

56.2. Lépések



56.1. ábra. A konfigurációkezelés és a változáskérelem kezelésének lépései.

1. **Azonosítsd a konfigurációs elemeket.** Jelöld ki, mely dokumentumok, szoftverek, hardverelemek, adatok és modellek kerülnek konfigurációkezelés alá; adj nekik egyedi azonosítót, változatszámot, felelőst és tárolási helyet (ISO 2017).
2. **Rögzítsd a kapcsolatokat és az alapvonalakat.** Egy kapcsolat azt jelenti, hogy a forráselem módosítása után a célelemet ellenőrizni kell (például az interfészvezérlő dokumentum után a kezelőfelület-alkalmazást). Jelöld, melyik elem melyik alapvonal (funkcionális, allokált, termék) része.
3. **Fogadd a változáskérelmet.** Mit, miért és ki kér; milyen sürgős; változtatás vagy eltérési engedély.
4. **Végezd el a hatáselemzést.** Minden elemről döntsd el, hogy módosítani kell (x), vagy megvizsgáltad, és nem érinti (n). A kapcsolatok mentén ellenőrizd, hogy minden olyan elemet megvizsgáltál-e, amelyre egy módosítandó elem hat. A változások ugyanis láncszerűen terjedhetnek egyik elemről a másikra (Clarkson, Simons, és Eckert 2004).
5. **Sorold be a változást.** Ha a hat hatásjellemző (specifikáció, költség, biztonság, interfész, képzés, leszállított termék) bármelyike érintett, a változás jelentős, egyébként kisebb (U.S. Department of Defense 2020).
6. **Döntsetek.** A jelentős változásokról a konfigurációs bizottság (configuration control board, CCB) dönt, a kisebbekről a konfigurációs vezető. A döntést indoklással rögzítsd.
7. **Hajtsd végre, és helyezd alapvonalba az új változatokat.** Minden érintett elem új változata elkészül, felülvizsgálaton megy át, és bekerül a nyilvántartásba.
8. **Ellenőrizd, zárd le, auditáld.** A kérelem csak akkor zárható le, ha minden érintett elem új változata alapvonalba került, és a kapcsolódó teendők (például a képzés) megtörténtek. Az időszakos funkcionális audit azt igazolja, hogy a termék teljesíti a követelményeket, a fizikai audit azt, hogy a dokumentáció és a termék összhangban van (U.S. Department of Defense 2020).

56.3. Kidolgozott példa: a KoboCella konfigurációkezelése

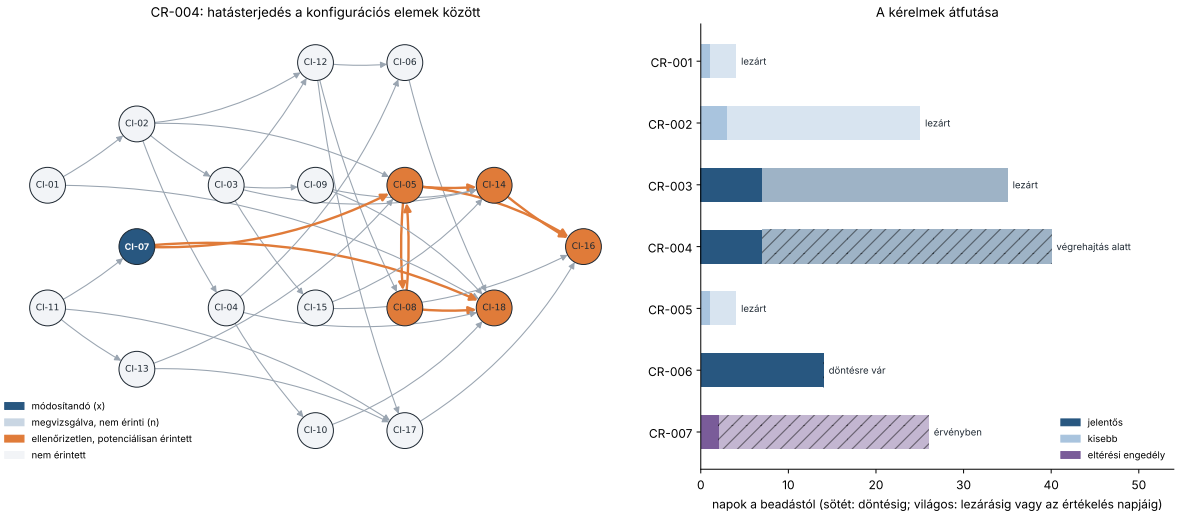
A KoboCella 18 konfigurációs elemet tart nyilván: a követelményspecifikációt, az architektúrát, két interfészvezérlő dokumentumot (I-06, I-07), a kockázatértékelést és biztonsági igazolást, négy szoftvert (cellavezérlő, kobot, biztonsági vezérlő, kezelőfelület), a csavarozási paraméterkészletet, két rajzcsomagot, az FMEA-t, a kezelési útmutatót, a feladatelemzést, a képzési anyagot, a karbantartási utasítást és a verifikációs mátrixot. A köztük lévő 36 hatáskapcsolat közül a legtöbb (négy-négy) elemre az architektúra és a kezelőfelület interfészvezérlő dokumentuma hat; a verifikációs mátrixra hét elem hat, ezért szinte minden termékváltozás után ellenőrizni kell.

56.1. táblázat. A KoboCella változáskérelmei a május 18-i állapot szerint. A jelentős változásokról és az eltérési engedélyről a konfigurációs bizottság (CCB), a kisebbekről a konfigurációs vezető döntött. A napok lezárt kérelemnél az átfutást, nyitottnál a beadás óta eltelt időt jelentik; a nem vizsgált elemek száma: közvetlen hatás / teljes lánc.

Kérelem	Tárgy	Besorolás	Állapot	Nap	Nem vizsgált
CR-001	Mértékegység-elírás a követelményspecifikációban	kisebb	lezárt	4	0
CR-002	Kopásálló betét a befogó ütközőjén	kisebb	lezárt	25	0
CR-003	Második nyugtázó gomb a kezelői oldalon	jelentős (interfész, képzés)	lezárt	35	0
CR-004	Kobotpálya módosítása a ciklusidő csökkentésére	jelentős (biztonság)	végrehajtás alatt	40	2 / 5
CR-005	Elírások a kezelési útmutatóban	kisebb	lezárt	4	0
CR-006	Szériaszám mező a csavarozási adatokban (I-07)	jelentős (interfész)	döntésre vár	14	2 / 2
CR-007	Üzem MES-kapcsolat nélkül négy hétig	eltérési engedély	érvényben	26	–

A 56.1. táblázat három dolgot mutat. A második nyugtázó gomb (CR-003) a kézikönyvben leírt módon jelentős változás lett, mert a kezelők képzését és a kezelőfelület interfészvezérlő dokumentumát érintette; hét nap alatt döntöttek róla, de a lezárás 35 napig tartott, mert a nyolc érintett elem mindegyikének új változata kellett, és a kezelőket is ki kellett képezni (26. fejezet). A kisebb változások átlagosan 1,7 nap alatt döntésre jutottak, a jelentősek 7 nap alatt; ez a besorolás célja: a kis ügyek ne terheljék a bizottságot.

A tanulságos eset a kobotpálya módosítása (CR-004). A technológus kérelme csak a kobotprogramot jelölte meg módosítandóként, és helyesen jelezte, hogy a változás a biztonságot érinti: kollaboratív üzemben a pálya és a sebesség megváltozása a kockázatértékelés felülvizsgálatát kívánja. A hatáselemzés mégsem vizsgálta meg a biztonsági igazolást. A sablon a kapcsolatok alapján két közvetlenül érintett, de meg nem vizsgált elemet jelez (a biztonsági igazolást és a verifikációs mátrixot); a notebook a teljes láncot is bejárja, és további hármat talál: ha a biztonsági igazolás változik, a biztonsági vezérlőt, a kezelési útmutatót és a képzési anyagot is ellenőrizni kell (56.2. ábra). A hatás azokon az elemeken



56.2. ábra. A kobotpálya módosításának (CR-004) hatásterjedése a konfigurációs elemek között és a kérelmek átfutása. A notebookkal rajzolva.

áll meg, amelyeket valaki megvizsgált, és nem érintettnek talált; ezért kell a „nem érinti” döntéseket is rögzíteni.

A notebook a besorolást is összeveti a hatáselemzéssel. A CR-004-nél a „biztonság: igen” jelöléshez nem tartozik megvizsgált biztonsági igazolás. A CR-001-nél fordított a helyzet: a követelményspecifikáció módosul, mégis kisebb a besorolás; ez itt helyes, mert csak egy mértékegység-elírást javítottak, de az indoklást rögzíteni kell. Az eltérési engedély (CR-007) a MES-interfész késése miatt négy hétre elengedi az adatátviteli követelményt; az alapvonal nem változik, a követelmény a határidő után ismét érvényes.

Tanulságok:

- **A besorolás nem a változtatás méretén múlik, hanem a hatásán.** Egy nyomógomb jelentős, egy rajzmódosítás kisebb lehet.
- **A hatáselemzés a kapcsolatok mentén halad.** A kérelmező a saját szakterületét látja; a kapcsolati táblázat a többiekét is az asztalra teszi.
- **A „nem érinti” is döntés.** Rögzítése nélkül később nem dönthető el, hogy egy elemet megvizsgáltak-e.
- **A kérelem lezárása a nyilvántartás frissítése.** A CR-003 akkor zárult le, amikor minden érintett elem új változata alapvonalba került, és a képzés megtörtént.

56.4. Sablon és notebook

- konfiguracio_sablon.xlsx: „Konfigurációs elemek” lap legfeljebb 25 elemmel, típussal, alapvonallal, változattal, állapottal, a nyitott kérelmek és a kapcsolatok számával; „Kapcsolatok” lap az elemek közötti hatáskapcsolatok mátrixával; „Változáskérelmek” lap legfeljebb 20 kérelemmel, hat hatásjellemzővel, automatikus besorolással, döntéshozóval, állapottal, átfutással és figyelmeztetéssel; „Hatásmátrix” lap a kérelmenkénti x/n jelölésekkel és a közvetlenül érintett, de meg nem vizsgált elemek automatikus jelzésével; „Összesítés” lap osztály és állapot szerinti összesítéssel, átfutási időkkel és diagrammal. A KoboCella példájával kitöltve.

- konfiguracio.ipynb · Megnyitás Google Colabban: nyilvántartás és átfutási statisztika, a hatásterjedés kiszámítása a kapcsolatok gráfján a teljes láncra, a besorolás és a hatáselemzés összevetése két szabállyal (a 56.2. ábra így készült).

56.5. Előnyök és korlátok

56.2. táblázat. A konfigurációkezelés és a változáskérelem-kezelés előnyei és korlátai.

Előnyök	Korlátok
Mindenki ugyanazt a jóváhagyott változatot használja; a termék és a dokumentáció összhangban marad (ISO 2017)	Adminisztrációs teher; túl szigorú szabályozás lassítja a fejlesztést
A besorolás a bizottság figyelmét a valóban jelentős változásokra irányítja	A besorolás szakmai ítélet; a hatásjellemzők megítélése vitatható lehet
A hatáskapcsolatok rendszeres használata feltárja a láncszerűen terjedő hatásokat (Clarkson, Simons, és Eckert 2004)	A kapcsolati táblázat minősége a hatáselemzés minőségének határa; hiányzó kapcsolatot az eszköz sem talál meg
A nyilvántartás és az átfutási adatok a folyamat fejlesztését is támogatják (ISO 2017)	Az egyszerű (igen/nem) kapcsolatok nem mutatják a hatás valószínűségét és nagyságát; erre a változás-előrejelzés módszerei valószínűségeket és hatásokat rendelnek a kapcsolatokhoz (Clarkson, Simons, és Eckert 2004)

Gyakori buktató

- **„Csak egy apró módosítás."** A változtatás mérete nem mutatja a hatását; a besorolást a hatásjellemzők döntik el.
- **Hatáselemzés a kérelmező szakterületére szűkítve.** A kapcsolati táblázat nélkül a más szakterületet érintő következmények rejtve maradnak.
- **A „nem érinti" döntések rögzítésének hiánya.** Utólag nem dönthető el, hogy egy elemet megvizsgáltak-e.
- **Lezárás a végrehajtás után, de a nyilvántartás frissítése előtt.** A régi és az új változat egyszerre van forgalomban.
- **Eltérési engedély változtatás helyett.** Az ismétlődő eltérési engedély valójában a követelmény vagy a terv megváltoztatását jelzi, és azt a változáskezelésben kell rendezni.
- **Elavult kapcsolati táblázat.** Új elem felvételekor a kapcsolatait is rögzíteni kell.

56.6. Mintapromptok

Mintaprompt: hatáselemzés előkészítése

```
Konfigurációs elemek: [AZONOSÍTÓ, MEGNEVEZÉS, TÍPUS].
Hatáskapcsolatok: [FORRÁS -> CÉL LISTA].
Változáskérelem: [MIT, MIÉRT, MELY ELEMEKET JELÖLT MEG A KÉRELMEZŐ].
Feladat: sorold fel, mely elemekre hathat a változás közvetlenül és a
kapcsolatok láncán keresztül, és mit kell az egyes elemeknél
ellenőrizni. Jelöld, melyik hatásjellemzőt (specifikáció, költség,
biztonság, interfész, képzés, leszállított termék) érintheti. A
besorolásról a konfigurációs bizottság dönt; ne dönts helyette.
```

Mintaprompt: változáskérelem megfogalmazása

```
Probléma vagy javaslat: [LEÍRÁS], érintett termék és változat:
[ELEMEK], a felismerés körülményei: [LEÍRÁS].
Feladat: fogalmazz meg változáskérelmet a következő szerkezetben:
cím, a jelenlegi állapot, a javasolt változás, az indoklás, a
várható előnyök, az ismert kockázatok, a módosítandó elemek, a
megvizsgálandó elemek, a sürgősség. Ahol adat hiányzik, jelöld
kérdésként; ne találj ki számokat.
```

56.7. Feladat

Választható feladat: konfigurációkezelés a csapatprojektben

Vegyétek nyilvántartásba a csapatprojekt legalább tíz munkatermékét (például működési koncepció, követelménylista, minőségház, FMEA, folyamatmodell, verifikációs mátrix) változatszámmal és felelőssel, és rögzítsétek a köztük lévő hatáskapcsolatokat. A félév második felében fogalmazzatok meg legalább két változáskérelmet (például egy követelmény módosítását egy interjú vagy egy használhatósági próba után), végezzétek el a hatáselemzést a sablonnal, és a notebookkal ellenőrizzétek, nem maradt-e ki érintett munkatermék.

Irodalom

Aalst, Wil M. P. van der. 2016. *Process Mining: Data Science in Action*. 2. kiad. Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-49851-4.

Abonyi, János, és Tímea Czvetkó. 2022. „Hypergraph and Network Flow-Based Quality Function Deployment". *Heliyon* 8 (12): e12263. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12263.

Agresti, Alan, és Brent A. Coull. 1998. „Approximate Is Better than »Exact« for Interval Estimation of Binomial Proportions". *The American Statistician* 52 (2): 119–26. https://doi.org/10.1080/00031305.1998.10480550.

AIAG, és VDA. 2019. *Failure Mode and Effects Analysis – FMEA Handbook*. 1. kiad. Southfield, MI: Automotive Industry Action Group.

Altshuller, Genrich S. 1984. *Creativity as an Exact Science: The Theory of the Solution of Inventive Problems*. New York: Gordon; Breach.

Annett, John, és Keith D. Duncan. 1967. „Task Analysis and Training Design". *Occupational Psychology* 41: 211–21.

ASME. 2018. „ASME Y14.5-2018 Dimensioning and Tolerancing". American Society of Mechanical Engineers, New York.

Bainbridge, Lisanne. 1983. „Ironies of Automation". *Automatica* 19 (6): 775–79. https://doi.org/10.1016/0005-1098(83)90046-8.

Bangor, Aaron, Philip T. Kortum, és James T. Miller. 2008. „An Empirical Evaluation of the System Usability Scale". *International Journal of Human-Computer Interaction* 24 (6): 574–94. https://doi.org/10.1080/10447310802205776.

Bangor, Aaron, Philip Kortum, és James Miller. 2009. „Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale". *Journal of Usability Studies* 4 (3): 114–23.

Belton, Valerie, és Tony Gear. 1983. „On a Short-Coming of Saaty's Method of Analytic Hierarchies". *Omega* 11 (3): 228–30. https://doi.org/10.1016/0305-0483(83)90047-6.

Berger, Charles, Robert Blauth, David Boger, Christopher Bolster, Gary Burchill, William DuMouchel, Fred Pouliot, és mtsai. 1993. „Kano's Methods for Understanding Customer-Defined Quality". *Center for Quality of Management Journal* 2 (4): 3–36.

Berti, Alessandro, Sebastiaan J. van Zelst, és Wil M. P. van der Aalst. 2019. „Process Mining for Python (PM4Py): Bridging the Gap Between Process- and Data Science". In *Proceedings of the ICPM Demo Track 2019*, 2374:13–16. CEUR Workshop Proceedings.

Beyer, Hugh, és Karen Holtzblatt. 1998. *Contextual Design: Defining Customer-Centered Systems*. San Francisco: Morgan Kaufmann.

Boardman, Anthony E., David H. Greenberg, Aidan R. Vining, és David L. Weimer. 2018. *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice*. 5. kiad. Cambridge: Cambridge University Press.

Bono, Edward de. 1985. *Six Thinking Hats*. Boston: Little, Brown.

Bowles, John B. 2003. „An Assessment of RPN Prioritization in a Failure Modes Effects and Criticality Analysis". In *Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2003 Proceedings*, 380–86. https://doi.org/10.1109/RAMS.2003.1182019.

Braglia, Marcello, Davide Castellano, Marco Frosolini, Mosè Gallo, és Leonardo Marrazzini.

2021. „Revised Overall Labour Effectiveness”. *International Journal of Productivity and Performance Management* 70 (6): 1317–35. https://doi.org/10.1108/IJPPM-08-2019-0368.

Brinkmann, Svend, és Steinar Kvale. 2015. *InterViews: Learning the Craft of Qualitative Research Interviewing*. 3. kiad. Thousand Oaks, CA: SAGE.

Brooke, John. 1996. „SUS: A »Quick and Dirty« Usability Scale”. In *Usability Evaluation in Industry*, szerkesztette Patrick W. Jordan, B. Thomas, Bernard A. Weerdmeester, és Ian L. McClelland, 189–94. London: Taylor & Francis.

Browning, Tyson R. 2001. „Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions”. *IEEE Transactions on Engineering Management* 48 (3): 292–306.

Cachon, Gérard, és Christian Terwiesch. 2013. *Matching Supply with Demand: An Introduction to Operations Management*. 3. kiad. New York: McGraw-Hill/Irwin.

Chase, Kenneth W., és Alan R. Parkinson. 1991. „A Survey of Research in the Application of Tolerance Analysis to the Design of Mechanical Assemblies”. *Research in Engineering Design* 3 (1): 23–37. https://doi.org/10.1007/BF01580066.

Clarkson, P. John, Caroline Simons, és Claudia Eckert. 2004. „Predicting Change Propagation in Complex Design”. *Journal of Mechanical Design* 126 (5): 788–97. https://doi.org/10.1115/1.1765117.

Cockburn, Alistair. 2001. *Writing Effective Use Cases*. Boston: Addison-Wesley.

Cox, Louis Anthony. 2008. „What’s Wrong with Risk Matrices?” *Risk Analysis* 28 (2): 497–512. https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01030.x.

Crawley, Edward, Bruce Cameron, és Daniel Selva. 2016. *System Architecture: Strategy and Product Development for Complex Systems*. Hoboken, NJ: Pearson.

Dalkey, Norman, és Olaf Helmer. 1963. „An Experimental Application of the Delphi Method to the Use of Experts”. *Management Science* 9 (3): 458–67. https://doi.org/10.1287/mnsc.9.3.458.

Deb, Kalyanmoy, Amrit Pratap, Sameer Agarwal, és T. Meyarivan. 2002. „A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II”. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 6 (2): 182–97.

Defense Acquisition University. 2001. *Systems Engineering Fundamentals*. Fort Belvoir, VA: Defense Acquisition University Press.

Delbecq, Andre L., és Andrew H. Van de Ven. 1971. „A Group Process Model for Problem Identification and Program Planning”. *The Journal of Applied Behavioral Science* 7 (4): 466–92. https://doi.org/10.1177/002188637100700404.

Deming, W. Edwards. 1986. *Out of the Crisis*. Cambridge, MA: MIT Center for Advanced Engineering Study.

Diehl, Michael, és Wolfgang Stroebe. 1987. „Productivity Loss in Brainstorming Groups: Toward the Solution of a Riddle”. *Journal of Personality and Social Psychology* 53 (3): 497–509.

Dumas, Marlon, Marcello La Rosa, Jan Mendling, és Hajo A. Reijers. 2018. *Fundamentals of Business Process Management*. 2. kiad. Berlin: Springer.

ECSS. 2018. „ECSS-E-ST-10-02C Rev.1 Space Engineering – Verification”. European Cooperation for Space Standardization, ESA-ESTEC, Noordwijk.

Edwards, Ward, és F. Hutton Barron. 1994. „SMARTS and SMARTER: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement”. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 60 (3): 306–25.

Engel, Avner. 2010. *Verification, Validation, and Testing of Engineered Systems*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Eppinger, Steven D., és Tyson R. Browning. 2012. *Design Structure Matrix Methods and Applications*. Cambridge, MA: MIT Press.

Ericson, Clifton A., II. 2015. *Hazard Analysis Techniques for System Safety*. 2. kiad. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
Fagan, Michael E. 1976. „Design and Code Inspections to Reduce Errors in Program Development". *IBM Systems Journal* 15 (3): 182–211.
Fitts, Paul M., szerk. 1951. „Human Engineering for an Effective Air-Navigation and Traffic-Control System". Washington, DC: National Research Council.
Fleming, Quentin W., és Joel M. Koppelman. 2010. *Earned Value Project Management*. 4. kiad. Newtown Square, PA: Project Management Institute.
Goldberg, B. E., K. Everhart, R. Stevens, N. Babbitt, P. Clemens, és L. Stout. 1994. „System Engineering »Toolbox« for Design-Oriented Engineers". NASA Reference Publication 1358. NASA Marshall Space Flight Center.
Goldratt, Eliyahu M., és Jeff Cox. 1984. *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*. Great Barrington, MA: North River Press.
Guest, Greg, Arwen Bunce, és Laura Johnson. 2006. „How Many Interviews Are Enough? An Experiment with Data Saturation and Variability". *Field Methods* 18 (1): 59–82.
Haddon, William. 1973. „Energy Damage and the Ten Countermeasure Strategies". *Journal of Trauma* 13 (4): 321–31. https://doi.org/10.1097/00005373-197304000-00011.
Hart, Sandra G. 2006. „NASA-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later". In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50:904–8. 9. https://doi.org/10.1177/154193120605000909.
Hart, Sandra G., és Lowell E. Staveland. 1988. „Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research". In *Human Mental Workload*, szerkesztette Peter A. Hancock és Najmedin Meshkati, 52:139–83. Advances in Psychology. Amsterdam: North-Holland. https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9.
Health and Safety Executive. 2001. *Reducing Risks, Protecting People: HSE's Decision-Making Process*. Sudbury: HSE Books.
Hopp, Wallace J., és Mark L. Spearman. 2008. *Factory Physics*. 3. kiad. New York: McGraw-Hill/Irwin.
IEC. 2006. „IEC 61025:2006 Fault tree analysis (FTA)". International Electrotechnical Commission, Genf.
———. 2010. „IEC 62502:2010 Analysis techniques for dependability – Event tree analysis (ETA)". International Electrotechnical Commission, Genf.
———. 2016. „IEC 61078:2016 Reliability block diagrams". International Electrotechnical Commission, Genf.
———. 2018. „IEC 60812:2018 Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA)". International Electrotechnical Commission, Genf.
IEEE. 1998. „IEEE Std 1362-1998 IEEE Guide for Information Technology – System Definition – Concept of Operations (ConOps) Document". Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York.
———. 2008. „IEEE Std 1028-2008: IEEE Standard for Software Reviews and Audits". New York: IEEE.
———. 2014. „IEEE Std 15288.2-2014: IEEE Standard for Technical Reviews and Audits on Defense Programs". New York: Szabvány; nemzetközi változata ISO/IEC/IEEE 24748-8:2019; IEEE.
Ilevbare, Imoh M., David Probert, és Robert Phaal. 2013. „A Review of TRIZ, and Its Benefits and Challenges in Practice". *Technovation* 33 (2–3): 30–37. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2012.11.003.
INCOSE. 2023a. „Guide to Writing Requirements". INCOSE-TP-2010-006-04, Rev. 4. International Council on Systems Engineering, Requirements Working Group.
———. 2023b. *INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities*. Szerkesztette David D. Walden, Thomas M. Shortell, Garry J. Roedler,

Bernardo A. Delicado, Odile Mornas, Yew-Seng Yip, és David Endler. 5. kiad. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
Ishikawa, Kaoru. 1982. *Guide to Quality Control*. 2. kiad. Tokyo: Asian Productivity Organization.
ISO. 2010. „ISO 12100:2010 Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction". International Organization for Standardization, Genf.
———. 2017. „ISO 10007:2017 Quality Management – Guidelines for Configuration Management". Nemzetközi szabvány.
———. 2018. „ISO 9241-11:2018 Ergonomics of Human-System Interaction – Part 11: Usability: Definitions and Concepts". International Organization for Standardization, Genf.
———. 2019. „ISO 9241-210:2019 Ergonomics of Human-System Interaction – Part 210: Human-Centred Design for Interactive Systems". International Organization for Standardization, Genf.
ISO/IEC. 2013. „ISO/IEC 19510:2013 Information technology – Object Management Group Business Process Model and Notation". International Organization for Standardization, Genf.
ISO/IEC/IEEE. 2018. „ISO/IEC/IEEE 29148:2018 Systems and Software Engineering – Life Cycle Processes – Requirements Engineering". Nemzetközi szabvány, 2. kiadás.
———. 2023. „ISO/IEC/IEEE 15288:2023 Systems and Software Engineering – System Life Cycle Processes". Nemzetközi szabvány, 2. kiadás; ISO, IEC és IEEE.
Johnson, S. M. 1954. „Optimal Two- and Three-Stage Production Schedules with Setup Times Included". *Naval Research Logistics Quarterly* 1 (1): 61–68. https://doi.org/10.1002/nav.3800010110.
Keeney, Ralph L., és Robin S. Gregory. 2005. „Selecting Attributes to Measure the Achievement of Objectives". *Operations Research* 53 (1): 1–11. https://doi.org/10.1287/opre.1040.0158.
Keeney, Ralph L., és Howard Raiffa. 1976. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. New York: Wiley.
Kelley, James E., és Morgan R. Walker. 1959. „Critical-Path Planning and Scheduling". In *Papers Presented at the December 1–3, 1959, Eastern Joint IRE-AIEE-ACM Computer Conference*, 160–73. New York: ACM. https://doi.org/10.1145/1460299.1460318.
Kepner, Charles H., és Benjamin B. Tregoe. 1965. *The Rational Manager: A Systematic Approach to Problem Solving and Decision Making*. New York: McGraw-Hill.
Kingman, J. F. C. 1961. „The Single Server Queue in Heavy Traffic". *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 57 (4): 902–4. https://doi.org/10.1017/S0305004100036094.
Kirwan, Barry, és Les K. Ainsworth, szerk. 1992. *A Guide to Task Analysis*. London: Taylor & Francis.
Kossiakoff, Alexander, William N. Sweet, Samuel J. Seymour, és Steven M. Biemer. 2011. *Systems Engineering Principles and Practice*. 2. kiad. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
Lakatos, Béla. é. n. „Termelési rendszerek". Egyetemi jegyzet, Veszprémi Egyetem, Folyamatmérnöki Tanszék.
Lano, Robert J. 1977. „The N2 Chart". Redondo Beach, CA: TRW Software Series.
Law, Averill M. 2015. *Simulation Modeling and Analysis*. 5. kiad. New York: McGraw-Hill.
Lee, John D., és Katrina A. See. 2004. „Trust in Automation: Designing for Appropriate Reliance". *Human Factors* 46 (1): 50–80. https://doi.org/10.1518/hfes.46.1.50_30392.
Leveson, Nancy G. 2011. *Engineering a Safer World: Systems Thinking Applied to Safety*. Cambridge, MA: MIT Press.
Leveson, Nancy G., és John P. Thomas. 2018. „STPA Handbook". Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.

Little, John D. C. 1961. „A Proof for the Queuing Formula: $L = \lambda W$”. *Operations Research* 9 (3): 383–87. https://doi.org/10.1287/opre.9.3.383.
———. 2011. „Little’s Law as Viewed on Its 50th Anniversary”. *Operations Research* 59 (3): 536–49. https://doi.org/10.1287/opre.1110.0940.
Liu, Hu-Chen, Long Liu, és Nan Liu. 2013. „Risk Evaluation Approaches in Failure Mode and Effects Analysis: A Literature Review”. *Expert Systems with Applications* 40 (2): 828–38. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.010.
MacCrimmon, Kenneth R., és Charles A. Ryavec. 1964. „An Analytical Study of the PERT Assumptions”. *Operations Research* 12 (1): 16–37. https://doi.org/10.1287/opre.12.1.16.
Malcolm, D. G., J. H. Roseboom, C. E. Clark, és W. Fazar. 1959. „Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation”. *Operations Research* 7 (5): 646–69. https://doi.org/10.1287/opre.7.5.646.
Matzler, Kurt, és Hans H. Hinterhuber. 1998. „How to Make Product Development Projects More Successful by Integrating Kano’s Model of Customer Satisfaction into Quality Function Deployment”. *Technovation* 18 (1): 25–38.
Mavin, Alistair, Philip Wilkinson, Adrian Harwood, és Mark Novak. 2009. „Easy Approach to Requirements Syntax (EARS)”. In *Proceedings of the 17th IEEE International Requirements Engineering Conference (RE’09)*, 317–22. IEEE. https://doi.org/10.1109/RE.2009.9.
Mendling, Jan, Hajo A. Reijers, és Wil M. P. van der Aalst. 2010. „Seven Process Modeling Guidelines (7PMG)”. *Information and Software Technology* 52 (2): 127–36. https://doi.org/10.1016/j.infsof.2009.08.004.
Montgomery, Douglas C. 2017. *Design and Analysis of Experiments*. 9. kiad. Hoboken, NJ: Wiley.
———. 2020. *Introduction to Statistical Quality Control*. 8. kiad. Hoboken, NJ: Wiley.
Muchiri, Peter, és Liliane Pintelon. 2008. „Performance Measurement Using Overall Equipment Effectiveness (OEE): Literature Review and Practical Application Discussion”. *International Journal of Production Research* 46 (13): 3517–35. https://doi.org/10.1080/00207540601142645.
Mullen, Brian, Craig Johnson, és Eduardo Salas. 1991. „Productivity Loss in Brainstorming Groups: A Meta-Analytic Integration”. *Basic and Applied Social Psychology* 12 (1): 3–23. https://doi.org/10.1207/s15324834basp1201_1.
Nakajima, Seiichi. 1988. *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Cambridge, MA: Productivity Press.
NASA. 2015. „Human Systems Integration (HSI) Practitioner’s Guide”. NASA/SP-2015-3709. National Aeronautics; Space Administration.
———. 2016. „NASA Systems Engineering Handbook”. NASA/SP-2016-6105 Rev2. Washington, DC: National Aeronautics; Space Administration.
Newman, M. E. J. 2006. „Modularity and Community Structure in Networks”. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103 (23): 8577–82. https://doi.org/10.1073/pnas.0601602103.
Nielsen, Jakob, és Thomas K. Landauer. 1993. „A Mathematical Model of the Finding of Usability Problems”. In *Proceedings of the INTERACT ’93 and CHI ’93 Conference on Human Factors in Computing Systems*, 206–13. New York: ACM. https://doi.org/10.1145/169059.169166.
NIST. 1993. „Integration Definition for Function Modeling (IDEF0)”. Federal Information Processing Standards Publication 183.
O’Connor, Patrick D. T., és Andre Kleyner. 2012. *Practical Reliability Engineering*. 5. kiad. Chichester: Wiley.
Object Management Group. 2011. „Business Process Model and Notation (BPMN), Version 2.0”. OMG Document formal/2011-01-03.
Ohno, Taiichi. 1988. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Cambridge,

MA: Productivity Press.
Osborn, Alex F. 1953. *Applied Imagination: Principles and Procedures of Creative Thinking*. New York: Scribner.
Parasuraman, Raja, és Victor Riley. 1997. „Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse". *Human Factors* 39 (2): 230–53. https://doi.org/10.1518/001872097778543886.
Parasuraman, Raja, Thomas B. Sheridan, és Christopher D. Wickens. 2000. „A Model for Types and Levels of Human Interaction with Automation". *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans* 30 (3): 286–97. https://doi.org/10.1109/3468.844354.
Parnell, Gregory S., Terry A. Bresnick, Steven N. Tani, és Eric R. Johnson. 2013. *Handbook of Decision Analysis*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
Phadke, Madhav S. 1989. *Quality Engineering Using Robust Design*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
Pinedo, Michael L. 2022. *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*. 6. kiad. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05921-6.
Price, Harold E. 1985. „The Allocation of Functions in Systems". *Human Factors* 27 (1): 33–45. https://doi.org/10.1177/001872088502700104.
Project Management Institute. 2019. *Practice Standard for Work Breakdown Structures*. 3. kiad. Newtown Square, PA: Project Management Institute.
Pugh, Stuart. 1991. *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering*. Wokingham: Addison-Wesley.
Reason, James. 1990. *Human Error*. Cambridge: Cambridge University Press.
Roedler, Garry J., és Cheryl Jones. 2005. „Technical Measurement: A Collaborative Project of PSM, INCOSE, and Industry". INCOSE-TP-2003-020-01. San Diego, CA: International Council on Systems Engineering.
Rohrbach, Bernd. 1969. „Kreativ nach Regeln – Methode 635, eine neue Technik zum Lösen von Problemen". *Absatzwirtschaft* 12: 73–76.
Rother, Mike, és John Shook. 1999. *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA*. Brookline, MA: Lean Enterprise Institute.
Rowe, Gene, és George Wright. 1999. „The Delphi Technique as a Forecasting Tool: Issues and Analysis". *International Journal of Forecasting* 15 (4): 353–75. https://doi.org/10.1016/S0169-2070(99)00018-7.
Rubin, Jeffrey, és Dana Chisnell. 2008. *Handbook of Usability Testing: How to Plan, Design, and Conduct Effective Tests*. 2. kiad. Indianapolis: Wiley.
Saaty, Thomas L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
———. 1990. „How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process". *European Journal of Operational Research* 48 (1): 9–26.
Sauro, Jeff, és James R. Lewis. 2016. *Quantifying the User Experience: Practical Statistics for User Research*. 2. kiad. Cambridge, MA: Morgan Kaufmann.
Scholl, Armin, és Christian Becker. 2006. „State-of-the-Art Exact and Heuristic Solution Procedures for Simple Assembly Line Balancing". *European Journal of Operational Research* 168 (3): 666–93. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.022.
Schroeder, Roger G., Kevin Linderman, Charles Liedtke, és Adrian S. Choo. 2008. „Six Sigma: Definition and Underlying Theory". *Journal of Operations Management* 26 (4): 536–54. https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.06.007.
Schwaber, Ken, és Jeff Sutherland. 2020. „The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game". scrumguides.org.
Shah, Jami J., Steve M. Smith, és Noe Vargas-Hernandez. 2003. „Metrics for Measuring Ideation Effectiveness". *Design Studies* 24 (2): 111–34. https://doi.org/10.1016/S0142-694X(02)00034-0.
Sheridan, Thomas B., és William L. Verplank. 1978. „Human and Computer Control of

Undersea Teleoperators". Cambridge, MA: MIT Man-Machine Systems Laboratory.
Shewhart, Walter A. 1931. *Economic Control of Quality of Manufactured Product*. New York: Van Nostrand.
Silver, Edward A., David F. Pyke, és Douglas J. Thomas. 2016. *Inventory and Production Management in Supply Chains*. 4. kiad. Boca Raton: CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781315374406.
Sosa, Manuel E., Steven D. Eppinger, és Craig M. Rowles. 2004. „The Misalignment of Product Architecture and Organizational Structure in Complex Product Development". *Management Science* 50 (12): 1674–89. https://doi.org/10.1287/mnsc.1040.0289.
Stanton, Neville A. 2006. „Hierarchical Task Analysis: Developments, Applications, and Extensions". *Applied Ergonomics* 37 (1): 55–79. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2005.06.003.
Sullivan, William G., Elin M. Wicks, és C. Patrick Koelling. 2019. *Engineering Economy*. 17. kiad. Hoboken, NJ: Pearson.
Taguchi, Genichi, Subir Chowdhury, és Yuin Wu. 2005. *Taguchi's Quality Engineering Handbook*. Hoboken, NJ: Wiley.
U.S. Department of Defense. 2012. „MIL-STD-882E Department of Defense Standard Practice: System Safety". U.S. Department of Defense, Washington, DC.
———. 2020. „MIL-HDBK-61B: Configuration Management Guidance". Kézikönyv.
———. 2022. „MIL-STD-881F: Work Breakdown Structures for Defense Materiel Items". Szabvány.
VDA QMC. 2018. „8D – Problem Solving in 8 Disciplines: Method, Process, Report". Verband der Automobilindustrie, Qualitäts Management Center, Berlin, 1. kiadás.
Vesely, William E., Francine F. Goldberg, Norman H. Roberts, és David F. Haasl. 1981. „Fault Tree Handbook". NUREG-0492. Washington, DC: U.S. Nuclear Regulatory Commission.
Virzi, Robert A. 1992. „Refining the Test Phase of Usability Evaluation: How Many Subjects Is Enough?" *Human Factors* 34 (4): 457–68. https://doi.org/10.1177/001872089203400407.
Wilson, James M. 2003. „Gantt Charts: A Centenary Appreciation". *European Journal of Operational Research* 149 (2): 430–37. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00769-5.
Winter, J. C. F. de, és D. Dodou. 2014. „Why the Fitts List Has Persisted throughout the History of Function Allocation". *Cognition, Technology & Work* 16 (1): 1–11. https://doi.org/10.1007/s10111-011-0188-1.
Zwicky, Fritz. 1969. *Discovery, Invention, Research through the Morphological Approach*. New York: Macmillan.

A. Sablonok és notebookok

Minden eszközlaphoz tartozik letölthető Excel-sablon, és ahol a számítás vagy az elemzés túlmutat egy táblázaton, Google Colabban futtatható Python-notebook is. A sablonok Excelben, LibreOffice Calcban és Google Táblázatokban is használhatók; mindegyik egy útmutató lappal kezdődik, és a kézikönyv futó eseteinek egyikével kitöltött példát tartalmaz. A notebookok a sablon kitöltött példájával indulnak, és a kitöltött sablon feltöltésével a saját adatokon is futtathatók (1. ábra).

Jelmagyarázat a sablonokban: sárga háttér, kék betű: kitöltendő cella; halványkék háttér: képlet, ne írd felül; narancs vagy piros kiemelés: figyelmeztetés, amelyet érdemes megvizsgálni.

A.1. I. rész – Projektindítás

A.1. táblázat. A I. rész eszközlapjainak sablonjai és notebookjai.

Eszközlap	Excel-sablon	Notebook
2. A projekt V-terve	projekt_v_terv_sablon.xlsx	–
3. Kontextusdiagram és interfészlista	kontextusdiagram_sablon.xlsx	kontextusdiagram.ipynb · Colab

A.2. II. rész – A V bal ága

A.2. táblázat. A II. rész eszközlapjainak sablonjai és notebookjai.

Eszközlap	Excel-sablon	Notebook
4. Érdekelt felek azonosítása	erdekelt_felek_sablon.xlsx	erdekelt_felek.ipynb · Colab
5. Hatalom–érdekeltség és fontossági elemzés	erdekelt_felek_sablon.xlsx	erdekelt_felek.ipynb · Colab
6. Interjú és megfigyelés	interju_sablon.xlsx	–
7. Kano-elemzés	kano_sablon.xlsx	kano_elemzes.ipynb · Colab
8. Működési koncepció és forgatókönyvek	forgatokonyv_sablon.xlsx	–
9. Követelményírás és -ellenőrzés	kovetelmeny_sablon.xlsx	kovetelmeny_ellenorzes.ipynb · Colab

Eszközlap	Excel-sablon	Notebook
10. A siker mérőszámai: MOE, MOP, TPM	moe_mop_tpm_sablon.xlsx	tpm_kovetes.ipynb · Colab
11. Nyomonkövethetőség	nyomonkovetes_sablon.xlsx	nyomonkovetes.ipynb · Colab
12. Minőségfunkció-telepítés (QFD)	qfd_sablon.xlsx	qfd_minoseghaz.ipynb · Colab
13. Funkciófa és allokációs táblázat	funkciofa_sablon.xlsx	funkciofa.ipynb · Colab
14. N²-diagram és DSM	n2_dsm_sablon.xlsx	n2_dsm.ipynb · Colab
15. Morfológiai doboz	morfologiai_doboz_sablon.xlsx	morfologiai_doboz.ipynb · Colab
16. TRIZ: ellentmondások és feltalálói elvek	triz_sablon.xlsx	–
17. Hat gondolkodó kalap	hat_kalap_sablon.xlsx	–
18. Ötletroham, névleges csoporttechnika, Delphi	otletroham_sablon.xlsx	otletertekeles.ipynb · Colab
19. Pugh-módszer	pugh_sablon.xlsx	trade_study.ipynb · Colab
20. Súlyozott értékelés (trade study)	trade_study_sablon.xlsx	trade_study.ipynb · Colab
21. Hasznossági függvények (MAUT)	maut_sablon.xlsx	maut.ipynb · Colab
22. AHP – páros összehasonlítás	ahp_sablon.xlsx	ahp.ipynb · Colab
23. Dominancia és Pareto-front	pareto_front_sablon.xlsx	pareto_front.ipynb · Colab
24. Költség–haszon elemzés	koltseg_haszon_sablon.xlsx	koltseg_haszon.ipynb · Colab
25. Hierarchikus feladatelemzés (HTA)	hta_sablon.xlsx	hta.ipynb · Colab
26. Funkciómegosztás és automatizálási szint	funkciomegosztas_sablon.xlsx	funkciomegosztas.ipynb · Colab
27. Terhelés- és használhatóságmérés (NASA-TLX, SUS)	tlx_sus_sablon.xlsx	tlx_sus.ipynb · Colab
28. Kockázati mátrix	kockazati_matrix_sablon.xlsx	kockazati_matrix.ipynb · Colab
29. Előzetes veszélyelemzés (PHA)	pha_sablon.xlsx	pha.ipynb · Colab
30. FMEA	fmea_sablon.xlsx	fmea.ipynb · Colab
31. Megbízhatósági blokkdiagram	rbd_sablon.xlsx	rbd.ipynb · Colab
32. Hibafa-elemzés	hibafa_sablon.xlsx	hibafa.ipynb · Colab
33. Eseményfa-elemzés	esemenyfa_sablon.xlsx	esemenyfa.ipynb · Colab
34. STPA – rendszerelméleti veszélyelemzés	stpa_sablon.xlsx	stpa.ipynb · Colab
35. Tűréslánc-számítás	turesek_sablon.xlsx	turesek.ipynb · Colab
36. Kísérlettervezés (DoE)	doe_sablon.xlsx	doe.ipynb · Colab

A.3. III. rész – A V csúcsa

A.3. táblázat. A III. rész eszközlapjainak sablonjai és notebookjai.

Eszközlap	Excel-sablon	Notebook
37. Folyamatábra és értékáram-térkép	folyamatabra_vsm_sablon.xlsx	folyamatabra_vsm.ipynb · Colab
38. Kapacitás és szűk keresztmetszet	kapacitas_sablon.xlsx	kapacitas.ipynb · Colab
39. Ütemidő és sorkiegyenlítés	sorkiegyenlites_sablon.xlsx	sorkiegyenlites.ipynb · Colab
40. OEE-számítás	oee_sablon.xlsx	oee.ipynb · Colab
41. BPMN-modellezés	bpmn_sablon.xlsx	bpmn.ipynb · Colab
42. Gantt-diagram és ütemezés	gantt_sablon.xlsx	gantt.ipynb · Colab
43. ABC-elemzés és készlethatékonyság	abc_sablon.xlsx	abc.ipynb · Colab
44. Sorbanállási modellek	sorbanallas_sablon.xlsx	sorbanallas.ipynb · Colab

A.4. IV. rész – A V jobb ága

A.4. táblázat. A IV. rész eszközlapjainak sablonjai és notebookjai.

Eszközlap	Excel-sablon	Notebook
45. Integrációs terv és interfészmátrix	integracios_terv_sablon.xlsx	integracios_terv.ipynb · Colab
46. Követelmény-verifikációs mátrix	rvm_sablon.xlsx	rvm.ipynb · Colab
47. Használhatósági teszt	hasznalhatosagi_teszt_sablon.xlsx	hasznalhatosagi_teszt.ipynb · Colab
48. Pareto-diagram	pareto_sablon.xlsx	pareto.ipynb · Colab
49. Ok-okozati (halszálka-) diagram	halszalka_sablon.xlsx	halszalka.ipynb · Colab
50. Kontrollkártya (SPC)	kontrollkartya_sablon.xlsx	kontrollkartya.ipynb · Colab
51. Hisztogram, szórás- és rétegzett diagram	hisztogram_szoras_sablon.xlsx	hisztogram_szoras.ipynb · Colab
52. PDCA, 8D és DMAIC	pdca_8d_dmaic_sablon.xlsx	–
53. Folyamatbányászat alapjai	folyamatbanyaszat_sablon.xlsx	folyamatbanyaszat.ipynb · Colab

A.5. V. rész – Átívelő menedzsment

A.5. táblázat. A V. rész eszközlapjainak sablonjai és notebookjai.

Eszközlap	Excel-sablon	Notebook
54. Munkalebontási struktúra (WBS)	wbs_sablon.xlsx	wbs.ipynb · Colab
55. Technikai felülvizsgálat lebonyolítása	felulvizsgalat_sablon.xlsx	–
56. Konfigurációkezelés és változáskérelem	konfiguracio_sablon.xlsx	konfiguracio.ipynb · Colab

A.6. A sablonok és a notebookok újragenerálása

A sablonokat és a notebookokat Python-szkriptek állítják elő, így minden képletük és kódcellájuk ellenőrizhető és újragenerálható. A tárhely `gyakorlat` mappájából:

```
python3 sablonok/_keszit_mind.py --recalc        # minden sablon, képlet-újraszámolással és
python3 notebookok/_keszit_notebookok.py --teszt # minden notebook előállítása és lefuttatá
```

A sablonok és a notebookok közös példaadatai a `sablonok/_*_adat.py` modulokban vannak; ha egy példát módosítunk, a sablon és a notebook ugyanabból az adatból készül újra, és a Gyakorlati útmutató notebookkal rajzolt ábrái is frissülnek.



Pannon Egyetem

University of Pannonia

Nyílt tankönyv · https://complexsystemsintelligence.github.io/rendszermernokseg/

CC BY-NC-SA 4.0